

N° 3603
ASSEMBLÉE NATIONALE
CONSTITUTION DU 4 OCTOBRE 1958
ONZIÈME LÉGISLATURE

N° 224
SÉNAT ____
SESSION ORDINAIRE DE 2001-2002

Enregistré à la Présidence de l'Assemblée nationale
le 13 février 2002

Annexe au procès-verbal de la séance du
13 février 2002

**OFFICE PARLEMENTAIRE D'ÉVALUATION
DES CHOIX SCIENTIFIQUES ET
TECHNOLOGIQUES**

RAPPORT

sur

L'ÉVALUATION DE L'AMPLEUR DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES,
DE LEURS CAUSES ET DE LEUR IMPACT PRÉVISIBLE SUR LA GÉOGRAPHIE DE LA FRANCE
À L'HORIZON 2025, 2050 ET 2100,

par

M. Marcel DENEUX,
Sénateur.

Tome I - Rapport

Déposé sur le Bureau de l'Assemblée nationale
par M. Jean-Yves LE DÉAUT
Président de l'Office.

Déposé sur le Bureau du Sénat
par M. Henri REVOL
Premier Vice-Président de l'Office.

Environnement : Climat, Effet de serre, Montagne – Aménagement du territoire :
Transports, Urbanisme – Agriculture – Énergie – Santé

SOMMAIRE

Pages

AVERTISSEMENT : POURQUOI UN DOUBLE CD-ROM ?	1
REMERCIEMENTS	2
INTRODUCTION	5
 PREMIERE PARTIE : CLIMATOLOGIE.....	14
 CHAPITRE PREMIER : LE CLIMAT.....	14
I. LE CLIMAT EST PLANÉTAIRE	14
A. LA CIRCULATION ATMOSPHÉRIQUE.....	15
B. LA CIRCULATION OCÉANIQUE.....	16
II. LA VARIABILITÉ DU CLIMAT	16
III. LA COMPLEXITÉ DU CLIMAT	18
A. LE CYCLE DE L'EAU	18
B. LE CYCLE DU CARBONE.....	19
IV. LES CONTRASTES DU CLIMAT	21
V. LE CLIMAT EST MÉCONNU.....	23
A. LA MÉCONNAISSANCE DES CLIMATS DU PASSÉ	23
B. LES INCONNUES DU CLIMAT PRÉSENT.....	24
C. LES CLIMATS FUTURS RESTENT À DÉCOUVRIR	26
VI. LE CLIMAT N'EST PAS MAÎTRISABLE PAR L'HOMME	26
 CHAPITRE SECOND : L'EFFET DE SERRE.....	28
I. GRACE A L'EFFET DE SERRE, UNE TERRE ACCUEILLANTE.....	28
II. LA RÉALITÉ DE L'INTENSIFICATION DE L'EFFET DE SERRE.....	29
III. LES CAUSES DE L'INTENSIFICATION DE L'EFFET DE SERRE.....	30

A. LES CAUSES NATURELLES DE L'INTENSIFICATION DE L'EFFET DE SERRE.....	30
1. <i>La variabilité des rayonnements solaires</i>	30
2. <i>Rayonnements solaires et températures</i>	31
B. LES CAUSES HUMAINES DE L'INTENSIFICATION DE L'EFFET DE SERRE	31
IV. L'INTENSIFICATION DE L'EFFET DE SERRE RÉSULTE DE SOURCES REGIONALES DIVERSES	32
V. L'IRRÉVERSIBILITÉ DE L'INTENSIFICATION DE L'EFFET DE SERRE ET DU RYTHME DE CELLE-CI	33
A. LES CAUSES NATURELLES DE L'IRRÉVERSIBILITÉ	33
B. LES CAUSES HUMAINES DE L'IRRÉVERSIBILITÉ.....	33
 DEUXIÈME PARTIE : GAZ À EFFET DE SERRE ET AÉROSOLS	35
 CHAPITRE PREMIER : LES GAZ A EFFET DE SERRE	35
I. LES GAZ À EFFET DE SERRE NON EXCLUSIVEMENT GÉNÉRÉS PAR L'HOMME	35
A. LA VAPEUR D'EAU	36
B. LE DIOXYDE DE CARBONE (CO ₂)	36
C. LE MÉTHANE (CH ₄).....	37
D. LE PROTOXYDE D'AZOTE (N ₂ O).....	38
E. L'OXYDE D'AZOTE (NO _x)	38
F. L'OZONE (O ₃).....	39
G. LES HALOCARBURES	39
II. LES GAZ À EFFET DE SERRE GÉNÉRÉS PAR L'HOMME	39
A. LA VAPEUR D'EAU	39
B. LE DIOXYDE DE CARBONE (CO ₂)	40
C. LE MÉTHANE (CH ₄).....	40
D. LE PROTOXYDE D'AZOTE (N ₂ O).....	41
E. L'OXYDE D'AZOTE (NO _x)	42
F. L'OZONE (O ₃).....	42
G. LES HALOCARBURES	42

H. LE MONOXYDE DE CARBONE (CO)	43
III. LA LISTE DES GAZ À EFFET DE SERRE.....	44
IV. LES QUELQUES GAZ À EFFET DE SERRE VISÉS PAR LES CONVENTIONS INTERNATIONALES	45
V. LES EFFETS RADIATIFS RESPECTIFS DES GAZ À EFFET DE SERRE ET LEURS RYTHMES D'ÉMISSION ET DE DISSIPATION	46
VI. LE RÔLE DE LA BIOSPHERE CONTINENTALE DANS LE CYCLE DU CARBONE	47
A. LA MESURE DE LA CONCENTRATION EN DIOXYDE DE CARBONE.....	47
B. L'INFLUENCE DE LA CONCENTRATION EN DIOXYDE DE CARBONE SUR LA PHOTOSYNTHESE.....	49
 CHAPITRE DEUXIÈME : LES AÉROSOLS ET L'EFFET DE SERRE	51
I. LA NATURE DES DIFFÉRENTS AÉROSOLS	51
II. LE REFROIDISSEMENT DE LA TROPOSPHERE PAR LES AÉROSOLS	53
 CHAPITRE TROISIÈME : LE RÔLE DE L'HOMME DANS L'ÉMISSION DE GAZ A EFFET DE SERRE	55
I. LE RECOURS MASSIF RECENT AUX COMBUSTIBLES FOSSILES	55
A. LE CHARBON.....	55
B. LE PÉTROLE	57
C. LE GAZ NATUREL	58
D. L'ÉLECTRICITÉ ISSUE DE COMBUSTIBLES FOSSILES	58
II. L'ÉMISSION DE GAZ À EFFET DE SERRE PAR LES ACTIVITÉS TRADITIONNELLES	59
A. L'AGRICULTURE	59
1. Les émissions de protoxyde d'azote à l'échelle agronomique	59
2. Le stockage de carbone par les sols français	61
B. L'ÉLEVAGE	64
C. LA SYLVICULTURE	64
1. L'importance des forêts	65
2. Le bilan carbone des forêts	67
D. LES ÉMISSIONS DE MÉTHANE PAR LES DECHARGES DE DÉCHETS MÉNAGERS	70

III. L'INDUSTRIE ET LES GAZ À EFFET DE SERRE.....	71
A. LES ÉMISSIONS MASSIVES DE L'INDUSTRIE.....	71
B. LES POSSIBILITÉS DE CONTRÔLE DES ÉMISSIONS INDUSTRIELLES	73
IV. LES TRANSPORTS ET LES GAZ À EFFET DE SERRE.....	73
A. LA ROUTE	75
1. Les performances techniques des véhicules automobiles de transport de voyageurs	75
2. Les caractéristiques des véhicules compte tenu de la demande	79
3. L'état et l'entretien du parc	80
4. Les véhicules automobiles à deux roues.....	81
5. Les véhicules de transport de marchandises	81
6. Les solutions	81
B. LE RAIL.....	82
C. L'AÉRIEN	83
1. Les progrès techniques.....	83
2. Les usagers du transport aérien	84
3. Les connaissances sur les émissions de gaz à effet de serre par le transport aérien	84
D. LA VOIE D'EAU.....	86
V. L'HABITAT ET LES GAZ A EFFET DE SERRE	87
A. L'URBANISME.....	87
B. LA CONSTRUCTION	88
C. LE CHAUFFAGE	90
D. LA CLIMATISATION.....	91
E. LA CONSOMMATION ÉLECTRIQUE.....	91
 CHAPITRE QUATRIÈME : LES CONSÉQUENCES DES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE.....	 92
I. LE DÉVELOPPEMENT INDUSTRIEL A ACCRU LES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE.....	92
II. DES ACTIVITÉS TRADITIONNELLES ÉMETTRICES DE GAZ À EFFET DE SERRE	92
A. L'ÉVALUATION DES ÉMISSIONS DE PROTOXYDE D'AZOTE (N ₂ O) PAR LES SOLS	92
1. Les émissions de protoxyde d'azote par les sols agricoles en France	93
2. Les modèles opérationnels de mesure des émissions de protoxyde d'azote	95
B. L'ÉMISSION ET LA CONSOMMATION DE MÉTHANE (CH ₄) PAR LES SOLS	97
C. LES IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR L'AGRICULTURE	100

III. TERRITOIRES ET GAZ À EFFET DE SERRE.....	101
A. L'ÉLEVATION DU NIVEAU DE LA MER	101
1. L'élévation du niveau moyen de la mer	101
2. La nature et les caractéristiques des plages.....	102
3. La nature et l'importance de l'élévation du niveau de la mer	103
4. Les constructions destinées à protéger les plages	103
5. Les coûts financiers et politiques de résistance à la mer	104
6. Les impacts des changements climatiques sur les espaces côtiers spécifiques	107
7. Des phénomènes spécifiques liés à l'élévation du niveau de la mer.....	109
B. LES MODIFICATIONS DU CYCLE DE L'EAU	111
1. Les précipitations	111
2. La fonte des glaces.....	112
C. LE MILIEU MONTAGNARD	113
1. Les changements climatiques en montagne	113
2. La couverture neigeuse	114
D. LA FRÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS CLIMATIQUES EXTRÊMES	116
E. LA SITUATION DES DOM-TOM	117
IV. BIODIVERSITÉ ET GAZ À EFFET DE SERRE.....	118
A. LA MENACE SUR LES RESSOURCES BIOLOGIQUES.....	118
B. LES COMPOSANTES DE LA BIODIVERSITÉ.....	119
C. LA PRÉSERVATION DE LA BIODIVERSITÉ	121
1. L'écosystème marin.....	121
2. L'écosystème continental.....	123
3. Les critères de préservation d'une espèce ou d'un écosystème	124
4. Les moyens d'une action de préservation de la biodiversité.....	125
D. LES RYTHMES DE L'ADAPTATION DES ESPÈCES	127
V. GAZ À EFFET DE SERRE ET SANTÉ HUMAINE.....	130
A. LES RELATIONS ENTRE LE CLIMAT ET LA SANTÉ	130
B. L'IMPACT DU RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE SUR LA SANTÉ	133
C. LE CAS DES DÉPARTEMENTS ET TERRITOIRES D'OUTRE-MER	138
VI. LES ENJEUX GÉOPOLITIQUES DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES	138
A. L'EAU	139
B. LA DÉSERTIFICATION.....	141
1. Sécheresse et démographie	142
2. Solutions techniques et coopération	143

TROISIÈME PARTIE : LA RÉFLEXION SUR LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES	144
 CHAPITRE PREMIER : LES DONNEES DE L'ANALYSE	144
I. LA COMPLEXITÉ DU PHÉNOMÈNE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE	144
II. LES LIMITES D'UNE RÉACTION DE L'HOMME	145
A. L'HOMME PEUT RALENTIR MAIS NON ANNULER L'INTENSIFICATION DE L'EFFET DE SERRE DONT IL EST RESPONSABLE	145
1. <i>La disparition des gaz à effet de serre déjà émis est très lente</i>	<i>146</i>
2. <i>Le rythme d'une remise en cause est lent</i>	<i>147</i>
B. LA RÉDUCTION DE L'ÉMISSION DE GAZ À EFFET DE SERRE REMET EN CAUSE L'UNIQUE MODÈLE DE DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUE	147
1. <i>L'absence d'une volonté de remise en cause du modèle</i>	<i>147</i>
2. <i>Quel nouveau modèle de développement ?</i>	<i>149</i>
3. <i>S'adapter au changement climatique global</i>	<i>149</i>
III. LA MULTIPLICITÉ ET LA VARIÉTÉ DES ANALYSES	152
A. LE GROUPE INTERGOUVERNEMENTAL D'EXPERTS SUR L'ÉVOLUTION DU CLIMAT (G.I.E.C.)	152
B. LES AVIS DU CONSEIL ÉCONOMIQUE ET SOCIAL SUR L'EFFET DE SERRE	155
1. <i>Les bases de négociation du protocole de Kyoto</i>	<i>155</i>
2. <i>Les instruments de flexibilité du protocole</i>	<i>158</i>
3. <i>Le contexte énergétique général</i>	<i>159</i>
IV. L'ACCAPAREMENT DU PROBLÈME PAR DES PENSEURS SPÉCIALISÉS	161
A. LES CLIMATOLOGUES	161
B. LES AUTRES CHERCHEURS	165
1. <i>Les sciences physiques</i>	<i>165</i>
2. <i>L'adaptation aux changements climatiques</i>	<i>166</i>
3. <i>La technologie</i>	<i>166</i>
4. <i>La recherche européenne</i>	<i>166</i>
C. LES JURISTES ET LES CONFÉRENCES INTERNATIONALES	167
D. LE PROTOCOLE DE KYOTO	170
1. <i>L'ambition du protocole de Kyoto</i>	<i>170</i>
2. <i>La souplesse des engagements et des mécanismes de Kyoto</i>	<i>171</i>
E. LES ÉCONOMISTES	174
F. LA PRESSE	175

CHAPITRE SECOND : LES LIMITES DE L'ANALYSE	177
I. LES NUAGES ET LES OCÉANS DE MEURENT DES INCONNUES	177
II. LA MACHINE TERRE N'A PAS DE MODE D'EMPLOI.....	178
III. LES CHERCHEURS NE SONT PAS À MÊME DE TOUT TROUVER TOUT DE SUITE.....	178
IV. LES JURISTES NÉGOCIENT DES DATES NON NÉGOCIABLES ET VIDENT DE LEUR PORTÉE LES PRINCIPES GRÂCE À DES CLAUSES ÉCHAPPATOIRES	183
A. DES BASES FLUCTUANTES	184
B. DES PARTENAIRES INÉGAUX.....	185
V. LES ÉCONOMISTES CRÉENT UN MARCHÉ DU DROIT À L'ERREUR GARANTISSANT À LA FOIS LE FREINAGE ET LA RELANCE DES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE.....	186
A. LES PAYS DU « NORD » S'OCTROIENT DES DÉPASSEMENTS NÉGOCIÉS	187
B. LES PAYS DU « SUD » REVENDIQUENT UN DROIT À DÉPASSEMENT PERMANENT	188
VI. LA NOTION D'ALTERNANCE ET LE RYTHME DES MANDATS POLITIQUES CONDAMNENT-ILS LES PROJETS À LONG TERME À L'ABSENCE DE SOLUTIONS ?	189
 QUATRIÈME PARTIE : LES SOLUTIONS.....	 191
 CHAPITRE PREMIER : LES SOLUTIONS GLOBALES.....	 191
I. ECONOMISER L'ÉNERGIE.....	191
A. LA DEMANDE D'ÉNERGIE	191
B. LES ÉCONOMIES D'ÉNERGIE ET L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE.....	193
II. LIMITER LE RECOURS AUX ÉNERGIES FOSSILES ET À L'EAU.....	194
A. LES ÉNERGIES RENOUVELABLES	194
B. L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE	195
C. L'IRRIGATION	195
III. SÉLECTIONNER LES TECHNIQUES AGRICOLES	196
A. AGRICULTURE	196
1. la réduction des émissions de protoxyde d'azote (N_2O)	196
2. La régulation des émissions d'origine agricole	196

IV. REPENSER LES TRANSPORTS	198
A. L'AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE.....	198
B. LES SCHÉMAS DE DÉPLACEMENT.....	199
C. LA ROUTE.....	200
D. LE RAIL	200
E. LE FLUVIAL ET LE MARITIME.....	201
F. L'AÉRIEN	201
V. AMÉLIORER L'HABITAT	202
A. AMÉNAGER LE TERRITOIRE	202
B. IMPLANter LES VILLES ET LES BÂTIMENTS	203
C. CONCEVOIR LES CONSTRUCTIONS	204
D. CHAUFFER LES HABITATS.....	205
E. CLIMATISER LES LOCAUX	205
 CHAPITRE SECOND : LES ENJEUX DES SOLUTIONS	207
I. QUAND ?	207
A. 2025 OU L'AVENIR PROGRAMMÉ	207
B. 2050 OU LE CARREFOUR DES CHOIX.....	209
C. 2100 OU L'IRRÉMÉDIABLE	209
II. COMMENT ?	210
A. SOLUTIONS PARTIELLES ET RECOURS AU NUCLÉAIRE	210
B. DÉVELOPPEMENT DURABLE	211
III. POUR QUI ?	213
A. PAYS DÉVELOPPÉS ET NOUVEAUX PAYS DÉVELOPPÉS	213
B. LES EXCLUS DU FAIT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE.....	215
1. L'impact négatif des changements climatiques sur certains pays.	215
2. La difficulté d'une prévision climatique régionale	216
IV. À QUELLES CONDITIONS ?	216
A. SENSIBILISATION DE L'OPINION.....	216
B. ÉDUCATION	217

CONCLUSION.....	220
RECOMMANDATIONS GÉNÉRALES ET PRÉCONISATIONS RELATIVES À LA VIE QUOTIDIENNE.....	221
EXAMEN DU RAPPORT PAR L’OFFICE	239
LISTE DES ANNEXES	241
ANNEXE 1 – SAISINES	242
ANNEXE 2 - LISTE DES PERSONNES AUDITIONNEES	243
ANNEXE 3 - RAPPORTS CONNEXES FIGURANT DANS LE CD-ROM N° 1 SUR LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES	250
ANNEXE 4 - LISTE DES COLLOQUES ET CONFÉRENCES LIÉS AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES AUXQUELS LE RAPPORTEUR A ASSISTÉ.....	252
ANNEXE 5 - CHRONOLOGIE DE L’ÉVOLUTION DES CONNAISSANCES SUR LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES	254
ANNEXE 6 – ENGAGEMENT DE L’UNION EUROPEENNE ET DE SES ETATS - MEMBRES RELATIF A LA REDUCTION DES EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE	256
ANNEXE 7 - GLOSSAIRE ♦	257
ANNEXE 8 - SYMBOLES CHIMIQUES	260
ANNEXE 9 - SIGLES	261
ANNEXE 10 - BIBLIOGRAPHIE.....	263
ANNEXE 11 - QUELQUES SITES INTERNET CONTENANT DES INFORMATIONS SUR LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES	275

AVERTISSEMENT :

POURQUOI UN DOUBLE CD-ROM ?

Le présent rapport, soixante-dixième rapport de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (OPECST) a été édité à la fois sur le support traditionnel papier et sur **support numérique (CD-Rom)**. Il s'agit là d'une première.

Votre Rapporteur tient tout spécialement à remercier ici M. Henri REVOL, Sénateur de la Côte-d'Or, Président de l'OPECST, au moment où cette idée novatrice a vu le jour. Il a su en saisir l'intérêt et, loin d'être effrayé par sa nouveauté, lui accorder l'attention et les crédits qu'elle méritait.

L'édition sur CD-Rom du rapport sur les changements climatiques permet de donner au lecteur accès, non seulement, bien sûr, au **présent rapport de l'OPECST**, mais également à plusieurs des rapports qui ont constitué les lectures privilégiées de votre Rapporteur, comme, par exemple, **cinq rapports de l'Académie des Sciences, cinq rapports de la Mission interministérielle de l'effet de serre (M.I.E.S.), le résumé pour les décideurs du rapport 2001 du G.I.E.C., des rapports du Sénat, du Conseil Economique et Social, la brochure de RAC-France «SOS Climat** ». En outre, il a été possible de rendre plus vivante cette étude en y associant quelques **séquences vidéo conçues par le C.N.E.S.**

Le présent rapport, qui comprend également **les auditions** réalisées par votre Rapporteur de novembre 1999 à octobre 2001, a été conçu comme **un forum de connaissances**, un lieu d'interconnexion entre diverses données ; il constitue un espace de dialogue bien plus que le soutien académique d'une thèse ou la présentation d'une démonstration.

Ce rapport, assorti de plus d'**une centaine de recommandations** d'ordre général et d'**une trentaine de préconisations concrètes relatives à la vie quotidienne**, ambitionne de **permettre au lecteur de prendre position sur les changements climatiques**, non pas exclusivement d'un point de vue théorique ou général, mais aussi à travers des gestes très concrets de la vie quotidienne contribuant à réduire les émissions de gaz à effet de serre.

Le choix de ce procédé de diffusion originale d'un rapport de l'Office n'a pas été dicté par un souci de mode, mais par une constatation : plus que la seule compréhension de la complexité du phénomène de l'intensification de l'effet de serre, c'est **la sensibilisation d'un public élargi** qui doit constituer l'impact prioritaire de la présente étude.

REMERCIEMENTS

Votre Rapporteur tient particulièrement à remercier :

- ♦ **M. Jacques OUDIN**, Sénateur de la Vendée, à l'origine de la saisine initiale de l'OPECST par la commission des Finances sur le thème du cycle de l'eau,

- ♦ **MM. Henri REVOL et Jean-Yves LE DÉAUT**, Présidents successifs de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques au cours de la rédaction de ce rapport,

- ♦ les membres du groupe de travail constitué auprès du Rapporteur :

- **M. le Professeur Jean-Pierre BESANCENOT**, Directeur de Recherche au C.N.R.S., Laboratoire Climat et santé,

- **M. Daniel CARIOLLE**, Directeur de la Recherche de Météo France,

- **M. Denis COUVET**, Centre de Recherches sur la Biologie des Populations d'Oiseaux (C.R.B.P.O), Museum national d'histoire naturelle,

- **M. Ghislain GOSSE**, Directeur de Recherche à l'Institut National de Recherche Agronomique,

- **M. Robert KANDEL**, Directeur de Recherche au C.N.R.S. (Laboratoire de Météorologie Dynamique),

- **M. René LERAY**, Direction Générale des relations extérieures de la Commission européenne,

- **M. Jean-François MINSTER**, Président de l'IFREMER,

- **M. Olivier NOLIN**, auteur multimédia,

- **M. Michel PETIT**, membre du G.I.E.C.

♦ les personnalités, institutions ou organismes qui ont autorisé l'insertion de certains documents écrits ou audiovisuels dans le CD-Rom, et notamment :

- **M. Yves COCHET**, parlementaire en mission, puis ministre de l'Environnement, pour son rapport sur l'efficacité énergétique,

- **M. Gérard BRACHET**, Directeur général du C.N.E.S.,

- **le Conseil économique et social**,

- **M. Hubert CURIEN**, Président de l'Académie des Sciences et **M. Jean-Mars BOCABEILLE**, Directeur Editorial des Editions TEC & DOC,

- **M. Serge LEPELTIER**, Sénateur du Cher, qui a accepté d'ouvrir ses auditions lors de l'élaboration de son rapport « *Maîtriser les émissions de gaz à effet de serre : quels instruments économiques ?* »,

- **M. Michel MOUSEL**, Président de la Mission interministérielle de l'effet de serre (M.I.E.S.),

- **M. Grégoire POSTEL-VINAY**, Ministère de l'Industrie,

- **RAC-France**,

- **M. Pierre RADANNE**, Président de l'ADEME,

- **le Professeur Pierre ROGNON** (spécialiste des climats arides),

♦ **l'ensemble des personnes entendues**, en particulier celles qui ont bien voulu apporter un concours au-delà de leur audition :

- l'Ambassadeur de France en Israël,

Son Excellence **M. Jacques HUNTZINGER**,

- **Mme Monique RIVIER**, Attachée scientifique,

- **M. Nicolas SANTO**, Attaché scientifique adjoint,

- l'Ambassadeur de France aux Pays-Bas,

Son Excellence **Mme Anne GAZEAU-SECRET**,

- **M. Dominique PLADYS**, Attaché scientifique,

- **M. Simon BERKOWICZ** (spécialiste des écosystèmes arides)
- **M. André BIRÓ** (architecte, urbaniste, Grand Prix international d'Architecture et d'Urbanisme),
- **M. Jean-Paul JANCOVICI** (consultant),
- **Mme Nicole PETITMAIRE** (paléoclimatologue),

♦ et, pour la réalisation du CD-Rom, plus particulièrement :

- **M. Olivier NOLIN**, membre du groupe de travail,
- **M. Olivier BLEYS**, concepteur multimédia,
- l'équipe de la **Société I3M**, notamment **M. François CHARRAUDEAU**, chef de projet.

INTRODUCTION

L'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (OPECST) a d'abord été saisi par la Commission des Finances du Sénat d'une étude sur **le cycle de l'eau**.

Au cours des travaux conduisant à la réalisation de l'étude de faisabilité, votre Rapporteur s'est aperçu que l'étude du cycle de l'eau risquait de manquer de pertinence s'il était fait abstraction des autres grands cycles naturels, à savoir ceux de l'azote et du carbone. Cela conduisait à s'intéresser très directement à l'aspect que ne cesse de peindre une actualité toujours plus importante au fil des mois, à savoir l'intensification de l'effet de serre, soit, plus globalement, **aux changements climatiques** qui pourraient en résulter.

Après avoir pris contact avec le Sénateur à l'origine de la saisine de l'OPECST par la Commission des Finances, M. Jacques OUDIN, il est apparu que le souci premier de celui-ci portait sur les conséquences que pourrait avoir la montée du niveau des océans sur les zones littorales et, *a fortiori*, sur les îles. Cela correspondait donc parfaitement à l'une des conséquences redoutées des changements climatiques qui pourrait consister, selon de nombreuses études et d'après les observations portant sur les dernières décennies, en une élévation non négligeable du niveau des océans.

Dans le même temps, votre Rapporteur a porté la plus grande attention aux propositions de sujets d'étude émanant du Conseil scientifique de l'Office, qui avait d'ailleurs procédé à un classement des priorités relatives de ces études à l'occasion d'une réunion de l'Office. La préoccupation relative à l'étude des changements climatiques revenait à plusieurs reprises et avait été classée parmi les sujets essentiels à traiter.

C'est pourquoi, à la suite de l'étude de faisabilité, **une demande du Bureau du Sénat, bientôt rejointe par le Bureau de l'Assemblée nationale, a défini le sujet du présent rapport :**

« L'ampleur des changements climatiques, de leurs causes et de leur impact sur la géographie de la France aux horizons 2025, 2050 et 2100 ».

L'intitulé même de ce sujet appelle quelques brèves remarques : tout d'abord, il est question **des changements climatiques**, et non de l'effet de serre, pas même de l'intensification de celui-ci. En effet, malgré le caractère reçu d'idées couramment répandues dans l'opinion, l'Office devait se garder

d'annoncer dans l'énoncé même de son thème d'étude les conclusions éventuelles de celle-ci. Pour lui, la question suivante : « l'intensification de l'effet de serre, résultant de l'augmentation de certains gaz dans l'atmosphère, entraîne-t-elle ou non des changements climatiques ? », suppose, bien évidemment, d'avoir répondu à une question préalable sur l'apparition ou non de changements climatiques au cours des dernières années et sur l'existence éventuelle de ce phénomène ou la prolongation de cette tendance actuellement et dans les années à venir.

L'appréciation des **impacts** de ces supposés changements est essentielle, puisque ce n'est qu'à partir d'un certain seuil d'importance des modifications observées qu'il sera opportun ou impérieux de s'intéresser aux changements climatiques.

La limitation apparente du sujet à **la France** ne résulte pas d'une méconnaissance du fait que l'intensification de l'effet de serre, comme l'effet de serre lui-même, sont des phénomènes planétaires ; de plus, la France, comprenant les territoires et les départements d'outre-mer, se trouve située sous des latitudes et des climats tellement différents que l'aspect planétaire des changements climatiques est immanquablement pris en compte de ce fait là également. La limitation des investigations de cet énoncé consiste seulement à s'intéresser prioritairement aux causes et impacts liés directement aux politiques agricole, énergétique, industrielle ou de transport françaises, et à étudier leurs effets sur le territoire, sur la biodiversité, sur les activités, voire sur les personnes agissant et vivant en France.

Les trois horizons retenus, 2025, 2050 et 2100, peuvent susciter certaines interrogations. Ils témoignent surtout du fait que ces changements climatiques, s'ils interviennent, auront des effets variables dans le temps et ne sauraient recevoir de remèdes immédiats du fait, par exemple, de la présence dans l'atmosphère de certains gaz à effet de serre durant plusieurs dizaines, centaines ou milliers d'années.

De plus, ces trois horizons conduisent à s'interroger de manière différente sur la nécessité, l'impact et les difficultés de mise en œuvre des diverses politiques, éventuellement imaginées pour prévenir et/ou réparer les conséquences des changements climatiques.

Presque toujours, à l'énoncé du thème de son rapport, votre Rapporteur a observé de la part des nombreuses personnalités entendues des réactions d'étonnement : comment peut-on réfléchir à l'horizon 2100 ? En réalité, après un bref échange, la plupart des interlocuteurs reconnaissent qu'eux-mêmes prennent souvent des décisions dont ils espèrent bien que les impacts atteignent une telle échéance.

Par exemple, un élu local décidant de l'implantation d'un équipement public - une école, un hôpital, un stade... - ou d'une infrastructure - une route,

un pont... - espère bien, implicitement mais sans en douter que ces constructions seront encore en place dans sa collectivité territoriale en 2100, même si cette aspiration n'est pas explicitement mentionnée.

A l'inverse, trop souvent, si l'on considère les mesures réglementaires actuellement prises en France concernant notamment les zones constructibles, force est de constater qu'il n'est pas rare de trouver de nouveaux projets dans des zones considérées comme inconstructibles ou difficilement constructibles, par exemple des zones inondables, alors même que ces constructions et leurs occupants risquent de se trouver menacés par un événement climatique extrême.

Dès lors, beaucoup de catastrophes naturelles frappent un pourcentage non négligeable d'édifices qui n'auraient pas dû être construits ou qui auraient dû l'être différemment.

De là émerge une interrogation qui va sous-tendre tout le corps du présent rapport : **si le changement climatique est avéré et si ses conséquences semblent atteindre un certain seuil, la lutte contre l'intensification de l'effet de serre pourrait devenir une priorité à laquelle il faudrait subordonner d'importantes décisions politiques comme des agissements privés très diversifiés.**

C'est ce qui a conduit votre Rapporteur à ne pas se limiter à une approche climatologique du sujet mais, puisqu'il lui était demandé d'étudier les impacts de changements climatiques sur **la géographie** de la France, la cohérence de la démarche imposait de s'intéresser tout autant à la géographie physique qu'à la géographie humaine, économique, voire politique. Dès lors, **des thèmes aussi divers que l'évolution démographique, la politique énergétique, les transports, l'urbanisme, l'habitat, la santé ne pouvaient être écartés de l'étude**, car s'il est évident que les émissions d'un gaz à effet de serre à durée de vie non éphémère concernent l'ensemble de la composition de l'atmosphère, indépendamment de la localisation même du lieu d'émission, il est tout aussi certain que les données résultant de l'évolution de la démographie au cours du siècle qui vient de commencer, comme le recours systématique aux énergies fossiles, comme enfin des modes de vie uniformisés impliquant des moyens de transports accrus, imposent de prendre en compte l'ensemble de ces paramètres pour pouvoir émettre un avis sur les changements climatiques.

De même que les modèles numériques destinés à modéliser le climat s'attachent à incorporer un nombre toujours plus grand de paramètres, de même, la sophistication extrême de ces modèles serait dépourvue de sens si, lorsqu'ils intègrent l'évolution des émissions de gaz à effet de serre, des données aussi fondamentales et chargées de conséquences que la démographie, les transports ou les politiques industrielles menées à partir de telle ou telle source d'énergie venaient à être négligées.

L'avantage des rapports de l'OPECST, par comparaison avec les rapports parlementaires liés à un projet ou à une proposition de loi ou même à ceux résultant des travaux d'une commission d'enquête ou d'une mission d'information, est de disposer d'une durée permettant d'étudier à fond, dans la sérénité, un thème aux retombées scientifiques ou technologiques complexes afin de pouvoir sensibiliser les parlementaires sur des questions techniques ardues, et souvent à long terme, avant que ne vienne en discussion un texte de loi qui risquerait de ne pas atteindre sa pleine efficacité si tous les paramètres n'étaient pris en compte.

La présente étude illustre particulièrement ce phénomène, puisque tant son ampleur que ses horizons constituent comme un défi. En débutant celle-ci, il n'était pas évident qu'elle puisse déboucher sur des certitudes ou des préconisations concrètes, mais, pour autant, la nécessité de mener cette investigation n'a fait naître aucun doute.

Depuis plusieurs mois, votre Rapporteur note avec intérêt qu'entre le moment où il a été chargé de cette étude et la période actuelle, **le thème de l'effet de serre et de son intensification a été largement repris par la presse écrite ou audiovisuelle hebdomadaire et quotidienne, par les revues et par de nombreux colloques, des conférences, des expositions ou des émissions de télévision.** De ce fait, aurait-il été envisageable de renoncer à la présente étude en alléguant que la compréhension de ce phénomène est maintenant approfondie, que ses effets sont connus et que les remèdes sont identifiés et désirés ? Cela eût semblé hâtif à bien des égards.

En effet, ce n'est pas parce que, bientôt, tout un chacun aura son avis sur « l'effet de serre » que l'Office parlementaire ne doit pas essayer d'en cerner toutes les composantes et de tirer des conclusions sur les implications de ce phénomène.

Bien au contraire, il importe de s'efforcer de l'étudier à partir des **innombrables travaux scientifiques** menés au cours des dernières années, de voir dans quelle mesure ceux-ci donnent des explications considérées unanimement comme exactes des phénomènes, de se demander si des solutions existent et de voir si ce thème de recherche peut ou non être isolé, déconnecté d'autres réalités.

Pour s'en tenir à la communauté scientifique, **l'étude du climat suppose l'étude du climat passé, objet de la paléoclimatologie, l'élaboration de modèles climatiques globaux et l'appréciation des limites des simulations climatiques.**

Ce premier stade franchi, se pose tout de suite **la question des sources d'énergie utilisées par l'homme**, les énergies fossiles dégageant des gaz à effet de serre puis celle de la destination des différentes utilisations de

l'énergie, si l'on admet que l'homme peut avoir, de ce fait, une action sur le climat.

Trois questions émergent : peut-on prévenir les risques liés aux changements climatiques ? Est-il possible de s'y adapter ? Comment en réparer les effets ?

Dès lors, rapidement, le débat se déplace de la scène nationale à la scène internationale, aux politiques publiques ou aux stratégies privées et même aux comportements individuels, tous ces éléments ayant des répercussions mondiales par le canal des gaz à effet de serre.

Il a beaucoup été question, au cours de ces dernières années, de **négociations internationales** ayant débouché sur des conventions permettant de mener, tous pays confondus, une lutte contre l'intensification de l'effet de serre, contre les impacts négatifs de celle-ci.

Au-delà des réserves résultant de la portée plus ou moins limitée des accords négociés, de la difficulté de mettre ceux-ci en œuvre, il n'a jamais fallu attendre très longtemps entre deux accords pour que des remises en cause des positions longuement et difficilement négociées interviennent.

Même si la question des changements climatiques apparaît d'abord comme un débat d'une grande complexité scientifique, est-il possible d'attendre de **la communauté scientifique** des réponses à toutes les questions posées, alors que l'essentiel des choix est de nature économique et politique ? En effet, le scientifique peut décrire le phénomène de l'effet de serre, en expliquer les ressorts, en quantifier l'intensification, mais il ne peut décider de la nature de l'énergie à utiliser par les sociétés humaines. De même, il reste impuissant face aux réalités de l'évolution démographique.

Il s'agit donc, à ce stade, et même si les réponses apportées par le monde scientifique suscitent parfois autant d'interrogations qu'elles génèrent de certitudes, de permettre aux **décideurs**, hommes politiques ou chefs d'entreprise, de choisir d'influer ou non sur le phénomène d'intensification de l'effet de serre.

Il est à noter que, tout au long de cette étude, il sera essentiellement question de **l'intensification de l'effet de serre**, passée la phase de description de l'effet de serre lui-même.

Dès à présent, votre Rapporteur se doit d'insister particulièrement sur cet aspect, dans la mesure où, très fréquemment, y compris dans des cercles bien informés, **l'effet de serre est totalement confondu avec l'intensification de celui-ci**, également évoquée sous le nom d'**effet de serre additionnel**.

Pourquoi cette distinction est-elle primordiale ? Simplement parce que, sans l'existence de l'effet de serre, le climat de la Terre serait plus froid en moyenne d'environ une trentaine de degrés : **le réchauffement associé à l'effet de serre est un bien nécessaire à la vie et non un mal en soi**. En outre, la vie peut s'accommoder fort bien (comme elle l'a fait, non sans quelques difficultés pour les espèces adaptées au froid, à la fin de la dernière période glaciaire) de l'intensification de l'effet de serre sur des échelles de temps de quelques millénaires. En revanche, **l'intensification rapide de l'effet de serre entraînant un réchauffement important en quelques décennies, pourrait soulever de très grandes difficultés pour certains écosystèmes et rendre la vie sur la Terre plus difficile**.

Pour mieux appréhender ce phénomène et pour donner un prolongement aux études scientifiques entreprises, au premier rang desquelles les différents rapports de l'Académie des Sciences doivent être cités, le gouvernement français a décidé de participer au **GIEC (Groupe Intergouvernemental d'experts sur l'Evolution du Climat -IPCC en anglais)**, créé en 1988 sous l'égide de l'O.N.U. et de l'Organisation Météorologique Mondiale (O.M.M.), ou encore de créer, en 1992, la **MIES (Mission Interministérielle sur l'Effet de Serre)**, pour coordonner l'action et la réflexion gouvernementale sur ce thème. Parallèlement, divers groupes d'experts travaillent à cette question dans différents ministères ou organismes publics et, à l'échelon international, des experts français ont été désignés pour suivre les travaux du GIEC.

Votre Rapporteur se doit d'insister également sur un aspect spécifique du présent rapport, dont **beaucoup de préoccupations doivent s'inscrire dans la durée : durée dans le passé** en bénéficiant des efforts de ceux qui ont eu la force et la patience de pousser aussi loin que possible les recherches paléoclimatologiques : récolte et étude des fossiles, analyse des carottes glaciaires ou des pollens ; **durée au niveau international**, où les travaux lancés en 1988 à travers le GIEC ont abouti en octobre 2001 à un troisième rapport ; **durée dans le futur avec des projections fondées sur les travaux de modélisation du climat** - à ne pas confondre avec les tentatives de prévisions saisonnières, et encore moins avec les prévisions météorologiques à courte ou moyenne échéance. Les recherches menées dans tous les grands pays du monde nécessitent encore de nombreuses mises au point, notamment si l'on considère la difficulté de faire entrer dans ces modèles les caractères de variabilité liés à la complexité des nuages, comme des océans ; c'est pourquoi les chercheurs à l'œuvre dans les divers organismes et centres de recherche constatent qu'il leur faudra encore plusieurs années avant de pouvoir présenter des conclusions à la hauteur des interrogations émises.

Pourtant, alors même qu'aucune certitude définitive ne semble près d'être établie, des décisions à prendre influenceront sur le climat. Faut-il dès lors s'en remettre, comme certains le préconisent, aux conclusions des modèles de simulation des climats, plutôt inquiétantes, ou se contenter de regarder en

estimant que la nature, à travers notamment les océans ou d'autres puits de carbone ♦ suffira à absorber indéfiniment les excédents de gaz carbonique émis par l'homme, ou bien enfin faut-il tenter de tracer quelques pistes, même en l'absence de solution miracle ?

Compte tenu de l'ampleur et de la diversité du sujet, votre Rapporteur a souhaité, pour mener à bien son étude, procéder à de **nombreuses auditions** de personnes d'horizons variés et, également, avoir quelques **entretiens avec des chercheurs et visiter des réalisations à l'étranger**.

C'est ainsi qu'il a été conduit à mener, à Paris, près de **soixante-dix auditions** et à effectuer **deux déplacements à l'étranger** permettant chacun environ une vingtaine d'auditions, sans compter des observations *in situ*.

Un déplacement fut effectué en **Israël** en mai 2000, au moment même où se tenait à Haïfa un colloque sur le changement climatique (1); ce déplacement a également permis d'observer des cultures expérimentales faiblement irriguées dans le désert du Néguev. Par ailleurs, un déplacement aux **Pays-Bas** en novembre 2000, notamment sur la grande digue se trouvant dans l'estuaire de l'Escaut, édifiée à la suite des dramatiques inondations de 1953, a permis de réfléchir à la nécessité de lutter, soit de manière frontale soit, au contraire, d'une manière souple, face à la montée des eaux, en fonction du rythme de celle-ci et des caractéristiques géographiques locales.

Enfin, un déplacement à Toulouse, en octobre 2001, a permis la visite du **Centre de recherche de Météo France**.

Votre Rapporteur a également assisté à de **nombreux colloques**, dont la fréquence s'est intensifiée au cours des mois, ou s'est procuré les actes de ceux-ci.

Même si certains recoupements sont vite opérés du fait de la similitude d'intervenants d'un colloque à l'autre, il est également étonnant d'observer que le thème des causes de l'ampleur et de l'impact des changements climatiques peut être décliné de multiples manières sans qu'interviennent de trop nombreuses répétitions.

Toutefois, une réserve peut être émise sur cette manière de procéder, étant indiqué que beaucoup de colloques ont recours aux mêmes intervenants, ce qui finit par produire **un effet de confirmation des opinions émises** généré davantage par la présence répétée d'intervenants identiques dans les divers colloques que par la similitude des conclusions auxquelles aboutiraient, par des voies différentes, des chercheurs d'horizons très divers.

(1) « *La Méditerranée : culture, environnement et société* ». Université de Haïfa, 22-24 mai 2000.

Cette considération conduira votre Rapporteur à émettre une préconisation pour remédier partiellement à cet état de fait en **suggérant la création d'un nouveau genre de lieu de dialogue**, au lieu de répéter à l'infini une recette éprouvée, mais aussi éprouvante, consistant à multiplier en des lieux différents des colloques trop denses ne donnant lieu qu'à des interventions schématiques suivies d'échanges d'un caractère extrêmement limité.

*

Comme il est de règle pour l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, le Rapporteur a toute latitude pour proposer la constitution d'**un groupe de travail** d'environ une dizaine de personnes pour lui permettre d'accélérer sa vitesse d'assimilation de données dans des domaines techniques nouveaux pour lui et d'une complexité non négligeable et dialoguer avec ce groupe de spécialistes de haut niveau.

En l'occurrence, vu l'ampleur du champ d'investigation décrit ci-dessus, votre Rapporteur a souhaité obtenir la collaboration de **M. le Professeur Jean-Pierre BESANCENOT** du Laboratoire Climat et Santé de la Faculté de Médecine de Dijon, **M. Daniel CARIOLLE**, Directeur de la Recherche de Météo France, **M. Denis COUVET** du Muséum national d'histoire naturelle, **M. Ghislain GOSSE** de l'INRA, **M. Robert KANDEL**, Directeur de recherche au CNRS (Laboratoire de météorologie dynamique à l'Ecole Polytechnique), **M. René LERAY**, de la Direction des relations extérieures de la Commission européenne, **M. Jean-François MINSTER**, devenu Président de l'IFREMER, **M. Olivier NOLIN**, auteur audiovisuel et **M. Michel PETIT**, Directeur général adjoint de la Recherche de l'Ecole Polytechnique au moment des débuts des travaux du groupe et membre français du G.I.E.C.

Par la diversité et la qualité de ces intervenants, qu'il tient à remercier chaleureusement ici, votre Rapporteur souhaitait garder à l'esprit, tout au long de ses travaux, la complexité du sujet, et confronter à échéance régulière, soit environ tous les deux mois, les points de vue de ces différentes personnes sur certaines questions, leur soumettre l'évolution de ses investigations et réfléchir avec elles à la portée et à la nature des préconisations qui pourraient résulter du rapport de l'Office.

*

Par ailleurs, il est assez vite apparu à votre Rapporteur qu'un des problèmes majeurs liés aux recherches sur l'intensification de l'effet de serre consistait en la difficulté de **faire partager à l'opinion publique les données de base sur un problème aussi complexe**.


D'où l'idée de toucher un plus large public qu'à l'accoutumée avec le présent rapport de l'Office sur les changements climatiques, **grâce à l'élaboration et à la diffusion d'un Cd-Rom** incluant non seulement **la présente étude**, mais également et peut-être, surtout, **les principaux rapports faisant autorité en la matière** et ayant servi de matériaux à l'élaboration de celui-ci. De même, ont été incluses, dans ce Cd-Rom, **des séquences vidéo** afin de rendre l'approche de ce document plus attrayante, compte tenu notamment du fait que deux publics prioritaires ont été visés par ce nouveau support, à savoir **les décideurs politiques**, y compris nationaux, régionaux, départementaux et locaux, et **les jeunes lycéens**.


En outre, pour améliorer la diffusion des rapports de l'Office parlementaire seront également consultables dans un second Cd-Rom, **les soixante-cinq rapports ayant été élaborés par l'OPECST depuis sa création, soit de 1984 à 2001**. Certains de ces rapports ont d'ailleurs concerné de près ou d'un peu plus loin les changements climatiques ou la manière de se prémunir contre ceux-ci. Il y sera donc fait référence sans qu'il soit besoin de les citer longuement, le lecteur pouvant avoir accès, en quelques secondes, au texte original.


*

Lors de la consultation du présent rapport grâce au Cd-rom, quatre icônes peuvent être activées :

☐ pour accéder aux **séquences vidéo** ;

 pour lire le texte intégral d' **une audition** ;

 pour prendre connaissance d' **un rapport** ou d' **un article de référence** lié aux changements climatiques ;

 pour obtenir la définition d'un mot ou le sens d'une expression en accédant au **glossaire**.

PREMIERE PARTIE : CLIMATOLOGIE

Présentation de la première partie par le sénateur Marcel DENEUX □

CHAPITRE PREMIER : LE CLIMAT

Le mot climat -employé par chacun d'entre nous- n'évoque pas spontanément sa signification grecque : **l'inclinaison**.

Il s'agit de l'inclinaison des rayons du Soleil par rapport à la surface de la Terre.

Selon la latitude, cette inclinaison varie régulièrement avec les heures de la journée et les jours de l'année, déterminant ainsi le cycle des saisons. Cependant, ces cycles diurnes et annuels connaissent de faibles modifications, d'origine astronomiques, au cours des millénaires.

La chaleur et la présence de l'eau sont directement influencées par l'ensoleillement et **les conditions mêmes de la vie sur Terre** en résultent.

Sur le vaisseau spatial Terre, l'homme n'est pas à même de régler la climatisation, mais en la dérégulant il risque d'y perturber la vie.

I. LE CLIMAT EST PLANÉTAIRE

La composition (1) de l'atmosphère de la Terre est unique dans tout le système solaire (78 % d'azote, 21 % d'oxygène, 0,9 % d'argon, 0,03 % de gaz carbonique, quant au méthane, à l'ozone, à la vapeur d'eau, à l'oxyde d'azote, aux divers aérosols, ils sont présents seulement sous forme de traces). Elle permet la vie des hommes, des animaux et des végétaux. **La Terre est la seule planète à posséder à sa surface l'eau à l'état liquide.**

Sa distance par rapport au Soleil –147 millions de kilomètres– lui permet d'éviter la surchauffe à laquelle **Vénus** est soumise avec ses 460° C de

(1) *Composition de l'atmosphère au niveau de la mer*

température minimale, de jour comme de nuit, et son atmosphère composée à 96 % de dioxyde de carbone (0,03 % dans l'atmosphère terrestre).

La planète Mars, de soixante millions de kilomètres plus éloignée du Soleil que la Terre, connaît des températures d'été passant de -100°C à 0°C au cours de la journée. L'existence de l'eau sous forme liquide à l'époque actuelle n'y est pas démontrée.

Le rayonnement du Soleil constitue –à 99,97 %- l'unique source de chaleur de la Terre, répartie selon l'inclinaison des rayons solaires. Cependant, seul le rayonnement non réfléchi vers l'espace, principalement par l'atmosphère et les nuages, est converti en chaleur. De même, et plus encore, l'atmosphère et les nuages interviennent pour contrôler le rayonnement infra-rouge par lequel la planète évacue cette chaleur d'origine solaire vers l'espace.

L'atmosphère qui entoure la Terre, mince couche d'une vingtaine de kilomètres d'épaisseur environ, constitue **un régulateur essentiel du climat**.

Toujours brassée par les vents, la composition de l'atmosphère en un lieu donné a bientôt des répercussions mondiales à travers l'homogénéisation qui intervient.

Cela a une conséquence immédiate sur le sujet de la présente étude : **toute émission locale de gaz à effet de serre augmente la teneur mondiale de l'atmosphère en tel ou tel gaz émis**.

Comment le mélange de l'atmosphère s'opère-t-il ? Essentiellement grâce à deux grands mouvements : la circulation atmosphérique et la circulation océanique.

A. LA CIRCULATION ATMOSPHÉRIQUE

Elle réalise pour moitié environ l'équilibre thermique de la planète en répartissant les masses d'air de l'atmosphère.

Partant de l'équateur, les masses d'air chaud -plus légères- s'élèvent et se séparent en deux pour se diriger vers chaque pôle.

Au dessus des régions subtropicales, l'air, devenu plus froid, redescend vers le sol et se dirige vers l'équateur. Il existe ainsi deux grandes boucles recouvrant chacune environ la moitié d'un hémisphère.

Sous l'action de la force de Coriolis \diamond , les mouvements de l'air vers l'équateur sont déviés à droite dans l'hémisphère nord et à gauche dans l'hémisphère sud, formant les alizés \diamond , qui se chargent d'humidité au-dessus des eaux tropicales, et produisant de gigantesques cumulo-nimbus déversant des

pluies diluviennes de part et d'autre de l'équateur sur les forêts tropicales d'Amazonie, d'Afrique et d'Indonésie.

Au delà de ces deux zones de grandes pluies, se trouvent les grands déserts du Mexique, du Sahara (hémisphère nord) et ceux du Chili, de Namibie et d'Australie (hémisphère sud).

B. LA CIRCULATION OCÉANIQUE

Comme l'air, l'eau contribue au transport de l'excédent de température des latitudes tropicales jusqu'aux latitudes polaires.

Ces mouvements de courants chauds et froids de surface durent quelques dizaines, voire près d'une centaine d'années, tandis que, le mouvement des courants froids de profondeur –dit aussi circulation thermohaline ♦, allant de l'atlantique Nord au centre du Pacifique, prend plusieurs centaines voire quelques milliers d'années.

La circulation atmosphérique et la circulation océanique contribuent, à hauteur d'environ la moitié chacune, au brassage de l'atmosphère. Mais, compte tenu de la différence de rythme des deux circulations, **l'océan**, qui stocke environ mille fois plus d'énergie que l'atmosphère, **tempère les variations saisonnières du climat.**

Du caractère planétaire du climat découle une conséquence : **le seul moyen de bien comprendre un mécanisme climatique est d'observer toute la Terre (1).**

II. LA VARIABILITÉ DU CLIMAT

Au cours des différentes auditions, et surtout, au cours de ses diverses lectures, votre Rapporteur a noté que **la situation climatique actuelle était généralement considérée comme la situation climatique normale. Or, depuis les 4,6 milliards d'années que la planète Terre existe, le climat n'a cessé de varier à sa surface et ce, souvent, dans des proportions très larges.** Toute l'histoire du climat décrit l'amplitude de ces variations et leurs caractéristiques, et une immense partie de cette histoire nous est encore totalement inconnue.

L'essentiel des connaissances précises sur les climats du passé résulte de fouilles archéologiques et d'analyses de carottes glaciaires. Ces deux efforts conjugués ont permis de remonter jusqu'à 420.000 années avant notre

(1) Ce qui est le cas du programme mondial « climate variability » (CLIVAR).

époque, ce qui signifie que **n'est actuellement connu assez précisément qu'un dix millième de l'histoire climatique de la Terre**, et cela doit inciter à une très grande modestie dans l'analyse et les affirmations qui pourraient être tirées de ces analyses comme dans les tentatives de modélisation d'une évolution logique du climat.

Les recoupements opérés entre les analyses archéologiques et celles des carottes glaciaires effectuées essentiellement, pour les premières, par Mme Nicole PETITMAIRE et par M. Claude LORIUS (1) pour les glaces, permettent de montrer que **de grands changements peuvent être constatés à la suite de variations climatiques moyennes n'excédant sans doute pas 5° d'amplitude thermique.**

Pour cette raison, le rapprochement de ces données avec les études actuellement menées par les divers scientifiques rassemblés au sein du GIEC, qui annoncent que la variation moyenne de température envisagée pour le XXI^{ème} siècle sera de + 1 ° à + 3 ° ou de + 2 ° à + 4 ° (2^{ème} rapport du GIEC) ou encore de + 1,4° à + 5,8° C (3^{ème} rapport du GIEC), malgré sa faiblesse apparente, ne constitue pas une variation anodine.

D'autant qu'en matière de climat, les moments de déclenchement des effets de seuil sont assez largement inconnus en l'état actuel de la science. Pour s'en tenir à un seul exemple lié à **la circulation océanique**, une augmentation de température de 4 ° dans la région du Labrador ne constituerait pas une catastrophe écologique en soi, peut-être même bien au contraire, mais si cette augmentation de température avait pour effet d'interrompre la plongée des eaux de l'océan à cet endroit, donc l'enfouissement du gaz carbonique qui en résulte et, surtout, de provoquer l'interruption de la dérive de l'Atlantique nord qui, avec le *Gulf Stream*, donne à l'Europe un climat tempéré, alors il faudrait réellement s'alarmer d'une telle hausse de température.

Même si l'homme refuse de prendre spontanément en considération les désagréments qui pourraient résulter d'un changement climatique, il est évident que dans le passé l'homme a dû, plusieurs fois, malgré lui, affronter des changements climatiques d'ampleur importante. Il en serait évidemment de même en cas de nouvelles variations du climat et les moyens techniques aujourd'hui disponibles ne seraient peut-être pas décisifs pour annuler ou atténuer les conséquences néfastes d'un tel changement. La différence par rapport aux périodes passées consisterait en la responsabilité de l'homme, au moins partielle, dans les changements climatiques actuellement observés. Au cours des périodes antérieures, l'homme n'avait d'autres choix que de s'adapter au climat, modifié par la fatalité. **Aujourd'hui et à l'avenir, les changements climatiques pourraient peut-être émaner de l'action même**

(1) « Glaces de l'Antarctique. Une mémoire, des passions ». Points. Editions Odile Jacob – 304 p.

de l'homme sans pour autant que l'homme soit à même de corriger les effets des changements qu'il aurait provoqués.

En effet, l'émission de vapeur d'eau, de gaz carbonique, de méthane et d'autres gaz à effet de serre peut être plus ou moins limitée par l'intervention de l'homme ; en revanche, comment l'homme pourrait-il organiser l'absorption de ces gaz pour annihiler leurs effets une fois que ceux-ci se trouvent libérés dans l'atmosphère ?

S'en remettre à la nature n'est pas davantage une solution à préconiser dans la mesure où les différents gaz à effet de serre ont des durées de vie fort variables et loin d'être négligeables.

Il ressort de ces considérations que **la variabilité du climat, du fait ou non de l'homme, restera une donnée à laquelle il conviendra de s'adapter**. Il ne reste qu'à étudier, selon les types de variations, selon leurs causes et selon les régions du monde, les marges de manœuvre laissées à l'homme pour s'adapter et il est à craindre que celles-ci soient d'autant plus réduites que le rôle de l'homme dans l'émission de gaz à effet de serre aura été important.

III. LA COMPLEXITÉ DU CLIMAT

Trois grands cycles influent principalement sur le climat. Le cycle de l'eau, celui du carbone et celui de l'azote.

A. LE CYCLE DE L'EAU

« La Terre est sans conteste le joyau du système solaire. Lorsqu'on l'admire depuis l'espace, petite bulle douce et bleue flottant dans l'infini, son nom semble bien mal choisi : la surface de notre planète est en effet recouverte aux trois-quarts par l'océan. »

Serge BRUNIER (1)

La planète bleue, la planète qui porte de l'eau liquide à sa surface, c'est la Terre. A ce titre, elle est unique dans le système solaire.

Chaque jour, l'essentiel de la vapeur d'eau s'évapore dans les régions tropicales puis cette masse d'air humide est transportée vers les latitudes plus hautes et subit une série de condensations du fait du refroidissement de l'air.

(1) « Voyage dans le système solaire », Bordas, 2000.

Ces condensations produisent des pluies puis de la neige en se rapprochant des pôles.

Par ailleurs, les sources et les volcans constituent les deux autres lieux essentiels du cycle de l'eau.

Pour reprendre l'image employée par Jacques LABEYRIE (1), **trois installations d'épuration d'eau fonctionnent en parallèle sur la Terre** : les sources, les volcans (traitement de l'eau à haute température) et les mers (évaporateur à basse température).

Les hommes, les animaux et les plantes ont besoin, un besoin vital, que le cycle de l'eau, en eux et autour d'eux, s'accomplisse indéfiniment.

Pour la survie d'**un homme** des contrées tempérées, 500 litres d'eau par an sont indispensables tandis qu'un homme vivant dans un climat désertique aurait besoin de 2.000, voire de 3.000 litres par an.

Par comparaison, les plants nécessaires pour produire **un kilo de grains de maïs** absorbent plus de 300 litres d'eau en six mois.

Mais, ce cycle de l'eau dépend étroitement de la température car les réactions chimiques vitales ne se produisent qu'au-dessus de 8° à 10° pour la plupart des espèces végétales et jusqu'à 45° environ, même si certaines espèces supportent jusqu'à - 70° et + 250°.

Pour **les espèces animales**, les migrations auxquelles elles se livrent illustrent la préoccupation de conserver des conditions climatiques aussi optimales que possible.

B. LE CYCLE DU CARBONE

En complément du cycle de l'eau, intervient le cycle du carbone.

Élément essentiel à la vie, le carbone constitue l'ossature des molécules organiques de tous **les organismes vivants**.

Il est aussi présent dans **les roches** calcaires et dans **l'air**.

Pour situer l'importance respective des différentes localisation du carbone, il peut être noté que vingt millions de milliards de tonnes de carbone se trouvent dans **les sédiments calcaires** (30.000 fois plus que dans l'atmosphère), que **l'océan** renferme aussi du carbone, sous forme d'ions bicarbonates dissous dans l'eau (60 fois plus que dans l'atmosphère), que **la biosphère** contient de la matière organique qui, avec ses résidus dans les sols

(1) « *L'homme et le climat* », Denoël, 1985, 1993, 348 pages.

et dans les océans représente cinq fois plus de carbone que la quantité présente dans l'atmosphère. Enfin, **le gaz carbonique** représente 0,03% de l'air.

Des échanges de carbone ont lieu entre ces divers réservoirs, accomplissant le cycle du carbone. Ce sont les suivants :

- **Biosphère continentale → photosynthèse ← atmosphère** (les plantes absorbent et rejettent du gaz carbonique) ;
- **Océan → ← atmosphère** (le gaz carbonique de l'atmosphère réagit avec l'eau froide et se transforme en bicarbonate, lequel, des dizaines, des centaines ou des milliers d'années plus tard se décompose sous l'effet de l'eau chaude et dégage du gaz carbonique dans l'atmosphère. C'est la présence de gaz carbonique dissous dans l'eau, augmentée du rayonnement solaire, qui permet la prolifération d'algues microscopiques à la surface des océans : le phytoplancton. Ce dernier est absorbé par le zooplancton qui nourrit les poissons.

La chaîne de la vie comprend toujours le carbone (cellules de phytoplancton puis tissu des autres organismes vivants puis déchet organique).

Mais ce carbone n'est pas seulement absorbé, il est aussi rejeté dans l'air (respiration des algues, des poissons, oxydation des déchets).

Seulement 10 % de l'ensemble de ce carbone (pelotes fécales, tissus morts, déchets) coulent dans les océans, mais près de 9 % se dissolvent avant d'atteindre le fond. **C'est donc seulement 1 % du carbone présent dans les océans qui se trouve piégé pour des millions d'années.**

Chaque élément du cycle du carbone dépend des autres éléments. Ainsi, **le phytoplancton** se nourrit de sels provenant des profondeurs océaniques et remontés à la surface par la circulation océanique.

Sans cette remontée, le phytoplancton ne pourrait perdurer.

Deux autres phénomènes participent au cycle du carbone : **les éruptions volcaniques**, qui injectent dans l'atmosphère du gaz carbonique résultant des dépôts sédimentaires du fond des océans (carbonates libérant du gaz carbonique sous l'effet de la chaleur) et **l'érosion des roches** (la pluie dissout les carbonates et aluminosilicates des roches et transporte les ions carbonates vers l'océan à travers les rivières et les fleuves).

De la sorte, **le volcanisme assure le renouvellement du gaz carbonique dans l'air, tandis que l'érosion joue le même rôle pour l'océan.**

Il est supposé que, il y a plus de quatre milliards d'années, une très forte activité volcanique avait produit une épaisse couche de gaz carbonique. Un très fort effet de serre avait alors empêché l'eau de l'océan de geler, ce qui aurait dû se produire compte tenu d'un rayonnement solaire inférieur d'environ 30 % à ce qu'il est actuellement.

La vie et la photosynthèse sont alors apparues dans l'océan et, au cours de centaines de millions d'années, le gaz carbonique de l'atmosphère a été remplacé par de l'oxygène qui, au terme d'un milliard d'années, a constitué 21 % de l'atmosphère permettant la formation de **la couche d'ozone**, il y a 400 millions d'années, protégeant la vie à la surface des continents contre le rayonnement ultraviolet solaire.

IV. LES CONTRASTES DU CLIMAT

Les contrastes climatiques ont pu être observés dans le temps et dans l'espace.

Ce n'est que vers la fin du XIX^{ème} siècle que fut émise l'hypothèse de périodes de glaciation successives, mais c'est entre 1930 et 1940 qu'un mathématicien, Milutin MILANKOVITCH, supposa que la variation de l'inclinaison de la Terre par rapport au plan de son orbite pouvait jouer un grand rôle dans la survenue des périodes glaciaires.

Cette hypothèse fut vérifiée ultérieurement grâce à l'étude des niveaux de la mer du passé, notamment à l'aide des variations des lieux d'implantation des mangroves *(1)* dont les restes se conservent très longtemps dans la vase et en procédant à la datation des coquilles.

Une très importante partie de ces travaux fut réalisée au Centre des faibles radioactivités de Gif-sur-Yvette (C.F.R.) en utilisant la méthode de datation du carbone 14.

Ces travaux ont permis de montrer que **vers – 18.000 ans**, le niveau de la mer était à environ 120 mètres au-dessous de son seuil actuel. Puis, le niveau est monté régulièrement, à la vitesse d'un mètre par siècle environ, jusqu'au niveau actuel atteint vers – 7.000 ans. Ce phénomène est expliqué par la fonte des glaces.

(1) Etendues vaseuses de sable sur lesquelles pousse une végétation abondante prospérant sur des eaux saumâtres.

Il est probable que **vers – 18.000 ans, la France n’était qu’un désert au nord d’une ligne à la latitude d’Orléans ; la Manche n’existait pas.**

En revanche, d’autres datations effectuées à partir de carottes de corail prélevées dans l’atoll de Mururoa, ont montré que **vers – 125.000 ans, le niveau de la mer était très voisin du niveau actuel.**

Au total, il a été établi que **la mer a subi cinq oscillations majeures depuis 150.000 ans, liées à de grandes variations climatiques** et ces phénomènes ont pu être vérifiés partout dans le monde.

Parallèlement, **l’analyse de carottes glaciaires prélevées dans l’Antarctique**, à Vostok, a permis d’effectuer des datations allant jusqu’à -420.000 ans, notamment grâce aux travaux de Claude LORIS et du Laboratoire de Glaciologie et de Géophysique de l’Environnement du CNRS situé à Grenoble en coopération avec des chercheurs soviétiques.

Des résultats obtenus à la suite du forage dans les sédiments marins ont permis de reconstituer l’histoire thermique des océans jusqu’à - 200 millions d’années (*Deep sea drilling project* mené à bien dans le Pacifique au cours des années 1970).

Il a été observé qu’**au début de l’ère tertiaire, la température au fond de la mer était de 18° à 20° C**, ce qui illustre l’ampleur des contrastes climatiques.

Par ailleurs, **le programme international CLIMAP** réalisé de 1971 à 1976, a permis de dresser **la carte climatologique de l’été – 18.000** avec une précision de l’ordre de $\pm 1,5^{\circ}$ C.

Cela fut possible en classant en quatre groupes de population (tropical, subtropical, subpolaire et polaire) la quinzaine de foraminifères (1) vivant près de la surface des eaux du large ; ceux-ci s’établissant dans un habitat défini notamment par sa température.

CLIMAP a établi qu’à cette époque, **en hiver, la banquise s’étendait de New-York à Brest.**

D’autres résultats essentiels ont été obtenus en étudiant les moraines (2) pour retracer **l’extension des glaciers continentaux.**

(1) *Petites coquilles calcaires qui se déposent au fond des océans après la mort de l’organisme animal qu’elles abritent. L’analyse de la composition isotopique de l’oxygène contenu dans le carbonate de leur coquille permet de déterminer la composition isotopique de l’eau dans laquelle ils vivaient et, de là, la quantité de glace constituant les calottes polaires.*

(2) *Débris de roches entraînés par les glaciers.*

Ils ont montré que, **vers – 18.000 ans, les glaciers s'étendaient jusqu'au sud de Chicago et de New-York** pour l'Amérique du Nord et **jusqu'à Bristol, Leipzig et Varsovie** pour l'Europe du Nord et que, **vers -8.000 ans, Paris devait connaître un climat équivalent à celui actuel de la Laponie.**

A cette époque, il est probable que les régions de la Loire, de la Bourgogne, du nord des Alpes et du nord des Carpates étaient recouvertes de toundras.

Une autre méthode, fondée sur **l'analyse des pollens fossiles** –la palynologie- a également donné des résultats très riches.

A partir des grains de pollens laissés par les plantes dans les sols fossiles, les diverses espèces de plantes, présentes à telle ou telle époque, sont identifiées.

L'intérêt de cette méthode est liée au fait que les pollens peuvent se conserver dans les sols pendant plusieurs dizaines de millions d'années. **Grâce aux pollens, les températures de dizaines de millions de printemps et d'étés peuvent être déduites avec une précision de 2° à 3° C**; de même l'importance de l'humidité peut être appréciée au moyen de cette technique.

L'ensemble de ces éléments a montré que de très importantes variations climatiques ont existé dans le passé et que **le climat actuel n'a pas a priori de raison d'être plus immuable que chacun des climats qui l'a précédé.**

V. LE CLIMAT EST MÉCONNU

A. LA MÉCONNAISSANCE DES CLIMATS DU PASSÉ

Le caractère variable du climat constituant une de ses caractéristiques essentielles, il est important d'étudier les climats du passé pour connaître l'ampleur même des variations déjà intervenues depuis le début de l'histoire climatique, les causes et effets de ces changements pour mieux appréhender la portée des variations actuellement constatées ou redoutées pour le futur.

L'étude des paléoclimats ou paléoclimatologie est parvenue à une assez bonne connaissance de l'évolution de ceux-ci au cours des deux derniers millions d'années. Elle a mis en valeur **l'alternance de cycles glaciaires et de périodes interglaciaires. L'écart entre la température moyenne à la surface de la Terre au cours des périodes interglaciaires, et celle qui régnait lors de l'extension maximale des glaces, était de l'ordre de 5°.**

Ces variations s'accompagnaient de grandes modifications du volume des glaces et donc du niveau de la mer.

Ces alternances ont d'abord été expliquées par les modifications de l'orbite de la Terre autour du Soleil. Toutefois, à partir des forages opérés dans l'Antarctique qui ont pu étudier une période supérieure à 200.000 ans, il a été démontré que **les variations climatiques étaient accompagnées de modifications importantes de la composition de l'atmosphère**. A partir de là, il a pu être déduit que **des changements climatiques importants et très rapides avaient eu lieu** sans que ceux-ci soient reliés à l'orbite de la Terre autour du Soleil. Par exemple, il y a 11.500 ans, en quelques décennies, les températures ont augmenté de 7° au Groenland, puis ont décliné au cours d'une période de 500 à 2.000 ans. Dans le même temps, les précipitations doubleraient en l'espace de 3 ans.

Autre exemple, la fin de la période glaciaire s'est traduite par un réchauffement de 10° en 400 ans dans l'Atlantique Nord.

Même si le climat des 10.000 dernières années apparaît plus stable, il semblerait que **d'importantes variations régionales** aient existé. Le Petit âge glaciaire semble avoir touché une importante partie de la planète (1450-1850). C'est pourquoi l'Académie des Sciences a émis l'hypothèse que le réchauffement global, détecté depuis 1850, était peut-être, au moins en partie, lié à la fin du Petit âge glaciaire. Elle a insisté sur le fait que **des changements climatiques importants peuvent intervenir à l'échelle d'une vie humaine**.

B. LES INCONNUES DU CLIMAT PRÉSENT

Deux éléments contribuent à l'imparfaite connaissance du climat en dépit des avancées spectaculaires de la science, il s'agit des nuages et des océans.

Les nuages : la connaissance insuffisante de la microphysique des nuages ne permet pas de considérer comme résolues nombre de questions.

Or, toutes les précipitations –pluie, neige ou grêle- viennent des nuages, de la vapeur d'eau qui se condense dans les nuages. **La limitation du contenu en vapeur d'eau de l'atmosphère dépend des processus qui se**

déroulent dans les nuages. Les changements dans l'humidité atmosphérique affectent fortement l'effet de serre.

L'océan : il est **le grand régulateur des changements climatiques**. Ses 1.320 millions de km³ représentent 97 % de l'eau de la planète dont il recouvre 70 % de la surface.

Il emmagasine l'énergie et la transporte à travers la planète depuis les tropiques, où l'eau approche les 30°, jusqu'aux hautes latitudes. Il est considéré que l'océan se charge d'environ la moitié de ce transfert de chaleur, l'autre moitié étant assurée par l'atmosphère.

Jusqu'à une date extrêmement récente, l'océan était mal connu.

Il a fallu attendre le lancement du **satellite Topex-Poseidon**, en 1992, par le CNES et la NASA pour que soit connu le niveau des océans à quelques centimètres près.

Il est alors apparu que **l'océan présente une surface très bosselée reproduisant en grande partie les reliefs des fonds marins.**

L'étude de **la circulation océanique**, souvent comparée à un gigantesque tapis roulant peut être menée. Les caractéristiques de ce mouvement de surface qui fait plonger les eaux froides et remonter les eaux chaudes en un long périple d'une durée approchant le millier d'années, peuvent enfin être analysées.

L'eau froide qui plonge en mer de Norvège, en mer du Labrador et autour de l'Antarctique, coule au fond de l'Atlantique, passe le cap de Bonne Espérance et poursuit dans l'océan Indien où une partie remonte tandis que l'autre ne refait surface que dans l'océan Pacifique. Au-dessus de ce tapis inférieur circule, en surface et en sens contraire, l'eau chaude.

Cette circulation, aussi appelée **circulation thermohaline**, est amorcée par les différences de densité entre deux masses d'eau inégalement chaudes et inégalement salées. En effet, près des pôles, la mer est davantage salée car la part de l'eau qui gèle contient moins de sel que l'eau liquide.

D'où les préoccupations des climatologues et des océanologues liées à un éventuel réchauffement climatique : **la fonte des glaces risque-t-elle de ralentir, voire de supprimer la plongée des eaux froides très salées et donc d'interrompre le fonctionnement du tapis roulant de la circulation océanique ?**

Dans une telle hypothèse, c'est le rôle de l'océan en tant que régulateur du climat qui serait remis en cause. Cela pourrait avoir un effet paradoxal : le réchauffement en cours inclurait un refroidissement.

En effet, **en l'absence du rôle adoucissant du *Gulf Stream***, le nord de l'Europe serait, dans ce cas, particulièrement touché. **Le Royaume-Uni et la France pourraient connaître des hivers proches des hivers canadiens actuels.**

C. LES CLIMATS FUTURS RESTENT À DÉCOUVRIR

Les connaissances des climats passés et les données relatives au climat présent permettent de mieux cerner le climat futur.

D'une part, en prévoyant **le retour des glaces** lié aux variations de l'ensoleillement de la Terre, ce qui devrait survenir **d'ici à 70.000 ans** ; le Canada et la Scandinavie devraient être concernés.

Ce qui permet de noter que le réchauffement actuellement constaté s'inscrit dans un cycle plus large de refroidissement.

Une multitude de données recueillies, tant sur les climats passés que présents permet d'utiliser **la modélisation numérique** au moyen d'ordinateurs surpuissants pour tenter d'élaborer quelques projections.

Comme cela sera développé plus loin, plus le rôle de l'homme dans le réchauffement climatique pourra être prouvé, **plus les modèles climatiques devront intégrer des variantes économiques ainsi que des données concernant les cycles bio-géo-chimiques.**

Toutefois, le réalisme croissant des modèles climatiques finit d'ailleurs par conduire aux mêmes **difficultés d'interprétation** que celles rencontrées lors de l'observation des multitudes de données issues de la réalité.

VI. LE CLIMAT N'EST PAS MAÎTRISABLE PAR L'HOMME

Tout au long de l'histoire de la planète bleue, l'homme –apparu bien après la naissance de celle-ci- a subi le climat tout en s'efforçant de s'y adapter.

Ni la circulation océanique, ni l'évolution des nuages, ni la quantité d'énergie solaire reçue par la Terre ne sont maîtrisables par l'homme.

Il s'agit là d'une évidence à rappeler dans l'hypothèse, où s'il était établi que l'homme a pu influencer sur l'évolution du climat, il ne serait peut-être pas à même de corriger les dérèglements qu'il aurait introduits. Il se serait trouvé à l'origine d'enchaînements de causalités qui le dépassent tant par leur dimension que par la large méconnaissance de leurs mécanismes internes.

CHAPITRE SECOND : L'EFFET DE SERRE

La mince couche constituée par l'atmosphère et à l'intérieur de laquelle s'élabore le climat de la planète joue un rôle actif dans la quantité de chaleur reçue du Soleil et conservée par la Terre et son atmosphère.

En effet, une grande partie des rayons du Soleil traverse l'atmosphère, 30% étant réfléchis vers l'espace, principalement par les nuages, les molécules de l'air, et les surfaces claires (neiges, glaces, déserts). Les 70 % absorbés, en partie par l'humidité de la basse atmosphère mais principalement par la surface (50 %), sont convertis en chaleur. Les températures à la surface dépendent des conditions d'évacuation de cette chaleur vers l'espace sous forme de rayonnement infrarouge.

Mais, alors qu'une fraction importante des rayons provenant du Soleil traverse l'atmosphère, seule une petite partie de ceux renvoyés vers l'espace sous forme de rayons infrarouges quittent l'atmosphère sans entrave ; du fait de la présence de gaz, dits à effet de serre, dans l'atmosphère, la plus grande partie du rayonnement infrarouge y est absorbée et ré-émise de nombreuses fois, recyclée en quelque sorte, contribuant ainsi au réchauffement atmosphérique.

L'atmosphère se comporte comme une serre de jardinier ou les vitres d'une voiture piégeant une partie de la chaleur reçue, les gaz à effet de serre augmentant, de plus en plus, l'épaisseur du vitrage.

I. GRACE A L'EFFET DE SERRE, UNE TERRE ACCUEILLANTE

Comme déjà indiqué dès l'introduction de cette étude, la vie sur Terre est grandement favorisée par l'existence de l'effet de serre. Sans lui, la température moyenne sur la planète serait inférieure d'environ 30 ° à ce qu'elle est aujourd'hui et s'établirait à environ - 18 °, d'où la nécessité de répéter sans relâche que **l'effet de serre n'est ni une calamité, ni un risque naturel, mais un phénomène physique rendant la vie sur Terre plus agréable à l'homme dans les conditions climatiques générales actuelles.**

Au lieu donc de citer l'effet de serre comme un phénomène négatif, il faut s'interroger sur l'ampleur de l'intensification de celui-ci, appelée aussi

effet de serre additionnel, le qualificatif additionnel renvoyant à l'action propre de l'homme dans ce phénomène naturel.

II. LA RÉALITÉ DE L'INTENSIFICATION DE L'EFFET DE SERRE

Que l'existence de l'effet de serre soit un bienfait implique-t-il que son intensification augmente l'agrément de la vie sur Terre ?

Après un long cheminement, ce n'est que depuis quelques années, que l'idée de l'intensification de l'effet de serre se produisant dans l'atmosphère a émergé.

Mais c'est seulement en 1995, dans le deuxième rapport du GIEC que les climatologues commencent à parler de l'émergence du **signal de réchauffement**.

Les mesures de l'augmentation de la présence des gaz à effet de serre effectuées ont bien montré la réalité de cette augmentation.

Ces mesures ont résulté tant de l'analyse de bois fossiles que des carottes glaciaires ou d'observations effectuées *in situ* à partir de 1958.

Au-delà des causes naturelles (variations du rayonnement solaire, injection et disparition des voiles d'aérosols liées aux éruptions volcaniques, fluctuations naturelles des gaz à effet de serre...), **la présence accrue de gaz à effet de serre due aux émissions anthropiques renforce mécaniquement l'effet de serre.**

L'analyse (1) d'échantillons de bois, vieux de quelques milliers d'années pour les plus anciens, a montré, dès les années 1950, que la radioactivité due au carbone 14, au lieu de croître avec les échantillons les plus récents, diminuait à partir de 1850 environ. Il fut établi que ce phénomène, inverse de celui attendu, provenait de la présence dans l'atmosphère de carbone fossile très ancien et qui n'était donc plus chargé en carbone 14. Ce carbone fossile n'était autre que le produit de la combustion du charbon et du pétrole correspondant aux émissions de la révolution industrielle.

Pour autant, si la réalité de l'intensification de l'effet de serre n'est pas contestée, des incertitudes demeurent.

(1) Cette analyse fut menée par Hans SUESS (Etats-Unis d'Amérique)

En effet, **tout le carbone émis dans l'atmosphère sous forme de CO₂ ne s'y retrouve pas**. Il s'en faut même de près de la moitié. Cela provient en partie des forêts et en partie des océans qui, jusqu'à présent, emmagasinent du carbone. Ils jouent le rôle de ce qui est appelé **les puits de carbone** –expression un peu ambiguë qui signifie que les océans et les forêts se comportent comme des réservoirs dans lesquels disparaît le carbone et non comme des gisements d'émission de carbone.

III. LES CAUSES DE L'INTENSIFICATION DE L'EFFET DE SERRE

L'effet de serre, comme cela a été exposé, résulte de causes naturelles comme de causes humaines. Son intensification aussi, mais il est important de distinguer entre les deux causes d'intensification dans la mesure où, si l'homme entend combattre celle-ci, il ne pourra tenter d'agir que sur les causes humaines, les causes dites anthropiques.

A. LES CAUSES NATURELLES DE L'INTENSIFICATION DE L'EFFET DE SERRE

Puisque la chaleur amplifiée par l'effet de serre est d'abord celle émise par le soleil, l'idée de se demander si le réchauffement global et l'intensification naturelle de l'effet de serre ne provenaient pas de l'augmentation des rayonnements solaires a été explorée.

1. La variabilité des rayonnements solaires

Dès la fin XIX^{ème} siècle, **la théorie astronomique des climats** a été formulée, expliquant la variation du climat par celles de l'ensoleillement au cours des âges.

Vers 1924, le mathématicien serbe, **Milutin MILANKOVITCH** a développé cette théorie, non plus en la fondant sur des variations de l'ensoleillement global, mais sur **l'évolution du mouvement de la Terre autour du Soleil et de l'orientation de son axe de rotation, qui modifient la répartition de l'ensoleillement avec la latitude et les saisons**.

Il a pris en compte **les changements de la forme de l'ellipse** décrite en une année par la Terre autour du Soleil –l'excentricité (1) – l'oscillation de

(1) Période de variation de 100.000 à 400.000 ans.

l'obliquité (1) qui caractérise l'inclinaison de l'axe de la Terre par rapport au plan de l'orbite terrestre -dit aussi plan de l'écliptique- et la position de la Terre sur l'ellipse à un moment précis de l'année –phénomène de la précession des équinoxes (2).

Chacun de ces paramètres varie avec des périodes différentes.

Selon cette théorie, ces variations suffisent à provoquer les alternances entre climats glaciaires et climats interglaciaires.

2. Rayonnements solaires et températures

L'analyse spectrale des teneurs isotopiques de sédiments marins prélevés dans l'océan Indien est venue confirmée la théorie de Milutin MILANKOVITCH.

En effet, des cycles de réchauffement et de refroidissement sont apparus au cours des 500.000 dernières années avec des périodicités de 100.000, 43.000, 24.000, et 19.000 ans.

Il y a eu affaiblissement de l'effet de serre au cours de l'expansion des calottes de glaces puis intensification lors de la déglaciation, et ces variations naturelles, agissant en boucle de rétroaction positive ♦, permettent de comprendre l'ampleur des alternances climatiques commandées par les cycles astronomiques de MILANKOVITCH.

B. LES CAUSES HUMAINES DE L'INTENSIFICATION DE L'EFFET DE SERRE

Elles sont constituées essentiellement par :

- la combustion du carbone fossile (charbon, pétrole). Les 6 milliards de tonnes brûlés par an dégagent **22 milliards de tonnes de gaz carbonique** ;

- le déboisement : le bois, les branches, l'humus forestier dégagent du gaz carbonique. Cette quantité annuelle est estimée **entre 6,6 milliards de tonnes et 17,6 milliards de tonnes.**

Que représentent ces quantités annuelles par rapport à la totalité du gaz carbonique de l'atmosphère ? Environ **1 %**, soit de 28,6 à 39,6 milliards de tonnes sur 2.600 milliards de tonnes.

(1) Période de variation de 41.000 ans.

(2) Période de variation de 19.000 à 23.000 ans.

Compte tenu de l'augmentation prévisible du niveau des émissions d'origine humaine, ce taux de 1 % est loin d'être négligeable.

En outre, les gaz à effet de serre autres que le carbone doivent être pris en compte.

IV. L'INTENSIFICATION DE L'EFFET DE SERRE RÉSULTE DE SOURCES REGIONALES DIVERSES

L'intensification de l'effet de serre provient en grande partie du surcroît d'émission de gaz à effet de serre par l'homme depuis la révolution industrielle.

Ce simple énoncé donne déjà une idée d'une concentration des sources d'émission de **dioxyde de carbone dans l'hémisphère nord** mais cela doit être complété par le rappel du rôle du **méthane dégagé par les ruminants** (bovins, moutons, chèvres et chameaux), par les terres inondées (toundras marécageuses de la Sibérie ou du Nord canadien, forêt amazonienne, mangroves tropicales, ...) dont, essentiellement, les rizières (la production de riz a doublé depuis 1940) et par les fuites provenant de l'exploitation du gaz naturel ou des mines de charbon (le grisou).

Parmi **les sources de gaz carbonique** figurent, outre l'industrie, les transports et l'habitat, les déforestations (Canada, nord de l'Europe, forêts tropicales...).

Enfin, pour **les aérosols**, ceux-ci demeurent proches de leur lieu d'émission.

Une carte mondiale des émissions de gaz carbonique par combustion d'énergie fossile reflète strictement le degré d'industrialisation des pays et/ou leur recours à des procédés polluants de production. Sur une telle carte, **l'Europe** –y compris l'Europe centrale et l'Europe Orientale-, le **Japon**, **les deux Corées**, **la Chine** et **Taï wan**, l'extrême sud et le nord-est du **sous-continent indien**, **les Etats-Unis d'Amérique** ressortent nettement.

À l'intérieur de ces pays ou unions de pays, se détachent plus particulièrement le sud du Japon, les deux Corées, le nord-est de la Chine, le nord et le nord-est de l'Europe, en particulier les Pays-Bas et l'Allemagne, la Grande-Bretagne, l'est des Etats-Unis d'Amérique, en particulier la côte nord-est.

Une carte mondiale des émissions de méthane par les animaux fait ressortir **le Bangladesh, le sous-continent indien, l'Europe** -à l'exception de l'Espagne et du Portugal- dont très fortement les Pays-Bas, **le sud du Brésil et la Nouvelle-Zélande**.

V. L'IRRÉVERSIBILITÉ DE L'INTENSIFICATION DE L'EFFET DE SERRE ET DU RYTHME DE CELLE-CI

Si des effets négatifs de l'intensification de l'effet de serre apparaissent et, dans la mesure où cette intensification est largement due à l'homme, pourquoi ne pas modifier la conduite humaine pour revenir à une situation climatique optimale ?

A. LES CAUSES NATURELLES DE L'IRRÉVERSIBILITÉ

Il a déjà été exposé que la variation de **l'ensoleillement de la Terre**, cause naturelle importante de l'intensification ou de l'affaiblissement de l'effet de serre, obéit à des cycles qui s'imposent à l'homme.

S'imposent également à l'homme **les caractéristiques physiques et chimiques des gaz à effet de serre** dont les temps de résidence dans l'atmosphère, très variables et parfois très longs constituent des données.


De même, **les capacités des forêts ou des océans à absorber le dioxyde de carbone** ne sont pas modifiables –en dépit de propositions émises à ce sujet comme celle consistant à déverser de la limaille de fer sur l'océan pour augmenter sa capacité d'absorption de gaz carbonique sans connaître l'influence de cette action sur le plancton.


B. LES CAUSES HUMAINES DE L'IRRÉVERSIBILITÉ

Dans le domaine de l'émission de gaz à effet de serre, il n'est pas évident que l'homme puisse défaire un jour ce qu'il a fait au cours des deux derniers siècles.

D'abord parce qu'il n'est pas certain qu'il en ait la volonté. En effet, réduire les émissions de gaz à effet de serre, cela signifie renoncer à continuer de développer les sociétés industrielles selon le modèle qui a fait leur prospérité et, en outre, refuser ce type de développement aux pays qui y aspirent.

De plus, en supposant cette volonté établie, **même si l'homme cessait aujourd'hui d'émettre immédiatement tout gaz à effet de serre dans l'atmosphère, il devrait tout de même subir, durant de très nombreuses années encore, les effets des gaz émis depuis 150 années** –une molécule de gaz carbonique résidant dans l'atmosphère 120 ans environ après son émission et certains perfluorocarbures (CFC) ayant des durées de vie de plusieurs milliers d'années.

Comme cela a été indiqué lors de son audition par M. Michel PETIT, membre du GIEC , en évoquant des extrapolations menées pour voir ce qu'il adviendrait si les pays développés appliquaient les idées des Verts néerlandais, tandis que la Chine, l'Inde et les pays en voie de développement augmenteraient leurs émissions de carbone sans prendre de mesures particulières, alors dans un tel contexte, *« la température continuerait à augmenter, son accroissement n'étant réduit que d'environ 15 % par les politiques restrictives menées par les pays développés. Une telle projection montre que le réchauffement climatique est inéluctable et qu'il est indispensable de s'y adapter, tout en cherchant à en limiter l'amplitude et le rythme. Si on persiste à ne rien faire, une véritable prise de conscience pourrait survenir brutalement et conduire à prendre des mesures limitant sévèrement l'exploitation des réserves de combustibles fossiles dont le coût économique pourrait être considérable »*.

Lors de son audition, M. Daniel CARIOLLE, Directeur de la recherche de METEO-France , a estimé que **le changement climatique était inexorable**.

Si les gaz à effet de serre ont bien eu pour effet de provoquer un changement climatique se traduisant notamment par un réchauffement, par la montée du niveau des océans, et par l'augmentation des précipitations alors ces conséquences interviendront même si l'homme mène dès aujourd'hui l'action la plus volontariste qui soit.

DEUXIÈME PARTIE : GAZ À EFFET DE SERRE ET AÉROSOLS

Présentation de la deuxième partie par le sénateur Marcel DENEUX □

CHAPITRE PREMIER : LES GAZ A EFFET DE SERRE

Les gaz à effet de serre -dont la liste n'est pas close- peuvent être émis par la nature ou par l'homme.

Leurs caractéristiques sont très diverses : ainsi, leur capacité de réchauffement, comme leur durée de résidence dans l'atmosphère sont très inégales.

L'homme possède seulement un pouvoir sur le rythme et le volume des émissions des gaz à effet de serre.

Il peut aller jusqu'à renoncer à en émettre de nouveaux ou à mettre fin à l'émission de gaz de source exclusivement anthropique.

I. LES GAZ À EFFET DE SERRE NON EXCLUSIVEMENT GÉNÉRÉS PAR L'HOMME

La liste des gaz à effet de serre non générés exclusivement par l'homme comprend **la vapeur d'eau, le dioxyde de carbone, le méthane, le protoxyde d'azote, l'oxyde d'azote, et l'ozone**. Celle des gaz à effet de serre générés exclusivement par l'homme comprend les gaz ci-dessus, mais elle est bien plus longue.

Habituellement, les gaz à effet de serre sont présentés en mentionnant que certains d'entre eux résultent à la fois d'émissions naturelles et d'émissions anthropiques et sans qu'il soit précisé la part respective des deux grandes catégories d'émissions. Mais, dans l'étude du rôle que ces gaz jouent dans l'intensification de l'effet de serre, il est particulièrement intéressant d'essayer de distinguer, gaz par gaz, la part des émissions naturelles et des

émissions dues à l'homme, ne serait-ce que pour constater la difficulté d'opérer une distinction entre ces deux sources ; par exemple, les émissions d'une forêt ou d'une prairie sont-elles ou non naturelles ? En totalité ou en partie ? Dans quelles proportions ?

De plus, pour apprécier l'importance de chacune de ces sources, il est indispensable de pouvoir les chiffrer. Or, **beaucoup des mesures de ces gaz ont un caractère assez récent** ; il est nécessaire de les compléter tant par des investigations paléoclimatologiques poussées que par la mise en œuvre de nouvelles mesures.

A. LA VAPEUR D'EAU

Assez souvent, dans l'énumération des gaz à effet de serre, la vapeur d'eau est oubliée, alors qu'il s'agit du **premier gaz à effet de serre dans l'atmosphère**. Elle représenterait **les deux-tiers, voire 70% de l'effet de serre total**.

En revanche, on la trouve mentionnée parmi **les rétroactions de l'intensification des gaz à effet de serre** car, en réponse à une augmentation du gaz carbonique, la vapeur d'eau augmente en liaison avec l'élévation de la température. Cette rétroaction a pour effet de doubler le réchauffement initial. Toutefois, une marge d'incertitude existe sur l'ampleur de son rôle.

Dans les déserts, l'humidité relative de l'air (1) est encore de 10 %, elle approche de 0% en altitude dans l'Antarctique. Le taux de l'humidité relative varie non seulement selon les lieux, mais en fonction des saisons et même des heures du jour. Pour une même température, l'humidité relative peut varier très largement. Par exemple, elle peut être de 70 % sous les tropiques et de 15 % dans le Sahara pour une même température de 27°C au milieu de la journée.

Pour leur part, **les minuscules gouttelettes d'eau des nuages** renvoient une grande partie des rayons infrarouges émis par le sol dans leur direction initiale renforçant ainsi l'effet de serre, notamment la nuit.

B. LE DIOXYDE DE CARBONE (CO₂)

L'intensification de l'effet de serre due à l'accumulation des émissions anthropiques de ce gaz représente **60 % du renforcement anthropique total de l'effet de serre**.

(1) L'humidité relative est le rapport pour une température donnée, entre le poids de vapeur par mètre cube et le poids de vapeur saturante –teneur en vapeur d'eau maximale pour une température donnée.

Sa concentration dans l'atmosphère est passée de 280 ppmv (1) en 1750 à 315 ppmv en 1958, 345 ppmv en 1984 et à 367 ppmv en 1999.

Cette concentration fut pratiquement constante pendant les trois-quarts du deuxième millénaire.

Entre les mesures effectuées actuellement et les reconstitutions autorisées par l'analyse des carottes glaciaires, il est permis de conclure que **l'accélération des émissions de dioxyde de carbone au cours du dernier millénaire est intervenue essentiellement depuis le début de l'ère industrielle**. Toutefois, au cours de l'histoire de la planète, des variations importantes sont déjà survenues en liaison avec des variations de température.

La distinction entre les émissions de dioxyde de carbone par les terres ou par les océans d'avec celles causées par l'homme n'a pu être mise en évidence qu'au cours de la période récente retracée par les mesures effectuées à partir de 1958 sur le mont Mauna Loa (Hawaï). Pour toute la période antérieure, ce sont les carottes glaciaires extraites de l'Antarctique, par exemple du Taylor Dome, ou de Vostok, qui fournissent les données essentielles. Grâce à ces forages, il est possible de remonter jusqu'à 420.000 ans (Vostok) avant la période actuelle.

Ces données permettent d'affirmer qu'au cours du réchauffement intervenu il y a 1.500 ans, la concentration de dioxyde de carbone dans l'atmosphère est passée de 200 à 280 ppmv –soit approximativement la même augmentation que celle de l'ère industrielle en cent cinquante ans- mais cette évolution a duré plusieurs milliers d'années.

Au rythme actuel d'émission, la concentration atmosphérique de gaz carbonique dépasserait 400 ppmv en 2025 et 500 ppmv vers 2100.

C. LE MÉTHANE (CH₄)

Quant au méthane, le gaz des marais, sa contribution à l'intensification de l'effet de serre représente 20 % de celles des gaz à effet de serre de longue durée émis par l'homme. D'après les mesures opérées, les concentrations ont augmenté d'environ 150 % depuis 1750, et il semble que le seuil atteint actuellement n'ait jamais été dépassé au cours des 420.000 années précédentes.


Ce gaz apparaît dans l'atmosphère à la suite de réactions chimiques.

(1) parties par million en volume, soit 1 cm³ par m³.

Comme le gaz carbonique, le méthane peut être d'origine naturelle, par exemple lorsqu'il se dégage des zones humides naturelles, ou d'origine animale (fermentation entérique \diamond) ou bien d'origine humaine, lorsqu'il provient de l'agriculture (rizières inondées), de l'extraction de gaz ou des prairies. Il est considéré que **plus de la moitié des émissions de méthane sont d'origine anthropique.**

Les mesures systématiques de ces émissions ne datent que de 1983 ; là encore, pour toute la période passée, il faut recourir à l'analyse des carottes glaciaires.

Les sources naturelles de méthane sont **les sols pour 65 % environ et les océans pour 30 %.**

Lors de son audition, M. Robert KANDEL  a relevé qu'**en cas de réchauffement, il existerait un risque de dégagement important de méthane piégé sous forme d'hydrates dans les sédiments sous-marins comme dans les pergélisols** alors que ce gaz possède un potentiel d'effet de serre bien plus puissant que le CO_2 .

Il s'agirait là d'une cause humaine indirecte même si cette émission provenait de l'océan.

D. LE PROTOXYDE D'AZOTE (N_2O)

La contribution du protoxyde d'azote ou oxyde nitreux représente environ **6 % du total des gaz à effet de serre** .

E. L'OXYDE D'AZOTE (NO_x)

Certains gaz ont seulement **une influence indirecte sur le réchauffement**. Tel est le cas, par exemple, de l'oxyde d'azote (NO_x) qui est la somme de deux gaz nitreux, le NO et le NO_2 ensemble appelés « NO_x », du monoxyde de carbone (CO), et des composés organiques volatils (COV).

Ces polluants ont **une influence non seulement sur la formation de l'ozone, mais aussi sur la durée de vie du méthane et d'autres gaz à effet de serre**. Il en sera question plus loin dans la mesure où les émissions de NO_x comme de monoxyde de carbone sont principalement générées par l'activité humaine.

F. L'OZONE (O₃)

L'ozone résulte d'un processus photochimique se produisant à partir de gaz précurseurs d'origine tant naturelle qu'humaine.

L'ozone possède des effets différents selon qu'il se situe dans la stratosphère ou dans la troposphère.

En effet, cet important gaz à effet de serre est présent dans ces deux couches de l'atmosphère mais, alors que, **dans la stratosphère, l'ozone agit à la fois sur le rayonnement ultraviolet solaire et sur le rayonnement infrarouge, provoquant un refroidissement à la surface du globe, à l'inverse, dans la troposphère, par sa contribution à l'effet de serre, il entraîne un réchauffement.**

G. LES HALOCARBURES

Leur contribution représente **14 % de l'effet de serre additionnel** provenant des gaz à effet de serre ajoutés. Pour la plupart d'entre eux, la source humaine est la seule origine.

II. LES GAZ À EFFET DE SERRE GÉNÉRÉS PAR L'HOMME

A. LA VAPEUR D'EAU

Il a été rappelé que la vapeur d'eau est le principal gaz à effet de serre dans l'atmosphère. S'il est vrai, par ailleurs, que lorsqu'on brûle des hydrocarbures, on produit de la vapeur d'eau en même temps (et en quantité comparable) que du CO₂, cependant, ces émissions de vapeur d'eau n'ont que des effets locaux (formation de brouillards, de nuages bas...), car le temps de résidence de la vapeur d'eau dans l'atmosphère ne dépasse pas la dizaine de jours.

En revanche, les temps de résidence atmosphérique sont beaucoup plus longs pour le CO₂ (un siècle ou plus) et le méthane (quelques années), que pour l'eau, et les rapports des flux anthropiques aux flux naturels sont bien plus importants.

Il demeure que **les émissions anthropiques directes de vapeur d'eau sont négligeables par rapport aux flux naturels sous réserve des émissions de l'aviation en altitude.**

Dans la mesure où un réchauffement a tendance à augmenter la quantité de vapeur d'eau dans l'atmosphère, **les émissions anthropiques de gaz à effet de serre à vie longue tendent à générer un surplus de vapeur d'eau.** Cela agit alors en boucle de rétroaction positive, amplifiant le réchauffement. Or, les émissions de gaz carbonique, de méthane, et d'autres gaz à effet de serre qui tendent à s'accumuler dans l'atmosphère, peuvent être plus ou moins limitées par l'intervention de l'homme...

B. LE DIOXYDE DE CARBONE (CO₂)

Comme cela a été vu plus haut, l'ère industrielle a marqué l'accélération des émissions de gaz carbonique dans l'air. Cela résulte tant de la combustion de combustibles fossiles (charbon, pétrole, gaz naturel) que de la déforestation. Il peut être même considéré, comme l'estime **le GIEC**, dans son dernier rapport en 2001, que **l'accroissement de l'émission de dioxyde de carbone durant l'ère industrielle est dramatique**. En effet, ces experts ont noté que le taux annuel d'accroissement des émissions de CO₂ depuis 1980 est de 0,4 % par an.

Au cours des vingt dernières années, **70 % à 90 % des émissions de dioxyde de carbone proviendraient de la combustion des carburants d'origine fossile, et entre 10 % à 30 %** seraient issus du changement d'usage des terres, essentiellement **de la déforestation**.

La variation annuelle du niveau des émissions est parfois importante puisqu'elle oscille du simple au triple, et il a été relevé que les plus grands taux d'augmentation ont correspondu aux années où le phénomène *El Niño* ♦ s'est manifesté avec le plus d'acuité.

C. LE MÉTHANE (CH₄)

Plus de la moitié des émissions de méthane proviennent de sources anthropiques. A partir de l'année 1983, début des mesures précises de la concentration de ce gaz dans l'atmosphère, celui-ci a continué à augmenter en passant de 1,610 ppbv (1) en 1983 à 1,745 ppbv en 1998. Cependant, l'augmentation annuelle s'est réduite durant cette période.

De **grandes variations dans les émissions annuelles** ont été observées au cours des années 1990. Ainsi, en 1992, les émissions étaient

(1) parties par milliards en volume

proches de zéro, alors qu'elles dépassaient 13 ppbv en 1998. Il s'agit là d'une source d'interrogation pour les experts.

Dans la mesure où l'accroissement dans l'atmosphère de la présence du CH₄ résulte de l'équilibre entre les sources et les puits, toute prévision des taux futurs de concentration est difficile à établir. En effet, même si les principales sources ont été identifiées, elles sont difficiles à quantifier, étant toujours largement sujettes à variation, et ce déjà en fonction du changement climatique lui-même.

Il doit être rappelé qu'une importante part des émissions de méthane provient de **la culture du riz**, et de la **fermentation entérique chez les ruminants**, c'est-à-dire des vents émis par ceux-ci lors de leur digestion.

Curieusement, le résumé technique du dernier rapport du GIEC ne dit rien sur ce dernier point, tandis que la riziculture est à peine évoquée.

Cette omission provient-elle en partie du souhait d'encourager la Chine, forte productrice de riz, et l'Inde, possédant le plus vaste cheptel de ruminants, à adhérer aux objectifs du protocole de Kyoto ?

D. LE PROTOXYDE D'AZOTE (N₂O)

Les principales sources de protoxyde d'azote liées à l'activité humaine sont **l'agriculture** (emploi massif d'engrais azotés), la combustion de **la biomasse** ♦ et **les activités industrielles**.

Comme pour le méthane, **les concentrations annuelles de protoxyde d'azote varient sensiblement** ; c'est ainsi que, dans le cadre d'une croissance moyenne annuelle de 0,25 % (de 1980 à 1998), les émissions ont diminué de moitié, de 1991 à 1993. Il a pu être évoqué, pour expliquer ce phénomène, un recul dans l'emploi d'engrais azotés, ou des modifications provenant de l'activité volcanique. Toujours est-il qu'après 1993 la croissance annuelle du protoxyde d'azote a repris comme durant les années 1980.

A cet égard, il faut souligner que, comme de nombreuses fois dans l'étude de chacun des gaz à effet de serre, tout en apportant les données les plus précises actuellement connues sur les caractéristiques et l'évolution de ces gaz, le GIEC ne manque jamais de souligner que **nombre de phénomènes restent encore largement inexploités**.

E. L'OXYDE D'AZOTE (NO_x)

L'importance de l'oxyde d'azote dans le bilan radiatif provient du fait que **ce gaz a la propriété de perturber plusieurs autres gaz à effet de serre** ; c'est ainsi qu'il contribue à la diminution de la présence de méthane et d'hexafluorocarbures (HFC), et qu'il augmente la formation d'ozone dans la troposphère.

Là encore, les experts se heurtent à une importante difficulté pour quantifier ce phénomène, mais ils ont la certitude qu'en 2100 l'augmentation de NO_x ne manquera pas de causer d'importantes modifications dans les gaz à effet de serre.

F. L'OZONE (O₃)

Ce gaz joue **un rôle essentiel pour le maintien de la vie sur la Terre**. Sa présence dans la haute atmosphère absorbe l'essentiel du rayonnement solaire ultra-violet de très courte longueur d'onde (UV-B) qui est nocif pour les êtres vivants (cancers de la peau pour les hommes et les animaux, inhibition de la photosynthèse, mutations génétiques...)

Le protocole de Montréal (1987) ambitionnait de diminuer de moitié pour l'an 2000 la production de perfluorocarbures (CFC) par rapport à 1986 mais c'est seulement vers 2050 que le niveau de concentration pourrait être identique à celui qui existait au début des années 1980, compte tenu de la durée de vie des CFC.

Quant à **l'ozone troposphérique**, qui résulte de l'émission de méthane et de divers polluants, sa concentration réagit rapidement aux variations des émissions polluantes. Sa présence, liée aux émissions des gaz précurseurs, est donc particulièrement prononcée **au-dessus de l'Amérique du Nord et de l'Europe**, ainsi qu'au-dessus **de l'est de l'Asie**. Cependant, une incertitude provient de l'absence ou de **la rareté des informations antérieures à 1960**, ce qui rend impossible une comparaison des zones de présence actuelles de l'ozone avec sa répartition antérieure.

G. LES HALOCARBURES

Presque tous les halocarbures ont pour origine les activités humaines (CFC-11 (CFCl₃), CFC-12 (CF₂ Cl₂), CFC-113, CH₃, CCl₃, CCl₄, CFC-12, HCFCs, HFCs, PFCs, CF₄, C₂F₆...)

Ces gaz sont, par exemple, utilisés comme **propulseurs** dans les bombes aérosols, liquides **réfrigérants** (fréons), agents de fabrication des **mousses** de polymères, **solvants** pour l'électronique.

Pour la plupart de ces halocarbures ou de ces composés du carbone, qui contiennent du fluor, du chlore, du brome ou de l'iode, les activités humaines en sont les seules sources. Ceux d'entre eux qui contiennent du chlore ou du brome sont à l'origine du trou dans la couche d'ozone stratosphérique, et sont juridiquement contrôlés par les dispositions du **protocole de Montréal de 1987**. De ce fait, après avoir culminé en 1994, ces gaz sont en lent déclin.

En revanche, **les concentrations des substituts aux CFC sont en augmentation et certains d'entre eux sont des gaz à effet de serre**. Ainsi, la concentration de HFC-23 a triplé entre 1978 et 1995... Par ailleurs, les perfluorocarbures (PFCs), notamment le CF_4 et C_2F_6 , et l'hexafluorure de soufre (SF_6) sont **des gaz à effet de serre puissants qui demeurent très longtemps dans l'atmosphère**. Il faut y prendre garde, car **quoiqu'émis en très faibles quantités, ils risquent d'influer sur le climat futur**. Ainsi, le perfluorométhane (CF_4) possède un temps de résidence dans l'atmosphère d'au moins 50.000 ans, et les émissions dues à l'homme étant mille fois supérieures aux émissions naturelles, elles sont totalement responsables de l'accroissement observé.

Autre exemple : l'hexafluorure de soufre (SF_6) est 22.200 fois plus puissant, par unité émise, que le dioxyde de carbone, comme gaz à effet de serre. En conséquence, même une très petite concentration, mais avec un taux de croissance important, peut entraîner des répercussions.

H. LE MONOXYDE DE CARBONE (CO)

Pour évaluer l'impact du monoxyde de carbone, en termes de gaz à effet de serre, il suffit de noter que 100 millions de tonnes de ce gaz équivalent à l'émission d'environ 5 millions de tonnes de méthane.

Le monoxyde de carbone est deux fois plus présent dans l'hémisphère nord que dans l'hémisphère sud, et a augmenté, dans la seconde moitié du $\text{XX}^{\text{ème}}$ siècle, en même temps que l'industrialisation et la croissance démographique.

Même s'il s'agit d'**un gaz à effet de serre indirect**, son rôle est important.

III. LA LISTE DES GAZ À EFFET DE SERRE

En étudiant le rôle joué par les gaz à effet de serre dans l'intensification de celui-ci, il semblerait logique d'énoncer une liste limitative des gaz émis par la nature comme par l'homme, mais il est apparu que les gaz énumérés ci-dessus n'épuisaient pas le sujet. En effet, comme il ressort du tableau suivant, extrait du rapport 2001 du GIEC, **la liste des gaz à effet de serre ne se limite pas à ceux mentionnés dans le protocole de Kyoto**. Au lieu des six gaz dont l'encadrement est tenté à travers ce protocole, **le GIEC ne mentionne pas moins de 42 gaz à effet de serre ; de plus, cette liste elle-même n'est pas close**, de nouveaux gaz à effet de serre pouvant toujours être inventés par l'homme.

**Temps de résidence dans l'atmosphère et potentiel
de réchauffement global des gaz à effet de serre**
(sur la base d'une comparaison avec un kilogramme de dioxyde de carbone)

IV. LES QUELQUES GAZ À EFFET DE SERRE VISÉS PAR LES CONVENTIONS INTERNATIONALES

Jusqu'à présent, les conventions internationales n'ont pas retenu tous les gaz à effet de serre dans la liste de ceux dont les réductions sont envisagées.

C'est ainsi que **le protocole de Kyoto retient seulement six gaz à effet de serre :**

- le dioxyde de carbone (CO₂),
- le méthane (CH₄),
- l'oxyde d'azote (N₂O),
- les hexafluorocarbures (HFC),
- les perfluorocarbures (PFC),
- l'hexafluorure de soufre (SF₆).

Quelle part **la France** prend-t-elle dans leur émission ?

Pour les six gaz à effet de serre visés par le protocole de Kyoto, la France a émis, en 1990, 545 millions de tonnes d'équivalent de CO₂ - hors combustion de la biomasse et hors effet de « l'utilisation des terres, de ses changements et forêts (UTCf) », selon l'expression employée par les agronomes.

Une évolution spontanée aurait conduit à 688 Mte de CO₂ en 2010 (+26 %) et 783 Mte de CO₂ en 2020.

Compte tenu des mesures intervenues, le niveau des émissions pourrait être ramené à 519 Mte de CO₂ en 2010 (-4,6 % par rapport à 1990) et 531 Mte de CO₂ en 2020.

Cependant, votre Rapporteur insiste non seulement sur la nécessité de manifester une forte détermination à l'échelon international, mais encore à la faire suivre d'effets. A cet égard, les Etats-membres de l'Union européenne ont déclaré que **les HFC, PFC et SF₆ ne peuvent être considérés sur le long terme comme des substituts viables aux substances altérant la couche d'ozone**, ces divers gaz étant des gaz à effet de serre.

Néanmoins, une majorité d'Etats-membres se sont opposés à un système européen de taxation des gaz fluorés.

V. LES EFFETS RADIATIFS RESPECTIFS DES GAZ À EFFET DE SERRE ET LEURS RYTHMES D'ÉMISSION ET DE DISSIPATION

Ces rythmes sont propres à chaque gaz et souvent encore en partie méconnus, ne serait-ce que parce que le mécanisme d'absorption de certains gaz par la végétation ou les océans n'est pas encore complètement élucidé et que, de plus, rien ne permet d'affirmer que ce mécanisme continuera à fonctionner une fois les changements climatiques survenus.

De plus, il doit être encore une fois rappelé qu'un important puits d'absorption du gaz carbonique demeure non identifié.

Sous ces réserves, le tableau ci-dessous permet de garder en mémoire quelques ordres de grandeur :

Gaz à effet de serre	Pouvoir de réchauffement (Watt /m ²)	Durée de vie (années)	Pouvoir de réchauffement par rapport au CO ₂ (1)
Gaz du protocole de Kyoto			
- Dioxyde de carbone (CO ₂)	50	100 à 120	1
- Méthane (CH ₄)	1,8	12	23
- Oxyde d'azote (N ₂ O)	1,3	114	296
- Hexafluorocarbures (HFC)		de quelques mois à 260 années	12 à 12000
- Perfluorocarbures (PFC)		2600 à 50000	8900 à 18000
- CFC 11	100		
- CFC 12			
- Hexafluorure de soufre (SF ₆)	1,3	3200	22200
Autres gaz	0,12		
- Vapeur d'eau (H ₂ O)	0,22		
- Ozone troposphérique (O ₃)			

(1) A l'horizon de 100 ans, pour 1 kg de divers gaz à effet de serre comparé au pouvoir de réchauffement de 1 kg de dioxyde de carbone

Sur les 342 W/m^2 envoyés par le Soleil, le flux solaire moyen absorbé par la Terre est de 240 W/m^2 , ce qui correspond à une température de -18°C , mais, **grâce à l'effet de serre, la température moyenne au sol est de $+15^\circ\text{C}$** , ce qui correspond à un flux infrarouge émis de 390 W/m^2 .

Dans l'hypothèse d'un doublement de la concentration de dioxyde de carbone dans l'atmosphère, 4 W/m^2 supplémentaires d'infrarouges seraient retenus dans la basse atmosphère.

Ce chiffre semble faible, mais ce piégeage est amplifié par les rétroactions du cycle de l'eau. Il peut être rapproché des données paléoclimatiques qui montrent que, **entre un climat interglaciaire et un maximum glaciaire, la température à la surface de la Terre diminue en moyenne de 4° à 5°** , alors que la variation d'origine astronomique du flux solaire reçu en moyenne est nettement inférieure à 5 W/m^2 .

VI. LE RÔLE DE LA BIOSPHERE CONTINENTALE DANS LE CYCLE DU CARBONE

Votre Rapporteur souhaite insister sur ce point pour souligner la difficulté de mesurer les variations de CO_2 et son influence sur la photosynthèse.

A. LA MESURE DE LA CONCENTRATION EN DIOXYDE DE CARBONE

Au centre du débat sur l'effet de serre et son intensification, se trouve **la nécessité de mesurer les variations de gaz carbonique dans l'atmosphère**, lesdites variations de la teneur en gaz carbonique ne pouvant être mesurées qu'à partir d'une bonne connaissance de l'état initial. Or, **cette connaissance est affectée d'une incertitude d'au moins 20 %**.

Dans le renouvellement du CO_2 atmosphérique, une différence entre les émissions et l'absorption apparaît puisque, sur les 7 milliards de tonnes de carbone rejetées annuellement par les activités humaines, un peu moins de la moitié se retrouve dans l'atmosphère sous forme de CO_2 , le reste étant absorbé, à parts presque égales, par les océans et par la biosphère continentale. Quant au carbone absorbé par les continents, qui fait l'objet de cette sous-partie, il ne peut être absorbé que par la biomasse (essentiellement le bois des arbres) ou la matière organique des sols.

A partir des mesures générales du taux de CO_2 dans l'atmosphère, menées seulement à partir de 1958, il est apparu que **la teneur en CO_2**

présente des fluctuations saisonnières variant avec la latitude. Il a été noté également que **80 % au moins des fluctuations saisonnières du CO₂ proviennent des échanges avec les continents**, ce qui explique que les variations augmentent avec les variations saisonnières du climat, surtout dans l'hémisphère nord, qui comporte beaucoup de continents.

Dans toutes les mesures effectuées, il est apparu que **l'augmentation de la concentration en CO₂ correspond à l'utilisation massive de combustibles fossiles**. Toutefois, si le carbone témoignant de cette utilisation est appauvri en ¹³C (1), c'est également le cas de celui qui provient de la déforestation. Or, si la consommation de combustible fossile peut être estimée avec moins de 10 % d'erreur, en revanche, **les rejets de CO₂ liés à la déforestation sont considérés comme entachés d'une erreur d'environ 80 %**.

En outre, **l'importance du stock de matières organiques empêche pratiquement de mesurer des variations sur une période inférieure à dix ans**, ce qui complique encore les estimations.

De nombreuses études ont été entreprises pour **étudier les variations de la biomasse** (celles de la culture, de la prairie, des forêts), estimer également le flux de CO₂ au niveau de l'écosystème (à partir des végétations basses, des forêts), à celui de l'étude des échanges gazeux de la branche, de la respiration du bois et du sol.

Au-delà de ces estimations permettant d'évaluer les échanges de CO₂ au-dessus des continents, **des estimations des flux de CO₂ à l'échelle régionale** ont également été tentées à partir de mesures effectuées sur des tours surplombant des forêts, ou d'appareillages embarqués à l'avant d'un avion. Ces mesures sont complétées par celles concernant la couche limite planétaire (CLP) (2) où un avion qui monte et descend dans cette couche mesure, de jour comme de nuit, le profil de température, d'humidité et de concentration en CO₂.

Pour compléter les différentes mesures continentales ou régionales, **des modèles d'échange de CO₂** ont été imaginés à partir des années soixante. Les modèles régionaux et globaux ont en général une maille d'espace de l'ordre de 50 à 100 km de côté.

(1) *Atomes de carbone qui, du point de vue chimique, ont les mêmes propriétés que le carbone ordinaire, mais dont le noyau est composé de six protons et de sept neutrons (alors que le noyau du carbone ordinaire se compose de six protons et de six neutrons).*

(2) *La couche limite planétaire est la zone dans laquelle les caractéristiques de l'air sont influencées par la présence de la surface terrestre. Elle représente quelques dizaines de mètres la nuit (sol plus froid que l'air, atmosphère stable) et aussi entre 1 et 3 km de hauteur en cas de beau temps (sol chaud).*

Selon les modèles employés, des résultats assez différents sont parfois obtenus, qui alimentent les divergences dans les conférences internationales ; c'est ainsi que certaines estimations concluent que les Etats-Unis d'Amérique constitueraient un puits pour le CO₂ en dépit des rejets importants provenant de la consommation des combustibles fossiles, ce qui apparaît peu crédible et étroitement lié au choix des stations de mesures retenues en l'espèce.

En effet, à l'heure actuelle, il est considéré que le réseau de mesures privilégie les mesures océaniques pour en tirer des moyennes par bandes de latitude, alors que le rôle des continents est amoindri, notamment lorsque ceux-ci émettent beaucoup de gaz carbonique.

B. L'INFLUENCE DE LA CONCENTRATION EN DIOXYDE DE CARBONE SUR LA PHOTOSYNTHESE

Il est apparu que **l'augmentation de la teneur en gaz carbonique pouvait avoir une influence éventuellement positive sur les écosystèmes**. En effet, l'augmentation de la productivité des écosystèmes, c'est-à-dire la stimulation de la photosynthèse, pouvait conduire à une augmentation de l'absorption de gaz carbonique.

Il a été constaté qu'une augmentation de 300 ppmv en CO₂ pouvait stimuler la photosynthèse des arbres isolés d'environ 60 % en moyenne – ces arbres isolés étant stimulés non seulement par l'effet direct du CO₂, mais aussi par la croissance supérieure de la surface foliaire. En revanche, la stimulation de la photosynthèse d'un couvert forestier fermé n'est que d'environ 25 % à 30 %. D'où la conclusion que **l'effet fertilisant du CO₂ peut constituer un puits de carbone important**. Il en est de même chez les plantes cultivées, pour lesquelles un doublement du CO₂ entraîne une augmentation de productivité de 30 à 40 %.

De plus, **l'augmentation de la température peut également accroître la productivité des forêts, en allongeant la durée de la saison de croissance**.

Une question reste à trancher, celle de savoir si les temps de résidence du carbone dans la biomasse et dans la matière organique du sol sont susceptibles de varier avec l'augmentation de la productivité.

La biosphère continentale absorbant environ chaque année près de deux millions de tonnes de carbone, la question demeure de savoir comment détecter cette augmentation du stock de carbone dans la biomasse et les sols, et apprécier l'homogénéité de ce stockage sur la surface des océans et dans les zones privilégiées.

Sur ces points, il a été noté que l'amplitude des fluctuations saisonnières du CO₂ a augmenté, ce qui suggère que l'augmentation démarre plus tôt, que **la saison de croissance végétale dure de plus en plus longtemps dans l'hémisphère nord (environ 8 jours de plus entre 1981 et 1991), que les forêts européennes poussent plus vite**, notamment les principales espèces forestières françaises (sapins, épicéas, chênes sessiles, chênes pédonculés, hêtres). La même tendance a été observée en Suisse et en Scandinavie. Cependant, il a été noté qu'au-delà de l'augmentation du CO₂, les dépôts d'azote et de soufre constituaient aussi une sorte d'apport involontaire d'engrais, à travers les mécanismes d'émission et de diffusion des polluants atmosphériques.

Ces modifications du gaz carbonique comme des températures doivent être prises en compte pour éviter des erreurs dans le choix des espèces plantées. En outre, **pour être durable, l'enrichissement en CO₂ doit s'accompagner d'une augmentation du flux d'azote disponible chaque année pour les arbres.** Cette possibilité de maintien du puits de carbone continental dépend très fortement de cette relation entre les sites de carbone et de l'azote.

Des mesures ont indiqué que **même dans des forêts considérées comme à l'équilibre, il semblait exister un puits de carbone significatif.** Toutefois, d'une manière générale, la biosphère continentale est actuellement en déséquilibre (augmentation du CO₂ atmosphérique, de la température, des dépôts azotés, changement d'utilisation des terres). D'où un accroissement général de la production primaire, mais il reste à estimer l'importance et la durée de ces phénomènes au cours des années à venir, en fonction de la variabilité du climat.

CHAPITRE DEUXIÈME : LES AÉROSOLS ET L'EFFET DE SERRE


Pendant longtemps, seuls les gaz à effet de serre ont été pris en compte pour étudier le phénomène du réchauffement climatique. Puis, il est apparu que les aérosols naturels ou créés par les activités humaines jouaient un rôle considérable dans l'évolution du climat, et même qu'ils constituaient pour l'Académie des Sciences (1), « *la plus grande source d'incertitude dans le calcul du forçage du climat* ». En effet, **les aérosols rediffusent le rayonnement solaire, modifient l'albédo des nuages et provoquent un refroidissement**. Ils favorisent aussi **la modification des équilibres micro-physiques et chimiques de l'atmosphère**.

I. LA NATURE DES DIFFÉRENTS AÉROSOLS

Parmi les aérosols d'origine naturelle figurent **les embruns marins, les particules arrachées par le vent, des composés gazeux** (le sulfure de diméthyle (DMS), l'ammoniac (NH_3), les hydrocarbures réactifs). Les activités humaines produisent, elles, des aérosols formés de **carbone** et de **soufre**.

L'importance du rôle joué par les aérosols n'est pas fonction de leur abondance dans l'atmosphère, mais de l'importance des transformations physico-chimiques complexes qu'ils y subissent. C'est pourquoi alors que l'oxysulfure de carbone (COS) est le composé soufré le plus abondant, son assez grande stabilité fait qu'il ne concerne pas vraiment le bilan radiatif. A l'inverse, **le dioxyde de soufre (SO_2), le sulfure de diméthyle** subissent, eux, des transformations complexes et quoique n'étant présents qu'à l'état de trace dans l'atmosphère, leur rôle y est remarquable.

Dans l'émission des sources de soufre, les activités humaines jouent un rôle important en atteignant 70 % des émissions globales. Toutefois, avant de développer quelques considérations que ce soit sur le rôle des aérosols dans l'effet de serre, il est essentiel de souligner que les estimations des principales sources de soufre gazeux dans l'atmosphère restent

(1) « L'effet de serre »  Académie des Sciences. Rapport n° 31. TEC & Doc. 1994. 86 p.

probablement entachées d'erreurs importantes, ainsi que l'a relevé l'Académie des Sciences dans le rapport précité.

Tel est le cas en particulier pour la présence et **le rôle du sulfure de dyméthyle** dans l'eau de mer et pour son rôle dans les échanges océan/atmosphère.

En effet, trois incertitudes limitent les raisonnements : celles sur l'impact éventuel des changements climatiques sur la concentration de sulfure de diméthyle, une autre sur le coefficient d'échange entre l'eau de mer et l'atmosphère, et enfin, des mesures manquent pour de vastes réseaux océaniques. Une chose demeure : le DMS peut avoir un impact sur l'albédo des nuages stratiformes au-dessus des océans.

A côté des composés soufrés existent **des aérosols de combustion**. Les aérosols résultant de ce phénomène s'oxydent et interagissent avec d'autres gaz. C'est ainsi que le SO_2 en s'oxydant voit son sort lié à celui du carbone dans l'atmosphère. Dans les activités de combustion, l'homme joue un rôle essentiel et ce ne sont pas les combustions industrielles comme on pourrait d'abord le penser qui en constituent la source majeure, mais plutôt **les feux de biomasse** qui émettent deux fois plus de particules que les combustions industrielles de plus en plus réglementées.

Sur la surface du globe, les sources de carbone particulières se trouvent réparties de manière très dissymétrique. En effet, **près de 90 % des activités humaines sont concentrées dans l'hémisphère nord**, qu'il s'agisse des combustions industrielles des pays développés ou des combustions de végétations dans la ceinture intertropicale et sur le continent africain.

Dans l'évaluation des flux de particules, un contraste apparaît puisque le flux résultant des activités industrielles sont réguliers alors que celui des flux de biomasse est aléatoire, d'où la difficulté d'établir une évaluation.

Une fois établie l'origine des aérosols de combustion, il est indispensable d'en suivre le devenir car souvent, **ces aérosols se retrouvent à plusieurs milliers de kilomètres de leur lieu d'émission**. L'origine des particules peut être déterminée en analysant la composition isotopique du carbone (1).

Enfin, une fois repéré le mouvement des aérosols, il faut distinguer entre eux dans la mesure où les réactions qui se produisent modifient le revêtement de surface de ces particules et donc son efficacité d'absorbant optique qu'un revêtement épais peut diminuer, d'où **l'impossibilité de**

(1) L'analyse du rapport $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ permet de reconnaître des aérosols d'origine marine de ceux d'origine continentale, tandis que l'activité ^{14}C différencie le carbone ancien du carbone contemporain.

formuler une conclusion d'ensemble sur les effets de la présence de ces particules.

Contrairement aux gaz à effet de serre étudiés ci-dessus, **les aérosols de combustion ont un temps de résidence dans la troposphère très bref**, sept jours en moyenne, ce qui ne leur laisse pas le temps de passer d'un hémisphère à l'autre.

En revanche, **les aérosols résultant d'éruptions volcaniques** puissantes peuvent parvenir à la stratosphère et y résider **plusieurs mois, voire quelques années**, ayant alors des effets à l'échelle de la planète.

II. LE REFROIDISSEMENT DE LA TROPOSPHÈRE PAR LES AÉROSOLS

En théorie, **les aérosols provoquent un refroidissement de la troposphère soit par réfléchissement du rayonnement solaire (effet direct), soit en favorisant la réflectivité des groupes nuageux en y augmentant le nombre de gouttelettes d'eau (effet indirect).**

La mesure de ces deux effets est extrêmement délicate puisque l'influence des aérosols dépend de leur distribution dans l'espace, dans le temps et de leurs propriétés optiques qui, comme il a été indiqué ci-dessus, varient sans cesse. Comment, dès lors, procéder à des estimations en établissant des moyennes globales du rôle joué dans le réchauffement ou le refroidissement de la troposphère par les aérosols ?

La même difficulté apparaît pour l'effet indirect puisque la taille des gouttes n'agira pas de la même façon sur l'albédo des nuages. **De grandes incertitudes demeurent sur le lien entre la taille des gouttelettes d'un nuage et son effet réfléchissant.** De même quant à la formation des gouttelettes elles-mêmes.

Des calculs ont tenté d'établir les paramètres optiques des particules mais les observations expérimentales n'ont pas confirmé ces calculs de manière suffisamment probante. De ces difficultés résulte **l'impossibilité de modéliser l'impact radiatif indirect des aérosols de combustion en liaison avec la modification de la couverture nuageuse.** Il a été retenu que l'impact radiatif indirect des particules de combustion devait être égal à son impact radiatif direct mais il s'agit là d'une simplification.

Au total, même si l'effet de refroidissement des aérosols joue en sens inverse de l'effet de réchauffement des gaz à effet de serre, une estimation

précise de cet effet de refroidissement semble jusqu'à nouvel ordre vouée à l'échec. De plus, **même s'il était établi que l'effet refroidissement des aérosols était de même ampleur que l'effet de réchauffement des gaz à effet de serre, l'hétérogénéité spatiale de la présence d'aérosols, comme leur brève durée de vie, empêcherait de considérer que leur impact pourrait compenser de manière réelle le réchauffement induit par les gaz à effet de serre.**

En conclusion, il convient aussi de rappeler que tout au long de l'étude consacrée par l'Académie des Sciences au rôle spécifique des aérosols et de leurs effets sur le climat, l'Académie des Sciences a insisté sur les multiples incertitudes affectant encore ce champ d'investigation.

Dans le dernier rapport du **GIEC** paru en octobre 2001, l'importance des aérosols est rappelée en insistant non seulement sur **l'effet direct** de ceux-ci qui consiste à réfléchir et diffuser la lumière, donc à diminuer l'absorption de la chaleur du soleil (1), mais aussi sur **l'effet indirect** dans la mesure où les aérosols modifient la microphysique et donc les propriétés radiatives des nuages.

Il est rappelé que les aérosols peuvent avoir des sources naturelles ou anthropiques et que ceux-ci peuvent être dissipés rapidement grâce aux précipitations, souvent en moins d'une semaine. Le GIEC a insisté également sur le fait que **le pouvoir radiatif des aérosols** dépend non seulement de leur distribution dans l'espace mais aussi de leur taille et de la composition chimique des particules elles-mêmes. Comme toujours, le GIEC insiste aussi sur **les incertitudes** qui ne peuvent manquer d'être attachées aux estimations liées au forçage radiatif découlant des aérosols.

Le GIEC distingue **trois catégories d'aérosols d'origine anthropique**, les sulfates d'aérosols, ceux qui résultent de la combustion de la biomasse et les suies.

Il résulte de l'ensemble de ces éléments que l'étude de l'intensification de l'effet de serre doit inclure celle des aérosols mais que cette prise en compte indispensable apporte, dans un premier temps, encore davantage d'incertitudes.

(1) En revanche, pour **la suie**, l'effet direct est une absorption de la chaleur solaire.

CHAPITRE TROISIÈME : LE RÔLE DE L'HOMME DANS L'ÉMISSION DE GAZ A EFFET DE SERRE

La plupart des activités humaines se traduisent par l'émission de gaz à effet de serre qu'il s'agisse des **sources d'énergie fossile** utilisées pour celles-ci (charbon, pétrole, gaz naturel), de **l'agriculture**, de **l'élevage**, de **la sylviculture**, des **transports** ; même **l'habitat** de l'homme constitue une autre cause d'émission de gaz à effet de serre.

Le développement des sociétés industrialisées serait-il très largement fondé sur l'accroissement maximal des émissions de gaz à effet de serre ?

I. LE RECOURS MASSIF RECENT AUX COMBUSTIBLES FOSSILES

Le caractère récent de cet usage est apprécié par rapport aux durées climatiques. Le recours systématique au charbon, au pétrole puis au gaz depuis le début de la révolution industrielle, vers le milieu du XIX^{ème} siècle et les perspectives d'une accélération de ce phénomène intéressent prioritairement l'étude de l'intensification de l'effet de serre.

A. LE CHARBON

Le charbon résultant de très anciennes forêts fossilisées et décomposées, brûler celui-ci revient à libérer le carbone stocké dans le bois.

Les courbes d'utilisation du charbon montrent que celui-ci constitue **la base énergétique des sociétés modernes**, y compris celle des **Etats-Unis d'Amérique** encore aujourd'hui et qu'il sera le fondement du développement de la **Chine** comme de l' **Inde**.

Ce constat est particulièrement préoccupant car il fait douter de la possibilité de réduire les émissions de gaz à effet de serre dans des proportions appréciables. Il fait même craindre que les réductions d'émissions opérées ici ou là restent marginales par rapport à l'accroissement des émissions futures.

Le charbon reste une énergie dont l'usage croît même si sa part relative diminue.

En effet, **les besoins d'électricité sont en hausse** et celle-ci est majoritairement produite à partir de charbon ou de gaz.

De nouvelles demandes émanent aussi de pays comme le Brésil, la Chine ou l'Inde qui développent leur industrie sidérurgique ou cimentière.

En outre, **la Chine et les Etats-Unis d'Amérique ensemble consomment près de 55 % du charbon mondial** et l'importance de leurs réserves charbonnières laisse supposer un maintien, voire un accroissement de cette tendance.

Au niveau mondial, **les réserves de charbon représentent plus de deux siècles de consommation au rythme actuel.**

Un pays comme **l'Australie**, premier exportateur mondial de charbon, a de bonnes raisons de ne pas être en pointe dans la réduction des émissions de gaz à effet de serre.

Autant de facteurs qui ralentiront un moindre recours au charbon. Mais une évolution en ce sens est-elle même envisageable ?

Selon **le rapport 2001 du GIEC**, quatre familles de scénarios sont envisagées (A1, A2, B1 et B2) à l'horizon **2050**, leurs hypothèses de départ sont résumées dans le tableau suivant :

	A1	A2	B1	B2
Croissance démographique	lente	forte	maîtrisée	soutenue
Croissance économique	forte	ralentie	+de services +d'information	soutenue
Technologies nouvelles	rapide	ralentie	rapide	ralentie
Consommation mondiale d'énergie primaire	x 3,4	x 2,5	x 2	x 2,1

Il résulte de tous ces scénarios que **la consommation mondiale d'énergie primaire serait multipliée au minimum par deux entre 2000 et 2050.**

D'après ces schémas d'évolution, lorsque la consommation de charbon n'augmente pas rapidement, notamment en Asie, ce sont celles de pétrole ou de gaz qui prennent le relais pour l'essentiel, ce qui maintient **dans**

tous les cas le recours massif aux combustibles fossiles et entraîne donc d'importantes émissions de gaz à effet de serre.

Si **des solutions technologiques** ont permis de réduire les émissions de gaz à effet de serre du charbon, leur efficacité demeure limitée à environ 20 % et exige des investissements très coûteux.

De plus, la fabrication de **combustibles liquides** à partir du charbon, ou du gaz, devrait entraîner des émissions supplémentaires de CO₂, ces techniques étant fortement consommatrices d'énergie.

B. LE PÉTROLE

Le recours massif au charbon fut complété plutôt que relayé par l'usage intensif des hydrocarbures (pétrole et gaz naturel).

L'histoire des cinquante dernières années est fortement marquée par la quête du pétrole et l'omniprésence de ses usages dans la société moderne.

La géopolitique comme la vie quotidienne ont été, pour ainsi dire, imprégnées de pétrole.

La sécurité de l'approvisionnement en pétrole, les voies terrestres ou navales de son acheminement, les multiples usages des matières plastiques, la pétrochimie sont devenues indissociables des sociétés industrialisées.

Provenant comme le charbon, de la décomposition de forêts, donc de carbone, **le pétrole brûlé dégage du gaz carbonique et renforce l'effet de serre.**

Pourtant, **le recours au pétrole n'est pas prêt d'être abandonné, ni même réduit.**

Toutes les études s'accordent sur le fait que la croissance de la demande future de pétrole viendra principalement des pays en développement du Sud-Est asiatique et du secteur des transports.

Quant aux réserves de pétrole (prouvées, probables, possibles), il semble que **les réserves prouvées** (1) atteignent 1.000 milliards de barils, soit 138 milliards de tonnes, c'est-à-dire **quarante à quarante-cinq ans de production** au rythme actuel ; les deux-tiers de ces réserves étant situées au Moyen-Orient.

Toutefois, de nombreux exemples passés montrent que les réserves pétrolières prouvées ont généralement été sous-estimées.

(1) *Hydrocarbures récupérables aux conditions économiques et techniques du moment.*

A l'inverse de ce qui a été observé ci-dessus pour le charbon (scénarios B1 et B2), **aucun scénario du GIEC ne prévoit de baisse de la consommation de pétrole à l'horizon 2050.**

C. LE GAZ NATUREL

Sa part a rapidement augmenté dans l'économie mondiale. **Il dégage du méthane (1), du dioxyde de carbone et de l'oxyde d'azote.**

Comme pour le pétrole, il s'agit davantage de limiter son essor que d'organiser la régression du recours à cette source d'énergie devenue indispensable.

Le gaz naturel ne contenant ni soufre, ni azote, ni métaux lourds, il présente des avantages en matière de pollution.

Il a été estimé que **le remplacement du charbon par le gaz permet une réduction de 40 % du dioxyde de carbone émis et de 25 % lorsqu'il remplace le pétrole.**

Tous les scénarios pour 2050 rassemblés par le GIEC considèrent que le recours au gaz naturel sera accru et massif.

D. L'ÉLECTRICITÉ ISSUE DE COMBUSTIBLES FOSSILES

39 % de l'électricité mondiale est produite à partir du charbon et 9 % à partir du pétrole.

Selon les pays, la production électrique émane surtout du charbon (Chine : 75 %, Allemagne : 55 %, Etats-Unis d'Amérique : 53 %) ou surtout du pétrole (Italie : 49 %), ou encore du nucléaire (France : 75 %).

Le remplacement des centrales thermiques classiques par **des centrales à turbine à cycle combiné** (turbine à gaz et turbine à vapeur) permet de bien meilleurs rendements pour des coûts de construction nettement inférieurs à ceux des centrales thermiques classiques mais le rythme de ce remplacement dépend directement de l'âge des parcs de centrales thermiques en fonction.

A cet égard, **l'Europe** ne devrait pas disposer de centrales à cycle combiné avant plusieurs décennies, son parc étant constitué de nombreuses

(1) Du fait des fuites lors de l'exploitation du gaz naturel. Ces fuites sont estimées entre 25 et 50 millions de tonnes par an.

centrales récentes lesquelles dégagent, en outre, des capacités de production excédentaires.

De leur côté, **les Etats-Unis d'Amérique** possèdent à la fois beaucoup de centrales nucléaires et de centrales conventionnelles dont la fin de vie théorique se situe entre 2000 et 2020, ce qui apparaît idéal pour un renouvellement qui semble, d'ailleurs, pour l'instant, écarter totalement l'option nucléaire.

Cependant, face aux centrales à gaz, **les centrales à charbon** continuent d'occuper une place importante (réserves abondantes de minerai à un prix peu élevé, face à des gisements de gaz naturels assez localisés).

De nouvelles techniques permettent de limiter les émissions de ces centrales (centrales à charbon pulvérisé émettant moins de soufre mais davantage de gaz carbonique et ce pour un coût élevé ; chaudières à lit fluidisé ; centrales à charbon gazéifié).

Enfin, il résulte de l'ensemble des évolutions actuelles qu' **à l'horizon 2020-2030**, il faudra avoir construit autant de centrales électriques qu'il en existe aujourd'hui. Beaucoup de ces futures centrales fonctionneront au charbon ainsi que l'ont précisé M. Bernard MECLLOT et M. Jean-Yves CANEIL, EDF ☞.

II. L'ÉMISSION DE GAZ À EFFET DE SERRE PAR LES ACTIVITÉS TRADITIONNELLES

A. L'AGRICULTURE

L'agriculture dégage principalement deux gaz à effet de serre : **le méthane (CH_4)** et **le protoxyde d'azote (N_2O)** ou oxyde nitreux.

Parallèlement, les sols emmagasinent du carbone.

1. Les émissions de protoxyde d'azote à l'échelle agronomique

Comme il a été indiqué plus haut, le N_2O ou protoxyde d'azote est un gaz de l'atmosphère mille fois moins concentré que le gaz carbonique, mais ayant un coefficient radiatif 200 fois plus fort et responsable à ce titre d'environ 5 % du forçage radiatif, c'est-à-dire de l'intensification de l'effet de serre.

Au cours des deux derniers siècles, la concentration de l'atmosphère en protoxyde d'azote est passée de 275 à 312 ppbv (1), l'essentiel de cette progression étant intervenu au cours des cinquante dernières années. Or, il a été estimé que sa durée de vie dans l'atmosphère devait être de l'ordre de 120 ans. Cependant, comme ce gaz s'élimine par photodissociation sous l'effet du rayonnement solaire dans la stratosphère, le protoxyde d'azote contribue à la décomposition de la couche d'ozone.

Malgré les efforts de quantification entamés, il convient dès à présent de souligner que les estimations demeurent assez imprécises, mais qu'elles conduisent à penser que **près de 65 % des émissions de protoxyde d'azote proviennent du sol, dont un tiers des sols cultivés.**

Les connaissances sur ce sujet sont, pour une partie d'entre elles, très récentes. En effet, **la production de N₂O dans les sols est probablement due à plusieurs transformations du cycle de l'azote, et non à une seule.** La dénitrification (2) a été longtemps considérée comme le principal mécanisme producteur de N₂O, mais il a été démontré dans les années 1980 que la production de N₂O pouvait également être le fait de la nitrification (3). En outre, la production de N₂O peut encore résulter de l'action des microflores.

Au-delà des mécanismes mêmes de production du N₂O, une difficulté de mesure provient de **la très grande variabilité spatiale et temporelle des émissions de ce gaz.** En effet, celle-ci résulte à la fois des caractéristiques des sols et des fluctuations climatiques. Beaucoup de mesures ont été effectuées ayant recours à des méthodes diverses (enceintes fermées de quelques décimètres cubes placées à la surface du sol et dans lesquelles des prélèvements de gaz étalés sur environ une heure sont effectués puis analysés ou méthodes micrométéorologiques fonctionnant en continu et intégrant des fluctuations moyennes sur des surfaces de l'ordre d'un hectare).

Mais, même si des expérimentations comparatives ont été menées en France entre ces deux méthodes de mesures qui semblent converger dans leurs résultats, il n'en demeure pas moins que **les données quantitatives sur les émissions de protoxyde d'azote sont considérées comme encore peu nombreuses et établies sur des durées trop courtes.** C'est pourquoi, avant de donner des ordres de grandeur et de présenter des hypothèses sur les effets de ces émissions, il faut insister sur l'insuffisance des données expérimentales et la faible pertinence des modèles de prévision des émissions.

Il faut également souligner que **les émissions de protoxyde d'azote sont très influencées par les apports de fertilisants azotés**, et qu'elles sont importantes au cours des jours qui suivent les apports.

(1) Parties par milliard en volume

(2) Décomposition, par une action bactérienne, des nitrates du sol et des eaux

(3) Transformation, sous l'action des bactéries, de l'azote ammoniacal en nitrates.

De plus, **elles dépendent étroitement du fonctionnement des sols**, résultant pour l'essentiel du fonctionnement hydrique et de la capacité des sols à réduire leur protoxyde d'azote. De plus, le pH(1) acide est considéré comme un élément favorable à la libération de N_2O . Ces considérations sont importantes, car il a été constaté que **les propriétés liées au sol avaient un impact plus marqué sur l'intensité des émissions que les paramètres climatiques ou les pratiques agricoles**. Ainsi, les sols organiques comme les tourbières dégagent des quantités de N_2O beaucoup plus importantes que les autres sols lorsqu'ils sont mis en cultures ou en prairies.

Au-delà des sols, **la végétation joue aussi un rôle sur l'émission de N_2O** à travers son impact sur la disponibilité en azote minéral. C'est en particulier le cas pour les prairies, les émissions les plus fortes étant observées dans les sols de celles-ci.

2. Le stockage de carbone par les sols français

Le stockage net de carbone dans les sols résulte d'une part de l'incorporation dans le sol du **carbone atmosphérique** fixé par la végétation, et d'autre part de la minéralisation du **carbone organique** du sol par les micro-organismes.

Le stockage de carbone dans les sols résulte de deux causes : l'action directe de l'homme sur la végétation et le sol, et les variations spontanées du milieu –où l'homme n'est pas absent non plus à travers les conséquences de son action, par exemple sur la composition de l'atmosphère.

Les études menées en ce domaine ont montré que les racines constituaient la principale source de carbone des sols, que l'agriculture intensive restituait plus de carbone au sol que des systèmes forestiers ou de prairies, et que **le travail réduit du sol et la continuité des prairies constituaient des pratiques aptes à maintenir des stocks de carbone élevés dans les sols**.

Pour la France, **les changements d'usage des terres** au cours des cent cinquante dernières années et leur influence sur le stockage net de carbone ont été étudiés. Un tableau des superficies des grandes classes d'usage des terres en France depuis 1850 permet de resituer le débat (2).

(1) Potentiel hydrogène caractérisant l'acidité ou la basicité d'un milieu.

(2) Cette étude a été menée par Jérôme BALESDENT, du laboratoire d'écologie microbienne de la rhizosphère DEVM/CEA, et Dominique ARROUAYS, service d'étude des sols et de la carte pédologique de France, INRA, UE sciences du sol.C.R.A4.AGRI.FR.1999, 85, n°6, pp. 265-277. séance du 19 mai 1999.

**Paramètres de la dynamique du carbone propre à chaque usage du sol,
utilisés pour l'estimation du flux national de carbone des sols.**

Superficies totales en 1995

Superficies des grandes classes d'usages des terres en France depuis 1850

Il apparaît clairement que **l'augmentation de la température tend à déstocker le carbone en augmentant les vitesses de biodégradation des matières organiques.**

De plus, l'étude citée a montré, de 1900 à 1999, les grands traits des changements intervenus : d'abord un stockage accru (abandon de la jachère traditionnelle, abandon des terres cultivées au profit des prairies puis de forêts) puis, après 1972, une augmentation des superficies à faible stockage (cultures annuelles, jachères et sols artificialisés) aux dépens des prairies. Puis, de 1992 à 1995, la jachère nue imposée par le changement de politique agricole commune a provoqué un déstockage net, cette jachère nue ayant été abandonnée après 1995. Il a été estimé que **l'effet de l'augmentation de la température aurait conduit à un déstockage total de 140 millions de tonnes de carbone entre 1900 et 1998.**

Cependant, il apparaît que **l'estimation historique de l'usage des terres n'est pas évidente à établir** du fait de la divergence des sources et de la difficulté de classer les surfaces.

Pour **la France**, les surfaces cultivables en 1960 ne sont pas connues avec précision. De même, il est probable que l'estimation des surfaces boisées au XIX^{ème} siècle est assez largement erronée. De plus, ont été négligés l'assainissement et l'implantation de la forêt landaise vers 1850. Son effet sur le stock de carbone, par rapport à la végétation préexistante, étant inconnu.

C'est pourquoi les auteurs précités émettent les plus vives réserves sur l'hypothèse centrale de leur étude, à savoir la constance des paramètres depuis 1850. Ils signalent par exemple, à cet égard, que les rendements de la production de blé ont été multipliés par six de 1850 à 1990. Enfin, ils insistent sur le fait que les données manquent sur l'influence des progrès de la sylviculture sur les rendements forestiers. Ils estiment, en conclusion de leur étude, que **les sols français auraient stocké jusqu'à 4 tonnes de carbone par hectare et par an jusqu'en 1980, le flux se réduisant à 0,03 tonne de carbone par hectare et par an, de 1980 à 1990** et qu'il serait envisageable d'amener le stockage jusqu'à 0,06 tonne de carbone par hectare et par an au cours des prochaines décennies, ce qui permettrait de compenser jusqu'à 3 % de la consommation nationale de combustible fossile actuel.

Votre Rapporteur relève qu'au-delà du grand intérêt de telles études, **les incertitudes** qu'elles ne manquent pas de souligner **rendent très aléatoire la possibilité d'établir des inventaires d'utilisation des sols à l'échelle mondiale et donc difficile le contrôle nécessité par l'application du protocole de Kyoto.**

Par ailleurs, il relève que **certaines évolutions de la politique agricole européenne ont eu pour effet d'augmenter les émissions de gaz à effet de serre.** C'est ainsi que l'intensification de la production laitière, de la

production de viande bovine, des productions hors-sol, comme le stockage important des lisiers ou l'utilisation des engrais azotés peuvent être retenus comme des évolutions négatives.

En effet, **les nitrates** provenant des engrais de synthèse émettent du N_2O .

Or, après un tassement au début des années 1990, les ventes **d'engrais azotés** ont connu une nouvelle et forte croissance.

B. L'ÉLEVAGE

Il s'agit de limiter les émissions de CH_4 et de N_2O résultant des déjections animales des élevages intensifs -qui risquent d'atteindre 3,3 millions de tonnes de CO_2 par an en 2010.

Parmi les évolutions à noter, **l'accroissement du cheptel porcin** est particulièrement évidente ; en vingt ans, de 1980 à 1999, elle a atteint 38 %.

L'azote contenu dans les effluents d'élevage entraîne une émission de N_2O .

Pour l'instant, s'il n'existe pas de procédé technique propre à réduire les émissions de CH_4 liées à la fermentation entérique des ruminants, les émissions de CH_4 et de N_2O provenant des déjections annuelles des élevages intensifs peuvent être limitées et sont l'objet de recherches actives. Il s'agit, par exemple, de l'amélioration de la gestion de la fertilisation azotée grâce à une meilleure connaissance des déterminants des émissions de N_2O des sols.

C. LA SYLVICULTURE

Dans la lutte contre l'intensification de l'effet de serre, la fixation du carbone par les forêts joue un rôle essentiel. Tel est naturellement le cas, en particulier, pour **la forêt française** qui, bien exploitée, est peut-être mieux à même que d'autres de participer à cette fixation du carbone.

Votre Rapporteur tient à insister sur cet aspect pour deux raisons : il lui semble que **l'atout représenté par la forêt française n'a pas été assez mis en évidence lors des négociations internationales sur la réduction des émissions de gaz à effet de serre** et, ce, alors que **la forêt française, particulièrement bien exploitée, devrait être davantage valorisée.**

Dans un rapport au Premier ministre élaboré en 1998 et intitulé « *La forêt : une chance pour la France* » (1), M. Jean-Louis BIANCO a montré que **le secteur économique de la forêt devrait être considéré comme prioritaire**, non seulement pour le rôle crucial qu'il joue dans l'équilibre et l'aménagement du territoire (préservation de la ressource en eau, protection des sols contre l'érosion, maintien de la biodiversité, prévention des risques naturels, préservation des paysages, accueil du public, développement local...), mais aussi parce que ce secteur, déjà riche de 500.000 emplois, représente encore un potentiel d'emplois élevé et très favorable en terme d'emploi supplémentaire par franc investi.

1. L'importance des forêts

Avant d'évoquer les conclusions mêmes de ce rapport, il convient de rappeler que, contrairement à une idée répandue, **la superficie de la forêt française n'a pas reculé au XX^{ème} siècle**. En effet, à l'inverse de ce qui s'est produit dans la plupart des pays d'Europe entre 1830 et 1880, la superficie forestière française a repris sa croissance au cours du XIX^{ème} siècle, marqué par l'adoption du code forestier en 1827 et par le reboisement initié par Napoléon III. En deux siècles, la surface de la forêt française a pratiquement doublé. Elle représente aujourd'hui 15 millions d'hectares, soit 27 % du territoire national, 13,7 % de la forêt de l'Europe des Quinze et 0,5 % de la forêt mondiale. Dans le passé, la forêt française a occupé environ 40 millions d'hectares à l'époque gallo-romaine, 23 millions d'hectares au milieu du XIII^{ème} siècle et 8 millions d'hectares au début du XIX^{ème} siècle.

Au cours des années 1980, **le débat international sur la gestion durable a mis au premier plan l'intérêt de la conservation des forêts** ; les plus grands forums internationaux s'y sont intéressés, qu'il s'agisse de la convention mondiale sur la biodiversité, de celle sur les changements climatiques ou des conférences ministérielles sur la forêt en Europe. Plus récemment, la mise en œuvre de la directive communautaire « Habitats » (réseau Natura 2000) a fait prendre conscience que **la politique communautaire de l'environnement s'applique aussi au territoire forestier**.

Il s'agit donc pour la politique forestière actuelle de prendre en compte deux contraintes peut-être contradictoires : d'une part, celle de l'écologie, qui impose une vision planétaire, d'autre part, celle de l'économie, dont la globalisation est intervenue. Ainsi, le domaine de la filière bois peut être soumis à des exigences contradictoires. En effet, une bonne gestion des forêts suppose l'exploitation de celles-ci qui, à son tour, exige la possibilité de renouveler cette richesse.

(1) *Collection des rapports officiels. La documentation Française 1998. 141 pages.*

Quelle est donc l'importance de la ressource en bois ?

Par rapport à la surface du globe, **les forêts occupent 3,4 milliards d'hectares, soit 26 % des continents**; la Russie, le Canada et les Etats-Unis d'Amérique en représentant à eux seuls la moitié. Depuis 1980, la surface boisée a diminué de 135 millions d'hectares⁽¹⁾, notamment en raison de la déforestation en zone tropicale que la progression de la forêt en zone tempérée ne parvient pas à compenser.

Sur l'ensemble de la planète **plus de la moitié de la production est destinée au bois de chauffage**. Quant à la répartition de ces forêts sur l'ensemble du globe, près de la moitié de celles-ci sont situées en zone boréale (Amérique du Nord, ex-URSS), 40 % en zone tropicale et 5 % en Europe. Il est envisagé que la consommation de bois augmente d'environ 2 à 2,5 % par an d'ici à **2010**. Quant à la consommation par habitant dans chaque pays, elle ne représente en Europe que la moitié de la consommation américaine ou de celle des pays nordiques.

Sur le **marché mondial du bois**, la France est le dixième producteur mondial et le cinquième exportateur de bois brut derrière les Etats-Unis d'Amérique, la Russie, la Malaisie et l'Australie.

Dans **l'utilisation du bois**, l'ameublement et l'emballage absorbent plus de la moitié des sciages feuillus en France, tandis que le secteur du bâtiment représente 50 % des débouchés des sciages résineux.

Quant à la **construction**, le rôle du bois sera évoqué plus loin dans un développement relatif à l'habitat et aux gaz à effet de serre.

Après avoir envisagé le bois comme matériau de construction ou matériau de chauffage, il est essentiel de resituer ces deux utilisations dans **une gestion durable de la forêt**. La définition même d'un tel concept a donné lieu à de nombreux débats. D'une manière très simplifiée, il est aujourd'hui admis qu'il s'agit de gérer et d'utiliser les forêts de manière à maintenir leur diversité biologique, leur productivité, leurs capacités de régénération, leur vitalité et leur capacité à satisfaire actuellement et pour le futur les fonctions écologiques, économiques et sociales pertinentes au niveau local, national et mondial. Il s'agit aussi de s'assurer que des préjudices ne sont pas portés par la forêt aux autres écosystèmes.

La diversité biologique comprend donc la variété des essences forestières, même si elle est plus vaste que cette notion. Actuellement, sur ce plan, **la situation de la forêt française apparaît assez satisfaisante** ; en effet, elle possède des peuplements mélangés sur plus de 70 % de sa surface et des peuplements comprenant au moins quatre essences sur plus de 20 % de celle-ci, ce qui est supérieur à la situation de bien d'autres pays européens.

(1) Soit neuf fois la superficie de la forêt française.

Cette diversité des essences pourrait constituer un atout face aux impacts des changements climatiques.

En application des engagements pris à Helsinki en 1993 à l'occasion de la deuxième conférence ministérielle pour la protection des forêts en Europe, la France a publié, en 1994, **un plan national de mise en œuvre de la déclaration des principes forestiers** intitulé « *La gestion durable des forêts françaises* », puis, en 1995, elle a publié « *Les indicateurs de gestion durable des forêts françaises* ». Ces divers plans ont insisté sur la nécessité d'utiliser les espèces les mieux adaptées à un milieu, tout en étant très attentif à l'évolution de la fertilité minérale des sols à long terme, ce qui peut supposer de les enrichir.

Au-delà des essences, **le rôle des forêts dans le cycle de l'eau est essentiel** car la couverture forestière est le mode d'occupation des sols qui assure le meilleur impact sur la qualité des eaux. Cela est d'autant plus vrai au moment où les prairies et les haies reculent –même si ce mouvement s'est ralenti-, où les zones humides se dégradent et où l'irrigation et le drainage se développent(1).

Par ailleurs, **le rôle des forêts dans la protection des sols et la lutte contre l'érosion** est largement attesté par les catastrophes naturelles survenant fréquemment après la disparition du manteau forestier : coulées de boues, avalanches... Enfin, **la forêt recueille des poussières en suspension** et joue par là même le rôle d'un piège à particules épurant l'air ambiant. Cela a joué notamment lors de l'accident de Tchernobyl.

2. Le bilan carbone des forêts

Là encore, un état des lieux des bilans de carbone s'impose. Contrairement à ce qui vient d'abord à l'esprit, la seule possibilité de stockage de carbone dans les forêts ne réside pas dans la biomasse végétale, mais également dans la matière organique du sol.

Depuis 1996, dans le cadre du projet européen « *Euroflux* » et avec le soutien du programme « *Agriges* », deux écosystèmes forestiers tempérés français sont étudiés : une hêtraie en Moselle et une pinède atlantique en Gironde. Seize autres sites, situés dans le nord de l'Europe, la France et l'Italie complètent cette étude.

Sans décrire les techniques de mesure du flux net de carbone et les mesures des composants du flux, non plus que l'estimation des stocks de

(1) D'après le rapport BIANCO, 3 millions d'hectares de prairies et plus de 500.000 hectares de haies ont disparu entre 1960 et 1994, 84 % des zones humides ont été dégradées, 30.000 hectares de plus sont irrigués et 50.000 drainés chaque année.

biomasse, il a été observé sur les dix-huit sites opérationnels que **la plus forte immobilisation de carbone était observée sur deux sites recevant les plus fortes précipitations annuelles** (un couvert de hêtres de 90 ans de moyenne montagne en Italie, une plantation de jeunes épicéas de sitka en Ecosse). A l'inverse, une émission nette de CO₂ a été observée au-dessus d'un peuplement mélangé de conifères en Suède, d'âge équivalent (100 ans). Mais là, la pluviométrie était très faible.

Ce simple aperçu met en évidence **la forte variabilité du bilan de carbone des forêts européennes. Le bilan de carbone est en effet très sensible à la température, et un léger changement des conditions climatiques peut suffire à en inverser le résultat. Mais, en forêt tempérée le bilan global de carbone constitue toujours une séquestration de celui-ci. En forêt boréale, les flux d'assimilation et de respiration s'équilibrent.**

Il suffit de retenir que le flux net de carbone d'un écosystème forestier résulte de la somme de deux termes de signes opposés. D'une part la production brute, et d'autre part la respiration (autotrophe et hétérotrophe). Ces distinctions sont utiles dans la mesure où ces composantes n'ont pas la même sensibilité climatique et biologique, ce qui explique les fortes variations interannuelles observées sur les six sites étudiés, et également la forte variabilité spatiale en fonction de la pluviométrie annuelle. De plus, **il n'existe pas de relation directe univoque entre la reproduction ligneuse et le bilan de carbone d'une forêt** puisque, au-delà du feuillage, le sol et le sous-bois jouent un rôle important.

*

Dans le cadre du suivi précis de l'évolution des forêts pour **l'application du protocole de Kyoto**, il serait utile de mettre en place une procédure de **certification des forêts**, de la **traçabilité du bois issu de forêts certifiées** et enfin de la **labellisation des produits finis**. Cette certification pourrait intervenir à travers une approche européenne que l'importance des forêts d'Europe justifie particulièrement. Cela ne remettrait pas en cause le rôle important et reconnu des divers Etats qui ont joué un rôle positif pour la gestion durable des forêts, bien avant qu'il soit question de gestion ou de développement durable, ni les divers modes de gestion de la forêt qui sont favorables à la biodiversité, ni la nécessaire reconnaissance de la multifonctionnalité des forêts.

Le rapport BIANCO a relevé qu'une vision de la gestion durable supposait **la motivation démocratique de tous les acteurs et la certification d'un type de gestion** davantage que d'un type de produit. Cette nouvelle approche englobe aussi une **solidarité financière nord-sud**, encore loin d'être acquise, et devant éviter toute mise en accusation des pays du Tiers-monde.

Dans ce contexte, il pourrait être souhaité **une présence plus forte de l'administration française dans les négociations internationales sur la forêt**, d'autant que **les dernières négociations de Bonn ou de Marrakech n'ont pas montré d'avancées européennes substantielles de l'Europe sur cet aspect**, alors que de nombreux atouts seraient à faire valoir et que d'autres pays ont marqué des points à partir de situations moins avantageuses.

Enfin, une mention particulière doit être faite de **la forêt d'outre-mer**. Elle couvre plus de 7,7 millions d'hectares, comprend pour l'essentiel la forêt tropicale humide située en **Guyane**, où la forêt occupe plus de 90 % du territoire et compte, par exemple, plus de mille espèces ligneuses, soit dix fois plus qu'en métropole. La Guyane est d'ailleurs devenue un pôle européen de recherche sur la forêt tropicale et son aménagement forestier.

*

Au terme de ce rapide survol et à la lumière des auditions auxquelles il a procédé, votre Rapporteur ne peut que s'associer à l'analyse et aux conclusions du rapport BIANCO qui préconisent **la mise en œuvre d'une véritable stratégie forestière française à dix ans**.

Les principaux axes retenus consistant à améliorer la productivité de tous les maillons de la filière, certifier la gestion durable des forêts, élaborer un plan bois-matériau, développer l'usage du bois comme source d'énergie sont d'autant plus indispensables que **c'est seulement une forêt bien exploitée qui peut contribuer à la diminution de l'effet de serre additionnel**. C'est grâce à une parfaite connaissance de sa forêt et des moyens de mieux la mettre en valeur que la France pourra faire valoir, mieux qu'elle ne l'a fait jusqu'alors, les atouts que constitue pour elle une exploitation optimale de sa forêt.

Cette politique peut trouver son prolongement naturel à l'échelon européen en permettant de mettre en œuvre une stratégie forestière commune, comme cela avait été proposé par le Parlement à la Commission en 1997.

Votre Rapporteur note que **la gestion durable de la forêt est un domaine où les échéances et le rythme d'action sont particulièrement en harmonie avec ceux de la lutte contre l'intensification de l'effet de serre**. En effet, s'il faut environ 120 ans pour qu'une molécule de carbone libérée aujourd'hui dans l'atmosphère disparaisse, il faut également environ 120 ans pour faire un hêtre mais, dans les deux cas, il suffit de quelques minutes pour libérer une molécule de carbone ou encore abattre un arbre.

C'est pourquoi votre Rapporteur insiste à nouveau sur la chance que constitue pour la gestion durable de l'environnement l'existence d'une forêt française bien exploitée et la nécessité de relancer certaines politiques liées à

l'exploitation de la forêt en prenant conscience de leur particulière adaptation aux impératifs de la lutte contre l'intensification de l'effet de serre.

D. LES ÉMISSIONS DE MÉTHANE PAR LES DÉCHARGES DE DÉCHETS MÉNAGERS

Des évaluations ont été réalisées à partir des inventaires établis par l'ADEME de 1979 à 1997 pour évaluer des quantités de déchets et leurs effets à **l'horizon 2010**. Ces évaluations prennent en compte les déchets enfouis depuis 1980.

Il faut d'abord noter qu'existent **deux types de décharges, compactées ou non compactées**, et que les décharges non compactées ne produisent pas de biogaz de manière significative. Mais le nombre de **décharges compactées** représentait 40 % du tonnage entre 1980 et 1985, 55 % entre 1985 et 1990, 72 % entre 1990 et 1993, et 87 % après 1993 pour atteindre **presque 100 % en 1999**.

La réglementation sur décharges contrôlées résultant de la circulaire de mars 1987 a encouragé **la mise en place de réseaux de captage et de brûlage des biogaz** (1). Là aussi, la progression des tonnages concernés par les équipements a été assez rapide (10 % en 1993, 25 % en 1996 et 57 % en 1997). Au début de l'année 2000, ces tonnages devaient avoisiner 100 %. Or les rendements des installations qui jusqu'en 1999 étaient de 60 % atteignent maintenant environ 80 %.

A partir de ces données, et dans le cadre de la Mission interministérielle de l'effet de serre, une simulation a été établie sur trois scénarios, concernant respectivement les années 2002, **2010** (hypothèse basse) et 2010 (hypothèse haute)(2) en supposant que les déchets ménagers et assimilés produisent du biogaz de façon significative pendant 30 ans en distinguant à chaque fois la dégradation constante (soit une dégradation de 50 % du carbone organique sur 15 ans) de la dégradation progressive(soit une dégradation de 50 % de carbone organique sur un an pour les déchets très biodégradables, sur 5 ans pour ceux facilement biodégradables et sur 15 ans pour les déchets moyennement biodégradables).

(1)Voir sur ce sujet le rapport sur «Les nouvelles techniques de recyclage et de revalorisation des déchets ménagers et des déchets industriels banals » de M. Gérard MIQUEL, sénateur, et de M. Serge POIGNANT, député – Assemblée nationale n° 1693 (11^{ème} législature), Sénat n° 415 (1998-1999).

(2)Le résultat de ces travaux a été communiqué par M. Eric PRUDHOMME, de l'ADEME, sous le titre «Évaluation des émissions de méthane des décharges de déchets ménagers et assimilés » lors du colloque « Bilan et gestion des gaz à effet de serre dans l'espace rural » tenu à Paris les 18 et 19 mai 1999.

Il a pu être estimé, à la lumière de ces simulations, que **les résultats variaient dans de faibles proportions entre le scénario le plus optimiste et le plus pessimiste (plus ou moins 16 %)**. En revanche, les plages de variation plus importantes apparaissent selon les hypothèses sur la nature constante ou progressive de la dégradation. Il a été surtout noté que **la mise en place du réseau de captage permettait de diminuer les émissions de près de 70 %**, et encore que les 30 % restants provenaient de décharges pas ou mal équipées avant l'an 2000.

De plus, **la valorisation du biogaz de décharge en France ne pose pas de problèmes techniques** mais son véritable essor dépend du prix de rachat de l'énergie. Les questions de rentabilité des installations se posent à travers le potentiel valorisable, la qualité du gaz produit, le type d'énergie fabriqué et la puissance installée. **D'autres pays européens, comme l'Angleterre ou l'Italie, pratiquent depuis longtemps ce genre de valorisation.**

III. L'INDUSTRIE ET LES GAZ À EFFET DE SERRE

Pendant des années, l'industrie a été considérée comme le secteur principal d'émission de gaz à effet de serre. Cela n'est vrai que si le secteur de l'énergie y est incorporé. De plus, l'industrie a opéré des efforts considérables de réduction de ses émissions.

En revanche, actuellement, ce sont les transports qui apparaissent comme le secteur le plus émetteur de gaz à effet de serre – ce qui n'est peut-être pas tout à fait exact si les transports de livraison des produits industriels, de même que les trajets domicile-travail des personnels sont ré-incorporés aux émissions de l'industrie.

A. LES ÉMISSIONS MASSIVES DE L'INDUSTRIE

Dans le secteur de l'industrie, les évolutions d'émissions de gaz à effet de serre sont à la fois importantes et très contrastées.

Elles proviennent pour l'essentiel de la production des **matériaux de base** (acier, verre, plastique...).

Entre 1990 et 1998, l'industrie –hors énergie- a réduit de 10 % ses émissions de gaz à effet de serre, tout en augmentant de 16 % sa valeur ajoutée.

Mais, tandis que l'industrie automobile réduisait ses émissions de 17 % et augmentait sa valeur ajoutée de 41 %, d'autres secteurs accroissaient leurs émissions.

Pour garder en mémoire un ordre de grandeur, il est considéré qu'**un produit manufacturé entraîne l'émission d'une ou deux fois son poids en émissions de gaz à effet de serre.**

En fait, **au niveau mondial**, la répartition des émissions de CO₂ fossile par nature d'activité était la suivante en 1995 :

- 35 % : production et distribution d'énergie ;
- **30 % : industrie ;**
- 20 % : transports ;
- 15 % : résidentiel et tertiaire

(source : Observatoire de l'énergie)

Pour **la France**, cette répartition est :

- 27 % : transport routier ;
- 23 % : résidentiel et tertiaire ;
- **22 % : industrie manufacturière ;**
- 15 % : transformation d'énergie ;
- 11 % : agriculture, sylviculture ;
- 2 % : autres transports

(source : CITEPA)

B. LES POSSIBILITÉS DE CONTRÔLE DES ÉMISSIONS INDUSTRIELLES

Des engagements volontaires de réduction des émissions de gaz à effet de serre ont été souscrits par les industriels au cours des dernières années.

Par rapport à 1990, les objectifs suivants ont été fixés dès 1996 ou 1997 pour 2000 ou 2005 :

- - 5 % de CO₂ (Chambre syndicale nationale des fabricants de chaux grasses et magnésiennes) ;
- - 10 % de CO₂ (Fédération française de l'acier, Chambre syndicale des verreries mécaniques de France) ;
- - 19 % de CO₂ (Péchiney) ;
- - 25 % de CO₂ résultant de sa consommation énergétique (Syndicat français de l'industrie cimentière) soit - 10 % par tonne de ciment fabriqué.

Compte tenu des objectifs fixés à la France pour 2010, le caractère limité de tels accords et la difficulté de contrôler leur application fait douter de l'efficacité d'une telle voie d'action.

Plus convaincantes, sont les mesures de **maîtrise des émissions de protoxyde d'azote (N₂O)** dans l'industrie chimique, prises à la suite de nouvelles réglementations (loi sur l'air, loi relative aux installations classées, directive européenne IPPC de 1996, arrêtés ministériels, TGAP).

En effet, l'impact des émissions de N₂O a été ramené de 28 MteCO₂ en 1990 à 11 MteCO₂ en 1999, soit **une réduction de 61 %** ; 4,3 MteCO₂ devraient être atteints en 2010 et, ce, pour un coût très faible par tonne d'équivalent CO₂ évité.

IV. LES TRANSPORTS ET LES GAZ À EFFET DE SERRE

Ce secteur apparaît aujourd'hui comme **le premier émetteur de gaz à effet de serre en France.**

Cependant, ses diverses composantes sont très inégalement responsables de cet état de fait.

La croissance des transports semble constituer une composante essentielle des sociétés actuelles. En France, **les transports de voyageurs ont augmenté de 18 % en six ans.**

Dans l'ensemble des transports, **les transports collectifs** ne représentent encore que 16 % en 2000 malgré une progression constante - mais modeste, soit 20 % - de 1985 à 2000.

Sur cette même durée, **l'évolution du trafic de voyageurs a augmenté de 44 % pour les véhicules particuliers et de 112 % pour les transports aériens intérieurs.**

La part des véhicules particuliers dans l'ensemble des transports atteint 84 % du total.


Quant aux **transports de marchandises**, leur volume a augmenté de 25 % en dix ans. Au sein de cette activité, **le transport routier représente 69 % du total** –avec 35 % d'augmentation en dix ans. Sans intervention, **le doublement des marchandises transportées par la route pourrait être constaté vers 2020.**

En 1999, 39 % de camions supplémentaires, par rapport à 1992-1993, ont traversé la France.

Le tonnage transporté par le rail n'atteint que le quart de celui de la route. Surtout, de 1985 à 2000, le tonnage ferroviaire n'a augmenté que de 2 %, quand le tonnage routier a progressé de 81 %.

Face à cette évolution, il conviendrait de réduire la distance du trajet domicile-travail pour des raisons évidentes de diminution de l'énergie consommée par les transports liés à ce type de déplacement, mais c'est le contraire qui est observé.

Ainsi, le lieu de travail des actifs était situé en moyenne à 15,1 km de leur domicile en 1999, contre 14,1 km en 1990 et 13,1 km en 1982. Dans la couronne périurbaine de Paris, où se situe le nombre le plus élevé d'actifs, les trajets effectués sont supérieurs à la moyenne nationale.

En réaction face à cela, M. Jean-Louis GUIGOU, Délégué à l'aménagement du territoire, DATAR , souligne les avantages de la division du travail par région.


Si la route, qui comprend les véhicules automobiles individuels et les poids lourds est reconnue comme un secteur très fortement émetteur de gaz à effet de serre, le rail n'a pas seulement recours à l'électricité. Quant au transport aérien, son fort impact reste encore mal évalué. Enfin, le transport maritime ou fluvial a probablement des atouts à jouer.

A. LA ROUTE

Le transport par la route recouvre le transport de voyageurs et celui de marchandises. Il peut être abordé sous divers aspects comme, par exemple, les performances techniques des véhicules fabriqués (consommation de carburant, émission de polluants, de gaz à effet de serre...), les caractéristiques des véhicules compte tenu de la demande (équipements, poids, vitesse...) et l'état et l'entretien du parc.

1. Les performances techniques des véhicules automobiles de transport de voyageurs

Ces performances sont directement liées aux évolutions des moteurs.

D'emblée, il doit être rappelé **qu'il n'y a pas *a priori* de carburant propre et de carburant sale. C'est, en réalité, la performance antipollution du couple indissociable moteur-carburant qu'il faut considérer** (M. André DOUAUD, I.F.P. ).

Chacune des caractéristiques principales des éléments de ce couple va donc être rappelée brièvement.

a) Moteurs thermiques à essence ou diesel

Pendant des années, un débat animé a opposé les partisans du moteur à essence à ceux du moteur diesel.

Actuellement, les perfectionnements intervenus pour chaque type de moteur ont donné **un léger avantage au diesel**.

En émettant moins de monoxyde de carbone que le moteur à essence, le diesel avait déjà un avantage qui fut conforté par le moteur HDI diesel (injection haute pression) qui élimine les particules et produit 20 % de moins de CO₂ que le diesel traditionnel.

Il reste à réduire les émissions d'oxyde d'azote pour les diesels et celles des particules pour les moteurs à essence – les nouveaux moteurs à essence émettant des particules. Les pollutions résultant des deux types de moteurs sont à peu près équivalentes.

Au cours des dernières années, le diesel a été amélioré pour supprimer ses émissions de fumées noires ; le filtre à particules a supprimé la plupart de celles-ci. Récemment, le cumul de l'injection directe et du filtre à particules, comme sur la 607 de P.S.A. Peugeot Citroën, est parvenu à éliminer totalement les émissions de particules.


De ce fait, à l'avenir, **l'ensemble des constructeurs automobiles vont probablement présenter une offre diesel.**

b) La consommation de carburant


La quête d'une diminution de la consommation de carburant aux 100 km a conduit, il y a déjà une dizaine d'années, à concevoir des véhicules ne consommant que trois ou quatre litres. Actuellement, l'objectif d'un véhicule très léger ne consommant qu'**un litre aux 100 km** est poursuivi par Volkswagen.


De nouvelles techniques, comme **l'injection directe** du carburant dans le cylindre qui permet une économie de consommation de 30 % à 40 % par le diesel et de 20 % pour le moteur à essence, ont permis de tels gains.

c) L'émission de polluants

La mesure de la pollution des véhicules doit prendre en compte plusieurs paramètres, ainsi que l'a rappelé M. Jean-Pierre ROTHEVAL du CERTU  à votre Rapporteur :

- les émissions unitaires par véhicule ;
- la distinction entre diesel et non diesel ;
- la connaissance de l'âge du parc de véhicules ;
- la connaissance du nombre de kilomètres parcourus.


Pour M. Bruno COSTES de PSA-Peugeot-Citroën , au-delà des améliorations importantes déjà accomplies, les émissions de polluants pourraient encore diminuer de 70 % d'ici à 2005.

Cette évolution a conduit M. André DOUAUD, de l'IFP , à considérer que **le problème de la pollution urbaine est résolu à terme**. En effet, l'émission de polluants est passée de 100 grammes par kilomètre en 1970, à 1 g/km en 2000 ; elle devrait être d'une fraction de gramme en 2005 et d'une dizaine de milligrammes au-delà.

Quant à **l'émission de CO₂ par les véhicules** –même s'il ne s'agit pas d'un polluant au sens strict du terme mais d'un gaz à effet de serre– l'évolution ci-dessous rappelée a été constatée et envisagée.


Emissions de CO₂ des véhicules automobiles





	1995	1997	2008 (objectif)
CO ₂ par km	222	180	140
- essence		197	
- diesel		178	

Selon M. Jean-Pierre GIBLIN, du Conseil général des Ponts-et-chaussées , l'émission de seulement 75 g/km serait un objectif envisageable pour les petits véhicules.

d) Les divers carburants

Quels seraient les carburants les mieux à même d'optimiser les moteurs actuels ?

Un rapide rappel va récapituler les mérites et limites des principaux carburants, en particulier des nouveaux carburants, d'après des jugements parfois contrastés portés par des spécialistes dont M. Bernard TISSOT, de l'Académie des Sciences  :


- **Alcool pur** : sans avenir.
 - **Aquazole** : l'eau ajoutée dans le gas oil permet une économie de consommation de 2 % à 3 % pour un coût négligeable et une diminution des NOx émis ; ce procédé est adaptable sur les véhicules anciens mais convient peu aux moteurs récents d'après l'IFP.
 - **Biomasse** : en général, sans intérêt car pour produire un litre de biocarburant, 90 cl ou même plus d'un litre de pétrole sont nécessaires (M. Jean-Marc JANCOVICI  mais, en sens contraire, ont été entendus M. Jacques PIOR, APCA  et M. Jean LUCAS, CNAM, ).
- **Le diester de colza** est jugé intéressant par PSA  du point de vue énergétique.

- **Le bioéthanol alcool** est impossible à utiliser dans les moteurs actuels.
- **L'éthanol** nécessite la mise en culture de surfaces considérables. Ainsi, M. Jean-Marc JANCOVICI a estimé que, pour obtenir la même quantité d'énergie que celle actuellement fournie par le pétrole pour le carburant, il faudrait mettre en culture pour les biocarburants environ quatre fois la superficie du territoire métropolitain.
- **Les esthers méthyliques d'huiles végétales (EMHV)** : mélangées à hauteur de 30 % avec les gazoles pétroliers, ils permettent d'éviter 50 % d'émission de CO₂.
- **Les huiles dégommées de colza** : pas de réel apport technique.
 - **Gaz méthane ou butane propane (GPL)** : pour une pollution équivalente à celle de l'essence ou du diesel, un danger est introduit du fait des risques d'explosion du réservoir. Ce carburant, utilisé par des parcs limités en **Italie** et aux **Pays-Bas**, se développe peu du fait de la rareté des points d'approvisionnement.
 - **Gaz naturel méthane CH₄** : dégage moins de CO₂ que le pétrole. Ce carburant est utilisé par les camions et semble réservé aux véhicules collectifs. Il requiert un réservoir blindé compte tenu du danger qu'il représente. Il est utilisé en **Argentine** et en **Russie**.
 - **Hydrogène** : fabriqué à partir de l'eau et stocké dans une pile à combustible, ce carburant pose des problèmes de sécurité ; coûteux à fabriquer, sa production dégage davantage de CO₂ que la combustion du pétrole. Ce carburant semble plutôt destiné aux bateaux et aux sous-marins.

e) Les nouveaux véhicules

- **Mixtes ou hybrides (thermique et électrique)** : l'association d'une propulsion électrique à un moteur diesel –pour recharger- permet de **diviser par deux la consommation et par cinq les émissions de polluants**. Malgré le problème posé par les accumulateurs et la limitation des distances à parcourir, cette technique semble avoir un réel avenir.
- **Electricité** : considérée un temps comme la source d'énergie de l'avenir pour les véhicules individuels, les limites du véhicule électrique semblent aujourd'hui le confiner à des

parcs restreints ou à un nouveau mode de vie. Il a pu être relevé que l'électrification de l'ensemble du parc de véhicules individuels multiplierait par deux la consommation électrique française.

Lors de son audition, Mme Corinne LEPAGE  a émis plusieurs réserves sur ce véhicule.


2. Les caractéristiques des véhicules compte tenu de la demande

Quelles que soient les améliorations techniques et les performances de nouveaux carburants, les constructeurs automobiles répondent à une demande –spontanée ou façonnée par la publicité- dont la finalité première peut être éloignée ou en opposition avec les exigences d'une moindre émission de polluants ou de CO₂ ou encore d'économies de carburants.

C'est ainsi que **les nouvelles exigences des consommateurs ont contribué à alourdir les véhicules** (modèles de type monospace ou tout terrain 4x4, perfectionnements techniques pondéreux comme la climatisation, l'électronique).

Le poids moyen des véhicules s'est accru de 600 kg en dix ans, avec des tableaux de bord pesant jusqu'à 500 ou 600 kg.


Au-delà de la surconsommation liée au poids du véhicule, un équipement comme **la climatisation entraîne une surconsommation** qui, selon les interlocuteurs, peut aller de 10 % à 30 %, étant toutefois précisé que rouler sans climatisation avec toutes les vitres baissées augmente également la consommation de carburant.


En outre, **la climatisation dégage du gaz à effet de serre**. En effet, un climatiseur bas de gamme perd 20 % à 30 % de son gaz chaque année alors que cette perte devrait pouvoir être limitée à 5 % (M. Pierre RADANNE, ADEME .

Or, **la climatisation concerne 50 % du parc actuel** et ne cesse de s'étendre.


Par ailleurs, **la demande exige de ces véhicules lourds qu'ils soient également rapides et nerveux**, d'où une puissance accrue des moteurs.

A cet égard, il peut être remarqué que, quelles que soient les performances techniques, **le style de conduite** influe considérablement sur celles-ci jusqu'à en annuler les progrès. Une conduite dite sportive peut multiplier par vingt les émissions de polluants alors qu'une conduite économique peut dégager jusqu'à 15 % d'économies de carburant selon

M. Thierry VEXIAU du Ministère de l'équipement, des transports et du logement .

D'une manière générale, **la consommation de carburant** augmente vite au-dessus de 70 km/h et, en-dessous, elle n'est plus liée à la vitesse mais à l'usage non optimal de la boîte de vitesse –seules les boîtes de vitesse automatiques échappent à ce défaut- ainsi que MM. Yves ROBICHON et Bernard GAUVIN de la Délégation à la Sécurité routière  l'ont précisé lors de leur audition.

De plus, **toutes les normes de consommation et d'émission de polluants ou de gaz à effet de serre sont outrepassées en situation d'encombres de la circulation**, cas le plus fréquent en ville et dans les abords des grandes agglomérations.

Face à cette situation, RAC-France  dénonce **la désinformation effectuée par les constructeurs automobiles** qui, dans le même temps, communiquent sur la consommation unitaire et développent, parallèlement la vente des véhicules tout terrain, dits 4x4, et celle des monospaces.


3. L'état et l'entretien du parc

Son extension et son état conditionnent ses impacts.

Le parc français est composé de véhicules de dix ans d'âge moyen et 60 % de la pollution proviennent des véhicules de plus de dix ans. D'où **un décalage d'une vingtaine d'années environ entre les découvertes des chercheurs et la présence massive des nouveaux produits dans la circulation.**

C'est ainsi que **le pot catalytique**, devenu obligatoire en France le 1^{er} janvier 1993, et le **filtre à particules** imposé à compter du 1^{er} janvier 1997, n'ont pas encore gagné l'ensemble du parc.

De plus, **le mauvais entretien des véhicules** peut encore accentuer le décalage entre les innovations et leurs effets positifs.

Alors que les constructeurs automobiles insistent sur la diminution unitaire des émissions, ils négligent de souligner l'augmentation des ventes, les évolutions des véhicules (plus lourds...) et se contentent finalement d'affirmer quelque chose du genre «*on augmentera moins que si on avait augmenté plus*» comme l'a relevé M. Jean-Claude ANDRÉ  dans son audition.

Deux aspects positifs sont cependant à signaler : d'une part que, d'après l'IFP, **la pollution automobile sera, dans dix ans, très inférieure à**

ce qu'elle est aujourd'hui, même si 10 % de véhicules supplémentaires circulent et, d'autre part, que **le parc automobile français est plus économe que le parc européen** d'environ 5 % ou encore que les parcs japonais ou nord-américains dans la mesure où, en moyenne, les véhicules français sont plus petits.

En ce sens, il doit être rappelé qu'au cours des dix dernières années, la pollution d'origine automobile a été réduite d'environ 70 %, malgré l'augmentation du nombre de véhicules et de la distance parcourue par chacun d'eux.

4. Les véhicules automobiles à deux roues


Souvent oubliés dans l'étude des impacts des transports individuels, **les deux roues à moteur émettent en moyenne 10 à 15 kg de polluants par km soit dix fois plus qu'un véhicule automobile récent.**


En outre, **aucun contrôle technique n'existe pour les cyclomoteurs** dont le niveau de pollution sonore et de l'air approchent souvent celui de la Trabant encore très répandue en Europe centrale il y a une dizaine d'années.

5. Les véhicules de transport de marchandises

Les camions et camionnettes constituent **des sources majeures de pollution.**

6. Les solutions

Elles passent par des évolutions majeures comme **un changement de la relation à la voiture et une évolution de la voiture** à la faveur **d'un grand débat de société** ainsi que le préconise M. Pierre RADANNE, Président de l'ADEME .

Un aspect central est lié à **la vitesse**. Il pourrait s'agir **d'une auto-limitation** de la vitesse, dictée à la fois par des impératifs de sécurité et d'économie de carburants, ou **d'un bridage des véhicules** fabriqués en Europe, ou **d'une limitation de vitesse européenne** –dont le respect serait facilité par un dispositif technique de limitation de vitesse comme l'ont suggéré les représentants de la Délégation à la Sécurité routière  lors de leur audition –ou encore **d'un abaissement du seuil de limitation de vitesse.**

D'autres pistes pourraient être explorées comme **l'extension des boîtes de vitesse automatiques** –qui ne représentent que 3,5 % du parc


automobile français et 5 % du parc européen actuellement-, **une modification des procédés de climatisation** en produisant directement de l'air à la température souhaitée au lieu de mélanger de l'air froid et de l'air chaud et remplacer les HFC et les CHFC par du CO₂.

Le programme de recherche Predit II qui associe le Gouvernement et les constructeurs automobiles met fortement l'accent sur la consommation énergétique des véhicules ; **la lutte contre le changement climatique y a été retenue comme un enjeu prioritaire.**

En outre, la France a saisi la Commission européenne pour intégrer **le NO₂ émis par les pots catalytiques**, et mal évalué jusqu'alors, dans les normes d'émission.

B. LE RAIL

Pour organiser des services ferroviaires de fret à l'échelle européenne, la SNCF a acquis de **nouveaux matériels** dédiés au fret ; de **nouveaux sillons** ont été dégagés pour le fret – corridors de fret des réseaux trans-européens ; des soutiens au **transport combiné** ont été apportés ; une expérimentation d'**autoroute ferroviaire** entre Lyon et Turin sera lancée dès 2002.

Votre Rapporteur a tenu à organiser une audition-débat entre M. Francis ROL-TANGUY, directeur du fret de la SNCF et M. Alexis BORDET, de la Fédération des entreprises de Transport et Logistique de France (TLF) , pour sonder la réalité de l'idée souvent avancée du recours systématique au fret ferroviaire de préférence au transport routier.

Si la plupart des arguments militent en faveur du fret ferroviaire, les possibilités de substitution de ce mode de transport à la route se heurtent à de réels obstacles :

- le fret ferroviaire doit présenter **les mêmes qualités de souplesse et de fiabilité que le transport routier** ;
- le fret ferroviaire **suppose la création d'un réseau européen de chemins de fer exclusivement dédié au fret** –ce qui exige, notamment, la construction de réseaux de contournement des villes. D'où des délais de réalisation non inférieurs à 6 ou 8 ans en cas de décisions promptes suivies d'une exécution rapide et accompagnées d'un financement considérable ;
- le fret ferroviaire suppose **l'harmonisation des divers réseaux ferroviaires européens** et même du réseau intérieur français – où coexistent plusieurs voltages ;


- le fret ferroviaire nécessite **l'achat de nouvelles locomotives et de wagons** permettant par exemple leur chargement automatique.

C. L'AÉRIEN

La forte croissance du transport aérien ne peut qu'inquiéter en termes d'émissions de gaz à effet de serre.

Cette croissance fut supérieure à 10 % par an entre 1970 et 1980, à 5 % par an de 1980 à 1995 et oscille entre 6 % et 7 % depuis cette date. Dans ces résultats, le trafic international a cru plus vite que le trafic intérieur.

La France a exprimé son désir de voir **taxer le kérosène au niveau mondial** à l'occasion des travaux conduits au sein de l'Union européenne et de l'OACI.

Face à la question de l'émission de gaz à effet de serre par les transports aériens, trois réactions coexistent. Celle des constructeurs et des compagnies aériennes qui mettent en valeur les prouesses techniques (Association of European Airlines, A.E.A ) , celle des usagers qui ne demandent qu'à intensifier leur recours aux transports aériens et celle d'autres acteurs soucieux de connaître véritablement les retombées du transport aérien en matière de gaz à effet de serre et d'envisager d'autres solutions.

1. Les progrès techniques

Pour l'A.E.A., **l'ensemble du CO₂ émis par toute l'aviation mondiale est de l'ordre de 3% des émissions mondiales, soit un niveau équivalent à celui du Royaume-Uni.**

Entre 1990 et 2050, les émissions de CO₂ de l'aviation pourraient passer de 2 % à 8 %.

Face à cela, l'European Association of Aerospace Industries (AECMA) et l'Association of European Airlines (A.E.A.) ont rendu publique une position commune sur la réduction des émissions de dioxyde de carbone par l'aviation.


Pour celles-ci, de 1990 à 2012, **la consommation de carburant** devrait diminuer de 22,4 % par passager au kilomètre grâce au renouvellement de la flotte aérienne et **les émissions de CO₂ par l'aviation** augmenter d'environ 15 % à 20 % d'ici à 2015.


Au-delà de ces facteurs de progrès, **les compagnies aériennes considèrent comme irréaliste une taxation du kérosène** mais seraient favorables aux permis négociables.


2. Les usagers du transport aérien

Ils semblent être des adeptes du slogan « Liberté, égalité, mobilité » et considérer la croissance du transport aérien comme un bien absolu.

Plus loin, plus vite, plus confortablement et moins cher, de tels objectifs relèguent assez loin la préservation de l'environnement. Cependant, pour Mme Corinne LEPAGE, **le développement du transport aérien se doit d'être compatible avec le développement de l'ensemble de la société.**

De son côté, M. Jean-Pierre GIBLIN, du Conseil général des Ponts-et-chaussées , estime que la consommation de combustible fossile par le transport aérien est peu maîtrisable.

Pour RAC-France , l'avion est le moyen de transport le plus émetteur de gaz à effet de serre.

En sens inverse, le Professeur Maurice TUBIANA  considère comme relativement négligeables les effets des transports aériens sur la pollution atmosphérique au regard de l'émission de gaz à effet de serre.

Pour parvenir à enrayer la croissance non maîtrisée du transport aérien, la solution de **la taxation du kérosène** est souvent préconisée et l'Union européenne l'envisage.

3. Les connaissances sur les émissions de gaz à effet de serre par le transport aérien


En 1997, l'**Académie des Sciences** a rédigé un rapport intitulé « *Impact de la flotte aérienne sur l'environnement atmosphérique mondial* » mais ce texte fait abstraction des émissions au sol comme de celles liées aux phases d'atterrissage et de décollage, ce qui limite considérablement non pas l'intérêt mais la portée des conclusions de cette étude.

Celles-ci précisent que « **de très grandes incertitudes règnent sur le rôle de la chimie hétérogène, que ce soit autour des particules (suies, sulfates) ou des gouttelettes et des cristaux préexistants ou dûs à l'eau émise par les réacteurs** ».


L'Académie des Sciences estime enfin que « *la communauté scientifique et la communauté aéronautique doivent poursuivre leur coopération afin d'avancer dans la connaissance des phénomènes physico-chimiques et*

radiatifs, très complexes, qui se produisent aux altitudes du vol de croisière des avions subsoniques ».

Le GIEC, lui, reste très prudent sur les effets que pourraient avoir les traînées de condensation observées dans le sillage des avions. Cette vapeur d'eau, introduite à une altitude où il n'y en avait pas, s'agglutine aux nuages, et provoque de la condensation formant des cirrostratus.


Pour AIR PARIF , il y a lieu de **surveiller de près la très forte croissance du transport aérien**. Cet organisme de surveillance de la qualité de l'air en Ile-de-France demeure très attentif au fait que les baisses unitaires de pollution s'accompagnent d'une hausse prononcée du trafic.

AIR PARIF relève que si une automobile dégage de l'oxyde d'azote mesuré en grammes par kilomètre parcouru, **les avions dégagent de l'oxyde d'azote par centaines de kilos à chaque mouvement (manœuvres, décollages...)** C'est ainsi que les aéroports ressortent nettement en tant que zones polluées.


Pour M. Gérard MEGIE , le transport aérien est responsable de modifications potentielles des concentrations d'ozone tant dans la stratosphère – destruction au-dessus de 15 km) que dans la troposphère (production en-dessous de 12 km due à l'émission d'oxydes d'azote dont le pouvoir de formation d'ozone est multiplié par 20 en altitude par rapport à la surface du sol en raison d'un rayonnement solaire accru), il a relevé qu'il existait **un impact évident de l'aviation au-dessus des couloirs aériens**, en particulier sur **l'Atlantique nord**. Par ailleurs, les émissions de gaz carbonique par le transport aérien ne représentent actuellement que 3 % des émissions totales, mais elles sont destinées à croître et donc, même si leur part est aujourd'hui faible, cela ne peut justifier l'absence d'action pour les diminuer.

Il a aussi rappelé l'existence d'**émissions par les avions de vapeur d'eau et de poussières** qui conduisent à la formation de cirrus et pourraient donc avoir un impact climatique, même si celui-ci reste potentiellement faible.

Cependant, en l'état actuel des connaissances, il n'est pas évident d'indiquer aux constructeurs d'avions les normes à respecter par les moteurs en 2020 alors qu'il n'existe pas de bases scientifiques précises. En conclusion sur ce thème, M. Gérard MEGIE a rappelé que **la zone d'altitude où volent les avions est particulièrement sensible aux modifications chimiques et dynamiques**.

Pour M. Antoine BONDUELLE , en matière d'émission de gaz à effet de serre, un litre de carburant brûlé en haute altitude équivaut à 2,7 litres de carburant brûlés par les automobiles.

Pour Mme Corinne LEPAGE , chaque passager aérien entraîne en moyenne la consommation de quatre à cinq litres de kérosène.

Pour M. Daniel CARIOLLE  , **il existe un impact direct du trafic aérien sur la chimie de l'atmosphère et un impact sur l'effet de serre** du fait des particules et de la vapeur d'eau rejetée à 10 ou 15 km d'altitude.

Au total, comme cela a déjà été observé pour le transport routier, les progrès techniques ne suffisent pas à annuler les conséquences de l'accroissement du parc et du trafic.

Là encore, **une nouvelle relation à l'avion** pourrait être envisagée à partir d'une réflexion sur le caractère plus ou moins impérieux du recours à ce mode de transport, qu'il s'agisse des passagers ou des marchandises.

D. LA VOIE D'EAU

Le transport par voie d'eau comprend **le maritime et le fluvial**.

En dépit des façades maritimes françaises et de la longueur de ses fleuves et canaux, ce mode de transport est très loin de jouer le rôle qui pourrait être le sien.


Pourtant ses performances sont remarquables. Il suffit de rappeler, par exemple, qu'un convoi de 4.400 tonnes sur la Seine bénéficie d'**une efficacité énergétique de plus de cinq fois supérieure à celle d'un camion** sur l'autoroute ; ce dernier, en effet, produit 50,7 Tkm (tonne kilomètre) pour un Kep (kilo équivalent pétrole) consommé contre 275 Tkm pour le convoi fluvial.

Même la comparaison avec le train est à l'avantage du fluvial : un automoteur de 2.000 tonnes autorise un rendement de 175 Tkm pour un Kep contre 128 Tkm par Kep pour un train complet.

Pour s'en tenir à l'exemple de **la Seine, le transport fluvial pourrait y être multiplié par 4 ou par 5**. De plus, **la réalisation de la liaison Seine-Nord** permettrait à la flotte de la Seine de sortir de son bassin.

Dans une telle perspective, la Seine pourrait récupérer une large part des 85 % du trafic du port du Havre qui empruntent actuellement la route.

Pour **la liaison Saône-Moselle**, sa réalisation devrait permettre de porter 10 à 20 millions de tonnes le trafic annuel de la Moselle.

Votre Rapporteur a accueilli pour une audition M. François BORDRY, Président de Voies Navigables de France (V.N.F.)  , ce qui l'a conforté dans l'idée que **le développement de la voie d'eau dépend pour beaucoup d'une attitude volontariste à son égard**.

Ainsi, le «Plan Rhône» mis en place en 1994 par V.N.F. a permis d'augmenter de plus de 80 % le trafic sur le fleuve.

Dans l'ensemble, **depuis 1997, le trafic fluvial s'est accru de 26 %.**

V. L'HABITAT ET LES GAZ A EFFET DE SERRE

Parmi les sources de gaz à effet de serre, **l'habitat** dans lequel on inclut aussi bien l'habitat individuel que les locaux de bureaux, voire le secteur tertiaire dans son ensemble, **figure parmi les sources principales d'émission de gaz à effet de serre**, en particulier dans les pays développés.

Pour la France, en 1998, le secteur résidentiel/tertiaire représentait 23 % des émissions de CO₂ d'après le CITEPA.

Ce rôle de l'habitat dans les émissions de gaz à effet de serre peut être envisagé sous cinq aspects : l'urbanisme, la construction, les modes de chauffage et de climatisation et, enfin, la consommation électrique.

A. L'URBANISME

Aujourd'hui, l'interrogation sur la possibilité de réduire les émissions de gaz à effet de serre passe par **l'étude des structures urbaines** existantes ou à créer sur l'ensemble de la planète.

A cet égard, il peut être constaté que, comme de juste, les choix d'urbanisme effectués au long des siècles engagent déjà largement l'avenir et qu'**une remise en cause**, même justifiée du point de vue théorique, **ne pourrait intervenir qu'au cours de plusieurs décennies, voire de plusieurs siècles**, à supposer qu'une volonté politique continue, relayée par des choix individuels, se manifeste sur une telle durée.

Le constat actuel aujourd'hui est celui d'un monde où **les mégalo-poles** grandissent et se multiplient avec les avantages résultant de leur concentration mais aussi leurs handicaps, notamment dans les pays en voie de développement où les mégalo-poles se constituent par agglutination des populations ayant fui les zones rurales sans que le niveau économique des structures urbaines géantes ou leur état d'organisation soit pour autant en mesure de proposer un mode de vie satisfaisant.

S'ajoutent à cela **les implantations, souvent côtières, de ces mégalofoles qu'une élévation du niveau de la mer ou une érosion accrue pourrait venir sérieusement menacer en cas de changements climatiques.**

B. LA CONSTRUCTION

A travers la nouvelle préoccupation d'une moindre émission de gaz à effet de serre, **les matériaux ou les procédés de construction** doivent être passés au crible, qu'il s'agisse de la construction individuelle ou de la construction collective.

Par exemple, la comparaison entre **le carbone dégagé par la fabrication d'une poutre**, métallique, en béton ou en bois, conduit à constater que les deux premières émettent une quantité non négligeable de carbone alors que la troisième en stocke.

Cependant, **jusqu'à présent, les choix architecturaux n'ont pas été effectués à partir du critère de moindre émission de carbone**, mais à partir de considérations esthétiques, de coût et de facilité à se procurer les matériaux.

Cette simple considération rappelle que la priorité nationale reconnue par voie législative à la lutte contre l'intensification de l'effet de serre ne peut être qu'un **voeu pieux** dans la mesure où, de fait, beaucoup de priorités nationales existent, sans être forcément proclamées par voie législative et que, dans la pratique, les choix sont effectués en fonction d'un classement qui n'est publié nulle part.

Dans la construction, c'est **le secteur de la maison individuelle qui utilise davantage de bois** : 30 % des fenêtres étant fabriquées en bois contre 44 % en PVC et 26 % en aluminium. Toutefois, ce sont des bois tropicaux que consomment près de 55 % de la menuiserie industrielle.

Dans le cadre de la réflexion sur le stockage du carbone par le bois utilisé dans les constructions, il a été constaté que le regain du recours au bois, pour l'instant, se limite essentiellement, en France, aux salles de sports, alors que tel n'est pas le cas en Allemagne ou aux Pays-Bas. En effet, **le réflexe maison-bois n'est pas fréquent en France** où, même pour des passerelles, des clôtures ou des garages, il est souvent nécessaire de s'approvisionner en Allemagne.

Cependant, **les avantages du bois comme matériau de construction sont nombreux**. En effet, sa production nécessite trois fois moins d'énergie que celle exigée pour réaliser un bâtiment en béton. De plus, si, pour sa production, une tonne de bois consomme 1,5 tonne de gaz carbonique, elle rejette 1,1 tonne d'oxygène dans l'atmosphère à travers la photosynthèse.

Le bois possède aussi des qualités tout à fait exceptionnelles de régulation hygrométrique, thermique ou acoustique. Par exemple, le bois est 12 fois plus isolant que le béton, 350 fois plus que l'acier et 1.500 fois plus que l'aluminium. En outre, des progrès techniques ont bénéficié également au bois, à travers notamment des bois reconstitués ou des bois composites aussi fiables que le béton. Dans le rapport BIANCO sur la forêt est citée une étude du Professeur W. WINTER comparant les coûts d'une structure en béton et acier à ceux d'une structure en bois. Ceux-ci sont retracés dans le tableau suivant :

Répartition des coûts comparés de structures selon les matériaux utilisés
(en pourcentage)


Structure \ Coût	Béton-acier	Bois
Énergie	30-40	5
Capital	30-40	10-20
Main d'œuvre	20-30	70-80

Compte tenu de l'ensemble des éléments rappelés ci-dessus, le rapport BIANCO a recommandé la mise en œuvre d'un **plan pour le bois matériau** qui pourrait se résumer en six actions :

1. Appliquer la loi sur l'air de 1996 en imposant **un pourcentage minimum de bois dans les constructions publiques.**
2. **Former aux systèmes constructifs bois** des architectes, des élus, des services techniques, des bureaux d'études.
3. Favoriser des actions en direction de **la maison nouvelle et des bâtiments agricoles.**
4. Diversifier l'offre des **techniques constructives bois.**
5. Monter sur l'ensemble du territoire des programmes spécifiques **d'information sur tous les bâtiments en bois.**
6. **Inciter les particuliers au choix du bois**, et ce déjà à travers l'application des mesures fiscales existantes.

Un tel plan pourrait avoir un réel impact dans la mesure où le matériau bois ne représente que 9% de la valeur des matériaux consommés par le bâtiment et les travaux publics en France, alors que ce taux atteint 10 % en Allemagne et 35 % en Amérique du Nord et dans les pays scandinaves. Par ailleurs, **les contrats emplois-régions** comme **la politique de recherche** pourraient encourager le recours au bois matériau de construction.

C. LE CHAUFFAGE

Si le bois utilisé en tant que matériau de construction constitue une épargne nette du carbone qu'il renferme pendant la durée de vie du bâtiment qu'il compose, le **recours accru au bois énergie** semble être également une voie à suivre (Audition de M. Pierre RADANNE, ADEME ).

Tout d'abord, votre Rapporteur se doit de dissiper une confusion née d'un slogan un peu hâtivement répété selon lequel le chauffage au bois n'émettait pas de dioxyde de carbone. En effet, la combustion du bois restitue à l'air le carbone qu'il lui a prélevé lors de la photosynthèse et, à cet égard, le bilan de la filière bois peut être considéré comme nul dans le cadre de ce cycle. En revanche, il est évident que **la combustion du bois dégage du carbone**, même si celle-ci est plus limitée que celle dégagée par la combustion d'énergies fossiles comme le pétrole ou le charbon.

Le bois de chauffage en France est actuellement la plus importante source d'énergie renouvelable –après l'électricité hydraulique (8,1 Mtep en 1997).

L'ADEME encourage, notamment depuis 1994, le chauffage au bois qui demeure encore assez marginal, d'où la recommandation du rapport BIANCO de mettre en œuvre **un plan d'action bois-énergie**.

Depuis 1994, le Plan bois-énergie et la promotion du chauffage d'appoint au bois en complément du chauffage électrique ont soutenu et encouragé la demande de chauffage au bois. Les tempêtes de décembre 1999 ont renforcé l'objectif d'installation de chaufferies au bois, notamment en milieu rural.

Même si la consommation énergétique du poste chauffage a peu augmenté de 1973 à 2000, grâce notamment à la construction de logements neufs mieux isolés, **le chauffage des bâtiments est un poste qui produit le maximum de gaz à effet de serre** et qui représente **70 % de la consommation énergétique totale du secteur résidentiel-tertiaire**. Il s'agit souvent du chauffage au fuel ou au gaz ou encore au charbon et lorsque c'est l'électricité qui est utilisée, il faut encore considérer le mode de production de celle-ci, seule l'électricité d'origine nucléaire n'émettant pas de gaz à effet de serre.

Beaucoup d'études ont été menées, notamment en France, par l'ADEME, par l'INESTENE, pour comparer les différents modes de chauffage entre eux et éventuellement, réduire l'importance de cette source d'émission.

D. LA CLIMATISATION

La climatisation constitue l'autre face du chauffage et risque de jouer un rôle encore supérieur dans les années à venir si le réchauffement découlant du changement climatique intervient.

En effet, dans ce cas, **des vagues de chaleur** interviendraient de manière plus fréquente et avec une intensité plus marquée, ce qui serait particulièrement ressenti dans les grandes villes où le nombre de personnes éprouvant des difficultés respiratoires, voire celui des décès intervenant lors de tels événements ne peut manquer de croître, comme l'atteste l'étude des vagues de chaleur survenues au cours des années passées.

Il est à noter que la climatisation dans les bâtiments est complémentaire de celle installée dans les véhicules automobiles et constitue un autre aspect du même mode de vie.

Quant à la seconde, elle joue un rôle négatif du fait des **fuites de gaz à effet de serre** qu'elle occasionne.

En ce qui concerne la climatisation de l'habitat, parfois inutilement consommatrice d'énergie, il a déjà pu être déploré les effets des **vapeurs émanant des blocs de réfrigération**, situés notamment au sommet des immeubles de grande hauteur, qui ont vraisemblablement occasionné des cas de légionellose.

E. LA CONSOMMATION ÉLECTRIQUE

Dans le secteur résidentiel-tertiaire, l'éclairage, l'électroménager et la bureautique atteignent actuellement **30 % des consommations énergétiques** du secteur. Cela représente **un triplement de 1973 à 1998**.

Votre Rapporteur a tendance à déduire de ces chiffres que **des gisements d'économies d'énergie** existent sur ce poste à condition que chaque consommateur prenne conscience de l'impact de son comportement quotidien sur l'évolution générale de la consommation, d'où certaines **préconisations relatives à la vie quotidienne** émises à la fin du présent rapport.

CHAPITRE QUATRIÈME : LES CONSÉQUENCES DES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE

I. LE DÉVELOPPEMENT INDUSTRIEL A ACCRU LES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE

Les émissions de gaz à effet de serre par la civilisation industrielle proviennent de multiples origines et constituent **un facteur commun du développement des sociétés actuelles**.

La courbe de l'évolution des émissions de dioxyde de carbone fossile depuis 1860 qui croît selon un angle de 45° depuis les années 1950 parle d'elle-même.

Même si les diverses formes de combustion des énergies fossiles constituent la source d'émission de gaz à effet de serre la plus évidente, elle sont très loin d'être les seules. Il suffit d'évoquer la combustion de la biomasse, la déforestation, la concentration urbaine (déchets), l'agriculture (rizières, émissions azotées causées par les engrais), l'élevage, pour se remémorer l'omniprésence des émissions de gaz à effet de serre.

II. DES ACTIVITÉS TRADITIONNELLES ÉMETTRICES DE GAZ À EFFET DE SERRE

A. L'ÉVALUATION DES ÉMISSIONS DE PROTOXYDE D'AZOTE (N₂O) PAR LES SOLS

Pour apprécier les conséquences des émissions de gaz à effet de serre par l'agriculture, il convient préalablement d'en évaluer au mieux l'ampleur, ce qui est indispensable dans le cadre de l'application du protocole de Kyoto, puis, à l'autre bout de chaîne d'examiner les impacts que les changements climatiques pourraient avoir sur l'agriculture, notamment en France.

L'évaluation des émissions de protoxyde d'azote ou oxyde nitreux par les sols demande à être effectuée non seulement à l'échelle globale, mais, surtout, à l'échelle régionale.

1. Les émissions de protoxyde d'azote par les sols agricoles en France

Si l'évaluation mondiale des émissions de N_2O est indispensable pour mettre en œuvre le protocole de Kyoto, la difficulté de mesurer ces émissions en France permet de mieux cerner les limites de l'approche globale.

En France, les sols agricoles occupent une très forte proportion du territoire et émettent beaucoup d'azote en raison de l'importance des niveaux azotés apportés par les engrais. Le CITEPA considère que **plus de 50 % des émissions de N_2O proviennent des activités agricoles**, et ce, surtout du fait des fertilisants minéraux et organiques. Le Royaume-Uni et les Pays-Bas seraient proches de ce seuil.

Mais, une fois encore, il faut noter que de telles estimations reposent sur **des incertitudes** assez fortes **pouvant atteindre 35 à 40 %** pour les émissions d'origine industrielle, et **près de 100 % pour les sources de production naturelles et agricoles**. Ce degré d'incertitude est lié au fait que les émissions de N_2O sont très limitées dans le temps, notamment après des pluies et présentent des variations considérables au niveau d'une parcelle agricole souvent de plusieurs ordres de grandeur.

A l'occasion du colloque déjà évoqué sur l'effet de serre dans l'espace rural, M. Pierre CELLIER et Mme Patricia LAVILLE (1) ont effectué **une étude critique du modèle utilisé par le GIEC**.

Sans entrer dans la description détaillée de la méthodologie employée par le GIEC et utilisée par le CITEPA, **ces auteurs ont noté que la réactualisation de la méthodologie GIEC avait conduit à multiplier les émissions de N_2O par presque 3 pour la France, ce qui mettait ce gaz quasiment à égalité avec le méthane pour la contribution au forçage radiatif -à l'intensification du réchauffement- à l'échelle de la France**. Une même réactualisation a conduit à multiplier les estimations par 5 pour les Pays-Bas. De plus, ces auteurs ont observé qu'**un inventaire devait prendre en compte toutes les voies possibles du devenir de l'azote** (épandage d'engrais, fixation symbiotique, résidus de cultures, ammoniac, azote apporté et perdu par drainage ou ruissellement superficiel qui va induire des émissions

(1) M. Pierre CELLIER et Mme Patricia LAVILLE appartiennent à l'unité de recherche en bioclimatologie de l'INRA, située à Thiverval-Grignon, et leur communication s'intitulait « les émissions de N_2O par les sols agricoles en France : quelle évaluation possible ? ».

de N_2O dans les sols des écosystèmes naturels, dans les cours d'eau ou dans les estuaires ; cette dernière catégorie d'azote étant estimée à 30 % du total de l'azote apporté).

Ils ont aussi révélé que, dans tous les cas, les facteurs d'émissions font apparaître **une variation d'au moins 80 % par rapport à la valeur moyenne**. Cette variation provient d'abord de la dénitrification qui varie fortement selon le lieu d'émission, même à l'échelle du mètre carré, et selon la période d'émission, que ce soit au cours de la journée ou de la semaine. En outre, s'ajoute à cette incertitude **le faible nombre de données de longue durée**. De la sorte, les facteurs d'émission utilisés par les différents chercheurs ne peuvent être que des facteurs moyens. En outre, **les données sont très disparates et souvent incomplètes**.

Il est pourtant indispensable d'améliorer ces données pour réellement prendre en compte les caractéristiques des milieux naturels et les différentes techniques culturales employées. Cela peut se faire à partir de mesures locales ou de modèles de simulation des émissions.

Des mesures locales élaborées **en Grande-Bretagne** ont permis de montrer que les prairies représentent environ 75 % du total émis par les sols agricoles, car ces prairies sont très fertilisées, mais **les mesures ponctuelles sur telle ou telle prairie ne peuvent prendre en compte la variabilité liée au climat**. Des expériences menées **en Australie**, consistant à comparer des émissions de N_2O à l'échelle d'une petite région avec celles du GIEC ou du NGGIC (Australian National Greenhouse Gas Inventory Committee), il est résulté que les mesures directes effectuées étaient 6 et 20 fois plus fortes que les estimations basées sur les méthodologies du GIEC ou du NGGIC. Une autre expérience a montré que, à l'échelle d'une région comme **l'Ecosse**, les variables les plus déterminantes étaient la température, l'apport d'azote et la teneur en eau des sols.

Au-delà de ces méthodes de mesure directes, **des modèles de simulation des émissions**, dont les limites sont détaillées plus loin, ont été développés : c'est le cas notamment de celui de BOUWMAN, qui estime **mois par mois, en tous points du globe**, les principales zones sources de N_2O ainsi que la variation saisonnière des émissions.

Quant au modèle DNDC, il a permis de montrer, à partir de l'exemple des États-Unis d'Amérique, **que le travail du sol et les apports atmosphériques pouvaient augmenter de manière importante les émissions de N_2O** . Cependant, à partir de cette estimation, il a pu être constaté qu'elle était presque dix fois supérieure à celle d'un inventaire récent.

Enfin, d'autres modèles aboutissent à des résultats contradictoires, certains montrant que le passage à un système de non travail du sol augmentait les émissions de N_2O d'environ 7 %.

Au total, les estimations d'émissions aux **États-Unis d'Amérique** sont tellement diverses d'une étude à l'autre que leurs analyses peuvent conduire à des conclusions inverses.

Dès lors, **la nécessité de mettre en place des réseaux d'observation cohérents à l'échelle d'un pays ou d'une région semble s'imposer**. Les États-Unis d'Amérique l'ont fait (TRAGNET) et, **en France, quelques régions ont mis en place un système d'observation sur les grandes cultures** (dans le Bassin parisien, la Picardie, la Champagne, la Bourgogne, le Sud-Ouest).

Il serait donc souhaitable de parvenir à valider les inventaires et à atteindre la précision requise en fonction de l'aire observée.

Il est évident que, d'après les régions du monde considérées, **beaucoup de travail reste à effectuer avant de pouvoir disposer d'un inventaire mondial, même d'une fiabilité relative.**

2. Les modèles opérationnels de mesure des émissions de protoxyde d'azote

Pour évaluer les émissions de protoxyde d'azote par les sols, **des modèles opérationnels** ont été imaginés. Mais ceux-ci se heurtent à plusieurs difficultés en sus de celles déjà évoquées ci-dessus.

Votre Rapporteur a choisi de les exposer en détail pour bien montrer, **à partir d'un exemple très précis, à la fois tout l'intérêt, toute la complexité mais aussi toutes les limites d'un système de simulation.**

Le **GIEC** est parti de l'idée que les émissions de N_2O correspondaient à un pourcentage des intrants azotés, essentiellement les engrais, toutes origines confondues, soit 1,25 % (ce pourcentage étant le coefficient d'émission retenue), diminué du radical ammonium (NH_3) volatilisé. Cependant, des auteurs ont critiqué cette approche dans la mesure où **les variabilités spatiales et temporelles des émissions de N_2O aboutissent à des incertitudes sur les coefficients d'émissions**. De plus, les coefficients moyens gommant en partie les variabilités spatiales et temporelles des émissions.

En fait, **les émissions dépendent du mode d'apport des fertilisants azotés, et également des conditions environnementales qui se manifestent juste après ces apports.**

Il est évident que l'utilisation d'un modèle à **l'échelle régionale**, et non à l'échelle des parcelles de terrain, peut impliquer la simplification des

renseignements accessibles à cette échelle, mais, à un moment donné, **une simplification excessive risque de rendre le modèle inopérant.**

Une autre difficulté provient des **échelles de temps**, car **les modèles doivent simuler des fonctionnements sur de longues périodes, négligeant la prise en compte de données importantes sur des durées de quelques jours**. Selon les modèles, les calculs sont aussi effectués sur des pas de temps différents, allant de quelques heures jusqu'au mois. Dès que le pas de temps est important, **le problème de la saisie d'évènements rares et fugaces mais significatifs se pose**. Comment les prendre tout de même en compte ?

Ces quelques difficultés ont conduit des chercheurs à s'interroger sur la fiabilité de différents modèles opérationnels d'émissions de N_2O . En particulier, Pierre RENAULT, de l'INRA, a rendu compte de ses recherches lors du colloque sur le bilan et la gestion des gaz à effet de serre dans l'espace rural, tenu en mai 1999, en analysant six modèles d'émissions (1). Pour s'en tenir à quelques observations pour illustrer les critiques relatives à ces différents modèles, il a été noté par ce chercheur que le modèle CARNEGIE ne faisait pas la distinction entre nitrification \diamond (2) et dénitrification, que le modèle NLEAP- N_2O simulait les émissions de N_2O à l'échelle parcellaire, mais à partir d'une conception similaire à des modèles d'échelle régionale, que le modèle DNDC axé sur la description des processus microbiens était le meilleur sur ce point, et que tous les modèles considérés étaient associés à des programmes d'estimation régionale des émissions de N_2O .

Dans son analyse, M. Pierre RENAULT a montré que **pour être opérationnels, tous les modèles simplifiaient beaucoup la réalité, et de ce fait les conclusions dépendaient très fortement des hypothèses**. De plus, tous les modèles ignorent l'effet du travail du sol sur la distribution spatiale des pores libres à l'air, alors que leur distribution influence fortement l'activité dénitrifiante du sol. Par ailleurs, **même de très faibles apports d'azote par les pluies peuvent provoquer davantage d'émissions de N_2O que des fertilisations élevées**, d'où le problème de la prise en compte de l'accroissement des émissions de N_2O des milieux naturels associé à la pollution anthropique de l'air.

Ainsi, l'action de l'homme peut avoir un effet sur l'émission de N_2O autrement qu'à travers la culture des sols et du fait de la pollution de l'air qu'il occasionne.

A partir des différentes cartes d'émission de N_2O produites par les modèles, **la distribution des émissions mondiales semble provenir, à plus de 60 %, des forêts tropicales et des savanes. L'est des États-Unis**

(1) Il s'agit des modèles DNDC, BOUWMAN – qui a servi de base aux travaux du GIEC-CARNEGIE- AMES- STANFORD, NGAS, ECOSYS, NLEAP- N_2O .

(2) Alors que ces processus sont censés agir en sens opposés.

d'Amérique et de l'Europe font également apparaître des émissions fortes de N_2O .

Certains modèles, tout en aboutissant à des estimations annuelles similaires, montrent des résultats très différents par pays en Europe. A l'intérieur même de pays étendus comme les États-Unis d'Amérique, la distribution dans l'espace des émissions selon les régions varie sensiblement, sans qu'il soit possible d'analyser vraiment les origines de ces écarts.

En conclusion, il semble que si plusieurs modèles opérationnels régionaux couplent le fonctionnement du sol à celui de la végétation et du climat, ils se distinguent entre eux par la description des processus, des échelles d'espace et des pas de temps. Certains modèles n'entrent pas dans les mécanismes de la nitrification et de la dénitrification. De plus, les auteurs n'explicitent pas vraiment la méthodologie qu'ils utilisent pour définir les fonctions décrivant les effets des facteurs du milieu pris isolément.

Quant à la combinaison des différents facteurs, elle néglige les interactions entre les effets de ceux-ci, ou se limitent à des interactions simples.

Ainsi, lorsque les processus microbiens sont finement analysés, il arrive que le couplage entre ces processus et les processus de transfert soient assez rudimentaires. Or, l'auteur cité a relevé que **des erreurs sur une partie du processus peuvent être à l'origine d'erreurs dépassant largement 100 % dans d'autres parties du processus**. En outre, si la dénitrification est relativement bien connue, la nitrification l'est moins.

D'où la nécessité de « poursuivre » un effort de mise au point de **modèles couplant processus de transport, cycles biogéochimiques de carbone et d'azote, croissance et développement de la végétation**. Il apparaît aussi nécessaire de privilégier l'amélioration des données concernant les activités microbiennes, l'aération du sol et les transferts de gaz autres que le N_2O et d'approfondir les connaissances sur certains processus.

B. L'ÉMISSION ET LA CONSOMMATION DE MÉTHANE (CH_4) PAR LES SOLS

Tout d'abord, un rappel : la principale source naturelle d'émission de méthane réside dans les sols inondés et 70 % des émissions de CH_4 sont d'origine anthropique.

Une fois émis, **la troposphère élimine le CH_4 .**

L'émission de méthane peut provenir des **sols de forêts**, des **sols arables submergés** tout autant que des rizières. Dans ce contexte, **la rizière** est l'écosystème le plus étudié sachant que la production d'un kilo de riz correspond à l'émission moyenne de 120 g de CH₄.

Dans le cas des sols submergés non végétalisés, le transfert de CH₄ vers l'atmosphère se fait par diffusion et sous forme de bulles, tandis que dans les sols végétalisés, la majeure partie du CH₄ s'échappe à travers les plantes. **Les émissions de CH₄ sont très différentes selon les sols, et, ce, y compris pour une même culture** ; les rizières par exemple peuvent émettre du CH₄ dans des proportions variant de 1 à 20. De plus, les émissions de CH₄ varient de manière très importante **au cours de la journée**, de même qu'**au cours du cycle cultural**. Ces précisions permettent de montrer que les émissions de flux de CH₄ ne peuvent être évaluées que grâce à un nombre important de mesures à des intervalles de temps rapprochés.

Compte tenu de ces éléments, votre Rapporteur s'est interrogé sur **l'influence du climat sur l'émission ou la rétention de méthane**.

Ces deux activités se produisent de manière optimale lorsque la température se situe **entre 30°C et 40°C**. Toutefois, des émissions se manifestent aussi dans des environnements engorgés, par exemple, **sous la neige**. Dans le cas des rizières, la présence de riz augmente de 4 à 5 fois l'émission de CH₄. Dans les zones marécageuses, certaines plantes accélèrent les émissions de CH₄ tandis que d'autres les réduisent ; de même, dans les tourbières et dans les toundras.

L'augmentation de la concentration du CO₂ dans l'atmosphère, qui aura pour effet d'augmenter la productivité des écosystèmes, devrait donc augmenter aussi l'émission de CH₄ dans les milieux méthanogènes(1).

Par ailleurs, **les pratiques culturales peuvent influencer sur l'émission de méthane**. A l'heure actuelle, la riziculture sous eau est la plus développée du fait de sa meilleure productivité, et il a été démontré qu'une diminution, allant de 60 % à plus de 90 % de l'émission de CH₄, pouvait être obtenue quand les rizières sont drainées une ou plusieurs fois au cours du cycle cultural, ce qui est sans conséquence sur le rendement en riz. En revanche, des différences d'émission de CH₄ de près de 500 % ont été observées selon **les variétés de riz**.

Toutefois, votre Rapporteur doit souligner que **la pratique du drainage consomme deux à trois fois plus d'eau que la submersion continue, et qu'elle favorise l'émission de N₂O, autre gaz à effet de serre, lors de la remise en eau**. De plus, il est probable que cette pratique ne

(1) La méthanogenèse est la production brute de CH₄ dans un sol par les bactéries méthanogènes tandis que la méthanotrophie est la consommation brute ou oxydation de CH₄ dans un sol par les bactéries méthanotropes.

pourrait être mise en œuvre que dans un nombre modeste de rizières submergées, car un bon nivelage des sols et une maîtrise de l'eau sont les conditions de sa mise en œuvre.

Des classements ont été effectués selon le potentiel méthanotrophe (1) des sols cultivés. Ils montrent que **ce sont les forêts, suivies des pâturages, et enfin des sols cultivés qui absorbent le mieux le méthane.**

D'une manière générale, il a été relevé que dans les sols cultivés exondés – c'est-à-dire non recouverts d'eau- les semis directs sans travail du sol peuvent augmenter de six à huit fois l'oxydation (l'absorption) du CH_4 atmosphérique par rapport aux sols labourés, alors que le compactage du sol par les engins agricoles peut la réduire de moitié.

La modification des pratiques de fertilisation peut également contribuer à la réduction de l'émission de CH_4 (combinaison d'engrais organiques avec des engrais azotés, utilisation préférentielle d'engrais sulfatés, enfouissement des engrais, recours à l'acétylène, qui augmente à la fois les rendements de 30 %, et diminue de 35 % l'émission de CH_4).



A l'inverse des sols inondés, **les sols exondés peuvent devenir des puits de CH_4** grâce à des apports d'ammonium.

Enfin, **dans les sols non cultivés**, il est évident que des mesures aptes à réduire les émissions de CH_4 ou à en favoriser la consommation ne seront mises en œuvre et financées que si elles sont porteuses d'effets secondaires. Cela peut être le cas lors de l'assainissement de marais pour en écarter le paludisme ou la mise en culture de tourbières, ou encore la revégétalisation de landes acides infertiles pour y faire croître une végétation herbacée favorable à l'élevage.

Votre Rapporteur ne peut donc manquer de souligner que, **quelles que soient les techniques de réduction d'émission de CH_4 prônées pour les sols cultivés, celles-ci doivent se traduire par un bilan positif pour l'agriculteur de nature à l'inciter à un nouveau comportement.**

En conclusion, l'imprécision des estimations quantitatives relatives aux émissions ou séquestrations de méthane par différents types de milieux doit être encore une fois rappelée ainsi que le fait **qu'en France les sols cultivés et l'ensemble des sols constituent un puits de méthane qui ne consomme qu'un très faible pourcentage du CH_4 résultant des activités agricoles, industrielles ou des décharges.**

C. LES IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR L'AGRICULTURE

La mission interministérielle de l'effet de serre (MIES), dans son rapport sur les *Impacts potentiels du changement climatique en France au XXI^{ème} siècle*, (1)  a estimé que les impacts sur l'agriculture française remettraient d'abord en cause **la sur-adaptation de l'agriculture française aux conditions climatiques actuelles** (M. Guy VASSEUR et M. Jean-Noël TERRIBLE, APCA, .

Des effets directs et indirects de l'augmentation de la concentration atmosphérique de CO₂ interviendraient, les premiers augmentant **l'activité photosynthétique** des tissus chlorophylliens et donc la production et raccourcissant **les cycles de végétation**. En revanche, **les besoins en froid** des cultures ne seraient pas satisfaits (or, les arbres fruitiers, tout comme les pommes de terre par exemple, ont de tels besoins).

Quant à **la vigne**, une diminution des quantités récoltées est probable et **les prairies** verraient leur biodiversité diminuer en fonction du changement floristique.

Parallèlement, **les mauvaises herbes** de même que **les ravageurs de culture** ou encore **les maladies cryptogamiques** risquent de se développer.

La fertilité azotée diminuerait, les sols retenant davantage l'azote tandis que **l'augmentation des précipitations** entraînerait de plus grands risques d'érosion des sols.

Face à ces divers changements, la MIES considère que **l'agriculture dispose d'une palette de moyens d'adaptation**, notamment à travers la modification des dates des semis, du rythme et des quantités des apports d'engrais, mais elle note qu'il sera sans doute nécessaire de créer de **nouvelles variétés** prenant en compte des hivers plus chauds.

Quant aux **besoins en eau**, il s'agira peut-être moins de les apprécier en quantité brute qu'en efficacité face à des objectifs précis de production.

Le rapport de la MIES rappelle que l'agriculture française est actuellement très adaptée mais à l'intérieur d'une gamme restreinte de conditions climatiques dans chaque région. Dès lors, **la répétition d'événements climatiques extrêmes** pourrait remettre en cause cette adaptation.

(1) *Contribution de Richard DELECOLLE, Unité de Bioclimatologie, INRA, Avignon, Pierre-Alain JAYET, LESPA, INRA, Grignon et Jean-François SOUSSANA, Unité d'Agronomie, INRA, Clermont-Ferrand.*

À partir des simulations effectuées, **les changements climatiques devraient permettre à l'Europe une augmentation globale de ses rendements comme des superficies adaptées aux principales grandes cultures**. Par rapport à aujourd'hui, l'augmentation moyenne annuelle de production de blé pourrait être d'une dizaine de millions de tonnes entre 2010 et **2040** et de 25 Mt entre 2040 et **2100**.

Parallèlement à la mention de ces effets positifs, quoique reposant sur une certaine fragilisation des conditions de production, la M.I.E.S. a rappelé que l'agriculture apparaît aussi comme un agent d'émission de gaz à effet de serre à travers **le méthane** dégagé par les animaux. De plus, les productions végétales dégagent des **protoxydes d'azote** provenant de la dégradation des engrais azotés dans le sol. Mais, elle a estimé que ces effets négatifs sont contrebalancés par le stockage du carbone dans les racines et la partie aérienne des plantes.

Au total, la MIES craint que **les adaptations à effectuer** pour combiner tous les facteurs permettant de conduire une exploitation agricole dans le nouveau contexte de moindre émission de gaz à effet de serre (choix des productions végétales, des productions animales, de l'alimentation animale, de la composition même des aliments pour animaux) deviennent **trop complexes à intégrer pour l'agriculteur**.

III. TERRITOIRES ET GAZ À EFFET DE SERRE

Les principaux impacts sur les territoires des conséquences des émissions accrues de gaz à effet de serre peuvent être examinés à travers l'élévation du niveau de la mer, les modifications du cycle de l'eau, le cas particulier du milieu montagnard, la fréquence des événements climatiques extrêmes et la situation des DOM-TOM.

A. L'ÉLEVATION DU NIVEAU DE LA MER

1. L'élévation du niveau moyen de la mer

A l'intérieur du phénomène mondial d'élévation du niveau des océans, des conséquences peuvent concerner très directement **la France** qui, avec ses **6.959 km d'espaces côtiers** (5.500 km en métropole et 1459 km outre-mer), compte 1.925 km de plages représentant 35 % du littoral métropolitain, dont 400 km de plages protégées par des ouvrages artificiels.

Deux enjeux coexistent : la préservation du trait de côte et le maintien des habitats ou activités installés sur ou à proximité des plages.

Jusqu'à une date très récente, l'élévation du niveau de la mer ne constituait pas une véritable préoccupation, mais le nouvel intérêt porté aux conséquences de l'intensification de l'effet de serre sur le trait de côte a mis l'accent sur cette question.

D'autant que certains espaces fragiles subiront, du fait de l'élévation du niveau de la mer, une **salinisation** de leurs sols ou des intrusions souterraines d'eaux salées dans les nappes phréatiques littorales.

Même si un très grand nombre de territoires côtiers du monde sont concernés, l'exemple de la France retenu par votre Rapporteur, permet d'exposer les divers aspects de cette question, tout d'abord, en s'interrogeant sur la nature et les caractéristiques des plages, sur la nature et l'importance de l'élévation du niveau de la mer, puis en examinant les équipements propres à protéger ces lieux et, enfin, en examinant les coûts politiques et financiers de la résistance à la mer au nom de la protection des rivages.

2. La nature et les caractéristiques des plages

Même si la vue d'une plage constitue un paysage familier, la nature même de la plage est-elle bien connue ? Davantage considérée comme simple paysage ou lieu ludique, il est généralement admis que la plage doit être préservée dans son état actuel une fois pour toutes, la mer lui semblant presque étrangère. En réalité, la plage est un lieu ayant recueilli au fil des années de nombreux sédiments et étant appelé, du fait des vents comme de l'action continue des vagues, à être sans cesse modifié.


Une plage est vivante, en ce sens qu'elle augmente sa consistance grâce aux dépôts d'alluvions et qu'elle cède du terrain sous les chocs répétés des vagues (48% des plages françaises métropolitaines subissent cette érosion qui peut atteindre 1 à 1,5 mètres par an pour les plages du Calvados et 1,5 m pour celles de la Côte d'Aquitaine).

Son maintien spontané ne peut résulter que d'**un état d'équilibre dynamique** et son maintien artificiel suppose de lourdes interventions de l'homme.

Ce phénomène a été expliqué en partie par le principe de BRUUN qui a montré que l'érosion continue de la plage et le recul du trait de côte s'accompagnent du maintien de l'épaisseur de la tranche d'eau littorale. Si ce n'est qu'en cas d'élévation du niveau des eaux, ce sont de plus hautes vagues qui peuvent déferler sur la plage.

3. La nature et l'importance de l'élévation du niveau de la mer

Encore une fois, votre Rapporteur doit rappeler que **le niveau de la mer n'a cessé de fluctuer au cours de l'histoire de notre planète** comme cela a déjà été décrit dans la première partie du présent rapport à propos de la paléoclimatologie.

Le satellite Topex-Poséidon, lancé en 1992, a indiqué que, **au cours de la dernière décennie**, le niveau global moyen de la mer a augmenté de **2,5 mm par an**. Il a surtout montré, ce qui fut une révélation, que **l'élévation du niveau de la mer n'était pas du tout uniforme sur l'ensemble de la surface des océans et que cette hausse était parfaitement corrélée avec la dilatation thermique de l'océan causée par le réchauffement climatique** (Audition de Mme Anny CAZENAVE du C.N.E.S. )

Au cours du XX^{ème} siècle, la mer s'est élevée d'environ 10 à 20 cm (1 à 2 mm par an). Les rapports du G.I.E.C. prévoient **pour le XXI^{ème} siècle, une élévation moyenne du niveau de la mer oscillant entre 40 cm et 98 cm**, étant précisé d'emblée que l'impact d'une telle élévation varie très fortement selon la configuration des côtes considérées. **Les plages en subiront donc des modifications bien plus importantes que dans le passé récent.**

Un rapport du ministère chargé de l'environnement relatif aux plages françaises a montré que, **en cas d'élévation du niveau de la mer d'un mètre, le recul de la plage pourrait atteindre cent mètres** mais que le sable érodé irait se déposer ailleurs.

4. Les constructions destinées à protéger les plages

Pour empêcher le recul du trait de côte, des constructions sont édifiées soit parallèlement à la plage, soit perpendiculairement à celle-ci. Il peut s'agir de jetées assimilables à **des murs** ou encore de **cordons d'enrochements** mieux à même d'absorber l'énergie des vagues.

Ces solutions d'ingénieur sont d'une grande efficacité et d'un coût non négligeable. Mais, au fil des ans, il a été constaté qu'elles avaient des conséquences négatives sur l'environnement, notamment en favorisant la réflexion des vagues sur l'obstacle formé par ces constructions.

En réalité, pour se maintenir à l'identique, **la plage doit recevoir en permanence des sédiments pour compenser l'action inéluctable de la mer**. Or, la formation originelle des actuelles plages françaises résulte de la remontée du niveau des eaux lors du réchauffement climatique intervenu il y a 6.000 ans, qui a apporté sables et galets. Cette action de la mer fut complétée

par l'action des fleuves qui fournissaient aussi nombre de sédiments aux deltas.

C'est pourquoi, **de nos jours, les plages régressent** dans la mesure où l'apport de sédiments depuis le large a cessé avec la montée des eaux et où les barrages établis sur les fleuves, les digues au long de ceux-ci ou l'extraction de granulats empêchent l'arrivée des sédiments jusqu'aux deltas.

Par exemple, du fait des barrages, **le delta du Rhône** ne reçoit plus que 2 à 6 millions de tonnes de sédiments par an actuellement, contre environ 17 à 21 millions de tonnes de sédiments au cours du XIX^{ème} siècle. Il en est de même, et de manière très spectaculaire, pour **l'Ebre** et **le Nil** dont les apports en sédiments ont été réduits de plus de 90 %.

Par conséquent, **pour protéger les plages, il est moins important de les préserver de l'érosion des vagues, que de leur permettre de se recharger en sédiments. Cela peut d'ailleurs s'opérer automatiquement lorsque la plage est adossée à des dunes (1)** qui jouent, en quelque sorte, le rôle de réserve de sable. Dans les autres cas, un **rechargement artificiel** peut intervenir comme cela s'effectue par exemple aux **Pays-Bas** où le sable se trouvant sous les eaux du large est aspiré mécaniquement par l'homme pour recharger les plages. Il s'agit là évidemment d'une technique perfectionnée et coûteuse, mais qui permet aux Néerlandais de maintenir le bon état de la plage.

5. Les coûts financiers et politiques de résistance à la mer

Pour qu'une résistance efficace soit opposée à l'action de la mer sur les plages, il faut **une prise de conscience** du phénomène ainsi que de la multiplicité des données décrites ci-dessus.


Partant de là, si des équipements et des habitats méritant absolument d'être maintenus se trouvent à proximité de la plage menacée, une décision politique devra intervenir à partir d'un **bilan coût/avantages du maintien du trait de côte**.

De telles opérations ont été entreprises et conduisent à préconiser non pas un seul type de défense face à la montée des eaux, mais deux.

Le premier est celui de la **défense rigide** jusque là privilégiée par la France, mais plutôt coûteuse. Le second consiste à accepter l'évolution du trait

(1) *En France métropolitaine, les dunes couvraient environ 25.000 hectares au début du XXème siècle et ont diminué de 50% sur les côtes atlantiques et de 75% sur la côte méditerranéenne.*

de côte ; il est connu sous le nom de **défense souple** et a maintenant la préférence des Pays-Bas.

M. François LETOURNEUX, Président de l'Institut Français de l'Environnement (IFEN)  a précisé que le Conservatoire du littoral prône également une défense souple.

Au-delà de ces deux solutions qui s'appliquent aux équipements et habitats déjà en place, **votre Rapporteur préconise une attitude pour l'avenir consistant à anticiper la montée des eaux et à éviter de construire dans une zone qui, à un moment donné, sera menacée** (1) A cet égard, il n'est pas nécessaire d'interdire, dès à présent, l'utilisation de zones qui ne devraient pas être menacées avant une cinquantaine d'années, mais peut-être de prévoir des zones non aménageables, des zones provisoirement non aménageables et, enfin, des zones aménageables durablement.

L'IFEN travaille à un programme pour améliorer les méthodes **d'estimation des populations exposées aux risques d'inondation** (M. Bernard MOREL, IFEN .

Cette façon de procéder permettrait de continuer à profiter de ces espaces naturels constitués par une plage tout en prenant très directement en compte le caractère naturellement vivant et évolutif de celle-ci.

Une carte de France métropolitaine sur laquelle apparaissent les plages qui ont fait l'objet d'apports artificiels en vue de leur rehaussement donne une idée des espaces côtiers les plus menacés.

(1) La loi dite « littoral » du 3 janvier 1986 interdit les constructions et installations nouvelles sur une bande de 100 mètres à partir du rivage. Les schémas de mise en valeur de la mer (SMVM) doivent compléter cette loi en dépassant le cadre communal, où, par ailleurs, la mise en conformité des plans d'occupation des sols (POS) avec la loi littoral est très loin d'être accomplie. Mais les difficultés d'application de la loi littoral comme les lenteurs d'élaboration des SMVM limitent l'impact de ces dispositions.

**Localisation des plages de France
ayant fait l'objet d'une alimentation artificielle en sédiments**

Pour **la France métropolitaine**, il peut être rappelé que, en 1995, la capacité d'hébergement touristique des communes littorales représentait 37 % de la capacité française ; ce sont **treize millions de personnes** qui **occupent le littoral l'été** –soit une multiplication par plus de deux de la population locale et **trente millions de visiteurs par an** qui **se rendent sur le littoral**.

Votre Rapporteur se doit d'insister sur **les menaces concernant plus particulièrement les DOM-TOM**, en particulier, certains atolls de Polynésie, face aux changements climatiques. En effet, non seulement nombre de plages de ces territoires sont particulièrement menacées mais aussi certains territoires

eux-mêmes alors que l'attrait particulier de ceux-ci en a fait des lieux de tourisme extrêmement recherchés.

6. Les impacts des changements climatiques sur les espaces côtiers spécifiques

Au-delà des plages, sont également menacés les espaces deltaïques, les littoraux à lagunes, les marais maritimes, les mangroves et les récifs coralliens.

Votre Rapporteur évoquera brièvement à partir de l'exemple de la France, les menaces pesant sur chacune de ces catégories de site [📖 MIES].

a) Les espaces deltaïques

La Camargue, aménagée dans les années 1930, est d'autant plus vulnérable que sa tendance à s'affaisser sous le poids des sédiments qui la constituent n'est plus compensée par les apports alluviaux du Rhône du fait de l'aménagement de celui-ci.

Météo-France travaille sur **un modèle relatif au Rhône** qui mesure notamment l'impact des barrages.

Les marais salants de Salin-de-Giraud et d'Aigues-Mortes risquent d'être endommagés.

Toutefois, aucun modèle ne peut dire si la Camargue serait submergée en cas de montée du niveau des eaux.

b) Les littoraux à lagunes

Sous l'effet de l'élévation du niveau de la mer, les cordons littoraux qui isolent les lagunes peuvent rouler sur eux-mêmes en direction de la terre, s'amincir et se fractionner.

C'est le cas sur **la côte du Languedoc** où les étangs deviennent de plus en plus salés, ce qui modifie leur flore et leur faune, perturbe les activités agricoles voisines mais peut favoriser le développement de l'aquaculture.

c) Les marais maritimes

Ces étendues vaseuses sont alternativement couvertes et découvertes par les marées.

Les côtes de la Manche et de l'Atlantique comprennent de tels marais dont beaucoup ont été endigués et transformés en polders ♦.

Selon le niveau d'élévation de la mer, ces marais connaîtront la disparition par submersion, leur maintien après déplacement vers l'intérieur des terres, voire leur extension s'ils bénéficient d'une forte sédimentation verticale et latérale.

Or, en France, vu l'abondance de la vase qui arrive jusqu'à la mer – échappant, contrairement au sable et aux galets, aux aménagements des fleuves – il est probable que **le marais Charentais, le marais Poitevin, la baie de Somme et la baie du Mont Saint-Michel s'étendraient aux dépens de la mer.**

d) Les mangroves ◆

Les mangroves, constituées de forêts de palétuviers, prospèrent dans les vasières littorales chaudes situées sous les tropiques ; elles sont tantôt inondées, tantôt exondées.

Elles sont situées en particulier, en Guyane (55.000 ha), en **Nouvelle-Calédonie** (20.000 ha), en **Guadeloupe** (9.000 ha) et à la **Martinique** (700 ha).

Comme pour les marais maritimes, l'élévation du niveau de la mer peut provoquer trois types différents d'évolution. De même qu'en France métropolitaine, les DOM-TOM devraient connaître **une extension des mangroves**, en particulier en Guyane, largement pourvue par la vase de l'Amazonie amenée par un courant longeant la côte guyanaise, ou encore à **Mayotte**. Dans **les Antilles**, les mangroves sont menacées de déforestation et non de submersion.

e) Les récifs coralliens

En principe, la croissance verticale des coraux (plusieurs millimètres par an) devrait accompagner l'élévation du niveau de la mer et protéger, comme par le passé, les atolls qu'ils entourent.

Mais cela suppose **une vie corallienne** active, ce qui n'est pas forcément le cas du fait de la pollution des eaux par des effluents urbains (**Tahiti**), par des extractions massives de matériaux ou de minerais (**Tahiti, Nouvelle-Calédonie**) ou du fait de l'augmentation de la température des eaux.

Il suffit d'un à trois degrés supplémentaires pour dépasser la limite thermique supérieure supportée par les coraux (vers 29° à 30°).

Depuis une dizaine d'années, les coraux blanchissent en masse, ce qui témoigne de leur mort. Selon certaines estimations, **environ 80 % des atolls seraient morts**, même en Méditerranée, par suite des fluctuations du climat, ce qui constituerait **un désastre écologique**.

L'autre effet de l'augmentation de température est de multiplier **les cyclones** qui engendrent de très hautes vagues balayant les accumulations sableuses (les *motu*) portées par la couronne corallienne.

Des tempêtes plus fréquentes ne laisseraient pas aux *motu* le temps de se reconstituer et les **atolls eux-mêmes et leur habitabilité seraient menacés.**

7. Des phénomènes spécifiques liés à l'élévation du niveau de la mer

Enfin, votre Rapporteur tient à évoquer brièvement trois phénomènes qui pourraient accompagner l'élévation du niveau de la mer : la salinisation, la réduction du volume des eaux souterraines, l'accroissement de la fréquence des surcôtes.

a) La salinisation

Les estuaires de la Seine, de la Loire et de la Gironde pourraient subir une intrusion saline plus prononcée.

Par ailleurs, pour l'estuaire de la Loire, il a été estimé qu'une élévation du niveau de la mer de 0,60 m entraînerait une migration du front de salinité vers l'amont du fleuve d'environ un kilomètre. Ce qui est à comparer avec la dizaine de kilomètres de déplacement de ce front au cours des vingt dernières années du fait des travaux d'amélioration de la navigation dans l'estuaire de la Loire.

La Camargue subirait aussi une salinisation accrue.

b) La réduction du volume des eaux douces souterraines

Le sous-sol de l'espace littoral se caractérise par **la rencontre entre deux masses d'eau** : l'eau de mer, salée et immobile, et l'eau douce de l'aquifère continental qui s'écoule sur l'eau salée.

En cas d'élévation du niveau de la mer, l'interface entre les deux masses d'eau se déplacerait vers la terre. D'où un certain nombre de conséquences diverses selon les caractéristiques des lieux considérés.

Cela risque de se traduire, **en Camargue**, par un morcellement des aquifères d'eau douce, ou encore une arrivée de l'eau salée sous certains puits ; ces phénomènes étant accélérés par des prélèvements d'eau inconsiderés.

Plus gravement, **en Polynésie**, la réduction du volume des lentilles d'eau douce pourrait poser **de véritables problèmes d'approvisionnement pour les habitants des atolls**.

Quant aux **terres littorales basses et planes**, les drainages devront y être renforcés, de même que les pompages dans **les polders**.

Enfin, **les agglomérations urbaines** proches du littoral pourraient être gênées dans l'évacuation de leurs eaux usées, du fait de l'élévation du niveau de la mer par rapport au niveau des collecteurs.

c) L'accroissement de la fréquence des surcôtes

Des ondes de tempêtes, des marées de vive-eau⁽¹⁾, des effets de résonance liés à la configuration du littoral marin, conjugués à l'élévation du niveau de la mer, pourraient entraîner des surcôtes bien plus fréquentes que par le passé comme le montrent les exemples ci-dessous.

Fréquence accrue des surcôtes

Lieu Elévation du niveau de la mer	Estuaire de la Loire	Côte occidentale du Cotentin	Rivages de la mer du Nord
+ 0,30 m	+ 1,40 m 10 ans (100) (2)	10 ans (100)	-
+ 0,50 m	-	-	+ 3 m 80 ans (500)

D'une manière générale, et comme souvent au cours du présent rapport, votre Rapporteur tient à souligner que **les retombées futures des changements climatiques, pour importantes et graves qu'elles semblent devoir être parfois, restent en deçà des dommages déjà infligés par l'homme à la nature quant à plusieurs des phénomènes évoqués.**

(1) Marée de nouvelle ou de pleine lune pendant laquelle la différence entre la hauteur de la pleine mer et celle de la basse mer –le marnage- est maximale.

(2) Exemple de lecture du tableau : si le niveau de la mer s'élève de + 0,30 m au cours du XXIème siècle, une surcôte de 1,40 m serait à redouter tous les 10 ans au lieu de tous les 100 ans actuellement.

Il en va ainsi notamment pour la submersion des espaces deltaïques privés de sédiments fluviaux par **les barrages et les aménagements des fleuves**, ou pour la disparition des mangroves davantage menacées de **déforestation** que de submersion, ou pour la mort des récifs coralliens victimes de diverses **pollutions**. De même, le renforcement de l'érosion des plages par le recours aux **cordons d'enrochements** renforce l'érosion de la plage qu'ils sont censés protéger ; la salinisation de l'estuaire de la Loire résulte de **travaux d'amélioration de la navigation**, et la réduction du volume des eaux douces souterraines provient de **prélèvements excessifs**.

De même encore, en Italie, **Venise** ne s'enfonce pas à cause de l'élévation du niveau de la mer, mais du fait des marées, des pompages de l'eau et du pétrole effectués sous elle, ainsi que de l'envasement des canaux.


B. LES MODIFICATIONS DU CYCLE DE L'EAU

Les hydrologues estiment que **les conséquences des changements climatiques sur l'eau seront plus importantes que celles sur la température**.

1. Les précipitations

Cela se traduira par des changements importants du régime des **précipitations** et par un accroissement des **pénuries d'eau**.

L'augmentation de la température entraînera **une augmentation de la vapeur d'eau modifiant le cycle de l'eau**. Une molécule d'eau dans l'atmosphère étant recyclée en douze jours après évaporation, une plus grande quantité à recycler provoquera davantage de mouvements orageux, d'où **un climat plus erratique et des pluies plus abondantes**.

Le Professeur Alain PERRIER de l'INA P-G  a relevé que **les périodes 1955-1975 et 1975-1995 témoignaient déjà d'une accélération du cycle de l'eau**.

Avec l'augmentation de la température, les précipitations ont augmenté de 5% à 10% : de gros orages se forment sur les continents, les nappes phréatiques sont bien alimentées. En revanche, la gestion de l'eau en est rendue plus délicate : le contraste été/hiver est accentué, le stockage sous forme de neige ou de glace diminue, les pluies sont plus erratiques, les rivières sont plus sèches en été mais des écoulements plus rapides sont à gérer en cas d'orages, plus abondants qu'auparavant.

Ces évolutions auront **un impact direct sur l'agriculture** qui se trouve au cœur du cycle de l'eau comme l'ont rappelé M. Ghislain GOSSE et M. Pierre STENGEL, INRA ☞.

2. La fonte des glaces

Souvent évoquées comme conséquence du réchauffement climatique, les fontes des glaciers de montagne, des glaces de mer, de celles de l'Arctique ou de l'Antarctique sont l'objet d'appréciations diverses et, souvent, de prévisions inquiétantes, voire alarmistes.

Dans ce domaine, les travaux du Laboratoire de Glaciologie et de Géophysique de l'Environnement (L.G.G.E.) de Grenoble font autorité (M. Robert DELMAS ☞).

a) Les glaciers de montagne

Au cours du siècle dernier, les petits glaciers ont nettement reculé.

Pour M. Alain PERRIER de l'INA P-G ☞ déjà cité ci-dessus, la fonte des châteaux d'eau naturels alimentant les pays nordiques pourrait entraîner **la hausse de 10 cm, voire de 30 à 40 cm en 100 ans du niveau de la mer.**

Pour suivre cette évolution, dans le cadre d'un programme européen, Glaciorix, portant sur un parallèle entre les Alpes et la Scandinavie, le CEMAGREF observe un bassin glacier des Alpes comme l'ont indiqué M. Pierrick GIVONE et M. Jean-Louis VERREL ☞.

b) Les glaces de mer

La fonte de celles-ci n'entraînerait **aucune variation du niveau de la mer**, ce que chacun peut vérifier aisément en observant la stabilité du niveau du liquide contenu dans un verre au cours de la fonte d'un glaçon.


c) Les glaces de l'Arctique

Pour M. Yves CARISTAN du BRGM ☞, **l'hypothèse de la fonte des calottes glaciaires et leur précipitation dans l'océan est absurde**. Il a relevé que la fonte totale des calottes glaciaires prendrait plusieurs siècles. De plus, les calottes glaciaires ont une très grande inertie et la glace n'est pas cassante ; au contraire, elle évolue dans un milieu ductile.


M. Laurent TURPIN, du LSCE ☞, a rappelé que la banquise arctique semble reculer.

d) Les glaces de l'Antarctique

Dans la mesure où la banquise antarctique plonge sous le niveau de l'eau actuel, sa diminution pourrait poser **un problème de passage de seuil** plutôt que d'évolution graduelle.

Cependant, Mme Anny CAZENAVE, du CNES , a souligné que **les observations ne suggèrent aucune fonte significative de l'Antarctique sur l'ensemble du XXème siècle.**

Quant à l'évolution à venir, il n'existe pas de consensus de la communauté scientifique sur ce point.


Selon M. Paolo Antonio PIRAZZOLI du C.N.R.S. , **la calotte antarctique ne devrait pas commencer à fondre avant le XXIIème siècle**, tandis que la fonte du **Groendland** pourrait entraîner une hausse du niveau de la mer de 6 mètres au cours des prochains siècles.


C. LE MILIEU MONTAGNARD

1. Les changements climatiques en montagne

Même si les changements climatiques annoncés s'accompagnaient d'une augmentation des précipitations donc de la neige en altitude, une interrogation demeurerait sur le niveau d'altitude à partir duquel s'observerait ce phénomène, étant entendu que l'augmentation de température devrait entraîner la fonte des glaciers et la remontée vers les sommets de la limite de l'enneigement.

Là encore, votre Rapporteur centre ses observations sur le cas de **la France**, étudié, en particulier, par la MIES.

La mission interministérielle de l'effet de serre (MIES), dans son rapport sur les *Impacts potentiels du changement climatique en France au XXI^{ème} siècle* (1) , s'est également penchée sur **les impacts climatiques en montagne**, en notant tout d'abord que les informations résultant des modèles climatiques ne permettaient pas de cibler une zone de dimensions plus restreintes que le massif alpin.

Toujours est-il, qu'il a été relevé que les communautés vivant en montagne devraient se préparer à **des stratégies de gestion des ressources hydriques assez souples**. A la fonte des glaciers et à celle du permafrost ,

(1) Contribution de Lucien TESSIER, laboratoire de Botanique historique et de Palynologie, GRS CNRS, 6100.

viendrait s'ajouter un effet saisonnier se traduisant par **des premières neiges plus tardives** et par **une réduction de la durée de l'enneigement**.

Les zones situées vers 1500 mètres seraient les plus sensibles, même en cas de très faibles changements de température. Les fontes de neige plus précoces accroîtraient **la sécheresse estivale** et **les risques d'incendies** (en particulier dans les Alpes du Sud). Les étés plus chauds et secs affecteraient **les écosystèmes**.

Mais, au-delà de l'enneigement, l'importance et la fréquence des **événements extrêmes** (tempêtes, pluies diluviennes entraînant des coulées de boue, chutes de rochers, avalanches) risquent de perturber tout le contexte montagnard.

De plus, comme les régions de montagne concentrent leurs écosystèmes, jouissant d'une très grande biodiversité, sur de faibles superficies, **les plantes** qui peuvent s'adapter en se déplaçant risquent d'être perturbées, en particulier les espèces florissant tôt et les petites populations isolées.

Les espèces les plus menacées seraient celles qui vivent au contact des névés ⁽¹⁾, dans les dépressions et les communautés des tourbières, car elles ne bénéficieraient plus de la protection de la neige contre le gel en hiver ni de la bonne alimentation en eau que leur procure la fonte du printemps.

Il serait aussi observé **une modification profonde de la composition des forêts**.

Toutes les ceintures de végétation se déplaceraient vers les sommets compromettant probablement une part importante des espèces endémiques de la flore alpine.

Dans les Alpes du Sud, suisses, italiennes et françaises, ce déplacement en altitude pourrait être associé à un déplacement vers le nord des espèces méditerranéennes.

2. La couverture neigeuse

Des estimations de l'évolution de la couverture neigeuse ont pu être réalisées à partir du modèle CROCUS (de Météo France) et du système d'analyse météorologique SAFRAN à propos des Alpes (23 massifs) et des Pyrénées (11 massifs). Ces projections ont été testées, depuis une dizaine

(1) Partie amont d'un glacier où la neige, évoluant par tassement et fusion partielle, se transforme en glace.

d'années, en les comparant aux mesures des hauteurs de neige effectuées sur plus d'une soixantaine de sites dans les Alpes et dans les Pyrénées.

A partir de là, il a été supposé que la température allait augmenter de 1,8° dans les Alpes et dans les Pyrénées, pour étudier les conséquences de ce phénomène sur l'enneigement à 1500 mètres. Les modifications sont retracées dans le tableau ci-après :

Enneigement	diminution en %	diminution en jours
Région		
Alpes du Nord	20 à 25	30
Alpes du Sud		
- Dévoluy		
- Haute-Tarentaise	30	37
- Queyras		
- Alpes azurées		
- Ubaye	40	48
- Mercantour		
Pyrénées	Jusqu'à 45	30 à 49

Les altitudes les plus basses seraient particulièrement concernées, alors qu'**au dessus de 2000 mètres et, a fortiori de 2500 mètres, l'enneigement en hiver serait peu touché.**

De même, **la diminution du nombre de jours où la hauteur de neige est supérieure à 20 cm** serait réelle au dessus de 2400 mètres, notamment, lors des périodes très touristiques allant du 20 au 31 décembre et du 15 au 30 avril ; ce phénomène étant davantage marqué en hiver qu'au printemps.

L'étude citée de la MIES considère que « *des problèmes se poseraient aux stations ne disposant pas de domaine de haute altitude (quel que soit le massif : Alpes, Pyrénées, Massif Central, Jura, Vosges). Il n'y a pas de régions favorisées ou défavorisées a priori. Certes, l'enneigement est plus faible à altitude égale dans les Alpes du Sud et les Pyrénées que dans les Alpes du Nord, mais les stations de sports d'hiver sont également situées plus haut.* ».

Même si en France, le réflexe consiste à penser d'abord aux conséquences les plus apparentes pour le tourisme de la diminution de l'enneigement, à savoir le manque de neige dans les stations de sport d'hiver, votre Rapporteur insiste à nouveau sur d'autres conséquences que l'enneigement lui-même : **les avalanches, les crues, les glissements de terrain, la gestion de l'eau...**

D. LA FRÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS CLIMATIQUES EXTRÊMES


Les modèles de climat ne sont pas encore assez fins pour décrire les tempêtes.


Les deux tempêtes survenues en Europe et notamment sur la France, les 26 et 27 décembre 1999, ont sensibilisé l'opinion publique métropolitaine à la violence de ce type de phénomène, déjà connue des DOM-TOM.

A l'occasion de ces événements, il a été constaté qu'il n'existait **pas beaucoup d'études de l'impact des changements climatiques sur les phénomènes extrêmes.**

Toutefois, des observations tirées des **forêts** déjà exploitées dans le passé ont permis de relever des ruptures dans les temps de repousse et de les comparer aux destructions survenues sur les pentes ou à la lisière des forêts ou en enfilade à l'intérieur des forêts.

A la suite des tempêtes de 1999, la communauté scientifique avait fait savoir par un communiqué qu'il était impossible de relier ces événements aux changements climatiques tout autant que d'exclure une liaison entre ces faits.


En fait, **un passage à un état différent de l'état actuel ne peut être exclu** tant en terme de fréquence que d'intensité de ces phénomènes a souligné M. Jean-François MINSTER, Président de l'IFREMER .

Pour Mme Anny CAZENAVE du CNES , il convient de s'inquiéter davantage de **la récurrence plus fréquente d'événements climatiques extrêmes** (tempêtes, précipitations intenses et inondations) que de la hausse, finalement assez modérée du niveau de la mer.

Par ailleurs, pour une analyse très détaillée des **risques naturels** (1), votre Rapporteur se contentera de renvoyer au rapport de M. Christian KERT, député, fait au nom de l'OPECST dans lequel il évoquait déjà nombre de

(1) « Les techniques de prévision et de prévention des risques naturels en France » OPECST. Assemblée nationale n° 1540 (11^{ème} législature), Sénat n° 312 (1998-1999). Le texte intégral de ce rapport figure dans le Cd-rom sur les rapports de l'OPECST de 1985 à 2001 joint au présent rapport.


difficultés que les changements climatiques envisagés ne pourront qu'aggraver d'où une attention renouvelée à porter aux recommandations adoptées en 1999 par l'OPECST.




Enfin, la multiplication d'événements climatiques extrêmes ne peut qu'entraîner **des modifications dans le secteur des assurances** pour les risques généraux comme pour les calamités agricoles et la création de nouveaux produits comme l'a indiqué M. Thierry MASQUELIER, Président de la Caisse Centrale de Réassurance lors de son audition .


E. LA SITUATION DES DOM-TOM

Votre Rapporteur a eu le souci de connaître la situation actuelle dans les DOM-TOM et les craintes éventuelles suscitées par les changements climatiques à venir. C'est pourquoi il a adressé un courrier à l'ensemble des parlementaires de ces départements ou territoires pour les consulter à ce sujet.

Sur les treize courriers envoyés, six ont reçu une réponse dont des éléments particulièrement précis provenant du Député de **la Guadeloupe**, M. Philippe CHAULET, du Sénateur de **Nouvelle-Calédonie**, M. Simon LOUECKHOTE, et du Sénateur de **Saint-Pierre-et-Miquelon**, M. Victor REUX.

Par ailleurs, votre Rapporteur a entendu le sénateur de **La Réunion**, M. Paul VERGÈS , particulièrement inquiet des changements climatiques à venir, compte tenu bien sûr des événements extrêmes que subit régulièrement la Réunion avec des pluies diluviennes et des vents violents déjà dans les conditions climatiques actuelles, comme vient encore une fois de le montrer le cyclone Dina le 22 janvier 2002. C'est ce qui a amené le Parlement à voter la proposition de loi du sénateur Paul VERGÈS proclamant la lutte contre l'intensification de l'effet de serre, priorité nationale et décidant la création d'**observatoires climatiques nouveaux dans les DOM-TOM**.

A l'occasion de ces auditions, votre Rapporteur s'est aussi préoccupé des **relations entre climat et santé outre-mer**, notamment à l'occasion des auditions du Professeur François RODHAIN , du Professeur Jean-Pierre BESANCENOT  et du Docteur Christine ROMANA .

De plus, au cours de son audition, M. Daniel CARIOLLE, Directeur de la Recherche de Météo-France , a estimé qu'il n'est pas certain que le changement climatique provoque davantage de cyclones dans les DOM-TOM.

IV. BIODIVERSITÉ ET GAZ À EFFET DE SERRE

Il est parfois affirmé qu'on ne s'occupe de biodiversité que parce que l'idée de sa disparition fait peur.

Cette idée repose-t-elle sur une réalité ?


L'augmentation des émissions de gaz à effet de serre et les modifications qu'elle entraîne sur la température et les précipitations ne pourront manquer d'influer sur la biodiversité.

Dans la mesure où ce lien, pourtant très direct, est généralement peu perçu, votre Rapporteur a tenu à expliciter l'ampleur de la menace comme la nature de l'objet menacé en insistant sur **la nécessaire préservation de la biodiversité, et sur les interrogations relatives au rythme d'adaptation des espèces face aux changements climatiques.**

Dès à présent, il convient de se demander si les milieux naturels vont pouvoir absorber le choc de ces modifications et donc d'évaluer l'ampleur de celles-ci.

L'homme a toujours modifié son milieu et cela ne fera que s'accroître avec la croissance démographique prévue pour le présent siècle, mais **le milieu ne connaît-il pas des limites aux actions que l'homme lui impose ?**

A. LA MENACE SUR LES RESSOURCES BIOLOGIQUES

D'après la conclusion d'un rapport de l'Académie des Sciences intitulé « *Biodiversité et environnement* » (n°33 - juin 1995)  « *en imposant une exploitation accélérée et de profondes transformations de l'environnement, l'expansion économique et démographique du XX^{ème} siècle a créé une rupture. Les ressources biologiques sont menacées. Parallèlement, les hommes qui ont massivement quitté la campagne ont perdu leurs racines et leurs liens avec la nature. Aujourd'hui, la société constate qu'elle ne peut pas concevoir son avenir sans un monde vivant, riche et varié, pour des raisons économiques, écologiques, sociales et culturelles* ».

Une telle analyse venant du cercle le plus autorisé ne peut manquer d'attirer l'attention. La prise de conscience de l'importance des conséquences de l'intensification de l'effet de serre est intervenue après le rapport cité. Pour autant, celui-ci signale déjà une situation très dégradée.

Pourquoi la biodiversité est-elle si précieuse ? Et d'abord, qu'est-ce que la biodiversité ?

La biodiversité est fondée sur la qualité et la quantité des êtres vivants présents sur un territoire. Il s'agit aussi bien de la diversité génétique intraspécifique que de la multiplicité des espèces, l'abondance relative de chacune, la variété de leur organisation en écosystèmes différents que de la complexité des relations entre ces écosystèmes.

Or, ce qu'a constaté l'Académie des Sciences, c'est l'instauration d'une coupure entre nature et culture avec le développement de la société moderne. Certes, pendant des siècles, l'homme a tiré les richesses nécessaires au développement de son mode de vie de sa modification des relations avec les autres espèces. Il a puisé largement dans un stock de ressources biologiques. Mais celui-ci n'étant pas inépuisable, **l'homme n'a d'autre choix aujourd'hui que de redécouvrir sa solidarité avec son environnement.**

Pour resituer la notion d'espèce, dont plus d'un million seulement ont été identifiées à ce jour sur, probablement, plusieurs dizaines de millions, il faut noter que les activités humaines peuvent transformer rapidement, jusqu'à les faire disparaître, les êtres vivants en un espace donné.

Contrairement à l'apparition des espèces, qui résulte d'évolutions au cours de millions d'années, leur disparition, du fait de l'action de l'homme, peut ne prendre que quelques siècles, voire nettement moins.

L'impact pour les espèces de la concentration en gaz carbonique dans l'atmosphère interviendra avant qu'il ait été possible d'identifier précisément le rôle de la biodiversité dans les écosystèmes.

L'Académie des Sciences a souligné dans son rapport qu'**avec la prise de conscience de la limite des ressources naturelles, le temps de l'exploitation sans contrôle de celles-ci devait être considéré comme révolu.** Elle a noté à propos du développement durable que *« la question de la biodiversité est aujourd'hui sortie du cabinet du scientifique, elle se pose à chacun »*.

Et votre Rapporteur éprouve le même sentiment pour la question des changements climatiques.

B. LES COMPOSANTES DE LA BIODIVERSITÉ

Il doit être rappelé brièvement **les principales composantes de la biodiversité** qui regroupent les micro-organismes, le milieu marin et les milieux continentaux.

Pour **les micro-organismes**, ceux-ci n'ont été découverts qu'au XVII^{ème} siècle avec l'apparition du microscope, alors que l'homme les utilisait depuis longtemps sans vraiment savoir qu'il agissait avec la complicité d'êtres vivants minuscules. Par exemple, lorsqu'il fabriquait du pain, de la bière ou du vin grâce à la fermentation.

Il est probable qu'aujourd'hui, **seulement 10 % des espèces de micro-organismes sont connues**, soit quelques centaines de milliers sur un total chiffré en millions. L'ignorance de l'homme est encore grande à ce sujet. Or, **dans les grands cycles biogéochimiques globaux comme celui du carbone, la contribution des micro-organismes est essentielle**. Par exemple, ils sont seuls à même de pouvoir fixer l'azote atmosphérique, assurer la nitrification et la dénitrification, de même que certaines dépollutions.

De plus, **le picoplancton marin participe à la photosynthèse, à la fixation du carbone atmosphérique et donc, de manière importante au cycle du carbone fixé par les océans**.

Sans entrer dans l'historique des progrès de la connaissance de l'homme face aux micro-organismes, notamment avec le développement des vaccins, ou le séquençage de l'ADN, l'Académie des Sciences relève qu'encore aujourd'hui, l'ignorance sur ce sujet demeure très grande et que la tâche à accomplir est à la mesure de cette lacune.

En reliant cette observation aux changements climatiques, cela peut être rapproché du problème du **paludisme** chez l'homme où un micro-organisme parasite et pathogène contourne les défenses immunitaires de l'organisme hôte en changeant ses protéines de surface, anticipant ainsi la production d'anticorps.

Si, comme de nombreuses hypothèses le soulignent, le réchauffement climatique risque d'entraîner dans certaines régions l'extension du paludisme, des recherches sur ce thème en vue de la découverte d'un vaccin deviendront primordiales.

Toujours à propos de questions liées aux changements climatiques, l'Académie des Sciences relève que **les sols comme les eaux sont des systèmes complexes dans lesquels le rôle de la biodiversité est peu connu**. Comme déjà développé plus haut, même si la pratique agricole a développé une technique de gestion des sols, ce n'est pas pour autant qu'elle en maîtrise tous les mécanismes. L'ignorance est encore grande aussi pour les lacs, les fleuves et les nappes phréatiques, d'ailleurs modifiés par les apports chimiques résultant des activités agricoles ou industrielles.

C. LA PRÉSERVATION DE LA BIODIVERSITÉ

Dans les conditions décrites ci-dessus, **l'Académie des Sciences recommande une gestion conservatoire des écosystèmes** dans la mesure où une évaluation approfondie du rôle de l'abondante richesse biologique manque encore.

1. L'écosystème marin

En ce qui concerne **le milieu marin**, la pêche prélève sur les espèces des contingents dont le renouvellement n'est pas *a priori* garanti. D'où les mesures de préservation de populations qui se multiplient malgré les réactions des milieux économiques qui en tirent leurs revenus. Là encore, le changement climatique global susceptible d'intervenir peut jouer un rôle considérable et cela même si l'amplitude des modifications reste faible. Il a été ainsi noté, à partir d'études systématiques menées par les stations marines situées sur la Manche, qu'**une élévation d'un demi-degré de la température moyenne annuelle de l'eau suffit à modifier les champs d'algues, donc à faire régresser les poissons d'origine boréale**, faisant apparaître des espèces lusitaniennes perturbant ainsi la conduite et la production de la pêche.

L'Académie des Sciences note *« à la fin de ce XX^{ème} siècle, l'humanité commence à réaliser qu'en dépit de sa masse énorme, l'océan n'est ni une ressource infinie, ni un système immuable »*.

Plusieurs grands problèmes ont été identifiés, à commencer par la température qui est un facteur essentiel de la richesse biologique. Déjà, **les systèmes coralliens ont été très touchés et une évaluation générale du rôle écologique de la richesse biologique des zones littorales (lagunes, estuaires, côtes, mangroves, récifs coralliens, marais) s'impose**.

L'Académie des Sciences recommande des mesures de régulation appliquées sous l'égide des pouvoirs publics, telles celles qui ont prouvé leur efficacité pour la protection du milieu naturel dans **la Baie de Somme**.

Elle insiste aussi sur **les effets de la pêche** de plus en plus fréquente à des profondeurs de 1.000 à 2.000 mètres qui prélève des tonnages considérables de poissons dans des stocks dont ni l'ampleur, ni la diversité, ni le taux de renouvellement ne sont connus avec précision.

Encore plus important, le rôle joué par **le picoplancton** qui serait peut-être **responsable d'un bon cinquième de la fixation de carbone par l'océan**, même si cela n'a été mis en valeur que depuis une dizaine d'années.

Il a été souligné dans la première partie du présent rapport le rôle climatique joué par les immenses masses d'eau en perpétuel mouvement et le rôle des courants ; les températures et les êtres vivants qui peuplent ces eaux, le recyclage du gaz carbonique et la photosynthèse en dépendent très largement.

De même, les connaissances de l'homme ont encore montré leurs limites lors de la découverte récente d'un monde biologique très divers à proximité des sources chaudes sous-marines profondes. En effet, pendant longtemps, l'absence de vie dans les grandes profondeurs était considérée comme établie.

Ce rapide survol a permis à votre Rapporteur d'insister sur l'intérêt qu'il y aurait à pouvoir **évaluer les conséquences possibles d'un changement climatique global à partir d'inventaires précis de données quantitatives à la fois dans l'espace et dans le temps**. A partir de cela, il serait peut-être envisageable de **développer des modèles de fonctionnement de l'écosystème marin**. A cet égard, il doit être indiqué que de tels inventaires permettraient d'évaluer les impacts de catastrophes. Curieusement, à cet égard, les marées noires dues au naufrage du *Torrey Canyon*, en 1967, et de *l'Amoco Cadiz* en 1978 ont vu leurs effets totalement dissipés au bout d'une dizaine d'années ; la faune et la flore marine ayant recolonisé tous les milieux où le pétrole s'était déposé.

Toutefois, il ne faudrait pas en tirer la conséquence que le vivant se reconstitue toujours. En effet, en l'occurrence, la transformation progressive des produits polluants a sans doute été permise par l'arrivée de l'extérieur d'effectifs suffisants de micro-organismes pour agir sur ces polluants. Mais les connaissances sur les divers paramètres en cause (nature des milieux pollués, nature des agents polluants, aptitude et effectif des êtres vivants concernés) sont encore très lacunaires.

Dans le domaine de l'écosystème marin comme dans celui du changement climatique, il existe un décalage entre l'urgence des réponses à apporter face à la croissance démographique et à la pression qu'elle exerce sur le milieu marin et l'impossibilité de disposer immédiatement des connaissances considérables pourtant nécessaires à l'orientation des décisions futures.

Il a été surtout souligné par l'étude déjà citée que certaines espèces ont un rôle clé dans le maintien de la richesse biologique, que la disparition d'espèces est assez rare en milieu marin grâce aux effectifs très élevés et à la large dispersion possible d'individus mais également que les organismes marins sont fragiles. Par exemple, la pollution et la pêche excessive provoquent des changements massifs et à longue distance dans les écosystèmes marins.

Comme cela a été indiqué à l'occasion de plusieurs auditions, **la mer Méditerranée présente aujourd'hui des écosystèmes très dégradés** et une pollution importante.

Pour sa part, la biodiversité marine du Pacifique et des régions Australes représente une richesse biologique tout à fait exceptionnelle dont l'exploitation devrait être accélérée. Dans ces zones, peuvent être analysées mieux qu'ailleurs les conséquences biologiques des transformations climatiques majeures (phénomène *El Niño*, dégénérescence des systèmes coralliens...).

2. L'écosystème continental

En ce qui concerne **les milieux continentaux**, l'Académie des Sciences a souligné que **l'homme a tendance à percevoir de plus en plus les variations climatiques qui sont des phénomènes naturels comme des catastrophes**. En même temps, *« l'homme prend de plus en plus de risques en contradiction avec son espoir de s'installer dans la durée »*.

Bien entendu, **la préservation de la biodiversité concerne directement les grandes forêts** et notamment les forêts tropicales qui renferment des milliers, voire des millions d'espèces inconnues.

La communauté scientifique insiste souvent sur le fait que disparaît sous nos yeux un patrimoine considérable avant même que sa richesse n'ait pu être évaluée.

Même si, **en France**, des modifications importantes des écosystèmes interviennent, aucune menace grave ne pèse pour l'immédiat ni sur le blé ni sur des espèces de valeurs économiques et stratégiques reconnues. La société peut y être tentée de se concentrer sur certaines espèces en laissant de côté des espèces considérées comme secondaires.

Au total, le nombre des variétés en culture a diminué ainsi que la diversité des produits parvenant aux consommateurs. Ce mouvement de plus est univoque car **le consommateur n'est plus en mesure par ses choix d'orienter les producteurs en réagissant aux produits proposés**.

Et la question se pose de savoir si le marché, après avoir poussé à l'uniformisation des produits, pourrait maintenant concourir à la promotion de la biodiversité.

Mais pour apprécier toutes ces évolutions, la complexité des situations et leur multitude rend difficile un jugement global. En effet, des facteurs aussi divers et complexes à croiser que le temps, l'ampleur des stocks et la perception de la valeur de la ressource doivent se combiner. Ainsi, les

prélèvements très rapides peuvent entraîner des pertes définitives de ressources biologiques. Cela sera d'autant plus important que le stock sur lequel s'opère le prélèvement est réduit.

3. Les critères de préservation d'une espèce ou d'un écosystème

Enfin, **la société n'est pas toujours à même de percevoir l'intérêt de la préservation d'une espèce.** A cet égard, l'Académie des Sciences note que le citoyen moyen sera davantage porté à se mobiliser pour la préservation des grands mammifères que pour les algues cavernicoles.

Face à cette complexité, une première attitude peut consister à éviter les destructions indifférentes et à organiser un maintien de la ressource biologique, même s'il ne peut s'agir de refermer artificiellement sur eux-mêmes des écosystèmes car cela va à l'encontre de l'idée même de biodiversité puisque cela signifierait qu'un écosystème est un ensemble naturel qui, à un moment donné, atteint un équilibre définitif et idéal.

En effet, **il ne suffit pas de figer un écosystème pour en préserver la biodiversité.**

Par ailleurs, comme l'a souligné l'Académie des Sciences, il faut partir du constat que **la mutation d'une propriété du vivant, que la diversité génétique d'une population, constituent des assurances vis-à-vis des transformations du milieu** et que la même approche peut concerner les écosystèmes. **Ces caractéristiques joueront donc aussi face aux changements climatiques.** Cependant, au-delà des adaptations, encore faut-il que l'organisme puisse survivre. Pour apprécier l'état actuel de la biodiversité et les modifications subies par elles du fait du changement climatique, **il est nécessaire de disposer d'inventaires recensant à la fois la diversité génétique, les relations entre espèces et les relations entre celles-ci et leur environnement. Or, ces documents sont encore largement inexistant** et l'Académie des Sciences a souhaité que l'élaboration en soit confiée simultanément à des systématiciens, généticiens, écologues, paléontologistes, archéologues, géographes, historiens, informaticiens, ethnologues, sociologues...

Dans cette démarche, se retrouve la préconisation déjà exprimée de **la nécessité d'une confrontation de disciplines différentes pour appréhender les causes et l'impact des changements climatiques.**

A cet égard, il est intéressant de noter qu'une communauté scientifique de niveau international se constitue depuis plusieurs années en France, autour des problèmes de biodiversité.

Il est probable que, de plus en plus au cours des années à venir et du siècle qui vient de débiter, la croissance démographique et le développement économique, même devenu davantage durable, mobiliseront des espaces et des ressources nouvelles au détriment d'autres êtres vivants, et aussi au détriment des ressources naturelles.

Certains craignent une catastrophe écologique à partir du moment où le rythme de destruction d'origine humaine deviendra supérieur au rythme de renouvellement biologique.

Comme dans le changement climatique global, la question du seuil d'amorce de ce mécanisme est très importante car **aucun critère précis ne permet aujourd'hui de prévoir le moment ou le degré de franchissement du seuil.**

Là encore, comme pour le changement climatique, **lorsque les premières catastrophes apparaîtront, il sera trop tard pour réagir efficacement.**

4. Les moyens d'une action de préservation de la biodiversité

A l'occasion de ce débat sur la biodiversité, l'Académie des Sciences s'est interrogée sur la perception que les hommes pouvaient avoir de cette problématique et sur **la difficulté de traduire dans les textes législatifs et réglementaires des actions concrètes**, même si chacun s'accorde à reconnaître la nécessité d'approfondissement des connaissances, de protection et de libre évolution de la diversité. Mais, une chose est d'être attentif à celle-ci dans le cadre d'un débat axé sur ce thème et une autre de garder cette priorité à l'esprit lors de débats concernant, par exemple, les sujets économiques.

Enfin, au-delà des hommes politiques, l'Académie des Sciences souhaite **que tous les acteurs de la démocratie fassent preuve d'un sens des responsabilités accru** pour se sentir concernés aussi bien par la déprise agricole, la réhabilitation des paysages urbains, l'aménagement des cours d'eau et des forêts, l'entretien d'une vie sociale en montagne.

Il serait souhaitable que l'opinion prenne davantage position sur ces thèmes et que les entreprises et les institutions publiques puissantes manifestent aussi leurs préoccupations à cet égard, mais, dans ce débat comme dans celui sur le changement climatique global, **la complexité du sujet, ainsi que la discordance entre les échéances -ici les échéances politiques et biologiques- favorisent l'attente.**

L'Académie des Sciences elle-même récuse l'attentisme qui feindrait d'être justifié par la nécessité d'un approfondissement des

recherches. En effet, *« cet argument d'ignorance, prétexte à tous les immobilismes, est dépourvu de sens : on ne sait jamais tout . Cela n'empêche pas de réagir à une situation inquiétante en fonction de ce qui est connu et l'évaluation des effets de l'action permet de stimuler les recherches dans les domaines où l'ignorance est la plus gênante ».*

Une des difficultés dans la réaction de l'opinion publique est de distinguer entre les risques encourus et les risques imaginaires. Parmi les risques réels, figure **la destruction de la forêt tropicale** qui privera la recherche pharmaceutique de la découverte de molécules pharmacologiques actives extraites des végétaux alors que cette déforestation est surtout perçue par l'opinion comme une atteinte au « poumon de la planète », ce qui est une image inexacte.

D'autre part, même les conséquences de catastrophes naturelles, comme les grands incendies des forêts de pins dans les Landes survenus il y a quelques années, ne sont pas absolument prévisibles. Dans ce cas, toute une gamme de végétaux aux propriétés variées ont réapparu dans l'espace dégagé par le feu. Il n'y a donc pas eu disparition de la végétation, mais une nouvelle abondance végétale rendant l'endroit impénétrable pour l'homme.

Parmi les politiques nécessaires pour l'évaluation de la biodiversité, **la nécessité de préserver des espèces diverses d'arbres forestiers** n'est apparue sur la scène internationale et d'ailleurs surtout européenne, qu'au cours des années 1990 et c'est alors que des règles légales et techniques de préservation de la diversité ont été édictées et mises en pratique. Il reste à étendre cette préoccupation à d'autres écosystèmes.

Bien évidemment, dans son rapport de 1995, l'Académie des Sciences avait tiré de son étude la nécessité de plusieurs mesures d'urgence et, parmi celles-ci, figurait **la création d'un réseau d'observatoires permettant d'établir des inventaires biologiques et d'assurer la surveillance écologique du territoire en liaison avec son aménagement.**

Elle avait aussi préconisé la création d'**un programme national de recherche sur la biodiversité**, de même qu'**une politique nationale de formation** dans les programmes de différents niveaux de l'enseignement : du primaire au supérieur en passant par les collèges et les lycées, et en souhaitant que cette large action de formation soit relayée par les médias en liaison avec l'Académie des Sciences.

L'Académie des Sciences avait également souhaité que la gestion des ressources repose sur **des débats** facilités par des arbitrages et des collaborations permettant des actions sur le terrain pour que les risques des décisions immédiates soient toujours compris et collectivement acceptés et assumés. Naturellement, **la contribution de la France aux efforts**

internationaux devait être privilégiée, notamment pour les riverains de la mer Méditerranée.

A cet égard, la France pourrait davantage manifester sa présence active et systématique dans les **grands programmes internationaux** en y déléguant et, ce point est essentiel, de façon concertée, ses scientifiques et ses diplomates.

L'Académie des Sciences avait souhaité enfin **que la biodiversité s'impose comme un enjeu de l'homme moderne** et soit intégrée à sa perception de l'environnement.

Cela lui semblait nécessaire à concrétiser dans une instance nationale qui se serait appelée **Coordination nationale de la biodiversité** à laquelle auraient pu, par exemple, être associés les ministères et l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques.

D. LES RYTHMES DE L'ADAPTATION DES ESPÈCES

Les débats sur la biodiversité et l'intensification de l'effet de serre entraînant des changements climatiques posent aussi la question de l'adaptabilité des espèces animales ou végétales. Certains considèrent que le rythme du changement climatique permettra l'adaptation des espèces à travers notamment leur migration, mais d'autres insistent sur **la difficile compatibilité entre le rythme du changement climatique et ceux de l'adaptation des espèces**, notamment celui de leur migration.

C'est ainsi que dans son ouvrage « *La Terre menacée. Un laboratoire à risques* » (1), Stephen H. SCHNEIDER a contesté fortement la possibilité d'une adaptation des espèces face aux changements climatiques à venir.

Il a relevé que des découvertes récentes fondées sur l'étude des sols et des sédiments terrestres avaient remis en cause les théories formulées par DARWIN dans « *L'origine des espèces* » où il supposait que les diverses espèces s'étaient déplacées ensemble préservant ainsi la biodiversité. En effet, pendant les périodes de transition entre les ères glaciaires et les ères interglaciaires, les déplacements d'espèces ont suivi des rythmes inégaux et des directions différentes. C'est ainsi que, même si les essences d'arbres se déplaçaient, les forêts anciennes disparaissaient. Or, **le taux moyen de changement des températures de l'ère glaciaire aux temps interglaciaires a été évalué à environ 1°C tous les mille ans**. Même si le temps de réaction des différentes espèces est propre à chacune d'entre elles, ce rythme du passé n'a rien à voir avec ceux que provoquerait un futur changement rapide du climat, estimé à plusieurs degrés par siècle actuellement, sans compter que,

(1) *Hachette littératures. 1999.*

par rapport aux âges reculés, les taux d'extinction seraient renforcés par la fragmentation des habitats, les diverses pollutions et l'introduction d'espèces exotiques dans de nouveaux habitats.

Compte tenu de ces éléments, **l'adaptation à un changement climatique important devrait s'étendre sur plusieurs siècles alors même que le réchauffement actuellement envisagé interviendra sur une durée bien plus brève.**

En outre, la survie des espèces animales dépend non seulement de la température mais encore de la végétation et de la préservation de la communauté biologique à laquelle elles appartiennent ; la survie de certaines espèces isolées d'autres espèces ne pouvant être envisagée.


Pour illustrer ces difficultés, Stephen H. SCHNEIDER évoque la quasi-élimination de **la loutre de mer américaine** de la côte Ouest des États-Unis d'Amérique par les chasseurs de fourrure. Cette réduction de la population des loutres de mer entraîna la prolifération des oursins qui constituent la base de leur alimentation ; les oursins décimèrent les forêts de varechs géants, créant des fonds marins désertiques. En réaction, la protection ultérieure des loutres provoqua la diminution de la population d'oursins et la réapparition du varech ainsi que du poisson. Autre exemple, toujours dans l'ouest des États-Unis : **l'élimination des loups** a entraîné la prolifération des coyotes puis la mise au point de programmes pour limiter le nombre de ceux-ci, ce qui entraîna la multiplication des renards qui menaça les populations de gibier d'eau ; d'où les projets de réintroduction de populations de loups. Ces exemples illustrent qu'**il est difficile de connaître a priori les équilibres entre espèces et donc l'impact des modifications apportées à leurs conditions d'existence.**

Au-delà de ces exemples d'adaptation, il doit être rappelé que **les ressources biologiques globales** sont estimées à environ 10 millions d'espèces vivantes dans les seules **forêts tropicales humides**. Dans ces conditions, Stephen H. SCHNEIDER a relevé qu'avec un taux de destruction des forêts de 1 % par an, ce sont environ 27.000 espèces qui seraient condamnées par année, c'est-à-dire 74 par jour et 3 par heure ; sans compter que **certaines des espèces qui disparaissent n'ont pas encore été identifiées**, ce qui rend impossible l'appréhension de l'importance même de la disparition. Evidemment, la réduction de la superficie de la surface de la forêt tropicale ne fera qu'accentuer ce rythme déjà très impressionnant et sans commune mesure avec le taux d'extinction naturel qui devrait être, chaque année, d'une espèce pour un million. En outre, il peut être souligné que si d'importantes déforestations n'ont pas, par exemple, entraîné de grands nombres de disparitions d'espèces d'oiseaux en Amérique du nord-est, c'est parce qu'il s'y trouve peu d'espèces endémiques, alors que c'est tout le contraire dans les forêts tropicales. Stephen H. SCHNEIDER ne manque pas de rappeler que

ce « massacre planétaire est accompli par une seule espèce, l'homme, décidée à accroître sa population et à améliorer sa situation économique ».

Enfin, votre Rapporteur fait siennes les considérations conduisant Stephen H. SCHNEIDER à rappeler que *« l'interconnexion des écosystèmes dépasse les échelles discrètes qui caractérisent les entreprises privées, les Etats-nations, ou les pratiques de différentes disciplines. **La gestion de l'environnement doit se faire à l'échelle du système géré** »*. Et aussi que : *« **Les problèmes d'environnement les plus graves du XXI^{ème} siècle ne se limiteront pas à la destruction des habitats, ni à la destruction de la couche d'ozone, ni à la pollution chimique, ni à l'invasion d'espèces exotiques ni aux changements climatiques considérés séparément : le grand problème sera celui de la synergie entre tous ces facteurs** »*.

La réflexion sur les changements climatiques, et la diversité des thèmes abordés dans le présent rapport rejoignent ces préoccupations.

A partir des **études menées sur les papillons et les oiseaux migrateurs**, M. Denis COUVET, du Centre de Recherches sur la Biologie des Populations d'Oiseaux (CRBPO) du Museum national d'histoire naturelle , a rappelé qu'il avait été observé que, **sur vingt ans, les périodes de migrations avaient varié de dix jours environ.**

A cet égard, il peut être relevé que certaines migrations sont liées à la durée du jour et à la température, que tout ajustement des périodes de migrations d'une espèce peut interagir sur les périodes de migration d'une autre espèce et qu'une adaptation des espèces au changement de milieu requiert un effectif de population suffisant.

Pour sa part, le CRBPO a constaté de **brusques changements dans l'implantation d'espèces d'oiseaux.**

Face à ces modifications, M. Denis COUVET a noté que **les changements climatiques en eux-mêmes ne sont pas nécessairement une cause d'extinction d'espèces, mais que le changement climatique peut constituer la dernière atteinte portée à l'espèce.**

Il a insisté sur **la dépendance de l'homme par rapport aux autres espèces et sur la nécessaire conservation de la biodiversité malgré le changement climatique, plus importante que le changement climatique en tant que tel.**

V. GAZ À EFFET DE SERRE ET SANTÉ HUMAINE

Les relations entre le climat et la santé conduisent à s'interroger sur les impacts des changements climatiques sur la santé humaine.

A. LES RELATIONS ENTRE LE CLIMAT ET LA SANTÉ

Les conséquences de changements climatiques sur la santé des hommes font partie des impacts les plus redoutés. Après avoir rappelé les liens entre santé et climat, votre Rapporteur rappellera les données aujourd'hui disponibles et donnera son sentiment sur les risques réels encourus.

Dans son récent ouvrage, « *Climat et santé* » (1), le Professeur Jean-Pierre BESANCENOT rappelle que **la santé** peut être définie comme « *un état de l'organisme qui en permet l'ajustement et le fonctionnement adéquats compte tenu des conditions endogènes et des facteurs de l'environnement* », soit « **la capacité de s'adapter à un contexte qui change** ».

Il souligne à quel point l'organisme est en contact direct avec l'air ambiant à travers la peau (moins de 2m²) et les alvéoles pulmonaires (90 m²) et que la santé est liée, et même subordonnée, à la stabilité du milieu intérieur de l'homme.

Cette fixité s'obtient notamment par des réactions au milieu conduisant souvent à dépasser la norme d'un état pour instituer de nouvelles normes de santé adaptées aux situations nouvelles.

Dès lors, cet auteur estime que **la nocivité d'un climat** se mesure à « *la vigueur des stress imposés par le milieu atmosphérique et l'intensité des réactions requises pour y faire face* ».

L'homme est amené à lutter contre le refroidissement (thermogenèse) ou contre l'échauffement (thermolyse).

A **Paris**, l'année se répartit à peu près entre sept mois de thermogenèse et cinq mois de thermolyse.

Selon cette approche, **trois grandes zones climatiques** existent à la surface de la planète : celles où l'hiver peut être permanent (les milieux polaires), celles sans hiver (les basses latitudes inter et subtropicales) et celles où l'hiver n'est jamais permanent (latitudes moyennes).

(1) « *Climat et santé* », Collection Médecine et société. Territoires et économie de la santé. PUF. Octobre 2001. 126 pages.

Mais, au-delà de la température, **l'humidité de l'air, son hygrométrie, a une incidence directe sur la santé**. Par exemple, un taux de 80 % d'humidité relative est très supportable vers + 15°C mais plus du tout à - 15°C ou + 30°C.

Comme, par ailleurs, l'homme adulte inhale dix fois plus d'air -en poids- qu'il n'absorbe de nourriture solide et liquide, **la présence dans l'air de gaz à effet de serre ne peut être sans influence sur la santé de l'homme**.

C'est ainsi, précise le Professeur Jean-Pierre BESANCENOT, que *« toute augmentation du taux de CO₂ dans l'air ambiant ralentit la diffusion alvéolo-capillaire et perturbe la purification du sang »*, et ce phénomène peut atteindre des taux élevés dans certaines grandes villes.

Or, lorsque **l'agression bioclimatique** revêt un caractère excessivement violent ou trop répété, l'organisme humain n'arrive plus à compenser les pressions auxquelles son environnement le soumet. Il peut en résulter des troubles, la maladie, voire la mort.

Des exemples en sont fournis par des coups de soleil, des gelures, des réactions inadéquates, des altérations de l'état général (coup de chaleur avec troubles neurologiques), des déshydratations, des cancers (ajustement anarchique de l'organisme à l'environnement).

Pour autant, **le climat n'est pas responsable de toutes les maladies constatées dans une région donnée**. Par exemple, ce n'est pas le climat chaud et humide qui génère le paludisme mais bien la virulence du moustique agent de propagation -vecteur- de cette maladie.

Cependant, nombre d'études ont montré que, **sous certaines latitudes, l'état de l'atmosphère exerce sur la mortalité générale une forte influence**. C'est ainsi qu'il a été relevé que le climat rend compte, à lui seul, de 77 % de la variabilité en jours successifs du nombre de décès à Turin et de 87 % à Naples.

Le tableau succinct, ci-dessous, donne une idée de l'influence du climat sur la santé selon les pays :

Influence du climat sur la santé

Très faible	Pays scandinaves, Canada, Etats-Unis d'Amérique, sauf sud-est
Modérée	Floride, France, Pays-Bas, Allemagne
Décisive	Japon, Grèce

Mais, au-delà de ces différences, **au XX^{ème} siècle, l'influence du climat sur la santé s'est atténuée sur presque toute la planète sauf au Japon et, partiellement, en Italie.**

En **France**, cette influence était décisive vers 1910, encore forte vers 1960 et modérée actuellement.

La généralisation de l'usage des antibiotiques pourrait expliquer le retournement de tendance observé.

Le Professeur Jean-Pierre BESANCENOT en déduit que « *les risques climatopathologiques sont toujours étroitement datés et localisés, largement tributaires du contexte (social, économique, culturel) ainsi que de la pratique médicale* ».

Des exemples de cette assertion peuvent être tirés des effets des **cyclones tropicaux** –qui engendrent un nombre de morts et de blessés inversement proportionnel au degré de développement de la zone touchée- de ceux des **vagues de froid en climat tempéré moyen** –où les victimes sont surtout des personnes âgées à l'état de santé déjà fortement altéré et des sans-abri (hiver 1985 en France)- ou encore de ceux des **grandes vagues de chaleur en climat tempéré moyen et en climat méditerranéen** (été 1976 dans 20 départements français, juillet 1983 à Marseille et dans toute la Provence, juillet 1987 à Athènes), où les victimes sont essentiellement des jeunes enfants, des personnes du troisième ou du quatrième âge, surtout des femmes.

De ces précédents, le Professeur Jean-Pierre BESANCENOT a tiré plusieurs conclusions :

- **la chaleur du jour est bien supportée tant que la nuit permet de récupérer des forces dans de bonnes conditions ;**

- **la surmortalité des périodes caniculaires se concentre dans les grandes villes, surtout en centre ville, notamment dans des îlots de chaleur urbains et est accentuée par la pollution atmosphérique (à Athènes, par exemple) ;**


- **les sociétés modernes sont de plus en plus vulnérables aux vagues de chaleur.** En effet, l'homme y vivant de plus en plus dans un milieu artificiel et hyperprotégé, a une capacité réduite de résistance aux changements climatiques ; la généralisation de l'air conditionné permet d'inverser cette tendance.

De ces éléments, l'auteur cité déduit que « *les répercussions sanitaires des fortes chaleurs estivales n'ont rien d'inévitables* » et il observe que **la maladie résulte de la « conjonction d'un excès du climat avec d'autres facteurs, constitutionnels ou acquis, qui mettent l'organisme dans**


une situation permanente ou transitoire de faiblesse ». « Le seul rôle du climat est de fournir la chiquenaude qui, chez un sujet déjà prédisposé, déclenche le processus pathologique ».

D'où la proposition, reprise par votre Rapporteur, de développer en France l'élaboration et la diffusion de **bulletins médico-météorologiques** permettant, par exemple, d'attirer l'attention sur la survenue de conditions climatiques propres aux infarctus du myocarde ou aux rhinites, conjonctivites et crises d'asthme liées à la date initiale de pollinisation.

B. L'IMPACT DU RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE SUR LA SANTÉ

La mission interministérielle de l'effet de serre (MIES), dans son rapport sur les *Impacts potentiels du changement climatique en France au XXI^{ème} siècle* , a étudié également **les influences possibles des changements climatiques sur la santé en France métropolitaine et dans les DOM-TOM au XXI^{ème} siècle** (1). Après avoir noté que les saisons normales du XXI^{ème} siècle devraient reproduire les saisons connaissant des températures anormalement élevées du XX^{ème} siècle, il a été observé qu'**un réchauffement moyen de 2°C serait suffisant pour produire un impact direct sur le fonctionnement de l'organisme humain** (coups de chaleur, déshydratation aiguë, accidents cardio-vasculaires ou cérébro-vasculaires). De plus, les effets cumulatifs d'un ensoleillement renforcé pourraient multiplier les cas de cancer cutané ; ce qui ne serait constaté que dans trois ou quatre décennies.

Les personnes seraient inégalement touchées, les plus menacées étant les personnes âgées, les malades chroniques, les jeunes enfants et les nourrissons. De plus, le vieillissement de la population ne fait qu'augmenter sa vulnérabilité aux aléas climatiques.

Pour le Professeur Jean-Pierre BESANCENOT , **la mortalité en hiver reculerait de 5 % à 7 % vers le milieu du XXI^{ème} siècle**, tandis que **la mortalité d'été s'accroîtrait** chez les personnes âgées et chez les catégories sociales les moins favorisées, ainsi que chez les femmes au delà de la soixantaine. Les précédents des étés les plus chauds des cinquante dernières années (1947, 1949, 1952, 1961, 1962, 1964, 1976, 1978, 1982, 1985, 1986, 1989, 1990, 1991) permettent d'extrapoler, **pour le milieu du siècle prochain, un taux moyen d'augmentation des décès de 12 % à 18 %**. Cette prévision, bien inférieure à celles effectuées aux Etats-Unis d'Amérique (doublement ou triplement de la mortalité) reste assez raisonnable.

La répartition géographique de l'évolution du rythme annuel de la mortalité pourrait faire que **la sur-mortalité** se concentre presque

(1) *Contribution du Professeur Jean-Pierre BESANCENOT, CNRS : GDR Climat et Santé, Faculté de Médecine, Dijon.*

exclusivement **dans les grandes agglomérations urbaines** (quartiers centraux densément bâtis, villes méridionales de plusieurs centaines de milliers d'habitants). L'auteur cité a d'ailleurs relevé que « *le citadin qui vit dans une ambiance artificielle (réchauffée l'hiver et réfrigérée l'été) aggrave son intolérance vis à vis des conditions climatiques adverses et le rend incapable d'y faire face* ».

Il a noté également, **le retour plus fréquent de phénomènes extrêmes** : des chaleurs comme celles de l'été 1976, considéré comme le record du XX^{ème} siècle, risqueraient de survenir tous les trois à cinq ans au milieu du siècle prochain.

Comme l'ont relevé les climatologues, **le réchauffement concernerait essentiellement les températures nocturnes**, ce qui provoque généralement le maximum de mortalité dans la mesure où l'organisme, après avoir supporté la chaleur de la journée, ne trouve plus le moyen de récupérer pendant la nuit.

Les interrogations demeurent sur l'existence ou non **de seuils critiques de température** par rapport à la santé publique.

Dans cette communication, il a été également souligné que **les rhino-conjonctivites (rhume des foins) risqueraient de présenter des pics énormes** aux périodes de dissémination maximale des grains de pollen qui malheureusement ont cours presque toute l'année (à la fin de l'hiver et au début du printemps, il s'agit du pollen d'arbres et d'arbustes ; à la fin du printemps et au début de l'été, du pollen de graminées et, à la fin de l'été, comme au début de l'automne, du pollen d'armoise et d'ambroisie).

En outre, il a été signalé, qu'un réchauffement du climat amènerait **des déplacements vers le nord de nombreuses espèces végétales dont certaines très allergisantes** (les pollens de cyprès et de pariétaire pourraient remonter jusqu'en Bourgogne ou en Touraine, tandis que le pollen d'arganier remonterait du sud du Maroc jusqu'en Provence ou en Languedoc-Roussillon). Les journées de beau temps chaud et ensoleillé augmenteraient les quantités de pollen libérées.

D'autres effets sont également à redouter, quant aux **crises d'asthme** et aux **bronchiolites estivales** liées à l'accroissement de la teneur de l'air en oxyde d'azote, en ozone et en autres polluants photochimiques qui produisent un brouillard photo-oxydant particulièrement irritant et toxique.

Immanquablement, il y aurait une répercussion directe de la qualité de l'air extérieur sur celui des locaux où les pics de pollution se trouvent généralement renforcés.

Deux ans plus tard, dans l'ouvrage cité, le Professeur Jean-Pierre BESANCENOT a précisé que les risques principaux que le **réchauffement**

climatique ferait courir à la santé seraient le développement de maladies infectieuses et parasitaires comme **le paludisme** inoculé par la salive du moustique anophèle (1) femelle.

Ces moustiques se reproduisent à proximité de l'eau (zones marécageuses, mares) vers 28 °C dans une ambiance humide.

D'où **une possibilité d'extension de la zone d'endémie** vers le nord et vers le sud.

Pourraient être concernés le **nord du Sahel, le Maghreb, la Turquie, l'essentiel du Proche et du Moyen-Orient, l'Afrique du sud, les *tierras Calientes* du Yucatan et du Centre-Est mexicain, le Brésil méridional et le sud de la Chine.**

En outre, la maladie pourrait gagner, du fait du réchauffement, **des altitudes plus élevées** que 1.400 m ou 1.600 m.

En **France**, les moustiques vecteurs sont présents mais **le paludisme a disparu** avec l'assainissement des terres humides et des marais. Des cas de **paludisme importé** sont toutefois constatés à proximité des aéroports.

Au-delà des maladies infectieuses et parasitaires, **les changements climatiques pourraient entraîner une diminution de la surmortalité hivernale et une surmortalité estivale nettement accrue.** La différence entre les deux évolutions opposées est imprévisible et sans doute liée à la rapidité avec laquelle interviendrait le réchauffement annoncé.

Toutefois, avec les auteurs les plus autorisés, votre Rapporteur tient à rappeler que **beaucoup de données demeurent encore ignorées, que les conséquences des changements climatiques seront liées aussi à la multiplication des événements extrêmes et qu'elles toucheraient très différemment les divers milieux sociaux et culturels.**

Doivent être aussi signalés, en plus des risques de recrudescence des **rhinites** et de l'**asthme**, notamment du fait de l'augmentation des quantités de pollen libérées dans l'air, une croissance des cas de **lithiase urinaire**, une élévation du taux de **naissances prématurées** et un renforcement du taux de **mortalité périnatale**, une multiplication des **intoxications** du fait d'une moins bonne conservation des aliments, des risques plus grands de **contamination des systèmes de climatisation ou d'humidification (légionnelle, par exemple).**

Dans le domaine de la santé, comme il l'a déjà mentionné dans d'autres domaines, dans le début du présent rapport, votre Rapporteur ne peut manquer de souligner que **certains agissements de l'homme viennent**

(1) *nuisible, en grec.*

considérablement renforcer les facteurs climatiques dans la réalisation des risques encourus.

Ainsi, est-ce la diminution de l'épaisseur de la couche d'ozone ou **le comportement de plus en plus héliotropique des populations** s'exposant inconsidérément au soleil qui se trouveront à l'origine de la multiplication des cas de cancers cutanés ?

Est-ce **le vieillissement de la population** ou le réchauffement qui entraîneront, l'été, au cours des vagues de chaleur, en particulier dans les grandes villes, la surmortalité des personnes âgées malades ?

Sont-ce les changements climatiques ou la pollution qui entraîneront la recrudescence des **crises d'asthme** ou des **bronchiolites** l'été lors des pics d'ozone ?

A propos des **maladies à vecteurs**, le Professeur François RODHAIN, de l'Institut Pasteur [📖 M.I.E.S. et 📁], a noté concernant **les maladies à tiques (encéphalite, borreliose de Lyme, babésioses, fièvre boutonneuse, fièvre récurrente dite hispano-nord-africaine)** que **la borreliose de Lyme et les babésioses** pourraient voir leur incidence clinique multipliée –en liaison avec les populations de mulots, de campagnols et de cervidés impliqués dans la maintenance des populations de tiques.

Dans une moindre mesure, **l'encéphalite à tique** pourrait gagner d'autres régions que l'Alsace et les Vosges, de même que **la fièvre boutonneuse**, connue des régions méridionales, pourrait remonter vers le nord.

A l'inverse, **la fièvre récurrente hispano-nord-africaine** ne devrait pas apparaître en France.

Quant aux **maladies à moustiques**, **le virus West Nile** (affections fébriles, rares encéphalites) importé épisodiquement en **Camargue** par les oiseaux migrateurs, pourrait se manifester plus fréquemment qu'aujourd'hui. De même pour **le virus Tahyna** (syndromes fébriles aigus).

Les chiens pourraient être touchés davantage qu'actuellement par **les filaires** (1) dans les régions méditerranéennes.

Les arbovirus déclenchant des **fièvres à phlébotomes** (affections aiguës bénignes survenant en été), et déjà présents en Italie, seraient capables de gagner le sud de la France.

(1) *Ver parasite des régions chaudes, mince comme un fil, vivant sous la peau ou dans le système lymphatique de divers vertébrés.*

Des leishmanioses, affectant l'homme et les animaux, risqueraient de se multiplier dont **la leishmaniose viscérale** (mortelle si non traitée), déjà présente dans les Alpes-Maritimes autour de Marseille et dans les Cévennes, qui peut connaître des interactions très défavorables en cas de co-infection avec le virus du Sida.

La leishmaniose cutanée, présente dans la région méditerranéenne, plus bénigne, pourrait aussi s'étendre.

Les maladies à puces ne devraient pas gagner du terrain, ces insectes demeurant plutôt insensibles au climat. En fait, c'est plutôt l'évolution des populations de rongeurs, infectés éventuellement par les puces qui serait à surveiller.

Les maladies à poux se développant plutôt dans le froid ne seraient pas favorisées par le réchauffement climatique.

Plus préoccupant serait le cas, déjà évoqué, du **paludisme**, dont la forme grave (*Plasmodium falciparum*) est **étroitement liée aux conditions climatiques**.

En effet, le développement du parasite cesse si la température de l'organisme des moustiques descend au-dessous de 18° à 20°.

Pour le Professeur François RODHAIN, **seule une introduction massive de parasites risquerait d'entraîner une reprise de la transmission** à condition encore que les souches de Plasmodium introduites soient compatibles avec les anophèles présents en France, ce qu'il juge peu probable.

Enfin, cet éminent spécialiste souligne **les dangers de l'introduction en France du moustique *Aedes albopictus*, vecteur de la dengue.**

D'origine asiatique, ce moustique se répand dans le monde depuis une dizaine d'années. Il a gagné successivement les Etats-Unis d'Amérique, le Mexique, le Brésil, le Nigeria, le Pacifique sud et, depuis 1990, le nord de l'Italie ; quelques spécimens ont été récemment recueillis en France.

La dissémination d'*Aedes albopictus* est surtout liée aux moyens de transports.


Une autre espèce, *Aedes aegypti*, principal vecteur de la fièvre jaune et de la dengue, pourrait se réimplanter en France.

Enfin, une introduction de **la peste équine**, maladie virale frappant les équidés, en Europe du sud, via l'Afrique du nord et la péninsule ibérique, pourrait résulter d'un réchauffement climatique.

En effet, le diptère qui la véhicule (*Culicoides imicola*) est une espèce subtropicale dont **la limite nord d'implantation pourrait atteindre le sud de la France.**

C. LE CAS DES DÉPARTEMENTS ET TERRITOIRES D'OUTRE-MER

Les **DOM-TOM** soumis à des conditions climatiques très différentes de celles de la France métropolitaine risquent d'être particulièrement concernés par l'évolution des populations de vecteurs.

La recrudescence de **la maladie de Chagas** (Dr Christine ROMANA ) ou encore des leishmanioses en Guyane peut survenir.

En revanche, **le paludisme** ne devrait s'étendre ni en Guyane, ni à Mayotte, qui sont des régions de paludisme stable.

Tel n'est pas le cas de la Martinique, de la Guadeloupe, de La Réunion ou de la Nouvelle-Calédonie, territoires aujourd'hui indemnes. La stricte surveillance en place à La Réunion pourrait inspirer une organisation analogue aux Antilles françaises.

Par ailleurs, la prolifération du moustique *Aedes* menacerait la Guyane, la Martinique et la Guadeloupe de **fièvre jaune** ; ces mêmes territoires et La Réunion, Mayotte, la Nouvelle-Calédonie et la Polynésie française de **la dengue** ; tous les DOM-TOM de **la filariose lymphatique**, seulement présente actuellement en Polynésie et à Mayotte.

Face à ces évolutions fortement marquées d'incertitude, les DOM-TOM devraient faire l'objet d'**une surveillance épidémiologique accrue**, en particulier, d'**une surveillance entomologique permanente et fiable**, quoique coûteuse à mettre en place.

Pour le Professeur François RODHAIN, **une volonté politique forte** devrait être mobilisée sur ces objectifs compte tenu de l'importance des enjeux.

VI. LES ENJEUX GÉOPOLITIQUES DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Les changements climatiques qui risquent de survenir au cours du XXI^{ème} siècle ne pourront manquer de modifier une partie de la donne géopolitique, voire géostratégique.

Les ressources en eau, l'agriculture, la santé, les déplacements de population risqueraient d'en être affectés.

Même une esquisse de ces évolutions dépasserait le cadre du présent rapport ; cependant, ces aspects doivent tout de même être schématiquement évoqués pour mémoire.

A. L'EAU

Deux évolutions opposées sont à redouter. Tout d'abord, le risque que **la montée du niveau des océans** vienne submerger certains territoires, notamment des **îles situées au milieu du Pacifique** ; certains Etats craignent même une submersion totale et ont cherché à obtenir des territoires en concession de la part d'Etats voisins.

Au sein même des négociations climatiques, ces Etats îliens se sont regroupés -OSIS- pour faire entendre leur voix au niveau international.

Même si la montée du niveau des océans n'est ni rapide, ni instantanée, **la très faible altitude de ces îles peut les rendre vulnérables** à l'occasion d'une conjonction entre et des événements climatiques extrêmes. Il pourrait alors suffire de quelques heures pour provoquer des dommages irrémediables.

Dans nombre d'autres pays, des territoires côtiers présentent également une grande vulnérabilité ; c'est le cas des deltas ou des villes situées en bord de mer sur de mauvais terrains que des précipitations accrues pourraient fragiliser.

L'autre menace liée à l'eau provient de sa rareté croissante.

Déjà actuellement, nombre de **conflits** d'apparence politique, ethnique, culturelle, se révèlent être sous-tendus par des oppositions irréductibles pour accéder à la première des richesses, l'eau.

Il en a été ainsi des conflits entre **le Kirghizistan et le Tadjikistan** pour les ressources de l'Amou-Daria et du Syr-Daria, entre **l'Angola et la Namibie**, et entre **l'Afrique du Sud, le Botswana, le Zimbabwe et le Mozambique**.

Pour s'en tenir à quelques exemples, le **Moyen-Orient**, qui fournit en grande partie le pétrole, c'est-à-dire l'or noir de la civilisation industrielle, est déchiré par les querelles relatives à l'or bleu, c'est-à-dire l'eau.

Ces conflits concernent le monde entier car ils remettent en question périodiquement la sécurité des approvisionnements énergétiques.

Il suffit de rappeler que **les deux-tiers des pays arabes disposent de moins de 1.000 m³ par habitant et par an**, soit le niveau du seuil des crises chroniques (1), que 40 % **de l'eau israélienne** proviennent des territoires occupés depuis 1967, le Golan et la Cisjordanie dont 90 % de l'eau est utilisé au profit d'Israël. De plus, l'occupation du sud-Liban par Israël de 1988 à 2000 lui permettait de contrôler une partie des eaux du fleuve Litani. A l'origine, la fondation même de l'Etat hébreu reposait sur l'idée d'une population nombreuse regroupée sur des terres arides et qui devait développer une agriculture intensive, donc forte consommatrice d'eau.

Par ailleurs, **la Jordanie** dépend d'Israël pour un approvisionnement minimal en eau.

En fait, Israël, la Syrie du sud, le Liban du sud, la Jordanie et les territoires palestiniens connaissent déjà un état de pénurie d'eau.

De son côté, **le Nil** voit ses eaux convoitées par l'Ouganda, la Tanzanie, le Kenya, le Zaïre, le Burundi, le Rwanda, l'Ethiopie, le sud de l'Erythrée et l'Egypte, ce qui a pu justifier l'appellation de «*vallée de la discorde*» pour la Vallée du Nil.

D'autant plus que la plupart de ces pays connaissent **une explosion démographique** se traduisant par une multiplication de leur population par trois ou par quatre de 1950 à 2000. L'ensemble de ces Etats rassemble aujourd'hui plus de 200 millions d'habitants.

Comme souvent, une sorte de compétition se déroule entre l'utilisation de la terre pour l'agriculture, le développement des villes, l'arbitrage entre l'usage de l'eau pour la production de céréales ou les usages urbains.

Quant aux eaux du **Tigre** et de l'**Euphrate**, elles opposent la Turquie, l'Irak, la Syrie et l'Iran. La très grande richesse en eau de la Turquie peut lui laisser espérer jouer dans cette région un rôle analogue à celui joué, grâce au pétrole, par l'Arabie Saoudite au Moyen-Orient.

Pour sa part, **l'Irak** se sent encerclé par l'Iran, la Syrie et la Turquie d'où provient l'essentiel de sa capacité en eau.

(1) Au-dessus de 1.700 m³/an/habitant = abondance

Au-dessous de 1.700 m³/an/habitant = crises périodiques

Au-dessous de 1.000 m³/an/habitant = crises chroniques

Au-dessous de 500 m³/an/habitant = pénurie


Derrière ces conflits liés à l'eau existent des divergences sur les concepts de frontière et de souveraineté, sur le droit international de l'eau (1).

Au cours de ses auditions, votre Rapporteur a été très frappé par le nombre de personnes soulignant **l'importance primordiale de la question de l'eau pour le XXIème siècle.**

Liée ou non aux changements climatiques, cette préoccupation risque de devenir prééminente.


Ont en particulier attiré l'attention sur ce point, par exemple :


- M. Michel PETIT du GIEC ,

- le Professeur Maurice TUBIANA de l'Académie des Sciences , pour qui ce problème sera **le problème majeur du XXIème siècle**, même s'il épargne en partie l'Europe ;

- M. Yves CARISTAN, Directeur général du BRGM  ;

- M. René LERAY, de la Commission européenne  qui estime que la rareté de l'eau sera plus que jamais porteuse de **conflits** ;

- M. Jean SALMON, de la F.N.S.E.A.  qui voit dans l'accès quantitatif à l'eau **l'enjeu du prochain siècle** ;

- M. Ghislain GOSSE, de l'I.N.R.A. , qui note que, même en Europe, dans de nombreuses régions, **l'activité agricole ne sera pas prioritaire pour l'usage de l'eau.**

Pour M. René LERAY, comme pour votre Rapporteur, **des formules nouvelles de coopération interétatiques doivent être imaginées autour de l'eau** en plaçant celle-ci au centre de solutions à d'autres problèmes liés, par exemple, aux frontières ou aux migrations de populations...

B. LA DÉSERTIFICATION

Lorsque la quantité d'eau qui s'évapore diminue sur de grandes surfaces, les pluies tendent à se raréfier, d'où le début d'un **cycle infernal** pour les plantes et pour le climat local.

(1) Rapport sur « le Moyen-Orient et l'eau » du sénateur André DULAIT et de François THUAL par le Centre de Réflexion et d'Etude sur les Problèmes Internationaux (C.R.E.S.P.I.), juin 2000, 87 pages.

A travers l'évocation de ce phénomène très préoccupant, votre Rapporteur a le désir d'insister avec gravité sur un aspect des **relations Nord-Sud** que les changements climatiques vont mettre en évidence.

Pour cela, il se limitera à **la désertification du Nord de l'Afrique** pour esquisser une réflexion sur l'avenir de l'Europe au cours du XXI^{ème} siècle.

1. Sécheresse et démographie

Dans le rapport 2001 du GIEC, il est indiqué qu'**à l'horizon 2050, les sécheresses risquent de s'accroître au Maghreb comme au Sahel**, c'est-à-dire au Nord et au Sud du Sahara.

Cette donnée mérite d'être particulièrement prise en considération dans la mesure où, déjà actuellement, et ce, depuis de nombreuses années, les sécheresses ont déjà rudement frappé ces régions du monde. Il suffit de rappeler la sécheresse qui a sévi au Sahel de 1968 à 1988 et l'augmentation du rythme comme de la durée des sécheresses au Maghreb depuis 1980.

A ces conditions climatiques viennent se surajouter la mauvaise gestion d'un environnement fragile (déboisement intensif, surpâturage) et une érosion accélérée des sols sous l'effet de pluies torrentielles.

Dès lors, **la rapide croissance démographique et celle de la population urbaine exercent une très forte pression sur les ressources. De plus en plus, les villes détournent à leur profit l'eau destinée aux cultures irriguées.**

**Croissance de la population au Maghreb
de 1984 à 2025**
(projections en millions d'habitants)

	1984	2000	2025
Population	50	75	120
Population urbaine	20		78

Les seuils de consommation d'eau par habitant risquent de descendre au-dessous de 500 m³, soit le seuil de pénurie, en 2025 dans cinq Etats au Sud et à l'Est de la Méditerranée et dans huit Etats en 2050.

De telles données rendent illusoire la fixation d'un objectif de développement durable pour ces pays au XXI^{ème} siècle. Se profilent plutôt des crises économique, financière et écologique sans doute accompagnées de courants d'émigration soutenus.

2. Solutions techniques et coopération

C'est pourquoi, dès à présent, **ce contexte a conduit le Professeur Pierre ROGNON, spécialiste des climats arides** [📁 et 📖] **à proposer des solutions fondées sur une coopération Nord-Sud** pour, par exemple, diminuer l'évaporation sur les lacs et barrages, accroître le rendement en eau des nuages, recharger artificiellement les nappes aquifères, favoriser les transports maritimes d'eau douce du Nord au Sud de la Méditerranée, améliorer les rendements agricoles grâce aux hydro-rétenteurs fertilisants ou encore, lutter contre l'ensablement.

Pour votre Rapporteur, il est important d'accepter de regarder cet avenir probable de la manière la plus constructive possible pour s'adapter aux changements climatiques et à leurs conséquences plutôt que de les subir.

TROISIÈME PARTIE : LA RÉFLEXION SUR LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Présentation de la troisième partie par le sénateur Marcel DENEUX □

CHAPITRE PREMIER : LES DONNEES DE L'ANALYSE

I. LA COMPLEXITÉ DU PHÉNOMÈNE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Les deux premières parties du présent rapport ont tenté de montrer la complexité du phénomène du changement climatique.

Il est apparu que **le climat est une donnée planétaire, variable, complexe, contrastée, méconnue et non maîtrisable par l'homme**.

De plus, **l'homme semble avoir joué, et joue encore, un rôle déterminant dans le réchauffement climatique en cours**. Cela résulte des effets de multiples activités humaines liées aux aspects les plus quotidiens de la vie comme aux ressorts de la croissance économique mondiale.

Dans la mesure où les changements climatiques résultant du réchauffement auront de nombreux impacts dont la plupart ne peuvent déjà plus être évités – les gaz à effet de serre émis dans le passé résident dans l'atmosphère pendant une durée incompressible – **l'homme n'a plus qu'à s'adapter, si cela est possible, et à envisager d'éviter, en réduisant ses émissions de gaz à effet de serre, d'avoir un jour à constater que certaines adaptations aux changements climatiques excéderaient ses possibilités**.

L'alerte ayant été donnée par la communauté scientifique, les préoccupations de celle-ci furent relayées par de nombreuses politiques nationales et internationales.

Mais, plus les études et négociations se multiplient, plus le caractère transversal de la question des changements climatiques frappe les divers intervenants.

C'est pourquoi **l'Académie des sciences** a envisagé, après avoir consacré déjà plusieurs rapports à l'effet de serre et à des thèmes connexes, de réunir les compétences de toutes les Académies de l'Institut, pour aborder l'ensemble des aspects des changements climatiques. M. Hubert CURIEN, Président de l'Académie des sciences, a annoncé publiquement cette orientation lors de la conférence-débat « *Énergies et Climat* », tenue le 23 avril 2001 à l'Institut de France.

Par ailleurs, le **G.I.C.C.** mène des travaux à moyen et long termes confiés à des spécialistes de plusieurs disciplines.

Enfin, **au niveau international**, tous les chercheurs impliqués dans les questions liées aux changements climatiques se connaissent et communiquent régulièrement entre eux, ne serait-ce qu'à l'occasion des réunions ou à travers les travaux du G.I.E.C.

II. LES LIMITES D'UNE RÉACTION DE L'HOMME

Si l'action humaine depuis cent cinquante ans a pu modifier la composition de l'atmosphère terrestre jusqu'à provoquer un réchauffement planétaire dont les conséquences peuvent être dommageables pour l'homme, **suffit-il d'une nouvelle intervention humaine, en sens opposé, pour que les choses rentrent dans l'ordre ?**

Cela conduit à poser la question de la réversibilité des modifications d'origine anthropique et de la volonté de l'homme à agir dans une direction différente de celle suivie spontanément par lui jusqu'ici et dont il a retiré beaucoup d'agréments.

A. L'HOMME PEUT RALENTIR MAIS NON ANNULER L'INTENSIFICATION DE L'EFFET DE SERRE DONT IL EST RESPONSABLE

L'intensification de l'effet de serre actuellement constatée résulte en grande partie de l'émission de gaz à effet de serre émis par l'homme il y a de nombreuses années.

Selon Pierre MOREL¹, « *L'humanité, sans s'en rendre compte, a déclenché une expérience géophysique sans précédent avec la planète Terre, le seul habitat connu dans l'Univers qui soit favorable à la vie. Il va de soi qu'une telle démarche est parfaitement irresponsable* ».

¹ Fondateur du Laboratoire de Météorologie Dynamique (L.M.D.) du C.N.R.S. et Secrétaire du Programme mondial de recherche sur le climat.

Il suffit de se reporter aux temps de résidence dans l'atmosphère des différents gaz à effet de serre pour noter que, par exemple, des molécules de carbone émises vers 1880 peuvent encore être présentes aujourd'hui et agir sur le réchauffement actuel.

Il s'agit bien de carbone lié à la civilisation industrielle et même à la révolution industrielle dont les fondateurs présentent, en quelque sorte, aujourd'hui, **une facture un peu inattendue** aux générations qui leur ont succédé.

Mais, le coût élevé de ladite facture ne provient pas d'intérêts de retard mais du fait que les héritiers ont bien fait fructifier l'héritage dans le sens indiqué par leurs ancêtres : la révolution industrielle s'est muée en civilisation industrielle jusqu'à devenir le seul système de développement actuellement concevable dans le monde.

Malgré de très grandes disparités entre pays, seuls deux groupes d'États peuvent être distingués : les pays développés et ceux en voie de développement ; mais, le contenu même du développement n'a été remis en cause que récemment, et encore de manière plus apparente que réelle, à travers **la notion de développement durable**.

Celui-ci devra tenir compte du fait que les gaz à effet de serre, émis dans le passé récent, demeurent largement présents dans l'atmosphère et constituent comme **un stock** de gaz à effet de serre tandis que leur disparition graduelle et les nouvelles émissions constituent **un flux**.

La seule action sur le stock résulte du temps qui s'écoule alors que celle sur le flux peut, pour la part actuellement émise, dépendre d'une remise en cause des sources d'émission de gaz à effet de serre.

1. La disparition des gaz à effet de serre déjà émis est très lente

Comme il a été exposé plus haut les temps de résidence dans l'atmosphère des gaz à effet de serre sont très différents les uns des autres : certains y demeurent **plusieurs dizaines d'années**, d'autres **plus d'une centaine** et d'autres, enfin, **plusieurs milliers d'années**.

Or, les gaz les plus tenaces, comme les perfluorocarbures (PFC) ou les hexafluorocarbures (HFC), ont précisément été émis dans la période la plus récente sans compter que la liste de ces gaz n'est pas close, l'homme continuant à en inventer de nouveaux.

La lenteur de la dissipation du stock devrait, en toute logique, conduire à ralentir, voire à cesser en partie les flux et, en tout cas, à renoncer à les accroître.

Qu'en est-il exactement ?

2. Le rythme d'une remise en cause est lent

La prise de conscience du phénomène de l'intensification de l'effet de serre est assez récente dans **le monde scientifique** –même si des précurseurs comme FOURIER ou Svante ARRHENIUS avaient perçu le phénomène –et elle est seulement en train de s'effectuer au-delà de ce cercle.

Encore le grand public de la partie du monde où il est le plus question de ce phénomène n'est-il le plus souvent informé que par **les médias**, souvent alarmistes, tandis que **les programmes scolaires** n'ont pas toujours intégré, ou pas depuis très longtemps, les enseignements sur ces points.

Bien entendu, cette prise de conscience a été retardée par **de puissants intérêts économiques et/ou politiques** opposés à une remise en cause de l'émission sans frein de gaz à effet de serre.

Il suffit de citer à cet égard les réticences des **États-Unis d'Amérique** dont les *lobbies* industriels, notamment charbonnier et pétrolier entendent bien continuer à influencer sur la politique suivie pour éviter toute remise en question du mode de vie américain très énergétivore.

Même si, par rapport au stock déjà émis, le flux actuel n'est pas prépondérant, il faut considérer que, dans la mesure où, pour l'effet de serre actuel, stock et flux s'additionnent, **tout encouragement à la poursuite du volume présent d'émission de gaz à effet de serre, voire à son intensification, aggrave le problème posé et en compromet la résolution.**

B. LA RÉDUCTION DE L'ÉMISSION DE GAZ À EFFET DE SERRE REMET EN CAUSE L'UNIQUE MODÈLE DE DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUE

Existe-t-il, pour réduire les émissions de gaz à effet de serre, une volonté de remise en cause du modèle actuel de développement économique ou un autre modèle à lui substituer ?

Dans les deux cas, comment s'adapter au changement climatique global qui risque de survenir ?

1. L'absence d'une volonté de remise en cause du modèle

L'alerte donnée par le monde scientifique fut entendue par les instances internationales, puis amplifiée par les travaux du GIEC (IPCC) ; le

relais politique fut pris par l'organisation de Conférences internationales sur le thème même des changements climatiques et l'élaboration de programmes d'action nationaux.

Le réchauffement redouté ne pouvant être que planétaire, une réaction de niveau international apparaît adaptée mais, compte tenu de l'inégal niveau de développement des divers États du monde et de leurs attitudes très diverses face aux sources d'énergie, **plusieurs groupes d'intérêts** s'opposent.

Ils ont été renforcés par le fait que **les pays les plus industrialisés** ont émis dans l'atmosphère au cours de leur histoire récente les plus grandes quantités de gaz à effet de serre et apparaissent donc comme les responsables de l'évolution climatique actuelle.

Pour ceux-ci, l'émission de gaz à effet de serre n'est pas un aspect secondaire de leur prospérité économique mais, au contraire, une retombée des activités majeures sur lesquelles repose leur puissance et leur qualité de vie. En conséquence, ni la spontanéité d'une remise en cause, ni son ampleur, ni sa rapidité ne sauraient être au rendez-vous.

Les pays en voie de développement ne manquent pas d'en tirer argument pour différer leur engagement dans la réduction de l'émission des gaz à effet de serre. **Les pays membres de l'Organisation des Pays Exportateurs de Pétrole (OPEP)** en profitent pour attiser les antagonismes. Ni **la Chine** ni **l'Inde**, dont le développement reposera essentiellement sur le charbon - compte tenu de l'importance de leurs réserves de ce minerai fort émetteur de dioxyde de carbone - ne comptent remettre en cause leur croissance au nom de la lutte contre l'intensification de l'effet de serre.

Ces inerties conjuguées, même ponctuées de pétitions de principe, de sommets internationaux ou d'engagements médiatisés de grandes entreprises conduisent à **des demi-mesures**.

Les engagements de réduction sont négociés pied à pied, remis à plus tard, limités dans le temps, calculés sur des références discutables, marchandés en contrepartie d'autres facilités et, au nom de la mise au point d'un système perfectionné, les actions les plus quotidiennes sont trop souvent différées.

De plus, **pour nombre de pays, la lutte contre les émissions de gaz à effet de serre ne peut venir s'inscrire qu'après bien d'autres priorités, souvent émettrices de tels gaz.** Qu'il s'agisse de l'intensification de l'agriculture, de l'industrialisation, de conflit armé, de la lutte quotidienne contre les famines, les épidémies ou les catastrophes naturelles.

Votre Rapporteur, en a eu un aperçu en **Israël**, en mai 2000, où malgré l'existence d'équipes de haut niveau international menant des recherches poussées sur les changements climatiques et, notamment, leurs

effets sur l'agriculture, des préoccupations tout à fait immédiates, liées à la sécurité nationale, constituent les vraies priorités.

2. Quel nouveau modèle de développement ?

A supposer que la priorité de la lutte contre les émissions de gaz à effet de serre soit retenue par les pays développés, elle le sera dans le cadre d'**un développement durable**.

De prime abord, ce concept peut rallier à peu près tous les suffrages, à condition souvent de ne pas recevoir de contenu trop explicite ; certains retenant surtout de cette expression le premier mot « *développement* », entendant par là que le développement tel que mené jusqu'alors doit se poursuivre et s'amplifier ; et, de plus, durablement ; d'autres percevant dans l'adjectif « *durable* » la remise en cause des excès du développement actuel, à savoir, l'épuisement des ressources naturelles, la pollution, les émissions incontrôlées de gaz à effet de serre...

L'équivoque de l'expression « développement durable » garantit son succès, y compris, voire surtout, dans les négociations internationales d'autant que, puisque le développement est proclamé durable, donc implicitement sans effets négatifs, il est consacré comme le modèle absolu à généraliser sur l'ensemble de la planète.

Cependant, au-delà du piège des mots, de réelles remises en cause, **des efforts concrets et des réorientations ont déjà été effectués au nom du développement durable**.

Ont bénéficié de ces efforts **les énergies renouvelables, les économies d'énergie, l'attention portée à l'efficacité énergétique, la récupération de matériaux, le tri sélectif des déchets ou la récupération du méthane** émis par les décharges, par exemple.

De nouvelles techniques agricoles sont préconisées, **de nombreuses recherches** menées en vue de s'adapter à des exigences différentes.

3. S'adapter au changement climatique global

Le changement climatique global qui risque d'intervenir devra être affronté en même temps que d'autres changements de vaste ampleur comme, par exemple, la croissance démographique et la généralisation des valeurs de la société de consommation, qui entraînent l'épuisement accéléré des gisements d'énergie fossile.

➤ **La croissance démographique**

A l'horizon de l'étude objet du présent rapport, soit **2100** pour la date la plus lointaine, la population mondiale pourrait être passée de 6 milliards environ en 2002 à près de **9**, voire **de 12 milliards**.

Comme il a été indiqué plus haut, les changements climatiques envisagés sont très largement attribués au rôle de l'homme dans l'émission de gaz à effet de serre (agriculture, habitat, industrie, transports).

Jamais le monde n'a connu de croissance démographique si rapide ; elle va porter la population mondiale à un niveau inégalé.

Il est permis de douter que ce contexte soit très favorable à la remise en cause des modes de vie et des techniques actuelles, même si les estimations sur la croissance démographique sont affectées d'une large marge d'incertitude.

Qu'il s'agisse de nourrir les populations (entraînant les émissions de méthane du riz, celles d'azote des engrais ou celles de dioxyde de carbone de la production agricole qui exige une forte consommation de combustible fossile), de leur fournir de la chaleur et des biens (provoquant des émissions de dioxyde de carbone) ou de les transporter (suscitant d'autres émissions de CO₂), **la croissance de l'émission de gaz à effet de serre paraît devoir être importante, en progression constante, et quasi-inéluctable au cours de ce siècle.**

Son simple maintien au niveau actuel relèverait déjà d'une politique extrêmement volontariste qui devrait être menée à l'échelle mondiale.

➤ **La société de consommation**

Deux affirmations reviennent régulièrement dans les rapports sur l'évolution de la société mondiale :

- **il est impossible de refuser aux pays en voie de développement d'ambitionner d'accéder au même niveau de développement que les actuels pays développés**- qui n'envisagent pas du tout eux-mêmes de stabiliser leur niveau de développement, d'où l'acceptation d'une spirale sans fin comprenant l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre ;

- **la croissance illimitée des transports, et sensiblement du transport aérien, est une donnée de la société industrielle** et non la résultante de certains choix à une étape de son développement.

Assez souvent, et de manière illogique, ces deux affirmations côtoient des engagements fermes de réorientation de la civilisation industrielle vers le développement durable.

Ces **contradictions** se retrouvent aussi bien au niveau individuel que chez les entreprises ou les États.

Ainsi, tel écologiste européen et, comme tel, amoureux de la nature, ne se déplacera qu'au moyen d'un véhicule tout terrain surpuissant et mal entretenu, muni d'un pare-bufile, et ne pensera pas à éteindre la lumière en quittant un local ou à arrêter un appareil électrique après utilisation.

Telle firme automobile engagera, à grand spectacle, un budget de lutte contre l'effet de serre – n'excédant toutefois pas le coût d'une petite campagne publicitaire – à travers une action concrète contre la déforestation en Amérique du Sud, tout en se lançant, plus discrètement, à la conquête du marché automobile chinois grâce à un véhicule mi-utilitaire mi-tourisme.

Tel État fera de la lutte contre l'effet de serre, ou, plus prudemment contre son intensification, une priorité nationale mais accélèrera la réalisation d'un nouvel et gigantesque aéroport international supplémentaire.

A ce stade, **les objectifs de la société de consommation ne semblent guère compatibles avec la réduction des émissions de gaz à effet de serre.** Dans ces conditions, est-il possible de simplement s'adapter aux changements climatiques ?

➤ **Les changements climatiques**

La maîtrise des gaz à effet de serre générés par les activités humaines se trouve en opposition avec les tendances découlant de la croissance démographique comme de la société de consommation fondée sur la croissance économique.

Cependant, **des actions ont déjà été entreprises permettant de réduire les émissions de gaz à effet de serre des divers secteurs de la société.**

Il s'agit, par exemple, pour **l'agriculture**, de repenser les techniques d'irrigation et de culture, pour **la sylviculture**, du reboisement et de l'exploitation méthodique mais raisonnée des forêts.

Pour **l'industrie**, c'est la poursuite des efforts considérables de réduction des émissions déjà accomplis dans les techniques de production comme dans les produits réalisés.

Pour **les transports**, l'amélioration spectaculaire des techniques de combustion pour les moteurs d'automobiles ou d'avions a atteint des performances inimaginables il y a encore quelques années, mais elle n'annule ni les émissions liées à la croissance des parcs d'automobiles ou d'avions, ni les émissions particulièrement polluantes de la partie ancienne des parcs.

Pour **l'habitat**, l'isolation, les exigences nouvelles de la réglementation thermique, la cogénération (électricité + chaleur), le chauffage au bois ont été à l'origine d'une moindre émission de gaz à effet de serre.

Pour **la production d'énergie**, la technique de la cogénération, les énergies renouvelables, la recherche d'une meilleure efficacité énergétique et le nucléaire ont diminué en partie le renforcement de l'effet de serre.

*

A ce stade, **quelle que soit la capacité, non négligeable, de l'homme à maîtriser l'émission de gaz à effet de serre, il semblerait qu'une telle volonté, si elle existe, doive se manifester très rapidement, à contre-courant des habitudes prises, des ressorts mêmes du développement industriel et en dépit d'une croissance démographique inégale.**

Faute de quoi, non seulement les effets redoutés des changements climatiques surviendraient, mais ils seraient amplifiés par la prolongation, voire par l'accélération, de la tendance antérieure.

D'où la nécessité, pour affronter ces difficultés, d'examiner les données de l'analyse actuelle des changements climatiques puis d'en mesurer les limites avant d'envisager des solutions.

III. LA MULTIPLICITÉ ET LA VARIÉTÉ DES ANALYSES

Si la référence scientifique au GIEC est incontournable, d'autres synthèses incluant les aspects politiques et économiques doivent être consultées.

A. LE GROUPE INTERGOUVERNEMENTAL D'EXPERTS SUR L'ÉVOLUTION DU CLIMAT (G.I.E.C.)

L'organisation météorologique mondiale et le programme des Nations-Unies pour l'environnement ont créé, en **1988**, l'« *Intergovernmental Panel on Climate Change* » (IPCC) ou, en français «Groupe Intergouvernemental d'experts sur l'Évolution du Climat » (GIEC). Ce groupe a élaboré

un état de la connaissance, sous tous ses aspects, des changements climatiques, y compris les causes humaines de ceux-ci, et leurs impacts sur l'activité humaine ; il a rendu compte des résultats de cette étude dans **trois rapports parus en 1990, 1996 et 2001**.

Le GIEC recense à la fois les connaissances, mais aussi les incertitudes ou les lacunes dans la connaissance du système climatique. Il regroupe **des centaines de chercheurs du monde entier** –voire plus d'un millier avec tous ceux contribuant aux relectures- qui, à travers des procédures méticuleuses de regroupement des données, de rédactions et de relectures contradictoires, aboutissent à **une opinion consensuelle**.

Le premier rapport, paru en 1990, a rappelé que l'effet de serre est un phénomène naturel sur la Terre, mais que **l'émission de gaz à effet de serre a largement augmenté au cours du dernier siècle et demi du fait des activités humaines**. Ce qui se traduit par une augmentation de la température à la surface de la planète.

Les experts ont relevé qu'au cours du XX^{ème} siècle, le réchauffement moyen à la surface de la Terre avait approché 0,5°.

Dans **le rapport paru en 1996**, les experts ont estimé que **la croissance des émissions de gaz à effet de serre nécessite de diminuer celles-ci de manière significative** pour stabiliser leur concentration dans l'atmosphère, les années les plus récentes ayant été les plus chaudes depuis 1860.

Pour autant, les experts qui ont désormais inclus dans leurs études les rôles particuliers des aérosols sulfatés et de l'ozone stratosphérique, constataient qu'il demeurerait **difficile de quantifier l'influence de l'homme sur le climat**. La difficulté consistant toujours à distinguer le/ou les **signaux climatiques propres à l'homme parmi le bruit de fond de la variabilité naturelle**, et, ce, d'autant plus que **nombre de facteurs-clé sont affectés d'un coefficient important d'incertitudes**. Pour autant, les experts concluaient qu'une influence humaine sur le changement global était discernable.

Dans leur **troisième rapport, paru en octobre 2001**, les experts ont poussé plus loin l'analyse des climats du passé, des causes du changement climatique, des réponses que le climat pouvait apporter aux facteurs renforçant l'effet de serre, des causes de l'influence de l'homme sur ces phénomènes, et se sont interrogés sur le possible climat du futur.

Ces experts ont nettement affirmé que **le climat sur Terre est en train de changer**, et, naturellement, ils ont développé des analyses approfondies sur les causes de ce changement. Ils ont constaté que la température à la surface de la Terre avait augmenté de 0,6°, plus ou moins

0,2°, depuis le XIX^{ème} siècle ; **les années 1990** ayant constitué **la décennie la plus chaude**, et **1998 l'année la plus chaude** depuis la mise en œuvre des relevés de mesures en 1861. Ils ont distingué **deux périodes de réchauffement important : de 1910 à 1945, et de 1976 à 1999**, ces deux périodes de réchauffement ayant surtout concerné **l'hémisphère nord**, de même que la période de refroidissement 1946-1975 s'est fait également sentir dans cet hémisphère, tandis que l'hémisphère sud se réchauffait.

Les experts du G.I.E.C. ont aussi constaté que **les minima de température avaient augmenté deux fois plus vite que les maxima** (0,2 degré contre 0,1 par décennie). Ils ont noté également que **la troposphère et la surface de la Terre se sont réchauffées tandis que la stratosphère s'est rafraîchie**.

Ils ont surtout considéré comme évident que **l'ampleur et la durée du réchauffement au cours du XX^{ème} siècle ont été plus importantes que dans n'importe quelle période au cours des mille dernières années**. Concernant les climats du passé récent, une période chaude a englobé l'optimum climatique médiéval, soit du XI^{ème} au XIV^{ème} siècle, et une période froide comprenant le Petit âge glaciaire, s'est étendue du XV^{ème} au XIX^{ème} siècle dans l'hémisphère nord. Malgré l'existence de ce refroidissement récent, **les experts ont estimé que le réchauffement survenu dans l'hémisphère nord au cours du XX^{ème} siècle ne pouvait pas simplement être considéré comme un rattrapage du refroidissement antérieur**.

Même si ces experts ont également relevé que des changements importants de température, c'est-à-dire d'une ampleur de 5° à 10°, étaient parfois intervenus en quelques décennies, notamment durant le dernier âge glaciaire et la dernière période interglaciaire, c'est-à-dire entre 100.000 ans et 10.000 ans avant la période actuelle, dans l'hémisphère nord, il s'agissait là de changements causés par la variabilité naturelle du climat.

Ces experts ont considéré par ailleurs que **les changements climatiques se sont déjà vivement fait sentir à travers les précipitations qui ont continué à augmenter** aux latitudes moyennes et hautes de l'hémisphère nord, sauf en Asie de l'est, entraînant **l'augmentation de la vapeur d'eau atmosphérique** de quelques pour-cent par décennie sur plusieurs régions de l'hémisphère. Cela a même entraîné l'augmentation d'environ 10 % par décennie de la vapeur d'eau dans la basse stratosphère.

Ces phénomènes ont provoqué **une augmentation de la couverture nuageuse d'environ 2 % depuis le début du XX^{ème} siècle**, ce qui correspond bien à certaines diminutions de la température diurne, et explique que le réchauffement constaté soit plus faible le jour que la nuit.


De ces phénomènes, ont découlé aussi **le recul des surfaces enneigées et de celles des glaciers**. Depuis la fin des années 1960, la surface

enneigée a diminué d'environ 10 % tandis que les glaciers alpins et continentaux se retirent même si certaines exceptions régionales montrent des glaciers en progression.

De même, au cours des 100 ou 150 dernières années, **la période de gel des lacs et des rivières a diminué d'environ deux semaines par an aux latitudes élevées de l'hémisphère nord.**

Un retrait de la glace de mer est aussi observé dans l'Arctique, accompagné d'une diminution de l'épaisseur de la glace d'environ 40 % l'été, notamment au cours des années 1958 et 1976 ; ce retrait est surtout sensible au printemps et durant l'été, et même très légèrement en hiver, dans une proportion de 10 à 15 % depuis les années 1950, alors qu'**aucun phénomène de ce type n'est apparu dans l'Antarctique** ; une légère augmentation de la glace de mer a même pu y être relevée.

B. LES AVIS DU CONSEIL ÉCONOMIQUE ET SOCIAL SUR L'EFFET DE SERRE

Votre Rapporteur a tenu à faire figurer sur le Cd-rom, parmi les documents connexes au présent rapport, **l'avis du Conseil économique et social** rendu en **octobre 2000**, présenté par M. Jean GONNARD, rapporteur, et Mme Frédérique RASTOLL, rapporteur pour avis, et intitulé « *Le suivi de l'effet de serre* » .

Cet excellent document fait suite à **l'avis du Conseil économique et social** présenté en **octobre 1997** par M. Jean-Pierre CLAPIN, à la veille de la Conférence de Kyoto qui allait se conclure par l'adoption du protocole du même nom.

Cet avis intitulé « *Effet de serre et prospective industrielle française* » avait alors pour but **d'attirer l'attention de la délégation française sur « les enjeux et les risques économiques, sociaux et environnementaux » de la négociation de Kyoto.**

1. Les bases de négociation du protocole de Kyoto

Confié à la section des activités productives de la recherche et de la technologie, cet avis avait considéré que la question de fond portait sur **la corrélation entre croissance, emploi et environnement.**

Le Conseil économique et social avait alors préconisé d'**appliquer au phénomène de l'intensification de l'effet de serre le principe de précaution**, estimant que les dangers de l'évolution en cours étaient suffisamment étayés scientifiquement.

A l'époque, l'objectif avancé par **l'Union européenne** était de parvenir à **une réduction de 15 % de ses émissions de CO₂ à l'horizon 2010**, ce qui représentait une baisse des émissions mondiales de l'ordre de 2% (l'Union européenne participant alors pour 16 % aux émissions mondiales).

Mais, assez rapidement, **la Commission européenne avait constaté que la proposition initiale du Conseil, à savoir la dite réduction de 15 % à l'horizon 2010 des émissions de CO₂, CH₄ et N₂O, par rapport à l'année de référence 1990, ne pouvait être maintenue**, en dépit des programmes nationaux mis en place.

A l'inverse, elle estimait qu'il y aurait augmentation de l'émission de CO₂ de 8 %, par rapport à 1990, tandis que l'OCDE pronostiquait 15 ou 20 %. Par conséquent, entre les objectifs fixés et ces prévisions, s'était creusé un écart de 20 à 35 %, qui illustre assez ce qui sépare, dans le domaine de la réduction des émissions de gaz à effet de serre, une attitude volontariste de la réalité.

Par ailleurs, il avait été envisagé que l'Union européenne arrive à la négociation de Kyoto en donnant l'exemple d'engagements volontaires de réduction de ses émissions de gaz à effet de serre par rapport aux pays en voie de développement, sans pour autant aller jusqu'à se fixer des objectifs irréalistes.

De plus, dans ce schéma, **l'Union européenne ne devait pas être le seul ensemble de pays développés à effectuer un effort.**

Pour situer le débat, l'avis du Conseil économique et social avait rappelé que, **parmi les membres de l'OCDE, la France était un des pays qui émettait le moins de CO₂ par habitant**, seuls le Portugal, la Suisse et la Turquie émettant moins par habitant.

Par comparaison, il rappelait qu'**un ressortissant de la RFA** émettait en moyenne 2,9 tonnes de carbone par an, soit 10,8 tonnes de CO₂, **un Français 1,7 tonne de carbone, soit 6,1 tonnes de CO₂**, alors qu'**un citoyen des États-Unis d'Amérique** émettait 5,5 tonnes de carbone par an, soit près de 20 tonnes de CO₂ ; ces chiffres étant de 2,5 tonnes de carbone et de près de 9 tonnes de CO₂ pour **un Japonais**.

De plus, l'avis insistait beaucoup sur la prise en considération des **efforts notables accomplis par la France au cours des années 1980** où la diminution du taux national d'émission de CO₂ a représenté 26,5 %. D'où **une préconisation consistant à refuser des objectifs contraignants uniformes calculés à partir de la base des émissions de l'année 1990**, le Conseil

économique et social jugeant de tels objectifs «*inéquitables, inefficaces et incompatibles avec le mandat de Berlin* » (1).

Il rappelait aussi que **toutes les formes de subventions encourageant les activités fortement émettrices de CO₂ devraient être supprimées** et qu'il était souhaitable d'**instaurer une taxation progressive sur le CO₂**.

Par ailleurs, l'avis relevait que la France ayant choisi de tirer son électricité essentiellement de l'énergie nucléaire (environ 75 % de la production totale d'énergie primaire en 1996), procédé qui n'émet pas de gaz à effet de serre, cela rendait bien plus **difficile pour la France de réaliser une diminution des émissions** dans d'autres secteurs.

A l'inverse, il était relevé que **l'Allemagne** n'aurait pas trop de difficultés pour atteindre des objectifs de réduction, même bien plus élevés, compte tenu de la récente unification allemande, qui devait conduire à moderniser des installations obsolètes de l'ancienne Allemagne de l'Est tout en les voyant comptabilisées comme des efforts de réduction des émissions de gaz à effet de serre.

Hors de l'Union européenne, **le Japon se trouve dans un cas analogue à celui de la France**, tandis que **les États-Unis d'Amérique sont, comme l'Allemagne, favorisés** puisqu'ils n'ont pas hésité, pendant toute la période antérieure à 1990, à avoir recours à des sources d'énergie fortement émettrices de gaz à effet de serre.

Le Conseil économique et social mentionnait que certains experts estimaient qu'**il serait beaucoup plus aisé, pour la RFA, de réduire ses émissions de CO₂ de 25 % (grâce à la fermeture de centrales thermiques au lignite) que pour la France de respecter le 0 %**.

En dépit du fait que cet avis date de 1997, votre Rapporteur partage totalement les réserves ci-dessus exprimées, qui demeurent très actuelles, et estime en conséquence que **les bases mêmes du protocole de Kyoto sont défavorables aux intérêts de la France**.

De plus, compte tenu du fait que les bons résultats français figent la base de départ en incorporant les effets positifs résultant directement du nucléaire, **l'application du protocole de Kyoto conduira la France, vers les années 2010-2020, à ne pouvoir effectuer d'autre choix que la continuation de son option nucléaire** en renouvelant le parc de production des centrales arrivées à obsolescence.

(1) Mandat donné lors de la Conférence des Parties tenue à Berlin en 1995 prévoyant d'adopter des limites contraignantes pour les émissions au moment de la quatrième Conférence des Parties - et non de la troisième, celle de Kyoto -.

Cette conséquence est assez paradoxale au moment où la poursuite de l'option nucléaire est presque considérée comme un tabou en Europe et même aux États-Unis d'Amérique, et où l'Allemagne affiche des objectifs de sortie du nucléaire dont il n'est pas possible de concevoir leur bonne articulation avec le protocole de Kyoto.

2. Les instruments de flexibilité du protocole

Le Conseil économique et social s'était également exprimé sur les instruments fiscaux et sur les instruments de flexibilité du protocole de Kyoto (permis négociables, accords volontaires et applications conjointes).

Quant aux instruments fiscaux, il avait noté que face à la proposition de la Commission européenne faite en 1990, **une nouvelle taxe CO₂-énergie** devait être fixée à un niveau suffisamment élevé pour influencer sur la tendance de la consommation et que cette taxe n'était concevable qu'au niveau international.

A propos des **permis négociables** initialement proposés par les États-Unis d'Amérique, l'avis avait souligné que cela revenait à **autoriser les pollueurs à polluer moyennant paiement** et que les pays riches pourraient continuer à polluer en achetant des droits aux pays en développement.

Cependant, l'avis atténuait cette affirmation en précisant : « *Dès lors que l'on est bien persuadé que l'effet de serre est un phénomène intéressant le devenir de la planète, il serait illusoire de se priver d'un instrument autorisant la réduction des émissions les plus importantes au meilleur coût et qui peut permettre des sauts technologiques intéressants pour certains pays* ».

Surtout, l'avis insistait sur **la difficulté d'établir des règles d'allocation initiale des permis négociables** quelle que soit l'échelle à laquelle ce système serait appliqué.

En effet, il était observé que **le mode d'allocation initial ne pourrait manquer d'engendrer des effets de redistribution entre pays** ou zones et entre secteurs économiques à l'intérieur d'un pays ou d'une zone.

Dans l'hypothèse d'une allocation initiale gratuite, les permis alloués seraient calculés sur la période passée sans forcément prendre en compte les efforts effectués au cours de cette période. En revanche, d'autres critères ont été proposés, liés à la population ou au produit intérieur brut.

Par ailleurs, **les modalités pratiques de fonctionnement ne manqueraient pas de soulever des problèmes**. Par exemple, l'identité des opérateurs (États ou entreprises ?), les possibilités d'échanges, l'ouverture du

système à des États non liés par des objectifs quantitatifs, le fait que le CO₂ ne soit pas le seul gaz à effet de serre...

Aujourd'hui, alors qu'il est proposé au Parlement français de se prononcer sur la ratification par la Communauté européenne du protocole de Kyoto, et également d'approuver un texte européen sur les quotas d'émissions, **ces interrogations gardent toute leur portée**. En effet, les solutions proposées par ces textes ne semblent pas avoir été élaborées sur la base de réponses apportées aux questions énoncées ci-dessus.

A propos des **applications conjointes**, l'avis avait observé que l'OCDE prévoyait, pour la période **au-delà de 2050**, des émissions en forte augmentation pour **la Chine et l'Inde**, qui concentreraient, à elles deux, plus de 40 % des émissions de CO₂ mondiales contre 26 % pour l'ensemble des pays de l'OCDE.

Dans ce cadre, des dépenses de réduction des émissions de gaz à effet de serre, bien inférieures à celles consenties en Europe, pourraient avoir lieu sur des installations obsolètes de ces pays.

Demeure la question de savoir à qui profiteraient les gains réalisés : à l'État investisseur ? à l'État bénéficiant des investissements ? ou aux deux ? et alors, selon quelles clés de répartition ?

3. Le contexte énergétique général

L'avis avait également souligné à quel point l'accroissement démographique jouerait sur les émissions futures de gaz à effet de serre, notamment parce que, au cours du siècle, **l'essentiel de la population mondiale sera devenu urbain** et que, indépendamment du degré de développement, **l'urbanisation consomme davantage d'énergie** et de manière plus diversifiée que celle requise par la population rurale.

Par ailleurs, le Conseil économique et social notait, en citant le G.I.E.C., que si, par exemple, le charbon était remplacé par le gaz, une nouvelle répartition géographique des taux de dépendance énergétique apparaîtrait, et que **le stockage de CO₂, notamment dans les océans, risquait de poser de « redoutables problèmes environnementaux »**.

De plus, **le GIEC, comme la Commission européenne, considéraient avec faveur la préférence accordée aux sources d'énergies renouvelables** tandis que le nucléaire n'était évoqué que pour mémoire dans la communication de la Commission.

Par ailleurs, déjà en 1997, l'avis rappelait que le G.I.E.C. considérait que les émissions de CO₂ dues aux transports augmenteraient fortement d'ici à

2050 (parc automobile, transport aérien, lequel était supposé multiplier par 10, en 2050 par rapport à 1990, ses émissions de CO₂).

En conclusion, **le Conseil économique et social souhaitait la fixation d'un plafond à terme pour les émissions de CO₂ exprimées en tonnes de CO₂ par habitant et, parallèlement, la révision du choix de l'année 1990 comme année de référence.**


Il avait surtout noté que l'Union européenne avait placé la France devant **le dilemme** suivant : ou contraindre sa croissance économique, jusqu'à des limites socialement insupportables, ou encore, être amenée à un choix obligatoire d'une politique énergétique ou, enfin, ne pas respecter un engagement international. Il avait insisté sur **l'imprudence de débattre de moyens à mettre en œuvre si les objectifs n'avaient pas été précisément définis.**

Quatre années plus tard, votre Rapporteur ne peut que souligner la pertinence de cette analyse et déplorer que de nouvelles étapes aient été franchies sans que les préalables, évoqués pourtant sans détours, n'aient été levés.

Par la suite, au cours des négociations, s'est réalisée la crainte évoquée par le Conseil économique et social, à savoir **une position de l'Union européenne se présentant de plus en plus comme un engagement unilatéral à valeur exemplaire et non comme une base de négociation.**


En 1997, **le Groupe des entreprises privées**, dans sa déclaration sur l'avis, avait beaucoup insisté sur l'incertitude scientifique qui dominait le débat sur l'effet de serre, mettant en doute le principe de précaution. Sur ce point, la position des entreprises privées a évolué depuis, compte tenu des nouveaux éléments apportés par la communauté scientifique.

Quant au **Groupe des entreprises publiques**, il avait critiqué très directement les propositions de la Commission européenne, les qualifiant même de pièges et les taxant d'être « *favorables aux grands pollueurs consommateurs de charbon* » (Grande-Bretagne et Allemagne en Europe) et tout à fait « *insupportables* » pour les pays « *propres* » (France, Suède et Belgique), ces propositions revenant, selon ce Groupe, à « *faire subventionner par la France la conversion au gaz des grands pays charbonniers* ».

Dans son **avis rendu en 2000** sur « *Le suivi de l'effet de serre* »  , le Conseil économique et social a actualisé et élargi son analyse.

IV. L'ACCAPAREMENT DU PROBLÈME PAR DES PENSEURS SPÉCIALISÉS

A. LES CLIMATOLOGUES


Pour mener les conférences internationales actuelles sur l'application du protocole de Kyoto, tout le monde se repose sur les travaux du **GIEC** (ou **IPCC**). Il est donc intéressant d'étudier le mécanisme d'élaboration **des rapports** de ce groupe d'experts en rappelant que ces documents regroupent les travaux de plus d'une centaine d'auteurs principaux travaillant eux-mêmes à partir des textes de plus de 500 contributeurs divers, qu'une vingtaine de correcteurs reprennent ce travail à partir des observations de près de 700 relecteurs et que la somme de cette publication dépasse les 2.500 pages. D'où la nécessité de présenter une version plus accessible de cet énorme travail sous la forme d'**un résumé pour les décideurs politiques** appelé SPM (*summary for policy makers*) .

Il est donc évident que le passage du premier document, le rapport, au second, le résumé, doit être entouré de garanties réelles. Près de 50 auteurs contribuent à l'élaboration de ces résumés, mais à ce stade, les scientifiques qui ont collaboré au rapport de base et les organisations non gouvernementales sont seulement consultés.

Le choix de la rédaction finale dépend ensuite de 400 délégués des pays participants qui possèdent, ou non, une compétence sur les disciplines scientifiques traitées. Chaque mot du résumé doit être approuvé à l'unanimité, les discussions étant d'ailleurs menées simultanément en cinq langues.

A cette étape, **les représentants des gouvernements poursuivent des buts fondés sur des objectifs politiques plutôt que sur le contenu scientifique du rapport initial** et ce point a été naturellement critiqué de nombreuses fois au cours des années passées. C'est pourquoi, il semblerait souhaitable qu'à l'avenir soient clairement mentionnées, au sein du résumé pour les décideurs, **les opinions divergentes** et qu'à tout le moins, il soit clairement indiqué que **les résumés pour les décideurs n'émanent pas uniquement du travail des scientifiques**, même si les principaux rapporteurs sont présents et s'ils peuvent faire entendre leurs observations qui sont prises en compte par les représentants des gouvernements. Certains ont suggéré de soumettre le texte final du résumé à l'assemblée plénière des rédacteurs du rapport de base. Sinon, fatalement, les rédacteurs de ce résumé risquent de ne prendre dans le rapport de base que les faits propres à étayer leurs convictions initiales. En outre, les nombreuses réserves de méthode ou de fond exprimées au long du rapport et qui sont essentielles compte tenu de la complexité du sujet sont gommées dans le résumé.

En lisant les travaux du GIEC, l'ensemble des observations ci-dessus doit demeurer présent à l'esprit sans pour autant conduire à dénier toute valeur au résumé pour les décideurs. A cet égard, le travail mené par l'**Académie nationale des sciences des États-Unis d'Amérique** en **2001**, pour apprécier si le résumé pour les décideurs reflétait bien le rapport de base, a abouti à considérer que le résumé était bien cohérent avec le corps du rapport, mais que, toutefois, **le résumé pourrait être enrichi par l'explication précise de la portée des lacunes ou incertitudes à partir desquelles les conclusions du rapport ont été élaborées.**

Ces observations rejoignent celles développées par M. Philippe ROQUEPLO lors de son audition  devant votre Rapporteur.

De plus, il est vraisemblable que beaucoup de scientifiques spécialistes du climat brossent un tableau un peu trop négatif de la réalité estimant probablement que, sans cela, les politiques ne se mettraient pas en action. Cette remarque est également valable pour l'opinion publique en général qui risquerait de ne pas s'intéresser assez à cette question si elle avait en mémoire l'ensemble des incertitudes qui sous-tend les conclusions présentées.

Enfin, d'autres voix critiques se sont élevées pour observer que le colossal effort de synthèse des opinions scientifiques des chercheurs du monde entier que représentent les rapports du GIEC aurait mérité d'être mené également au sujet de la déforestation ou du risque de pénurie d'eau potable, ou encore de la pollution des océans ou des modifications génétiques.

Une partie de ces critiques a été présentée par la revue « *Nature* »¹, sous le titre « *consensus science or consensus politics* », un consensus de la science ou des consensus politiques.

Dans le rapport du GIEC paru en octobre 2001, est rappelée la méthodologie utilisée par le groupe de chercheurs internationaux travaillant sous l'égide de l'ONU pour essayer d'établir des simulations du climat du futur.

Il y est souligné que **la complexité des processus en œuvre dans le système climatique interdit de se livrer simplement à l'extrapolation du passé ou de statistiques pour en tirer des projections**. Même si un modèle climatique ne peut être qu'une simplification mathématique représentant le climat de la Terre, l'élaboration de tout modèle exige une connaissance approfondie des mécanismes physiques, géophysiques, chimiques et biologiques qui gouvernent le système climatique.

Les équations mathématiques utilisées couvrent trois dimensions du globe. Elles s'efforcent de traduire aussi bien l'atmosphère que l'océan, la

¹ Volume 412, 12 juillet 2001, pages 112 à 114

surface des continents, la cryosphère ♦ -ou le système de l'eau- et la biosphère. Pour cela, le bloc terrestre et son atmosphère sont divisés en compartiments, en général de 250 kilomètres de long et d'environ 1 kilomètre de hauteur, mais d'autres résolutions plus fines ou plus larges sont parfois également retenues.

Les évolutions physiques qui ont lieu dans ces espaces sont simplifiées selon la technique connue sous le nom de **paramétrisation** ♦.

Ensuite, les différents modèles concernant soit l'atmosphère, soit les océans, soit d'autres éléments sont développés séparément ou couplés entre eux.

Cependant le GIEC relève que **beaucoup d'aspects du climat de la Terre sont chaotiques**, ce qui signifie qu'à un moment donné, un système peut être très sensible à de petites perturbations de l'équilibre initial, et cela rend **très difficile toute prévision relative à l'évolution dudit système**.

Pour établir la réalité de l'influence de l'homme sur le changement climatique, les chercheurs du GIEC se sont intéressés non seulement aux températures des mille dernières années, mais aussi à l'analyse détaillée des changements de température au cours des quelques dernières centaines d'années en se demandant si la prolongation des paléotempératures relevées pouvait expliquer les observations les plus récentes. Il est résulté de ces travaux que **les récents changements ne peuvent s'expliquer par une simple variation interne des données climatiques mais que celle-ci a été amplifiée par un autre facteur, qui l'avait probablement multipliée par deux, voire davantage**.

Ces résultats s'appuient notamment sur trois différents modèles climatiques (Hadley Centre, au Royaume-Uni, Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, aux États-Unis d'Amérique et Hambourg). Par ailleurs, **les forçages radiatifs naturels observés sur le dernier demi-siècle ne permettent pas davantage d'expliquer le récent réchauffement climatique observé** dans la mesure où le forçage radiatif naturel résultant du soleil ou de l'activité volcanique a été négatif au cours des deux, voire des quatre dernières décennies.

Les chercheurs du GIEC en sont venus à la conclusion que, **sans le forçage radiatif anthropique, il est impossible d'expliquer les évolutions des trente dernières années** et que, même si les incertitudes demeurent sur les signaux climatiques d'un réchauffement, il apparaît évident que la part de l'homme est importante dans celui-ci.

Dans leur recherche, les membres du GIEC prennent grand soin d'obtenir les mesures les plus fiables et intègrent le fait que **plusieurs décennies de données sont indispensables pour distinguer entre les**

signaux d'un réchauffement artificiel et les manifestations d'une variabilité climatique naturelle. Ils soulignent aussi qu'actuellement, **il n'est pas possible de faire une telle distinction sur une échelle spatiale inférieure à 5.000 kilomètres**, la difficulté étant de simuler la variabilité naturelle de manière crédible avec les modèles climatiques sur des échelles de quelques centaines de kilomètres.

Ces observations résultent de l'emploi de modèles de plus en plus perfectionnés prenant par exemple en compte à la fois les gaz à effet de serre et les aérosols soufrés.

Or, il apparaît que **plus les causes de réchauffement dues à l'homme sont prises en compte, plus les simulations des modèles cadrent avec la réalité des observations.**

Par ailleurs, la prise en compte des aérosols soufrés est indispensable dans la mesure où le forçage provenant de ces aérosols peut aboutir à un refroidissement et donc limiter la constatation de l'ampleur du réchauffement mais, contrairement aux travaux effectués il y a encore quelques années, l'importance du signal d'un réchauffement de l'atmosphère dû à l'homme apparaît maintenant d'une ampleur telle que son existence devient indubitable, résultant bien davantage qu'auparavant des observations.

Le GIEC insiste sur les incertitudes qui demeurent, par exemple dans l'effet du réchauffement provenant du Soleil comme de l'activité volcanique, notamment parce que les données sur ces phénomènes n'ont pas plus de deux décennies d'existence. Le GIEC relève également les incertitudes relatives aux aérosols et au changement dans l'usage des terres, beaucoup de ces effets n'ayant pas été pris en compte dans les études menées, mais il est vraisemblable que l'influence de ces facteurs est plus locale que globale.

Enfin, le GIEC ne passe pas sous silence **les réponses différentes résultant de l'emploi de tel ou tel modèle** ; il note qu'il reste nécessaire de quantifier et de réduire ces différences en obtenant de meilleures données d'observation et de meilleures techniques de fabrication des modèles.

Mais, au total, **le GIEC considère que l'essentiel du réchauffement observé au cours des cinquante dernières années résulte, sans ambiguïté, de l'augmentation de la concentration des gaz à effet de serre.**

Avant le rapport d'octobre 2001, le GIEC avait lancé, en **1996**, la rédaction **d'un rapport spécial sur les différents scénarii d'émission de gaz à effet de serre**, approuvé en mars 2000. **Quarante scénarii ont été comparés** qui incluaient, outre les données climatiques, les principales données démographiques, économiques et technologiques.

Certains scénarii décrivaient un monde en croissance très rapide et assez homogène, d'autres un monde très hétérogène ; d'autres modèles encore

représentaient un monde aboutissant à des solutions convergentes en matière économique, sociale ou de développement durable ; d'autres enfin, retraçaient des solutions locales, un développement économique de niveau intermédiaire et des solutions de protection environnementale et d'équité sociale équilibrées.

Là encore, le GIEC insistait sur **les incertitudes assez larges entourant chaque scénario** (celles-ci allaient de moins de 10 % à plus de 30 %) et concluait à une concentration de gaz carbonique dans l'atmosphère oscillant entre 490 ppmv et 1260 ppmv, c'est-à-dire entre 115 % et 350 % d'augmentation au-delà du seuil constaté en 1750.

Ces modèles poursuivaient la projection des émissions de gaz à effet de serre mais aussi de gaz à effet de serre indirect (NO_x, CO, COV), mais ils notaient surtout que **l'émission de gaz à effet de serre envisagée risquait de détériorer l'ensemble de l'environnement plus vite que ne l'aurait fait le changement de climat**, ce qui n'est certes pas une conclusion réconfortante, mais vient renforcer la nécessité de resituer l'étude du changement climatique dans le contexte le plus général et le plus interdisciplinaire possible.

Cette étude du GIEC montrait aussi que **la part du CO₂ dans le total des émissions de gaz à effet de serre risquait de continuer à augmenter en passant de la moitié aux trois-quarts des émissions totales**. Aucune estimation n'était avancée quant aux effets locaux du futur réchauffement.

B. LES AUTRES CHERCHEURS

Parallèlement aux travaux du GIEC, les chercheurs mènent de très nombreuses études dont ils alimentent, le cas échéant, les sessions internationales


Un rappel de quelques aspects de l'état de la recherche en France sur les changements climatiques conduit à insister sur **le caractère pluridisciplinaire des champs d'investigation**.

1. Les sciences physiques

Le programme national d'étude de la dynamique du climat (PNEDC) regroupe le CEA, le CEMAGREF, le CNES, l'IFREMER, l'IFRTP, l'INSU, le ministère de la Recherche, Météo France, le ministère de l'environnement et l'IRD.

Il étudie à la fois **l'atmosphère, l'océan, la cryosphère et la biosphère**.

2. L'adaptation aux changements climatiques

Les recherches sur ce thème sont essentiellement effectuées dans le cadre du **programme G.I.C.C.** du ministère de l'Aménagement du territoire et de l'environnement (M.A.T.E.) sous la présidence de M. Jean-Claude ANDRÉ .

Ce programme regroupe des équipes de sciences dures et de sciences humaines et travaille sur **trois horizons : 2010, 2030 et 2100.**

Votre Rapporteur relève à cet égard qu'il ne connaissait pas encore les objectifs du G.I.C.C. lorsque, à l'occasion de l'étude de faisabilité du présent rapport, il a envisagé les trois horizons 2025, 2050 et 2100 ; il se réjouit donc d'une analogie certaine des approches respectives.

3. La technologie

Dans ce domaine, l'**ADEME** conduit sept actions :

- réduction du contenu carbone de l'énergie,
- amélioration de l'efficacité énergétique et maîtrise de la demande ;
- réduction des émissions de gaz à effet de serre dans l'industrie ;
- stockage du CO₂ ;
- maîtrise des impacts des gaz à effet de serre en agriculture ;
- comportements et modes de vie ;
- cadre juridique et financier d'un marché de CO₂.

4. La recherche européenne

Au niveau de l'Europe, les **5^{ème} et 6^{ème} Programmes-Cadres de Recherche et Développement (P.C.R.D.) de l'Union européenne** comprennent une action clé « *Changement planétaire, climat et biodiversité* » et un thème prioritaire sur le développement durable et le changement planétaire.

L'ensemble de ces recherches demande de longues années d'investigation et donc un soutien pérenne accordé à celles-ci, tant en chercheurs qu'en financements.

C. LES JURISTES ET LES CONFÉRENCES INTERNATIONALES

RAPPEL CHRONOLOGIQUE DES PRINCIPALES CONFÉRENCES MONDIALES SUR L'ENVIRONNEMENT

➤ **1972** (Stockholm) : autolimitation de certaines productions (énergies fossiles) ; répartition plus équitable des fruits de la croissance ; méthodes d'exploitation plus respectueuses des milieux ; règles de gestion plus rationnelles de l'espace, de l'énergie, des ressources ; prise en charge des patrimoines communs.

➤ **1973** : Création du programme des Nations-Unies pour l'environnement (**PNUE**) : législation internationale de l'environnement. Création de ministères de l'environnement dans nombre de pays.

➤ **1982** : Charte mondiale pour la nature.

➤ **1988** : Création du **Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (G.I.E.C ou I.P.C.C)**.

➤ **1992** (Rio de Janeiro) : Adoption de la **Charte de la Terre** ; concept de **développement durable** ; principe pollueur-payeur ; finalités sociales de l'activité économique ; adoption de l'Agenda 21 (plan d'action pour le XXI^{ème} siècle).

Adoption de **deux conventions-cadres sur les changements climatiques et la diversité biologique**.

➤ **1995** : Conférence des Parties de la convention sur les changements climatiques (**COP 1, Berlin**). Adoption de la logique des **quotas d'émissions de gaz à effet de serre**.

➤ **1997** : Conférence des Parties (**COP 3, Kyoto**). **Les pays industrialisés, dits de l'annexe B du protocole, s'engagent à réduire ou contrôler leurs émissions de six gaz à effet de serre sur la période 2008-2012**. Les engagements respectifs sont les suivants : Union européenne : - 8 % ; États-Unis d'Amérique : - 7 % ; Japon : - 6 % ; Russie : stabilisation ; Australie : + 8 %. Des **mécanismes de flexibilité** accompagnent ces engagements quantitatifs.

➤ **1998** : Conférence des Parties (**COP 4, Buenos Aires**). Tentative des États-Unis d'Amérique d'accélérer la mise en œuvre de **permis d'émissions négociables** ; échec du fait du désaccord sur la question des bases donnant accès au marché des droits, le Tiers-monde refusant que les droits d'émettre soient fondés sur les émissions existantes.

➤ **1999** : Conférence des Parties (**COP 5, Bonn**). Négociation du plan d'action de Buenos Aires.

➤ **2000** : Conférence des Parties (**COP 6, La Haye**). Echec dû à l'intransigeance des États-Unis d'Amérique, du Japon, du Canada et de l'Australie qui souhaitaient limiter le protocole à ses **mécanismes de flexibilité** et accroître la prise en compte des **puits de carbone**.

➤ **2001** : Conférence des Parties (**COP 7, Bonn**). Compromis sur un accord environnemental ambigu accordant la prise en compte de **puits de carbone supplémentaires** pour les États-Unis d'Amérique et le Japon.

➤ **2001** : Conférence des Parties (**COP 8, Marrakech**). Traduction juridique des **règles de mise en œuvre** du protocole de Kyoto. **Comité ad hoc d'observance**. Moyens techniques et financiers en faveur des **pays en développement**.

La limitation de l'émission de gaz à effet de serre ne peut résulter que d'une approche internationale puisque l'intensification dudit effet de serre est un phénomène planétaire indépendant du lieu d'émission des gaz.

Il est donc satisfaisant qu'une tentative de coordination internationale soit intervenue concernant ce sujet. Mais, compte tenu de nombreuses réticences et des divergences d'intérêt de grands groupes de pays, de la difficulté également de discerner dès à présent entre les gagnants et les perdants éventuels, la régularité du rythme même des conférences internationales, qui aurait dû inciter à l'approfondissement méthodique d'accords mûrement réfléchis, a fini par se muer en rebonds chaotiques allant de compromis en échecs ou d'engagements mal consentis en décisions peu acceptées.

Sur la question fondamentale du choix à opérer entre la renonciation à des émissions de carbone ou le paiement d'une taxe-carbone liée aux émissions, nombre de pays ont fluctué dans leur approche, donnant le sentiment d'un choix non réellement effectué.

C'est ainsi qu'au départ **la France** était favorable à l'instauration d'une taxe plutôt qu'à des quotas, tandis que les États-Unis d'Amérique étaient opposés à la taxe. La position de la France fut affaiblie au sein de **l'Union européenne** par ceux de ses voisins qui souhaitaient bien une taxe, mais non simplement une taxe sur le carbone, plutôt une taxe frappant à la fois le carbone et l'énergie, ce qui incluait le nucléaire et pénalisait donc la France.

En l'absence de choix clairs des divers partenaires économiques majeurs, **l'accord se fit en 1992, à Rio de Janeiro, sur un objectif non contraignant d'un retour en l'an 2000 au niveau des émissions de 1990**, ce qui évidemment conduisait à des répartitions inéquitables de l'effort. Lors de la Conférence des Parties tenue à Berlin en **1995, la logique des quotas l'emporta**, alors que la France, hostile à ce système, n'avait proposé aucune autre solution.

En **1997**, lors de la troisième Conférence des Parties tenue à **Kyoto**, l'Union européenne, présente en tant que telle, n'est pas arrivée pour autant avec des propositions cohérentes, ni sur les politiques nationales à mener, ni sur les permis d'émissions négociables ; son seul point d'unité consistait alors en la fixation d'objectifs forts de baisse des émissions. De leur côté, les États-Unis d'Amérique avaient comme priorité de faire adopter les permis d'émissions négociables. Le résultat fut **la fixation d'objectifs ambitieux**, sauf pour la Russie, et la grande incertitude sur les tendances d'émissions futures conduisit, dans le doute, à se rallier à **des mécanismes de flexibilité**.

Craignant une avancée excessive des États-Unis d'Amérique, l'Union européenne obtint de limiter les mécanismes de flexibilité en les bornant à

n'être que des compléments aux efforts nationaux (système dit de la suppléantarité).

Cinq ans après la Conférence de Rio, un choix clair n'avait toujours pas été effectué sur l'approche par les quantités ou par la fiscalité. Pour autant, les conférences diplomatiques se succédaient et engendraient des textes mêlant les deux principes.

A compter de 1998, le débat fut encore obscurci par l'idée **d'un plafond quantitatif imposé aux échanges de permis** et connu sous le nom de « *concrete ceiling* ». Lancée par l'Allemagne et soutenue par la France, cette position finit par être adoptée par l'Union européenne qui en fit son mot d'ordre de 1998 à 2000. Toutefois, cette attitude était ambiguë, dans la mesure où la « bulle » européenne, consistant à affecter à l'ensemble de l'Union un objectif de réduction de 8 %, permettait en réalité d'organiser *de facto* au sein de celle-ci un genre de troc et non de plafonner les échanges : les efforts allaient de - 21 % pour l'Allemagne à 0 % pour la France et même à l'absence de tout effort, avec + 27 % pour le Portugal, autorisé à augmenter ses émissions.

Quoi qu'il en soit, **ce système reste mal perçu par les pays du Tiers-monde qui reprochent au protocole de Kyoto d'avoir fondé les droits d'émissions sur les émissions existantes, c'est-à-dire sur un partage inégal de l'usage de l'atmosphère** à l'opposé du principe de l'égalité des émissions par tête.

C'est dans ce contexte qu'est intervenue la **Conférence de La Haye, en novembre 2000**, à la veille des résultats définitifs des élections américaines. Une telle date explique largement que le texte final, adopté *in extremis* à la suite d'une initiative de dernière heure du Président de la Conférence, Jan PRONK, ait tenté de concilier les positions du Groupe des 77 et celles des États-Unis d'Amérique et du Japon, ces deux derniers pays obtenant des tonnes supplémentaires sous la forme de puits de carbone nouveaux.

Par la suite, lors de la **Conférence de Marrakech en 2001**, chacun s'est accordé à considérer comme un succès ce qui n'était que la prolongation des concessions faites à La Haye et la circonstance même que les négociations se soient poursuivies fut considérée en soi comme une victoire, cet aspect prenant quelque peu le pas sur les conclusions mêmes de la négociation (1).

(1) Sur les ambiguïtés du dialogue intergouvernemental sur les questions d'environnement de 1992 à 2001, M. Jean-Charles HOURCADE, directeur de recherche au CNRS et directeur d'études à l'Ecole des hautes études en sciences sociales a publié un article très synthétique intitulé ; « Gouvernements : un dialogue difficile » (*Problèmes économiques*, 25 avril 2001, pages 1 à 7).

D. LE PROTOCOLE DE KYOTO

1. L'ambition du protocole de Kyoto

A la suite de la **convention-cadre des Nations unies sur le changement climatique** (C.C.N.U.C.C.) signée en **1992**, un protocole additionnel a été élaboré à **Kyoto** à l'occasion de la troisième conférence des Parties, en décembre **1997**.

La convention-cadre est signée aujourd'hui par 83 États. **La France a signé le protocole de Kyoto** le 29 avril 1998 ; elle fut ensuite le premier État de l'Union européenne à entamer les procédures de ratification terminées le 10 juillet 2000 au moment de la présidence française de l'Union européenne.

Le principal objectif du protocole de Kyoto consiste à obtenir **une réduction de l'émission de gaz à effet de serre**. Pour chaque pays signataire, cet objectif prend la forme d'**engagements différents**. Sa mise en œuvre peut dépendre d'**instruments variés**, résultant tant de mesures nationales que de mécanismes de flexibilité associant plusieurs États.

L'objectif global de réduction de gaz à effet de serre fixé par le protocole de Kyoto aux pays industrialisés s'élève à 5,2 % en moyenne sur la période 2008-2012 par rapport aux émissions de l'année 1990.

Quelles que soient les appréciations portées sur le niveau de cet objectif, celui-ci est plus ambitieux que celui retenu initialement dans la convention-cadre relative au changement climatique qui tendait seulement à stabiliser les émissions de gaz à effet de serre en 2000 à leur niveau de 1990.

En outre, l'ambition du protocole de Kyoto résulte aussi de **la modification de la liste des gaz à effet de serre visés**. En effet, en plus du dioxyde de carbone (**CO₂**), le méthane (**CH₄**), l'oxyde nitreux (**N₂O**), les hexafluorocarbures (**HFC**), les hydrocarbures perfluorés (**PFC**), et l'hexafluorure de soufre (**SF₆**) sont désormais concernés.

De plus, **le protocole de Kyoto ne soumet pas tous les pays aux mêmes obligations**. C'est ainsi que **seuls les pays industrialisés et les pays à économie en transition vers une économie de marché** (au sein du protocole, ces pays sont désignés par l'expression « pays de l'Annexe B») **sont soumis à une obligation chiffrée de réduction de leurs émissions**.

En revanche, **les pays en développement** ont seulement pour obligation de **préparer un programme national relatif à l'effet de serre**, et de **soumettre une communication nationale** sur ce sujet. **Aucun calendrier** n'est prévu pour ces deux obligations. De plus, ces États peuvent à tout

moment demander à être soumis à un objectif de réduction de leurs émissions. Cette possibilité a été utilisée par l'Argentine et le Kazakhstan.

Au sein des pays industrialisés et de ceux à économie de transition, plusieurs catégories coexistent : chacun des États de l'Annexe I de la convention-cadre est soumis à un objectif de réduction fixé par l'annexe B du protocole et propre à chaque pays. Ainsi, **sur la période 2008-2012, la France comme l'Allemagne doivent réduire de 8 % leurs émissions respectives.** Les États-Unis d'Amérique doivent les réduire de 7 %, le Japon de 6 %, alors que la Russie doit simplement stabiliser ses émissions, et que certains États comme l'Australie peuvent augmenter les leurs (+ 8 % en l'occurrence).

2. La souplesse des engagements et des mécanismes de Kyoto

Certains États peuvent décider de remplir conjointement leurs engagements. Dans ce cas, ils redistribuent entre eux leurs quotas, selon une répartition différente de celle retenue dans le cadre du protocole. Toutefois, le total cumulé de leurs émissions ne doit pas dépasser l'addition de leurs engagements individuels.

Pour concrétiser leur volonté, ces États signent **un accord séparé**, notifié aux autres parties. Ces États sont alors considérés comme ayant formé une « bulle ». **Les États-membres de l'Union européenne ont choisi de procéder de la sorte**, et c'est ainsi que **l'objectif de résultats de la France est passé de -8 % à 0 %**, tandis que celui de l'Allemagne passait de - 8 % à - 21 %, et c'est donc **l'ensemble de l'Union européenne qui doit réduire ses émissions de 8 %**.

En cas d'impossibilité d'atteindre de tels objectifs, **les États engagent conjointement leur responsabilité** ainsi que celle de l'organisation régionale concernée.

Par ailleurs, **les pays en transition vers une économie de marché** ont la possibilité de demander à la conférence des Parties de retenir **une autre date de référence que 1990** pour respecter leurs engagements, dans le cas où ils ne sont pas à même de communiquer leurs inventaires nationaux de stocks de carbone.

Il peut être signalé que, dès la deuxième conférence des Parties, **la Bulgarie, la Hongrie, la Pologne et la Roumanie ont obtenu que leurs réductions d'émissions soient comptabilisées à partir d'une autre année de référence que 1990.**

En outre, dans l'exécution de leurs engagements, les pays en transition jouissent d'une latitude plus grande que les pays industrialisés.

Enfin, **pour certains gaz à effet de serre, des années de référence différentes peuvent être retenues** ; par exemple, 1995 au lieu de 1990 pour les hydrofluorocarbures, les hydrocarbures perfluorés, les hexafluorures de soufre.

D'un point de vue général, l'objectif de réduction des émissions de gaz à effet de serre suppose **l'adoption de politiques et de mesures nationales**, dont le protocole fournit une liste non exhaustive, qui comprend la protection et le renforcement des puits et réservoirs de gaz à effet de serre, la recherche et l'utilisation accrue de sources d'énergies renouvelables, la réduction et la suppression graduelle des imperfections du marché tendant à favoriser les secteurs émettant des gaz à effet de serre (incitations fiscales, subventions...), la limitation ou la réduction des émissions en provenance des transports, la réduction des émissions de méthane dans le secteur des déchets, de la production, et de la distribution d'énergie.

De plus, **des mécanismes de flexibilité** prévus dans le protocole permettent à des pays d'accroître leurs droits d'émissions, **soit en échangeant des droits d'émissions** avec d'autres pays de l'Annexe I, **soit en finançant des projets d'aides** dans les pays en développement. Au cours des négociations, **l'Union européenne a obtenu que ces mécanismes de flexibilité n'interviennent qu'en complément des politiques et mesures nationales.**

Trois types de mécanismes de flexibilité ont été retenus :

① **la mise en œuvre conjointe (art. 6)** : elle permet à un pays d'obtenir des unités de réduction des émissions, en contrepartie du **financement, dans un autre pays, d'un projet destiné à réduire les émissions de gaz à effet de serre** à condition que les pays respectifs soient d'accord et que le projet financé permette une réduction supplémentaire des émissions par rapport à celles qui pourraient être obtenues par des mesures nationales.

② **le mécanisme de développement propre (art. 12)** : ce mécanisme permet aux pays industrialisés d'obtenir des droits supplémentaires d'émissions quand ils investissent dans **des projets de réduction d'émissions dans des pays en développement.**

Les pays bénéficiaires n'étant pas soumis à des quotas d'émissions, **les réductions d'émissions doivent être certifiées par des auditeurs indépendants** qui vérifient si les projets procurent des avantages réels, mesurables et durables liés à l'atténuation des changements climatiques, et si ces projets permettent une réduction supplémentaire d'émissions par rapport à celles qui auraient eu lieu en l'absence d'activités certifiées.

Ces conditions d'évaluation devront être précisées rapidement pour que les réductions d'émissions certifiées obtenues entre 2000 et 2008 puissent être utilisées dans le cadre de la première période d'engagement, 2008-2010. Il est prévu qu'une partie des **fonds provenant d'activités certifiées** couvre des dépenses administratives liées au protocole, et permette d'aider les pays en développement particulièrement vulnérables aux changements climatiques.

③ **l'échange de permis d'émissions négociables (art. 17)** : il s'agit de permettre aux **pays qui ont pris des engagements chiffrés** de procéder entre eux à un échange de droits d'émissions ; de la sorte, un pays qui aurait dépassé son quota pourrait racheter une partie des quotas d'un État dont les émissions se seraient trouvées inférieures au niveau accepté dans le protocole.

A la suite de l'échec de la Conférence de La Haye, du fait de l'attitude des États-Unis d'Amérique, une septième Conférence des Parties s'est tenue à Bonn en juillet 2001, puis une huitième Conférence des Parties en novembre 2001 à Marrakech.


Après l'accord politique intervenu à Bonn, **la Conférence de Marrakech a traduit les règles de mise en œuvre du protocole de Kyoto en termes juridiques**. Ont été en particulier définis le calcul des émissions et de leur réduction, l'intégration des puits de carbone dans les objectifs de réduction, les modalités et les missions du système d'observance et les règles et critères d'éligibilité aux mécanismes de développement propre.

Le système d'observance sera finalement régi par un comité ad hoc, ce qui est le premier exemple du genre en matière d'environnement international. Des moyens techniques et financiers importants ont été également prévus en faveur des **pays en développement** et les membres du Comité exécutif du mécanisme de développement, au nombre de quinze, ont été désignés.

La France, signataire de la Convention climat dans le cadre de l'ONU, a l'obligation d'établir périodiquement **une Communication nationale** ⁽¹⁾ pour informer des dispositions nationales liées à l'évolution du climat, aider à remplir les engagements souscrits et favoriser la communication d'informations.

De telles communications ont été effectuées en 1995 1997 et 2001.

Depuis la deuxième communication nationale, la MIES a été renforcée ainsi que la **coopération européenne** portant sur la coordination des mesures de limitation des émissions de gaz à effet de serre et du suivi des émissions.

⁽¹⁾ Le texte intégral de la troisième communication nationale figure dans le CD Rom sur les changements climatiques joint au présent rapport .

Des **réglementations plus strictes** ont été mises en place comme l'obligation de couverture des décharges et de récupération de biogaz, ou de nouvelles obligations découlant de la réglementation thermique de l'habitat. De plus, **un programme de sensibilisation à l'environnement, aux économies d'énergie et à l'efficacité énergétique** a été lancé.

E. LES ÉCONOMISTES

La création de permis d'émissions de gaz à effet de serre a été introduite dans le protocole de Kyoto à la demande des États-Unis d'Amérique qui ont souhaité que ces permis puissent être échangés en s'inspirant de l'expérience menée chez eux à compter de 1977 puis, à partir de 1990, à propos de l'émission de dioxyde de soufre (SO₂) (Clean Air Act).

A cette époque, **les États-Unis d'Amérique ont créé un marché national de permis à émettre du dioxyde de soufre entre les centrales thermiques** sur le fondement d'un plafond national. Ce système, devenu contraignant en 1995, avait pour objectif d'atteindre en vingt ans une réduction de 40 % des émissions de SO₂ par rapport à 1980. Ce programme devait être étendu en 2000 à toutes les centrales thermiques dotées dès lors d'un quota d'émissions. Bien accepté par les acteurs économiques, ce système a débouché sur de **nombreux échanges de permis**.

Mais, il est à noter que ce marché repose sur **des méthodes performantes de mesure des émissions**, et qu'existe **un ensemble de sanctions et de pénalités** en cas de défaillance. Enfin, et ce n'est pas la moindre différence avec les permis d'émissions de gaz carbonique prévus par le protocole de Kyoto, **la répartition initiale des permis d'émission de SO₂ entre les compagnies électriques américaines n'a pas à remédier aux distorsions de concurrence ni aux disparités de situation rencontrées au niveau international pour les permis d'émission de CO₂**.

Pour expliquer le recours aux permis négociables dans le protocole de Kyoto, M. Jean-Charles HOURCADE (1) note que, **même si le système de l'écotaxe est meilleur, il a été écarté par les États-Unis d'Amérique** dès le sommet de Rio en 1992, le mot d'ordre du Président des États-Unis d'Amérique, George BUSH, étant alors « *no new tax* ». A partir du moment où les pays riches (OCDE et pays de l'Est) s'étaient engagés à Kyoto sur un quota, **la création d'un marché de permis négociables est apparu comme un moyen de faire entrer en vigueur un système de quotas**.

(1) Directeur du Centre International de Recherches sur l'Environnement et le Développement (CIRED), il a été membre de la délégation française aux négociations internationales de Kyoto en 1997, de La Haye en 2000 et de Bonn en 2001, et a également coordonné des recherches internationales socio-économiques pour le GIEC et l'ONU pour les rapports de 1995 et 2001.

M. Jean-Charles HOURCADE note également que **le plafonnement des échanges de permis a été refusé par les États-Unis d'Amérique** et que **le vrai problème provient des excédents de la Russie et de l'Ukraine dans la mesure où ces pays peuvent vendre des réductions fictives**, l'année de référence étant l'année 1990. Il ajoute que le problème est analogue à celui de la prise en compte de puits naturels de carbone comme les forêts.

Cet auteur rappelle, pour resituer **les permis négociables** dans l'ensemble des mécanismes du protocole de Kyoto, que **les mécanismes de développement propre** permettant aux pays développés d'acquérir des permis d'émissions supplémentaires en échange d'investissement dans des technologies propres dans les pays du Sud, **n'avaient été**, aux dires même de leur inventeur, M. Raoul ESTRADA, Président de la conférence, **qu'un pis aller** qu'il n'aimait pas mais qui avait permis l'approbation de l'ensemble du protocole.

De plus, M. Jean-Charles HOURCADE insiste sur **l'insuffisance du système de contrôle et de sanction du protocole** puisqu'un pays dépassant son quota d'émission doit simplement le signaler et non payer une taxe ou une pénalité et, par la suite, ses dépassements sont reportés d'année en année.

C'est pourquoi, **M. Jean-Charles HOURCADE préconise la prise en charge de l'application du protocole de Kyoto au plus haut niveau de gouvernement et l'instauration de véritables relations entre la connaissance scientifique, les politiques et les médias.**

F. LA PRESSE

Quel est l'organe de presse ou la chaîne de télévision qui n'a, au cours des trois dernières années, réalisé sa « Une » ou produit une émission à **tendance alarmiste sur le changement climatique ?**

D'une manière ou d'une autre, les images, véritables ou de synthèse, d'une tornade, d'un cyclone, d'une inondation attirent l'attention.


Un climatologue peut toujours être cité ou interrogé à l'appui de l'article ou de l'émission alarmiste, quitte à tronquer la fin de la citation ou à interrompre la phrase de l'interview qui nuance le propos ou explique son caractère relatif compte tenu des incertitudes de la science sur le climat.

Une photo, en pleine page, par exemple du moustique éventuellement porteur d'une nouvelle maladie tropicale en fait un monstre menaçant même si cette espèce de moustique se trouve déjà en France depuis longtemps ou si, loin d'être amenée par un réchauffement climatique, elle l'est chaque jour par les nombreux touristes français amateurs d'exotisme.

De même, **une carte virtuelle** de la France ou de l'Europe, aux contours rétrécis par une spectaculaire montée du niveau des océans, conduira chacun à acheter le journal pour y découvrir l'état dans lequel « l'effet de serre » a laissé ses lieux d'habitat ou de villégiature préférés.


De telles cartes ont été diffusées au cours de la période récente et votre Rapporteur gage qu'il en existera d'autres faisant, elles aussi, état d'une élévation du niveau de la mer de 10 mètres, 50 mètres, 100 mètres, 200 mètres..., ces deux derniers niveaux étant totalement invraisemblables, même dans l'hypothèse la plus pessimiste d'une fonte totale des calottes glaciaires.

Sur le moment, qui dispose des moyens de vérifier si le réchauffement évoqué dans l'article ou l'émission peut réellement entraîner la fonte totale ou partielle de l'ensemble des glaciers de montagne ou des glaces de l'Arctique ou de l'Antarctique ?

Qui poussera le souci jusqu'à se demander, en cas de fonte totale des glaces, ce que seraient l'importance du volume d'eau ainsi libéré et l'ampleur de l'élévation du niveau de la mer qu'il produirait ? Pourtant, cette question a une réponse : en cas de fonte totale – très hypothétique, même à très long terme, compte tenu du réchauffement actuellement envisagé – l'élévation du niveau de la mer oscillerait entre 60 et 80 mètres environ. (Audition de M. Paolo Antonio PIRAZZOLI, du C.N.R.S. ).

Cela est tout à fait considérable mais constitue une hypothèse d'école ; cela marque les esprits mais se situe très en deçà des niveaux retracés par certaines cartes publiées prédisant des élévations de 100, 150 ou 200 mètres...

Ces publications répondent au désir du public de mieux connaître les conséquences exactes des changements climatiques évoqués et, faute de recevoir de la communauté scientifique la réponse immédiate et immédiatement compréhensible à toutes les questions, l'opinion est portée à se forger à partir de toute information rapide à assimiler.

Pour autant, il est possible que même ces publications alarmistes jouent un rôle utile en amenant chacun à **apprivoiser sa peur des changements climatiques** : admettre que les climats peuvent changer, que la Camargue peut être immergée, qu'un horizon à cinquante ou cent ans est proche en termes de climat (Audition de M. Jacques ARNOULD, du C.N.E.S. ), tout cela conduit à prévoir certaines conséquences des changements climatiques, et donc à maîtriser sa peur en se réappropriant son environnement.

CHAPITRE SECOND : LES LIMITES DE L'ANALYSE

I. LES NUAGES ET LES OCÉANS DEMEURENT DES INCONNUES

A l'heure actuelle, en dépit de l'ampleur des efforts de recherche et des progrès inimaginables accomplis dans la connaissance du climat, **d'importantes inconnues et d'innombrables incertitudes demeurent.**

Alors que les climats du passé ont, au cours du siècle et demi qui vient de s'écouler, livré une grande partie de leurs mystères, le changement climatique global auquel l'humanité se trouve désormais confrontée exige de se faire une idée assez précise des climats du futur.

Les modèles climatiques et les supercalculateurs qu'ils nécessitent ont déjà été évoqués ; il a été question aussi des plus récents programmes de recherche et d'expérimentation et nul ne doute que, dans les très prochaines années, des progrès extrêmement spectaculaires soient encore accomplis.

Ils seraient en particulier fort utiles dans deux secteurs : **la microphysique des nuages et les océans.**

Il a déjà été signalé que la connaissance de la microphysique des nuages est encore lacunaire car ce champ d'investigation est très complexe ; que les aérosols sont venus encore compliquer la recherche sur ce thème et que, pour évaluer le réchauffement, il est parfois difficile d'apprécier si un nuage l'accroît ou le ralentit- par exemple, un nuage d'aérosols peut être noir du fait des suies qu'il fixe et donc absorber la chaleur, ou blanc et la renvoyer.

Certains chercheurs ont cependant fait valoir qu'il était inutile d'atteindre la parfaite connaissance de la microphysique des nuages pour s'inquiéter du réchauffement climatique.

Quant aux océans, de très rapides progrès peuvent être espérés des nouveaux moyens d'investigation mis en œuvre récemment.

II. LA MACHINE TERRE N'A PAS DE MODE D'EMPLOI

Les progrès accomplis dans la connaissance du climat et de l'évolution de la Terre placent de plus en plus haut l'exigence des recherches encore à mener.

Les limites de l'inconnu reculent, mais le champ des incertitudes demeure assez vaste pour que l'homme ait conscience à la fois qu'il est devenu un **agent climatique** et qu'il serait impuissant à contrôler un emballement des changements climatiques déjà en cours.

Au moment où il commence à comprendre les interactions entre les divers mécanismes reliant le climat aux activités humaines, la biosphère au système solaire, il entrevoit aussi que **les rouages démontés de la machine Terre ne livrent pas tous les secrets de son fonctionnement.**

La Terre ressemblerait-elle davantage à l'être vivant décrit par James LOVELOCK dans son livre « *Gaïa* » qu'à un assemblage de rouages, même assortis de microprocesseurs ?

Toujours est-il que l'essentiel des réactions de la Terre ou des enchaînements de ses éléments analysés un à un ne livrent **aucun mode d'emploi** à l'espèce qui s'est pourtant approprié la planète.


L'homme doit même désormais s'interroger sur ce qu'il convient de faire, à l'échelle mondiale, pour la survie de son espèce. Non pour assurer la domination de tel groupe humain sur tel autre, mais pour **s'efforcer de comprendre au plus vite ce que doit être son action dans le vaisseau spatial Terre pour y maintenir la vie.**

III. LES CHERCHEURS NE SONT PAS À MÊME DE TOUT TROUVER TOUT DE SUITE

Les recherches sur l'effet de serre et son intensification ont mobilisé des milliers de chercheurs dans le monde entier depuis plusieurs années. Les progrès accomplis dans la connaissance de ce phénomène ont été importants.

Néanmoins, la démarche la plus courante consiste, après avoir admis le rôle non négligeable des émissions anthropiques dans l'intensification de l'effet de serre, à souhaiter que des scientifiques puissent mettre au point des modèles numériques de modélisation du climat afin de conforter ou d'infirmer les hypothèses émises, pour prévoir le climat des années à venir et pour apporter des réponses certaines à toutes les questions.

Dès que les premiers modèles de simulation du climat ont fourni des hypothèses d'évolution climatique, il a été constaté que **lesdites hypothèses globales conduisaient à souhaiter bientôt disposer de modèles et de certitudes pour son pays, sa région, voire sa ville, ou son exploitation agricole**. Or, c'est là demander aux modèles plus qu'ils ne peuvent fournir. C'est pourquoi, avant de tirer des conclusions des travaux fondés sur les modèles numériques d'évolution climatique, il est important de rappeler qu'en l'état actuel des connaissances, **ces modèles ne font que décrire un climat plus ou moins probable, sans pour autant décrire le climat qui va exister**, d'autant que la manière dont les océans et les nuages sont pris en compte recèle encore de grandes lacunes et ne peut donc permettre de conclusion définitive.

Des critiques en ce sens ont été adressées aux modèles climatiques et d'ailleurs, une partie de ces critiques est émise par les climatologues les plus concernés. C'est ainsi que M. Hervé LE TREUT, de l'Institut Pierre-Simon Laplace, a indiqué à votre Rapporteur, lors d'une audition , que « *même si la planète numérique peut ressembler beaucoup à la planète réelle, pour autant les modèles numériques ne sont pas des outils magiques permettant de déduire le futur du présent.* »

De plus, pour M. Hervé LE TREUT, les modèles de simulation du climat présentent essentiellement **trois types d'imperfections** tenant au **maillage de la sphère**, à la difficulté de saisir **les aspects chimiques et biochimiques** de la réalité, au fait que le climat est **un système chaotique**, pas entièrement prévisible.


Pour lui, « *même si la planète numérique ressemble à la Terre, plusieurs histoires climatiques sont à tout moment possibles, à partir d'une situation donnée* ».

Et M. Hervé LE TREUT a alors recours à une comparaison imagée en indiquant que « *simuler le climat à venir revient à jouer avec un dé pipé* ». Si, par exemple, le 6 revient plus souvent, cela est-il dû au hasard ou au fait que le dé est pipé – ce qui serait, pour l'intensification de l'effet de serre, l'équivalent des activités humaines ?

Pour répondre à cette question dans le cas des modèles de simulation climatique, un énorme recul de temps est nécessaire.

M. Hervé LE TREUT insiste sur le fait que **les modèles constituent des outils experts très étudiés mais seulement pour évaluer un risque et non pour fournir une prévision datée**.

Il regrette surtout que ses travaux soient souvent présentés comme des exercices de prédiction, alors qu'ils ne sont qu'une aide à la description de possibles climats futurs.

Par ailleurs, M. Philippe ROQUEPLO , auteur notamment de « *Climats sous surveillance* »¹ et de « *L'expertise scientifique* »², insiste sur **les limites des modèles** fonctionnant actuellement.

Enfin, la mise en œuvre de modèles suppose de représenter les processus étudiés de manière paramétrée, ce qui conduit à simplifier, parfois à l'excès, beaucoup de phénomènes, notamment l'hydrologie de surface, la microphysique des nuages, l'absence d'homogénéité de la couverture nuageuse. Et pourtant, il est nécessaire de coupler les modèles ainsi obtenus avec des modèles physiques et biologiques présentant eux-mêmes des lacunes identiques.


L'Académie des Sciences a d'ailleurs relevé **la limite essentielle de la paramétrisation : la logique de son élaboration produit un impact invérifiable sur le résultat des modèles.**

Tous les chercheurs s'accordent sur la nécessité de disposer de moyens de calculs toujours plus puissants.

Malgré le développement rapide des techniques de modélisation du système climatique, il convient de se demander si ces outils permettent, en l'état actuel des connaissances et des techniques, d'atteindre véritablement leur but.

Comme déjà signalé plus haut, une critique très argumentée des **limites de la modélisation climatique** opérée a été effectuée par M. Philippe ROQUEPLO dans son livre « *Climat sous surveillance* ».

Il s'y demande notamment (pages 175 et 176), à propos de la modélisation, s'il est possible de ne pas ressentir face à celle-ci « *un certain trouble* » et note, en élargissant le débat : « *Y a-t-il, du point de vue stratégique, **une cohérence** entre les investissements intellectuels effectués dans la modélisation elle-même et ceux effectués sur les conditions « observationnelles » de sa validité ? Y a-t-il **une cohérence** entre les délais nécessaires à une telle entreprise et les délais correspondant au changement climatique lui-même, dont les modèles doivent nous faire connaître l'amplitude et le rythme ? Y a-t-il **une cohérence** entre ces délais et ceux qui, selon le discours même des scientifiques, s'imposent aux décisions des politiques ?* »

L'Académie des Sciences, dans son rapport de 1990 (n° 25) comme dans son rapport de 1994 (n° 31)  s'est intéressée de très près à la question des limites de la modélisation climatique. Elle a conclu que, malgré le développement extrêmement rapide des capacités des ordinateurs, et en dépit

¹ « *Climats sous surveillance – Limites et conditions de l'expertise scientifique* » - Editions Economica – Paris 1993

² « *Entre savoir et décision, l'expertise scientifique* » - INRA Editions – Paris - 1997

de l'amélioration de la qualité des modèles climatiques, **les incertitudes relatives aux paramétrisations contenues dans ces modèles demeurent importantes**. Avant d'en arriver à cette conclusion, l'Académie des Sciences a rappelé que **les limites des modèles tiennent d'abord à la nature du problème posé**. En effet, elle souligne: « *le forçage radiatif résultant de l'effet de serre est un terme faible en valeur relative* » (quelques Watts par m²) dont l'effet potentiellement important provient du fait qu'il sera appliqué au système climatique pendant des durées de quelques décennies, voire de quelques siècles.

L'Académie des Sciences a noté que **les rétroactions sont très nombreuses et qu'elles dépassent les capacités des modèles qui simplifient à l'extrême des phénomènes complexes** ; par exemple, la microphysique des nuages, les modifications de l'albédo de la neige, les phénomènes de condensation, etc...

De plus, l'Académie des Sciences a insisté sur le fait que **ces modèles tendent de plus en plus à intégrer des données économiques, démographiques..., dépassant le cadre strict du climat**. Même si ce dialogue est nécessaire entre les différentes communautés, des malentendus graves risquent de se développer si la qualité des modèles ne fait pas l'objet d'une évaluation rigoureuse et si leur signification n'est pas suffisamment expliquée jusqu'à devenir la même pour tous.


Le perfectionnement des modèles a conduit à coupler, par exemple, les modèles simulant l'atmosphère aux modèles simulant l'océan. Mais, malgré les progrès de leur développement, ces instruments n'arrivent pas à simuler de manière tout à fait exacte le cycle saisonnier, non plus que la variabilité interannuelle. **Parfois, le couplage des modèles conduit à amplifier les défauts de chacun d'entre eux. Enfin, beaucoup de modèles partent de l'idée que l'océan se trouverait en équilibre dans l'état atmosphérique actuel, ce qui n'est pas vraisemblable, la circulation océanique étant un mouvement continu.**

De plus, la mise en œuvre des modèles est destinée un jour ou l'autre à permettre **les études d'impact aux échelles locales et régionales**. Il n'est pas évident que l'extension d'un modèle général à une approche locale, ou bien l'utilisation de modèles à mailles variables soit possible.

Dès lors est apparue **la nécessité de tester et de valider les modèles** pour mener à bien une recherche rigoureuse. Beaucoup de modèles sont testés à partir de l'histoire climatique récente. Ces tests sont facilités par l'abondance de données d'origine satellitaire, tant et si bien que les résultats des modèles tendent à converger, ce qui n'est pas *a priori* satisfaisant et il faut se garder de voir dans l'unanimité de cette convergence un indice de qualité absolue puisqu'il peut aussi y avoir convergence dans l'erreur. De plus, une telle

convergence peut masquer de nombreuses divergences à l'intérieur des modèles.

Au-delà de la période climatique récente et de la fin du siècle dernier, le Petit âge glaciaire et les variations paléoclimatiques servent aussi à apprécier la validité des paramètres retenus dans les modèles actuels.

Un programme international, PMIP, conduit par Mme Sylvie JOUSSAUME , s'est attaché à comparer les modèles tout en simulant le climat d'il y a 6.000 ans et celui du dernier maximum glaciaire.

Comme les travaux des experts du GIEC sont pour l'essentiel fondés sur les modèles de prévisions climatiques, de ce fait ils doivent être assortis des mêmes réserves que celles qui s'appliquent à l'élaboration des modèles eux-mêmes.

Il va de soi qu'au cours des années futures, il sera intéressant d'entrer dans les modèles les données réellement observées pour voir dans quelle mesure, et pourquoi, ceux-ci s'étaient éloignés, ou non, de manière logique, de la situation réelle. Dans le même esprit, les modélisateurs ont toujours cherché à tester sur les climats du passé l'exactitude des enchaînements décrits par leurs modèles.

Mais, aussi élaborés que soient **les modèles**, en supposant que ceux-ci parviennent un jour à retracer la complexité des nuages et celle des océans, ils **demeureront toujours limités par la puissance de calcul des ordinateurs** qui, même si elle a continuellement augmenté, ne peut encore suffire à décrire autrement que schématiquement les données de la réalité et à reproduire la vie des climats.

L'ensemble de ces observations ayant été formulé, il demeure que **les modélisateurs tirent de leurs travaux plusieurs certitudes :**

- **l'action de l'homme est à l'origine du changement climatique actuellement observé ;**
- **le réchauffement ira en s'accéléralant** compte tenu du fait qu'aucun ralentissement ou aucune modification substantielle de l'activité humaine n'est envisagé ;
- **les conséquences de ce réchauffement seront inquiétantes ;**
- **les durées respectives de disparition des gaz à effet de serre émis dans l'atmosphère ne permettront pas à l'homme de corriger les effets de ces gaz alors qu'il n'a pas usé de la faculté d'en maîtriser les causes.**

Malgré l'attente, par les uns ou les autres, de prévisions par région, voire par ville pour l'horizon 2025, 2050 et 2100 en France, votre Rapporteur se doit d'affirmer, au terme de ses investigations que **ni le degré géographique précis souhaité ni les échéances de temps auxquelles surviendront les changements climatiques ne peuvent résulter des actuelles connaissances, recherches ou modélisations sur les changements climatiques.**

Deux modèles, toutefois, ont focalisé leur intérêt sur l'Europe et le bassin méditerranéen. D'une part, le modèle en points de grille du Laboratoire de météorologie dynamique (L.M.D.) avec zoom et le modèle Arpège-Climat du Centre national de recherche météorologique (CNRM) à maille variable.

Ces modèles, comme tous les autres, travaillent notamment sur le scénario standard du doublement de CO₂ entre le début du XX^{ème} siècle et les années 2060.

Ils en déduisent **un réchauffement de 2°C sur l'Europe occidentale**, plus prononcé en été et dans les régions méditerranéennes, ainsi qu'**une augmentation des précipitations hivernales** et une diminution des précipitations estivales, notamment sur les régions méditerranéennes.

Ils relèvent **un contraste pluviométrique nord-sud** (augmentation au nord du 45^{ème} parallèle et diminution au sud).

IV. LES JURISTES NÉGOCIENT DES DATES NON NÉGOCIABLES ET VIDENT DE LEUR PORTÉE LES PRINCIPES GRÂCE À DES CLAUSES ÉCHAPPATOIRES

La convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques de 1992 a créé un organe appelé « la conférence des Parties » pour prendre les décisions nécessaires à l'application de la convention.

De ce fait, l'adoption, lors de la troisième Conférence des Parties, en 1997, du **protocole de Kyoto n'a pas entraîné la création d'un système institutionnel propre**, puisque celui de la convention-cadre est utilisé. Mais la conférence des Parties ne disposant ni d'une réelle capacité de contrôle, ni d'un pouvoir de sanction, **l'application du protocole de Kyoto a d'abord été laissée à la bonne volonté des États.**

Comment dès lors assurer le respect des engagements pris, sachant, de plus, qu'il est difficile d'évaluer les émissions de gaz à effet de serre ?

En principe, les parties doivent transmettre, **chaque année, un inventaire de leurs émissions de gaz à effet de serre** et remettre, à intervalles réguliers, **une communication nationale** décrivant l'ensemble des mesures prises par chaque pays.

Toutefois, l'évaluation porte sur les émissions exprimées en dioxyde de carbone, et non sur celles de chacun des six gaz à effet de serre. Or, il a été exposé plus haut que cette facilité de comptabilisation s'effectue au détriment de la précision scientifique. En effet, **les durées de vie de gaz à effet de serre dans l'atmosphère sont évaluées avec une grande marge d'incertitude et la coexistence de plusieurs gaz dans l'atmosphère, et donc leur interaction, est, de ce fait, gommée.**

A. DES BASES FLUCTUANTES

Pour établir des comparaisons, l'objectif de réduction est apprécié en comparant les quotas des émissions prévues entre 2008 et 2012 et **le niveau des émissions en 1990 ou au cours d'une année ou d'une période de référence historique autre que 1990 pour les pays cités à l'annexe I, c'est-à-dire les pays en transition vers une économie de marché (1),** comme, par exemple, la Fédération de Russie et l'Ukraine (2)...

Il doit donc être souligné que **le choix du niveau de référence est parfaitement arbitraire**, et que, faute d'une évaluation indépendante et commune à l'ensemble des États signataires, à supposer qu'elle soit techniquement possible, les évaluations du respect des engagements pris par les États risquent de demeurer difficiles.

Les négociateurs du protocole avaient bien conscience de ces limites, puisque ce texte insiste, à plusieurs reprises, sur **la nécessité de communiquer des données comparables, transparentes et vérifiables.**

Votre Rapporteur s'inquiète toutefois du fait que le protocole ait pu être signé et ratifié par nombre d'États, dont la France, sans que le préalable sur la solidité des données ait été levé.

Que se passera-t-il en cas de non respect des engagements pris ? Si les émissions ont été inférieures aux quotas attribués, les pays concernés pourront reporter sur les périodes d'engagement ultérieures les droits d'émissions non utilisés mais **aucun mécanisme ne permet de sanctionner un État qui aurait dépassé son quota.** Il n'est pas même prévu d'évaluer si le

(1) *Protocole de Kyoto, article 3, paragraphes 5 et 7.*

(2) *Les pays en transition vers une économie de marché sont : la Bulgarie, la Croatie, l'Estonie, la Fédération de Russie, la Hongrie, la Lettonie, la Lituanie, la Pologne, la République Tchèque, la Roumanie, la Slovaquie, la Slovénie et l'Ukraine.*

dépassement a été précédé, ou non, d'une sous-consommation antérieure. Depuis 1997, les parties négocient toujours pour imaginer des mesures de sanction allant de simples recommandations à l'imposition de pénalités financières. **L'Union européenne a proposé d'établir un système global de contrôle de conformité sous l'autorité d'un observatoire indépendant.**

Quoi qu'il en soit, le protocole de Kyoto doit entrer en vigueur lorsqu'il aura été ratifié par **55 États** au moins, parmi lesquels des pays développés de l'Annexe I représentant au moins **55 % du volume des émissions totales de dioxyde de carbone des États de l'Annexe I.**

Plus de quatre ans après la signature du protocole, le seuil des 55 États est encore loin d'être atteint, tandis que les négociations se poursuivent sur les modalités de fonctionnement des mécanismes de flexibilité et sur l'organisation de dispositifs de contrôle et de sanction. La sixième conférence des Parties tenue à La Haye en novembre 2000 n'a pas permis d'avancer. Au contraire, les États-Unis d'Amérique ont suscité de nouvelles difficultés en posant le problème de l'évaluation des puits de carbone dans leur pays.

Lors de la ratification du protocole de Kyoto par le Sénat français, au mois de mai 2000 ⁽¹⁾, **le contraste entre l'importance des enjeux liés à l'intensification de l'effet de serre et la faiblesse des dispositions du protocole** comme l'attitude ambiguë des États-Unis d'Amérique ont été mis en évidence. **Un doute sérieux demeure sur l'application réelle des dispositions de ce protocole.**

B. DES PARTENAIRES INÉGAUX

A l'occasion de la huitième Conférence des parties, tenue en **novembre 2001, à Marrakech**, les règles concernant en particulier l'intégration des puits de carbone dans les objectifs de réduction ont été définies. A cette occasion, **de nouvelles concessions ont été consenties, notamment à la Russie et au Japon.** La Russie a obtenu un doublement de son quota de puits de carbone et le Japon, de son côté, a obtenu la dissociation entre la qualité des inventaires des puits de carbone et l'éligibilité au mécanisme de Kyoto.

Il est patent qu'après la défection des États-Unis d'Amérique, la ratification par le Japon et par la Russie présente un intérêt crucial pour la mise en œuvre du protocole.

(1) Rapport du sénateur Xavier PINTAT au nom de la Commission des Affaires étrangères de la défense et des forces armées (N° 355, 1999-2000).

En effet, à partir du moment où l'entrée en vigueur de celui-ci dépend de la ratification par des pays de l'Annexe I, responsables d'au moins 55 % des émissions mondiales de gaz à effet de serre, il ne s'agit plus véritablement d'un accord international mais d'un compromis chaque jour plus fragile.

Une sorte de partage des rôles est donc intervenu ; il apparaît peu satisfaisant. Les États-Unis d'Amérique préservent leur capacité d'émissions de gaz à effet de serre en laissant reposer sur le reste de la communauté internationale les mesures de réduction que devrait encourager le protocole de Kyoto.

Les pays qui ont fait cause commune avec les États-Unis d'Amérique depuis le début des négociations, à savoir **le Japon, le Canada et l'Australie**, formant à eux quatre le Groupe dit du Parapluie -« *Umbrella* »- n'ont accepté de se dissocier de ceux-ci qu'en échange d'**avantages substantiels dans le protocole**.

La Russie n'avait plus qu'à opérer de même. En obtenant à Marrakech un doublement de son quota de puits de carbone, elle mettra sur le futur marché des permis négociables une quantité accrue d'air chaud que les États-Unis d'Amérique ou leurs plus proches soutiens pourraient ainsi négocier en abondance et au meilleur prix.

Les États-Unis d'Amérique ne garderaient ainsi du protocole de Kyoto que la flexibilité mais sans qu'elle soit l'atténuation accordée en contrepartie d'engagements fermes. Tel était bien leur objectif depuis 1995, voire depuis 1991.

De ces quelques considérations, ne peut naître **qu'un certain scepticisme sur la volonté internationale de diminuer les émissions de gaz à effet de serre**. Même si, peu à peu, se met en place un mécanisme d'un type nouveau, il est à craindre que les organisateurs de ses modalités financières et les spéculateurs y trouvent mieux leur compte que la Planète, dont la préservation aurait dû résulter de la convention-cadre des Nations-Unies sur les changements climatiques adoptée en 1992.

V. LES ÉCONOMISTES CRÉENT UN MARCHÉ DU DROIT À L'ERREUR GARANTISSANT À LA FOIS LE FREINAGE ET LA RELANCE DES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE

Tout d'abord, un rappel : **les conditions initiales de répartition des droits à émission résultent de décisions politiques plus que d'un examen objectif de la situation.**

Cependant, au moment des négociations, **la France avait souhaité l'application de critères objectifs, tels que le niveau d'émissions par habitant. Mais les États-Unis d'Amérique ont refusé de s'engager sur une telle base.**

A. LES PAYS DU « NORD » S'OCTROIENT DES DÉPASSEMENTS NÉGOCIÉS

La Russie et l'Ukraine ont obtenu que leurs émissions de gaz sur la période 2008-2012 soient stabilisées et non pas réduites par rapport à l'année 1990. Or, il est évident que cette année de référence revient à prendre comme donnée de départ l'état de l'économie résultant du modèle soviétique, connu pour être particulièrement dispendieux en énergie. Par la suite, les pays de la Communauté des États Indépendants (CEI) ont connu une forte récession économique, et, de ce fait, peuvent se présenter en vendeurs potentiels d'une quantité importante de permis négociables, ce qui autorisera les pays acheteurs à dépasser leur quota contre rémunération, mais ne réduira en rien l'émission effective de gaz à effet de serre à l'échelle du monde.

Paradoxalement, **les États-Unis d'Amérique pourront, par exemple, continuer à émettre sept fois plus de gaz à effet de serre par habitant que le taux moyen mondial ¹ tout en gageant ce gaspillage d'énergie présent et futur sur les anciens gaspillages de l'économie soviétique.**

Faut-il avaliser un tel système au nom de la réduction des émissions de gaz à effet de serre ? Faut-il accepter que certains pays développés aient même obtenu le droit d'augmenter leurs émissions ?

Il peut être rappelé qu'à la suite de la conférence de Kyoto, **les États-Unis d'Amérique, le Canada, le Japon, l'Australie et la Nouvelle-Zélande avaient tenté de créer, avec la Russie et l'Ukraine, une sorte de bulle de coopération pour tirer tout le profit du mécanisme du protocole.** Même s'ils ne sont pas parvenus alors à un accord interne sur la répartition des objectifs, cette tentative a bien montré les limites du mécanisme mis en place et les véritables finalités de certains partenaires. C'est pourquoi, loin de se lamenter de la récente remise en cause du protocole de Kyoto par le nouveau président des États-Unis d'Amérique, il aurait peut-être été plus constructif de revisiter les bases de cet accord international afin de mieux faire correspondre les objectifs affichés du protocole avec les modalités retenues pour sa mise en œuvre.

¹ En moyenne, un habitant de la Planète émet une tonne d'équivalent carbone par personne et par an, un Français, deux tonnes, un Allemand, trois tonnes et un Américain du Nord, sept tonnes.

B. LES PAYS DU « SUD » REVENDIQUENT UN DROIT À DÉPASSEMENT PERMANENT

L'engagement de Kyoto ne concerne pas l'ensemble des pays du monde. Or, les pays en développement représentent les principaux gisements d'émissions futures de gaz à effet de serre. Si aujourd'hui leur part ne représente que 29 % du total, elle pourrait atteindre 58 % en 2050.

Mais, **les pays du Sud ont refusé de souscrire des engagements chiffrés à Kyoto.** Comment s'étonner que, en réaction, le caractère incomplet de l'engagement mondial ait été avancé par le Président George W. BUSH dès le lendemain de son élection pour remettre en cause le protocole de Kyoto ? D'autant qu'aujourd'hui, les États-Unis d'Amérique sont responsables de près du tiers des émissions de gaz à effet de serre et ont d'ailleurs largement recours au charbon.

Ces deux attitudes, opposées en apparence mais analogues quant au fond, montrent que le principal émetteur passé et actuel, les États-Unis d'Amérique, refuse de s'engager pour le présent comme pour le futur, de même que les principaux émetteurs futurs, la Chine et l'Inde, refusent de s'engager pour l'avenir.

Il apparaît douteux que les seuls permis d'émissions arrivent à réconcilier les uns avec les autres, si ce n'est pour émettre, dès à présent et pour longtemps, encore davantage de gaz à effet de serre.

De plus, aider à l'équipement des pays en voie de développement, y compris par la mise en œuvre de techniques moins émettrices de gaz à effet de serre, revient à accélérer chez ceux-ci un certain type de développement fondé sur des techniques qui ont montré déjà certaines de leurs limites dans les pays développés.

Cela ne saurait être un frein à l'intensification de l'effet de serre mais bien plutôt un accélérateur pour **l'extension d'un modèle économique fortement émetteur de gaz à effet de serre à l'ensemble de la planète dont la population ne cesse de s'accroître.**

D'où le comité *ad hoc* d'observance créé à Marrakech pourra-t-il tirer assez d'autorité pour **surveiller la bonne application du système des permis négociables ?**

En conclusion, l'extension à l'échelle mondiale du système d'échange de permis d'émission introduit dans le protocole de Kyoto à la demande des États-Unis d'Amérique souffre de plusieurs lacunes qu'il serait dangereux d'ignorer ou de minorer.

VI. LA NOTION D'ALTERNANCE ET LE RYTHME DES MANDATS POLITIQUES CONDAMNENT-ILS LES PROJETS À LONG TERME À L'ABSENCE DE SOLUTIONS ?

Tout au long de l'élaboration de la présente étude, votre Rapporteur a souvent relevé chez ses interlocuteurs un léger scepticisme amusé à propos du caractère éloigné de l'horizon de l'étude. S'inquiéter des politiques à mener du fait de l'évolution probable du climat en 2100 releverait-il davantage de l'exercice de style que d'un mandat politique ?

Telle n'est pas l'opinion de votre Rapporteur qui considère avec satisfaction que **l'OPECST se trouve particulièrement dans son rôle en menant une réflexion prospective, même à l'horizon 2100**. De plus, ce terme est exigé par la nature même du sujet de l'étude, l'évolution climatique à cinq ou dix ans ne présentant pas un grand intérêt. En effet, un climat se caractérise par une tendance qui doit être confirmée par au moins une trentaine d'années d'observations et de relevés.

En outre, au terme du présent rapport, il apparaît que **2100 ne marque aucunement le terme d'une éventuelle évolution** mais, au contraire, que toutes les courbes de projection maintiennent une pente ascendante en 2100, certaines études indiquant désormais des chiffres jusqu'en **2300**.

Il a été exposé dans le présent rapport que la durée de vie de certains gaz à effet de serre leur garantissait des effets jusqu'en 2100 et même bien au-delà, pendant plusieurs milliers d'années. Tout infléchissement des politiques énergétiques, industrielles, de transports mettrait donc bien des années à faire sentir ses effets et, ce, probablement d'ailleurs, de manière peu spectaculaire.

De la sorte, comment sera-t-il possible de convaincre quiconque, en 2100, que, sans l'adoption, en 2002, de telle ou telle mesure efficace, les changements climatiques auraient produit des conséquences négatives ? Cela sera impossible à observer à la fin du présent siècle, les dangers redoutés ayant précisément été évités.

Comment, à l'inverse, atténuer le choc psychologique d'un événement extrême survenant en 2100 en précisant que, sans une politique volontariste conduite au début du siècle, dans la lointaine année 2002, l'événement eût été bien pire ?

Et, même si aucune politique mondiale ambitieuse n'était menée en 2002 et que l'opinion publique de 2100 s'en prenne à sa classe politique en cas d'événements climatiques extrêmes, la question ne sera sûrement pas alors de peser les responsabilités respectives des dirigeants au pouvoir en 2002.

Il existe donc bien **une discordance entre les préoccupations à très long terme nécessitant des actions immédiates et les notions même**

d'alternance comme de durée des mandats politiques dans la mesure où les effets des politiques à mener ne peuvent être que très lointains, excédant la durée de tout mandat, et n'auront cependant une existence que si la ligne d'action choisie est suivie durant tout le siècle, quelles que soient les alternances politiques.

En outre, **la plupart des décisions prises bénéficieraient surtout, voire seulement, aux générations futures considérées comme un ensemble mondial.** Il peut donc se faire qu'un État consente des sacrifices immédiats qui profitent, dans cinquante ou cent ans aux habitants d'un pays lointain, voire d'un pays hostile...

Votre Rapporteur l'a déjà rappelé bien des fois, **les impacts des changements climatiques concernent l'avenir du vaisseau spatial Terre et font prendre conscience de la solidarité obligée de tous ses passagers .**

Il dépend de chacun d'entre nous que l'horizon éloigné réintègre le champ des préoccupations politiques des citoyens et de leurs élus.

Peut-être de nouveaux forums sont-ils à imaginer pour cela ?

QUATRIÈME PARTIE : LES SOLUTIONS

Présentation de la quatrième partie par le sénateur Marcel DENEUX □

CHAPITRE PREMIER : LES SOLUTIONS GLOBALES

Economiser l'énergie, améliorer l'efficacité énergétique, limiter le recours aux énergies fossiles et à l'eau, impliquent de sélectionner les techniques agricoles, repenser les transports et d'améliorer l'habitat.

I. ECONOMISER L'ÉNERGIE

Cette préoccupation s'inscrit très directement dans la ligne de la réduction des émissions de gaz à effet de serre ; l'énergie non consommée est celle qui émet le moins de ces gaz.

A. LA DEMANDE D'ÉNERGIE

La demande mondiale d'énergie augmente à un rythme de près de 2 % en moyenne par an depuis le début de l'ère industrielle. Mais ce rythme peut descendre jusqu'à 1 % ou approcher 5 % selon les années.

A l'horizon **2020**, la part du charbon, celle du pétrole et celle du nucléaire pourraient avoir légèrement décru, tandis que celle du gaz naturel et celle des énergies renouvelables augmenteraient.

**Prévision de consommation d'énergie primaire dans le monde par source à l'horizon 2020,
selon un scénario de maîtrise de la consommation d'énergie**

	2000		2010		2020	
	Mtep	%	Mtep	%	Mtep	%
Charbon	2 406	26	2 756	25,2	3 024	24,0
Pétrole	3 206	34,6	3 537	32,3	3 823	30,3
Gaz	2 118	22,9	2 849	26	3 699	29,3
Nucléaire*	628	6,8	700	6,4	729	5,8
Renouvelables	909	9,8	1 113	10,2	1 340	10,6
TOTAL	9 266	100	10 955	100	12 615	100

* 1 MWh : 0,26 tep

Scénario « Sagesse traditionnelle » (scénario moyen) –

Source : d'après DG XVII (1996) Memento de l'énergie 1999 - CEA

Pour le Conseil mondial de l'énergie, **la demande mondiale d'énergie** devrait être de l'ordre de 11,3 à 17,2 Mtep à l'horizon 2020 contre 9 Mtep en 1990 pour un taux de croissance du PIB mondial moyen de 3,3 % par an.

Une telle progression ne peut que renforcer la prise de conscience de **la nécessité d'une société plus économe en énergie**, ce qui remet en question le schéma implicite de pensée et les ressorts du développement en vigueur.

En France, **la consommation finale d'énergie par habitant** et par an, a atteint 3,7 tonnes équivalent pétrole en 2000, ce qui représente un triplement par rapport à 1960 et une augmentation de 35 % depuis 1973.

L'analyse de cette progression révèle **le doublement sur trente ans des consommations d'énergie dans le secteur résidentiel et tertiaire comme dans les transports** et une stabilisation de la consommation d'énergie par l'industrie.

D'après le GIEC, si aucune mesure n'était adoptée, **la consommation d'énergie de l'industrie pourrait avoir doublé entre 1990 et 2025. De même pour celle des transports**, le parc automobile doublant lui aussi de volume.

Le secteur résidentiel et tertiaire suivrait la même courbe ascendante.


Ces quelques rappels des tendances envisagées par le GIEC suffisent à montrer que **les émissions de gaz à effet de serre ont très largement augmenté au moment même où leur décrue serait impérieuse.**

Même s'il existe des exemples de **déconnexion entre croissance économique et augmentation de la consommation énergétique**, ils sont rares et ne correspondent pas au schéma du début de l'industrialisation d'un pays en voie de développement. Au contraire, les progrès opérés par ceux-ci au cours du présent siècle seront très vraisemblablement exigeants en énergie.

Pour **la France**, si une stabilisation peut être espérée dans **l'industrie** (de 25 % à 30 % des émissions) qui a déjà accompli beaucoup d'efforts de réduction de ses émissions, l'évolution des émissions du **secteur des transports** (22 % des émissions et 35 % des émissions de CO₂), notamment du transport de marchandises par la route, ne semble pas devoir être maîtrisée dans un proche avenir. L'évolution des émissions du **secteur résidentiel-tertiaire** est tout aussi préoccupante.

B. LES ÉCONOMIES D'ÉNERGIE ET L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE

Les économies d'énergie et l'efficacité énergétique sont les deux composants d'une même action tendant à obtenir le meilleur résultat pour la société tout en prenant en compte la nécessité de préserver les sources d'énergie non renouvelables.

M. Yves COCHET, dans son rapport au Premier ministre sur **l'efficacité énergétique**  en 2000¹, rappelle que, jusqu'à la révolution industrielle, toutes les sources énergétiques ont été renouvelables. Ensuite, un très large recours aux ressources fossiles et non renouvelables est intervenu pendant un siècle et demi.

Cependant, M. Yves COCHET souligne que le modèle de développement productiviste est fondé sur deux postulats aussi faux l'un que l'autre, à savoir le caractère inépuisable des ressources énergétiques classiques et celui de la neutralité de leur utilisation pour l'environnement.

L'efficacité énergétique tend à réduire les consommations d'énergie, à service rendu égal. Elle constitue une réaction face à la situation mondiale actuelle où *« sur les six milliards d'habitants de la planète, deux milliards environ survivent sur les énergies traditionnelles tout en les mésusant... deux milliards et demi ont accès aux formes commerciales actuelles d'énergie... le milliard et demi d'habitants des pays industrialisés (OCDE et pays de l'Est) monopolisent les ressources mondiales et les utilisent mal : 25 % des habitants de la planète consomment 75 % de l'énergie commerciale »*.

Il relève par ailleurs que le secteur résidentiel-tertiaire figure en tête pour sa consommation d'énergie finale (46 %) contre 28 % pour l'industrie et 25 % pour les transports.

¹ *Le texte intégral de ce rapport figure dans le Cd-rom sur les changements climatiques joint au présent rapport.*

A ce sujet, il peut être rappelé qu' **une directive-cadre** est prévue sur les normes d'efficacité énergétique (exemple : mode veille).

De plus, **un accord avec les industriels européens** est intervenu sur l'efficacité énergétique des appareils de bureautique (logo « Energy star »).

Par ailleurs, un chiffre peu cité mérite d'être rappelé, celui de la **perte d'électricité dans les réseaux électriques** : 5,8 % de la production nationale (30 TWh en 2000).

II. LIMITER LE RECOURS AUX ÉNERGIES FOSSILES ET A L'EAU

Le recours croissant aux énergies fossiles, dont les gisements sont limités et les émissions de gaz à effet de serre élevées, conduit à une impasse.

Les énergies renouvelables, le recours au nucléaire et à un usage raisonné de l'irrigation doivent absolument être considérés comme des points de passage obligés d'une utilisation raisonnée des ressources naturelles.

A. LES ÉNERGIES RENOUVELABLES

Elles apparaissent pour tous les pays et dans tous les scénarios d'évolution comme un élément important de la solution au problème complexe de la recherche simultanée de la croissance économique, du respect de l'environnement, de la sécurité de l'approvisionnement énergétique et de l'acceptation sociale des mutations nécessaires.

Votre Rapporteur se contentera de rappeler les grandes données de la situation énergétique de la France, notamment face aux perspectives offertes par les énergies renouvelables dans la mesure où, dans un récent rapport extrêmement documenté, l'actuel président de l'OPECST, M. Jean-Yves LE DÉAUT et notre collègue Claude BIRRAUX, députés, viennent de traiter cet aspect (1).

Leurs recommandations ont été approuvées par l'OPECST dans sa séance du 14 novembre 2001.

Votre Rapporteur ne peut que se faire l'écho des analyses extrêmement approfondies qui ont été présentées tout en se gardant lui aussi

(1) « L'état actuel et les perspectives techniques des énergies renouvelables », n° 3415 Assemblée nationale, n° 94 Sénat, novembre 2001. Ce soixante-cinquième rapport de l'Office figure dans le Cd-rom « les rapports de l'OPECST de 1985 à 2001 » joint au présent rapport.

de voir dans l'éolien une solution d'envergure pour un futur proche et surtout en rappelant que, pour la France, **l'énergie nucléaire demeure un atout** qu'aucune évolution ne permet de négliger, bien au contraire.

B. L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE

La part essentielle de l'énergie nucléaire dans l'approvisionnement de la France en électricité rappelle que cette source d'énergie contribue grandement à **la sécurité de l'approvisionnement énergétique**.

Les engagements résultant du protocole de Kyoto conduisent la France à renouveler ses centrales nucléaires. Une inquiétude demeure compte tenu des choix d'autres pays européens qui ne pourront concilier le respect des engagements de Kyoto et leur abandon de la filière nucléaire.

C. L'IRRIGATION

Ressource naturelle abondante en France jusqu'à présent, l'eau devrait être utilisée à meilleur escient à l'avenir. **Les prévisions relatives aux impacts des changements climatiques font craindre des ressources en eau raréfiées en été, même en France.** Or, l'irrigation agricole puise largement dans ces ressources, parfois sans obligation réelle.

En 1970, 5400 km² étaient irrigués en France ; en 1997, plus de 20.000 km² le sont, soit environ 7 % de la surface agricole utile. Il s'agit donc d'**une augmentation de 270 % en 27 ans.**

En outre, depuis 1997, la progression de la surface irriguée s'accélère.

Près de 10 % de la surface agricole utile sont aujourd'hui équipés pour l'irrigation.

Celle-ci répond-elle toujours à des besoins impérieux ?

L'évolution de l'accroissement des surfaces irriguées ne devrait-elle pas être considérée comme une tendance d'une époque révolue ?

III. SÉLECTIONNER LES TECHNIQUES AGRICOLES

Comme signalé ci-dessus, avant même de s'interroger sur les techniques émettant moins de gaz à effet de serre, il faudrait désormais **toujours se demander quelle quantité d'eau est nécessaire à la protection d'un kilo de matière sèche afin de ne pas abuser de l'irrigation.**

A. AGRICULTURE

Comment réduire les émissions de gaz à effet de serre par l'agriculture ? En réduisant les émissions de protoxyde d'azote (N_2O) comme de méthane (CH_4) au moyen d'instruments diversifiés.

1. la réduction des émissions de protoxyde d'azote (N_2O)

Pour réduire les émissions de protoxyde d'azote, des solutions peuvent exister au niveau des pratiques agronomiques comme à celui de l'aménagement de l'espace.

C'est ainsi que la suppression des apports d'azote en excès à travers les fertilisants apparaît un préalable à la réduction des émissions, le but étant de maintenir aussi bas que possible le niveau d'azote minérale du sol ou en fractionnant les apports soit en les ajustant plus strictement aux besoins des plantes. En outre, le maintien de la porosité du sol à un niveau élevé et en réduisant les périodes d'excès d'eau sont essentiels.

De plus, il serait souhaitable que **les sols** présentant les caractéristiques les plus favorables aux émissions, par exemple des sols facilement engorgés et n'ayant qu'une faible activité réductrice de N_2O soient retirés en priorité d'un usage agricole.

En outre, il faudrait **éviter de créer artificiellement des zones fortement émettrices de N_2O** . Ainsi, la création de bandes enherbées tendant à régulariser les échanges entre le territoire agricole et les cours d'eau et destinée notamment à favoriser la dénitrification pour améliorer la qualité des cours d'eau risque aussi de multiplier les lieux favorables aux émissions de N_2O .

2. La régulation des émissions d'origine agricole

La sélection des techniques agricoles peut être facilitée par des réflexions économiques sur la régulation des émissions de méthane et de

protoxyde d'azote afin d'**intégrer le secteur agricole dans une politique d'incitation à la réduction des émissions**.

Si l'on se souvient que **les émissions de méthane et de protoxyde d'azote représentent respectivement deux tiers et un tiers du bilan brut des émissions de gaz à effet de serre du secteur agricole**, il peut être observé qu'à l'occasion de la réforme de la politique agricole commune en 1992 la transformation des grandes cultures et des prairies en surfaces de jachère avait eu deux effets contraires, à savoir la baisse du stockage du carbone par les sols tandis que, parallèlement, la baisse des apports d'engrais azotés avait diminué les émissions de N_2O .

Au total, l'effet environnemental de la réforme de la politique agricole commune s'était révélé légèrement négatif, ce qui illustre bien la difficulté de prendre des mesures tenant compte de tous les paramètres.

Pour l'avenir, en supposant que l'information des agriculteurs soit parfaite, et que le marché fonctionne bien, il a été estimé que **l'adoption d'une taxe destinée à limiter les émissions de gaz à effet de serre** pourrait modifier le comportement des agents économiques dès le seuil de 450 francs par tonne de carbone. Certains ont évoqué un mécanisme prenant la forme d'une taxe sur les engrais ou de primes proportionnelles aux surfaces et différenciées par activité végétale.

Une amélioration du bilan environnemental pourrait être également obtenue en diminuant faiblement les effectifs des **animaux** et en modifiant leur mode d'alimentation ; une alimentation concentrée achetée se substituant aux aliments grossiers et à l'intraconsommation.

Toutefois, **la mise en œuvre d'une telle politique pose le problème du contrôle du niveau des émissions**. Compte tenu de l'imperfection probable de l'information et des difficultés du contrôle, une taxe sur l'aliment des bétails risquerait d'encourager l'intraconsommation qu'il semble souhaitable d'éviter par ailleurs.

Par ailleurs, les jachères pourraient être transformées en forêts.

L'autorisation d'**exploiter les productions ligneuses permettrait de réduire l'effet de serre d'origine agricole d'environ 8 %**, soit bien plus que l'effet des taxes sur l'animal ou sur l'aliment.

C'est donc sur les réductions résultant de ces productions ligneuses que l'effet maximal devrait être obtenu.

Toutefois le potentiel de réduction des émissions par les productions ligneuses, c'est-à-dire **la reconnaissance du rôle régulateur de l'effet de serre par les puits de carbone tels que le bois, en particulier en Europe et en France, aurait dû figurer sans ambiguïté dans les accords**

internationaux portant sur la réduction des pollutions globales, ce qui n'a pas été le cas jusqu'à la Conférence de Bonn tenue en juillet 2001.

Il semble qu'un **recours plus grand au dialogue entre les disciplines** soit là encore la piste à suivre pour que les travaux de modélisation effectués dans les domaines technique et biologique puissent être complétés par des travaux de modélisation en économie, le tout intervenant dans un contexte juridique approprié.


IV. REPENSER LES TRANSPORTS

A l'horizon **2020**, la perspective de croissance de la circulation routière totale en France (urbaine et interurbaine) devrait atteindre 50 % à 60 %. Ce seul chiffre laisse craindre que **les engagements de la France relatifs à la limitation de ses émissions de gaz à effet de serre ne pourront pas être tenus simplement en comptant sur les progrès technologiques liés à la diminution des consommations unitaires de carburant des véhicules.**

Il a déjà été souligné dans ce rapport que le secteur des transports est probablement celui qui pose le plus de problème quant à l'accroissement des émissions de gaz à effet de serre.

Non seulement ces émissions augmentent rapidement, mais elles sont pour moitié dues aux voitures particulières.

Pour l'ensemble des décisions relatives aux transports et aux combinaisons des divers modes de transports entre eux afin de réduire les émissions de gaz à effet de serre, **les décideurs locaux ont un rôle primordial à remplir.**

C'est pourquoi, dès 1999, la mission interministérielle de l'effet de serre (MIES) a publié un document intitulé « *Maîtriser le risque de changement climatique, Memento des décideurs. Les collectivités territoriales engagées dans la lutte contre les gaz à effet de serre* » . Ce document présente de manière très claire des fiches récapitulatives et pratiques destinées à favoriser la décision publique innovante.

A. L'AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE

Concernant les transports, la réduction des émissions de dioxyde de carbone ne peut pas seulement résulter de l'offre, mais aussi d'une maîtrise de la croissance des besoins de transports.

Il a souvent été indiqué que **des villes plus denses, plus compactes, des trajets quotidiens plus courts et aussi moins nombreux**, constitueraient des solutions très efficaces.

En effet, plus la densité urbaine augmente, plus le taux de motorisation baisse et le doublement de la densité devrait, semble-t-il, pouvoir diminuer de 50 % la consommation d'énergie.

B. LES SCHÉMAS DE DÉPLACEMENT

L'idée des schémas de déplacement a pour but de rationaliser une partie de ceux-ci à condition que tous les acteurs se mobilisent, à commencer par les collectivités locales qui ont pour mission de développer **les plans de déplacements urbains PDU**.

Ces plans tendent à une utilisation plus rationnelle de la voiture, à un développement de modes de transports moins polluants et moins consommateurs d'énergie.

Ils supposent **une étroite concertation entre les services des villes et tous les acteurs socio-économiques**.

Complétés par la loi sur l'air qui a rendu obligatoire la réalisation d'un PDU dans toutes les agglomérations de plus de 100.000 habitants, **ces outils tardent à se mettre en place** et ne semblent pas susciter un intérêt à la hauteur des enjeux.

Les schémas de service et les plans de déplacement urbains (PDU), renforcés par la loi du 13 décembre 2000 relative à la solidarité et au renouvellement urbain (SRU), ont insisté sur **la priorité à donner aux transports collectifs** (dont les tramways, les projets tram-trains...), sur la réduction de l'usage de l'automobile en ville, sur le recours au vélo, à la marche, sur le partage de la voirie entre les divers modes de déplacement, sur l'élaboration de plans de mobilité par les entreprises, sur l'obligation de compatibilité entre l'urbanisme et les plans de déplacement.

Une mission interministérielle a été mise en place en 1998 pour promouvoir l'utilisation du vélo.

Pour être efficaces, ces plans de déplacements doivent présenter **des alternatives à la voiture individuelle** : transports collectifs urbains, rapides, sûrs, efficaces ; recours aux deux-roues non motorisés en améliorant la sécurité au long de leur trajet et en empêchant le vol de ceux-ci grâce à des parkings gardés ; marche à pied dans la mesure où les décisions d'urbanisme et d'aménagement favorisent les zones piétonnières dans les centres villes et des rues à circulation automobile réduite.

Enfin, **les complémentarités entre modes de transport** pourraient être développées ainsi que la recherche de nouvelles pratiques de déplacement, y compris dans les zones peu denses (taxis collectifs, minibus, covoiturage, etc...).

C. LA ROUTE

En vingt ans, de 1970 à 1992, le nombre de kilomètres parcourus chaque année par habitant a augmenté de 68 %, dont + 81 % pour la voiture particulière (+ 37 % pour le train, + 44 % pour les autobus).

Par ailleurs, un triplement de la congestion automobile est prévu d'ici 2020.

Les déplacements inter-banlieues en région parisienne devraient concerner 20,8 millions de personnes par jour en 2015 contre 14,4 millions en 1999, 70 % de ces déplacements étant assurés par la voiture.

Quant aux véhicules du futur, votre Rapporteur se contentera de renvoyer au rapport de M. Pierre LAFFITTE, sénateur, fait au nom de l'OPECST sur **le véhicule électrique** (1), qui évoquait déjà nombre de points que la rareté de l'énergie rend toujours intéressants. Actuellement, c'est plutôt **le véhicule hybride** que la voiture électrique qui apparaît comme la solution de l'avenir.

D. LE RAIL

Qu'il s'agisse du transport de marchandises ou du transport de voyageurs, **le rail mériterait de retenir davantage l'attention des décideurs lors de l'allocation des crédits d'investissements. De fait, la route lui est souvent préférée.**


En effet, **les transports routiers de marchandises** ont tendance à toujours s'imposer face aux transports ferroviaires, alors qu'un camion de 3 tonnes de charge utile transporte 17 tonnes de marchandises sur un kilomètre avec un kilo de carburant, et que, sur la même distance et avec la même quantité d'énergie, un train peut transporter 130 tonnes. Il y a là une raison de privilégier les transports ferroviaires.

(1) Rapport sur l'« Intérêt du véhicule électrique au regard de la protection de l'environnement » - Assemblée nationale n°680 (10^{ème} législature), Sénat n° 70 (1993-1994).

Il en est de même pour **les transports de voyageurs**, qui sont effectués majoritairement par les voitures particulières devant les trains express régionaux puis les autocars.

Il semblerait que **des connexions nouvelles** puissent être prometteuses comme, par exemple, celles entre tramways et trains qui permettent d'accéder à des zones antérieurement inaccessibles sans changer de mode de transport.

E. LE FLUVIAL ET LE MARITIME

Comme votre Rapporteur l'a déjà indiqué à l'occasion de l'évocation de l'audition de M. François BORDRY, président de Voies Navigables de France , la France devrait tirer profit de son réseau de fleuves et de canaux bien alimentés en eau, ainsi que de ses façades maritimes pour développer enfin **une nouvelle politique de transport fluvial et de développement de ses ports**.

Il doit être noté aussi que **le cabotage** offre des perspectives parfois immédiatement fermées par des initiatives intempestives. C'est ainsi que le cabotage entre Bilbao et le Royaume-Uni a été presque totalement interrompu du fait de la gratuité de l'autoroute créée pour contourner Bayonne. En effet, la gratuité de ce tronçon routier réclamée par les riverains a bénéficié en fait aux très nombreuses entreprises espagnoles de transport routier qui traversent toute la France pour relier l'Espagne au Royaume-Uni, le coût étant devenu inférieur à celui du trajet maritime.

F. L'AÉRIEN

Il a déjà été indiqué que la croissance du transport aérien était une source importante d'émission de gaz à effet de serre et que cette croissance n'était pas aussi inéluctable que la société semble le croire.

Cela a déjà été démontré à travers l'amélioration de certaines **lignes ferroviaires à grande vitesse** où le train a fini par supplanter l'avion. Tel fut le cas, entre Paris et Bruxelles, et, maintenant, entre Paris et Marseille.

De meilleures conditions d'**intermodalité** peuvent rendre le train beaucoup plus attractif pour de petits trajets, les gares étant généralement d'un accès plus aisé que les aéroports.

De plus, mis à part le problème de la pollution lors de la mise en route des locomotives diesel, le train provoque moins de nuisance pour les riverains que les avions.

Dans une réflexion incluant une moindre émission de gaz à effet de serre à l'horizon 2100, de vraies interrogations doivent être émises sur l'utilité d' **un troisième aéroport** aux environs de Paris.

V. AMÉLIORER L'HABITAT

La diminution des émissions de gaz à effet de serre dans le secteur de l'habitat peut passer aussi bien par un meilleur aménagement du territoire, de nouveaux choix d'urbanisme, de nouvelles méthodes d'implantation, de conception ou de construction des villes ou des bâtiments, que par des procédés de chauffage ou de climatisation innovants.

A. AMÉNAGER LE TERRITOIRE

Le choix des implantations des lieux d'habitat, concentré ou dispersé, a en lui-même une influence sur les émissions de gaz à effet de serre qui sont étroitement liées à celles des transports dans la mesure où l'allongement des trajets domicile-lieu de travail a tendance à entraîner des émissions accrues.

Pour résoudre les deux problèmes à la fois, il a été souvent proposé de **rapprocher les lieux de travail des lieux d'habitat**. Cette solution toute théorique se heurte cependant à deux écueils principaux : d'une part, la société actuelle n'est pas précisément garante d'une stabilité de l'emploi et encore moins de l'unicité du lieu travail au cours d'une vie professionnelle. Bien au contraire, à partir du moment où la mobilité dans les carrières devient la règle, il est extrêmement difficile d'opérer des choix tendant à implanter à proximité l'un de l'autre le lieu de travail et le lieu d'habitat.

De plus, dans une même famille, chaque membre a le plus souvent un lieu de travail qui lui est propre.


Pourquoi, dès lors proposer le rapprochement des lieux de travail et d'habitat alors que les choix d'implantation des équipements que cette solution suppose ne seraient pas opérationnels avant plusieurs décennies ? Et que cette rationalisation apparente ne peut qu'impliquer des interventions très dirigistes des instances sociales ? N'est-ce pas reporter, volontairement ou non, mais en le posant mal, le problème d'une action sur les émissions de gaz à effet de serre, en se déchargeant sur les générations futures ?

Cette remarque se trouve d'ailleurs renforcée par le fait que depuis la fin de la seconde guerre mondiale, les politiques d'aménagement du territoire, comme de planification n'ont cessé de perdre de leur vigueur.

En réalité, les réalisations spectaculaires comme les grands aménagements, en particulier les réseaux autoroutiers ont beau favoriser les émissions de gaz à effet de serre, ils sont très appréciés des populations.

Dans ce contexte, plutôt que de sédentariser à proximité des lieux de travail les utilisateurs de ceux-ci, ne faudrait-il pas rechercher des solutions en direction du télétravail et, en général, du développement de toutes les formes de communication ? Cela reviendrait à **déplacer le travail sans modifier les lieux d'implantation du cœur de celui-ci** tandis que le système nerveux des communications favoriserait l'acheminement des informations provenant des cerveaux travaillant à domicile.

Une telle perspective n'est plus du domaine de l'utopie et des études sur ces thèmes commencent à intéresser de grands ministères.

C'est ainsi que le ministère chargé de l'Industrie a entamé une réflexion sur le télétravail  ⁽¹⁾ dont les premières orientations confirment que le sujet mérite d'être approfondi.

B. IMPLANTER LES VILLES ET LES BÂTIMENTS

Face aux retombées éventuelles d'un changement climatique et à la multiplication des événements extrêmes qui risquent d'en découler, le choix de l'implantation des villes comme des constructions au sein de celles-ci pourrait être amélioré.

En effet, il a déjà été indiqué que la plupart des **villes du tiers-monde** qui ont connu une vigoureuse expansion au cours des dernières décennies, ont souvent été implantées à proximité des rivages et sur des terrains que la montée des eaux et la multiplication des précipitations rend facilement érosives. Tel est le cas en particulier selon le rapport du GIEC, des villes africaines situées sur la côte ouest de ce continent.

En ce qui concerne **les constructions individuelles**, la première précaution souvent omise, y compris dans les pays développés dotés de plans d'occupation des sols et de données météorologiques permettant d'agir en connaissance de cause, consisterait à respecter les conclusions tirées de l'analyse des données disponibles.

En somme, il conviendrait, par exemple, de **strictement respecter les dispositions indiquant des zones inondables ou encore des couloirs d'avalanches**. Il n'est en effet pas rare de voir implanter d'importantes zones

⁽¹⁾ « Télétravail et développement durable ». Ce document de travail, extrait d'une étude confiée par le Ministère des finances à un consultant, figure sur le Cd-rom relatif aux changements climatiques, joint au présent rapport.

industrielles dans des zones inondables à l'entrée des villes. Cela peut aussi être observé pour des équipements publics comme, par exemple, des salles de spectacle, alors qu'il est indispensable d'intégrer, au moment de l'octroi des permis de construire, la nécessité de pouvoir accéder à ces équipements pour y acheminer des secours, notamment lors de circonstances climatiques extrêmes.

C. CONCEVOIR LES CONSTRUCTIONS

C'est dès le stade de la conception que l'habitat devrait être pensé pour émettre le minimum de gaz à effet de serre, donc être le plus économe en énergie. A cette fin, de nombreux programmes, souvent assortis d'incitations fiscales, ont été mis en œuvre ou proposés dans les pays développés. A partir du moment où, désormais, la préoccupation d'émettre moins de gaz à effet de serre est apparue, cela doit **influencer sur les lignes directrices dès la conception**.

Par exemple, pourquoi ne pas concevoir des bâtiments comprenant **une isolation thermique extérieure**, ce qui permettrait d'éviter des interventions ultérieures, plus coûteuses et moins efficaces, à l'intérieur de ceux-ci.

En effet, isoler à l'extérieur permet d'éviter que les murs eux-mêmes n'emmagasinent la chaleur ou le froid obligeant par la suite le chauffage ou la climatisation à pallier à grand peine le défaut de conception initial.

À la suite de la **loi sur l'air** de décembre 1996, certaines constructions devront comporter **une quantité minimale de matériaux en bois**.

La « Charte bois – construction – environnement » signée entre le Gouvernement et les professionnels tend à augmenter de 25 % d'ici à 2010 le bois utilisé dans la construction.

Ces mesures devraient permettre d'exploiter au maximum les avantages du bois en vue d'une moindre émission de gaz à effet de serre (consommation d'énergie plus faible qu'avec les autres modes de construction ; stockage de carbone pour une longue durée dans le bois-matériau ; nouveaux débouchés et donc meilleure exploitation de la forêt française).

D. CHAUFFER LES HABITATS

Diverses études ont été menées, notamment par l'ADEME, mais aussi par l'INESTENE (1), sur les différents procédés de chauffage et il est apparu que beaucoup d'améliorations pouvaient résulter de nouvelles conceptions énergétiques.

Surtout, ces études montrent qu'il peut être recouru à **des solutions diversifiées** et à **des sources d'énergie complémentaires** dans chaque immeuble. Ainsi, une source peut assurer le chauffage de base de la structure en cause tandis qu'une autre source, mieux modulable, sert seulement à apporter la température d'appoint aux locaux considérés.

Outre les économies d'énergie qu'elle entraîne, cette méthode permet à chacun d'obtenir une température correspondant exactement à ses aspirations.

E. CLIMATISER LES LOCAUX

Autant la température atteinte à l'intérieur des locaux en hiver apparaît généralement excessive, autant la réfrigération desdits locaux semble souvent surdimensionnée en été. C'est ainsi qu'en hiver, nombre d'appartements ou de bureaux sont chauffés jusqu'à 20 ° ou 22 ° alors qu'en été la climatisation s'efforce de faire redescendre leur température à 18 ° environ.

Dans les deux cas, le contraste avec la température extérieure est maximal. Ce résultat n'est évidemment pas dicté par les besoins, mais résulte d'habitudes contractées au fil des ans qui ne donnent plus lieu à une véritable réflexion et il faudrait peut-être éduquer ou rééduquer à **la perception des besoins réels** pour que chacun redevienne maître de la température qu'il souhaite réellement obtenir tout en mesurant le coût global de celle-ci, qu'il s'agisse du coût pour le consommateur individuel ou pour la société.

Dans les études relatives aux **relations entre santé et climat**, il a été relevé que la climatisation pouvait contribuer de manière importante à préserver des vies humaines lors de grandes vagues de chaleur, mais, bien évidemment, cela ne saurait justifier l'extension de la climatisation à toutes les latitudes, ni son emploi à longueur d'année dans tous les types de locaux.

A la suite du premier choc pétrolier de 1973, de **nouvelles réglementations d'isolation thermique** pour les bâtiments neufs ont été adoptées dès 1974.

(1) « Le chauffage au bois » - étude de l'INESTENE

Elles ont permis **la réduction de moitié de la consommation moyenne de l'énergie consacrée au chauffage des logements neufs** par rapport à ceux construits avant 1975.

Cette réglementation a été réactualisée en 1988.

Une nouvelle réglementation thermique a été publiée le 30 novembre **2000** pour entrer en vigueur le 1^{er} juin 2001.

Elle exige une amélioration de 15 % **des performances énergétiques** pour les bâtiments résidentiels et de 40 % pour les bâtiments non résidentiels. En réalité, ces exigences sont déjà satisfaites à hauteur de 10 % pour le résidentiel et de 15 % à 25 % pour le non résidentiel.

En outre, cette réglementation vise aussi la climatisation à travers **l'édiction d'une température d'été maximale à ne pas dépasser** grâce à une meilleure conception initiale des bâtiments non climatisés et des mesures à prendre pour réduire les consommations énergétiques des bâtiments climatisés.

De plus, cette réglementation introduit, pour la première fois, la notion de niveau réglementaire maximal indispensable pour **les ponts thermiques** – les éléments de la construction laissant passer à l'excès la chaleur ou le froid (fenêtres, vitrages...) et propose des solutions techniques permettant aux artisans et aux particuliers de réaliser de telles économies sans avoir à effectuer des calculs complexes.

Il est prévu que cette réglementation évolue tous les cinq ans au moyen d'un renforcement de 10 % de ses exigences à chaque étape. Elle s'accompagne de l'élimination des équipements aux performances insuffisantes (certains radiateurs électriques, fenêtres métalliques sans système thermique, chaudières à gaz à veilleuse...).

CHAPITRE SECOND : LES ENJEUX DES SOLUTIONS

Les enjeux des solutions proposées peuvent être appréciés de trois manières. D'abord en évoquant les échéances de la présente étude. Que sera-t-il possible de faire et, face à quelles difficultés, en 2025, 2050 et 2100 ? Comment y parvenir ? Qui bénéficiera ou pâtira de ces actions ?

I. QUAND ?

Il a été fixé à la présente étude **trois échéances de temps 2025, 2050 et 2100** pour examiner les impacts des changements climatiques sur la géographie de la France.

De prime abord, ces échéances lointaines paraissent exclure toute possibilité de pronostic à leur égard, notamment compte tenu des nombreuses incertitudes liées aux connaissances climatiques.

Cependant, le rythme relativement lent des évolutions du climat, la durée de résidence importante de la plupart des gaz à effet de serre dans l'atmosphère, ainsi que l'inertie des choix opérés pour mener les principales politiques des différents États rendent les échéances retenues moins lointaines qu'elles ne paraissent et aucunement futuristes.

De plus, en matière de climat, trois dates ponctuelles ne peuvent avoir en elle-même une grande signification dans la mesure où une période climatique se caractérise à partir de données collectées sur une durée d'une trentaine d'années environ.

En conséquence, votre Rapporteur s'est interrogé, à travers les dates de 2025, 2050 et 2100, sur ce qui pourrait différencier la période 2010-2040, des périodes 2040-2070 ou 2070-2100.

A. 2025 OU L'AVENIR PROGRAMMÉ

La plupart des choix déjà opérés jusqu'à aujourd'hui feront mécaniquement sentir leurs effets en 2025 et, déjà, la plupart des politiques sont difficiles à infléchir pour en modifier les impacts à cette échéance

relativement rapprochée, qu'il s'agisse des choix énergétiques, de l'implantation des grandes infrastructures ou encore de l'urbanisme.

De plus, si les observations futures du changement climatique confirment les tendances actuelles, 2025 peut marquer le début de la perception par chacun dudit changement.

Aujourd'hui, les experts s'interrogent sur l'existence, la nature et l'ampleur des **signaux climatiques** attestant sans conteste un changement. En 2025, ces signaux auront vraisemblablement été identifiés.

Pour autant, **certains de ces effets seront peut-être irréversibles ou difficilement réversibles**. Et, si rien n'a été changé, par exemple dans les politiques énergétiques de transport ou d'habitat à la surface de la planète, 2025 risque de ne pas marquer la rencontre entre une action efficace et la prise de conscience des changements intervenus, mais, au contraire, d'être la date d'un tardif constat de carence. Il restera à déplorer qu'une action n'ait pas été entamée bien des années plus tôt alors que l'alerte avait été donnée.

Mais avant cela, il faut rappeler les choix que devraient illustrer pour la France :

- la décision de renouveler, ou non, la plupart des **centrales nucléaires** ;
- l'objectif de 4 GW de **cogénération** ;
- l'objectif du remplacement de la totalité des canalisations poreuses du **réseau de distribution de gaz** – 0,64 Mte CO₂ évité par rapport à 1990 ;
- l'objectif du remplacement de la totalité des centrales thermiques charbon et fuel lourd par **des centrales gaz naturel et cogénération**, d'où des émissions de 14,7 Mte CO₂ au lieu de 27 Mte CO₂/an ;
- le projet de directive européenne sur **le développement de l'électricité et des énergies renouvelables** – 22 % en Europe en 2010 (la France devant se situer au-dessus de 20 % contre 15 % actuels) ;
- l'objectif de 5.000 MW **éoliens** installés ;
- l'augmentation de 25 % du **bois** utilisé dans la construction ;
- l'objectif du doublement du **fret ferroviaire** ;
- l'objectif d'un **bilan net du secteur forestier** égal à 0.

B. 2050 OU LE CARREFOUR DES CHOIX

Si, à la suite de la prise de conscience en train de se généraliser en 2001, les principales dispositions du protocole de Kyoto étaient suivies d'effet et surtout prolongées par d'autres accords internationaux allant au-delà de la période 2008-2012, 2050 serait peut-être au cœur de la période où commenceront à être enregistrés les premiers effets bénéfiques des actions engagées au début des années 2000 pour limiter les émissions de gaz à effet de serre.

Certes, un décalage d'une cinquantaine d'années entre une décision et ses effets peut sembler bien long, cependant, une période de cinquante ans, cela est relativement bref quant à la prise de grandes décisions politiques relatives aux infrastructures et surtout à la durée de réalisation de certaines d'entre elles ou encore face à la réorientation de choix énergétiques.

Pour s'en tenir à quelques exemples, il est souvent préconisé la substitution du fret ferroviaire aux transports routiers, mais cela suppose, en France et dans l'Europe entière, la création d'**un réseau ferré dédié aux transports de marchandises** et, avec l'édification de celui-ci, la mise en place de réseaux de contournement des grandes villes.

Autre exemple, la réalisation d'**un tunnel ferroviaire permettant la liaison directe Lyon-Turin** est une réalisation de longue haleine et, en 2050, il est probable que cette installation dont le principe vient d'être décidé n'aura encore que peu d'années de fonctionnement à son actif.

Enfin, où en seront les travaux du **canal Seine-Nord** ? Sa mise en eau aura-t-elle déjà été effectuée ?

C. 2100 OU L'IRRÉMÉDIABLE

Pour cette échéance, il est permis de souhaiter que les fruits des actions à long terme lancées au début du XXI^{ème} siècle, soient perceptibles. Dans le cas contraire d'importantes difficultés n'auront sans doute pas manqué d'apparaître et, surtout, un siècle de retard aura été pris dans la réaction aux excès d'émissions de gaz à effet de serre.

Cette échéance de la fin du siècle, difficilement imaginable, rappelle que le temps de résidence dans l'atmosphère du dioxyde de carbone est estimé à environ 120 ans. Ce qui signifie qu'**une molécule de carbone émise dans l'atmosphère aujourd'hui s'y trouvera encore en 2100**, tandis que d'autres molécules de gaz à effet de serre encore plus tenaces ne feront alors qu'y entamer un séjour de plusieurs millions d'années.

Les immenses quantités de dioxyde de carbone émises à compter d'aujourd'hui et jusqu'en 2100, tout au long du XXI^{ème} siècle, ne commenceront à disparaître qu'à partir de 2200 environ et cela en supposant que le volume total du dioxyde de carbone présent dans l'atmosphère n'ait pas excédé les capacités d'absorption des puits de carbone que sont les océans et les forêts.

En effet, il n'est pas exclu que se manifeste **des effets de seuil** et qu'à un moment donné, les puits de carbone cessent de jouer, en tout ou partie, le rôle efficace qu'ils ont assumé jusqu'à présent.

Ainsi, même si le terme ultime envisagé par la présente étude est 2100, nombre d'aspects obligent à se projeter encore au-delà et il a pu être constaté ci-dessus comme dans d'autres parties de ce rapport que des projections allant de 2000 à 2100 dessinent presque toujours des courbes qui ne s'infléchissent nullement à l'approche de 2100. Bien au contraire, la pente de ces courbes à cette période est souvent tout à fait ascendante. C'est pourquoi, **dans nombre d'études, des courbes se multiplient mentionnant l'année 2200, voire l'année 2300.**

II. COMMENT ?

Comment parvenir à imaginer et à mettre en œuvre des solutions à l'échelle des problèmes posés par les changements climatiques ?

Pour que la plupart des solutions puissent être mises en œuvre à un échelon significatif, c'est-à-dire propre à limiter durablement les émissions mondiales de gaz à effet de serre, **les politiques nationales doivent être coordonnées.** L'exemple de la fiscalité, des transports, des grandes infrastructures, de la politique agricole etc. illustrent cela, en particulier pour l'Europe.

A. SOLUTIONS PARTIELLES ET RECOURS AU NUCLÉAIRE

Votre Rapporteur tient à insister sur les recommandations énoncées en fin de rapport consistant à réaliser des économies d'énergie, prôner l'efficacité énergétique, développer les énergies renouvelables. Cependant, même si toutes ces politiques étaient mises en œuvre, le changement du rythme de progression de la consommation d'énergie dépend de choix de sociétés de grande ampleur.

Dans ce contexte, **la France ne saurait ni renoncer à l'énergie nucléaire** pour produire son électricité, car cela la conduirait à émettre bien davantage de gaz à effet de serre, **ni compter sur le développement du nucléaire pour faire face à la demande croissante d'énergie.**

Cette situation particulière de la France doit être expliquée aux citoyens comme à nos partenaires étrangers et prise en compte avec toutes les conséquences qu'elle implique.

Certes, le recours à l'énergie nucléaire doit être combiné avec toutes les autres ressources énergétiques.

B. DÉVELOPPEMENT DURABLE

Au-delà des améliorations apportées aux modes de production, aux transports et au secteur résidentiel-tertiaire pour réduire les émissions de gaz à effet de serre, seule une orientation résolue vers le développement durable pourrait constituer un cadre cohérent pour une telle réduction à long terme et à l'échelle mondiale.

Il s'agit là d'une réorientation majeure.

- Cela pourrait passer par de **nouveaux lieux de réflexion** :
 - sur **l'agriculture en Europe** et sur le pourtour de la Méditerranée ;
 - sur **la chaîne technologique de l'énergie nucléaire** (réflexion et campagnes d'information) ;
 - sur **les changements climatiques** avec des lieux de dialogue contradictoires interculturels ;
- **De nouveaux moyens de connaissance** pour appréhender la réalité apparaissent indispensables, et parmi ceux-ci :
 - des indicateurs de performances pour **l'environnement** ;
 - un réseau d'**observatoires pour la biodiversité** et l'élaboration d'**un inventaire** des richesses des territoires en biodiversité ;
 - des **indicateurs de bien être à long terme** prenant en compte les critères environnementaux, le caractère durable de la croissance ;
 - des réseaux de **veille sanitaire** ;
 - des mesures relatives aux diverses **pollutions.**

- **des programmes de recherche liés au climat et aux ressources énergétiques** (garantie de durée, connexions entre secteurs de recherche) avec comme thèmes prioritaires l'océan, l'eau, la désertification et la déforestation.

- De **nouvelles exigences** concernant les principaux secteurs de **production** :

- **agriculture** économe en énergie et en eau ;

- De **nouvelles approches politiques** dans des cadres rénovés seraient souhaitables pour :

- élaborer **une politique européenne d'aménagement du territoire** prenant en compte les impacts des changements climatiques sur les sociétés humaines et sur la biodiversité dans le respect des espaces protégés. Cela conduirait, en France, à repenser les missions et les moyens du Plan et de la DATAR et à coordonner leurs efforts avec des organismes équivalents dans les autres pays de l'Union européenne.

- élaborer **une politique de la biodiversité** ;

- progresser vers **une coopération totale entre États** sur l'eau.

- Des priorités directement dictées par **le caractère durable du développement** pourraient consister à :

- enseigner et promouvoir **les économies d'énergie et l'efficacité énergétique** ;

- développer toutes les formes d'**énergies renouvelables** ;

- maîtriser **le transport** aérien, notamment en développant le télétravail, les téléconférences, les liaisons ferroviaires à grande vitesse) ;

- accorder la priorité aux **investissements destinés au rail** par rapport à ceux destinés à la route, ce qui correspond à une inversion de situation actuelle.

- Des **moyens d'action** améliorés commenceraient par :

- former des **équipes pluridisciplinaires de négociateurs** en France et en Europe pour participer aux conférences internationales –face à des négociateurs Anglo-Saxons mieux rompus à ces exercices.

- Des moyens de **communication** seraient à promouvoir pour :

- élaborer et publier des **bulletins médico-météorologiques** afin de mieux informer la population sur la réalité des risques de son environnement quotidien ;

- communiquer sur **les progrès accomplis dans la réduction** des émissions de gaz à effet de serre par rapport aux objectifs annoncés pour que les campagnes médiatiques lancées aient un impact durable et motivent chacun dans son comportement quotidien.

III. POUR QUI ?

Les solutions envisagées, pour diminuer les émissions de gaz à effet de serre au niveau mondial et éviter les effets négatifs des changements climatiques, comportent **des enjeux très différents selon les pays considérés**.

Si **deux grands groupes de pays**, les pays développés et les pays exclus, peuvent être distingués, de nombreuses différences apparaissent entre les membres de chacun de ces groupes.

A. PAYS DÉVELOPPÉS ET NOUVEAUX PAYS DÉVELOPPÉS

Le protocole de Kyoto distingue entre les pays auxquels s'appliquent intégralement les dispositions du protocole et ceux qui le rejoignent tout en bénéficiant de clauses moins restrictives adaptées à chacune de leurs situations, comme cela a été développé dans la troisième partie du rapport.

En outre, d'autres pays sont libres de s'associer au protocole.

À cette architecture logique, sont venus s'ajouter les complexités de la réalité des négociations politiques.

Si le climat est bien **un enjeu planétaire**, les négociations liées à celui-ci sont, en elles-mêmes, devenues d'autres enjeux bien plus individualisés.

Le groupe des pays développés, à l'origine de la révolution industrielle, pays qui auraient dû se trouver unis autour du plus grand émetteur de gaz à effet de serre de la planète, **les États-Unis d'Amérique**, pour réduire ensemble leurs émissions, se voient dans l'obligation de donner l'exemple pour l'application du protocole de Kyoto, alors que le principal acteur s'est retiré de la distribution des rôles mais compromet tout de même le succès de la pièce du fait de ses émissions massives de gaz à effet de serre.

Bien plus, au cours des négociations climatiques de ces dernières années, les États-Unis d'Amérique ont constitué autour d'eux, **le groupe dit du « parapluie » (*Umbrella*) rassemblant le Canada, l'Australie et le Japon.** Ces pays ont obtenu des avantages en échange de la poursuite de leur participation aux négociations climatiques.

En effet, sous prétexte d'exiger l'association au protocole de Kyoto des pays en voie de développement et des pays nouvellement développés - Chine, Inde, par exemple- qui ne manqueront pas de devenir d'importants émetteurs de gaz à effet de serre au cours du XXI^{ème} siècle, du fait d'un développement calqué sur le mode occidental, les pays du groupe du parapluie, ont exercé, sur les autres partenaires du protocole de Kyoto, une sorte de chantage incessant à la non-signature, à la non-ratification et à la non-application du protocole.

De la sorte, tantôt l'un, tantôt l'autre de ces pays a obtenu d'importantes atténuations aux rigueurs du protocole ; par exemple, en obtenant une meilleure prise en compte de ses puits de carbone réels ou supposés, comme ce fut le cas, par exemple, lors de la conférence de Marrakech pour la Russie et le Japon.

Ces atténuations, ces dérogations de fait, étaient d'autant plus facilement accordées qu'à un moment donné, la survie du protocole en dépendait.

Paradoxalement, plus le texte du protocole se vide de sa substance, au bénéfice d'un certain nombre d'États, plus les concessions sont grandes pour tenter de parvenir aux conditions formelles de sa mise en application.

Maintenant, celle-ci dépend de **la Fédération de Russie**, qui a déjà obtenu, dès 1997, le droit d'émettre des quantités de gaz à effet de serre tout à fait inattendues par rapport à l'objectif de Kyoto.

Faut-il rappeler qu'il s'agit, depuis 1997, de fixer des règles strictes applicables à la période 2008-2012 et que, trop de données montrent que les principaux acteurs s'éloignent dès à présent des normes qui permettent de respecter les objectifs du protocole ?

Que penser à cet égard, du choix récent de **l'Allemagne** de renoncer totalement à l'énergie nucléaire à l'avenir ? De celui des **États-Unis d'Amérique** de ne pas renouveler leurs centrales nucléaires au terme de la durée de vie de celles-ci ?

B. LES EXCLUS DU FAIT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Au delà des subtilités des négociations internationales ou des spéculations sur le caractère, bénéfique ou non, des permis d'émission négociables, certains pays vont se trouver exclus, davantage ou d'une nouvelle manière, d'abord en raison même des impacts des changements climatiques et aussi du fait des nouvelles règles du jeu qui en découleront probablement.

1. L'impact négatif des changements climatiques sur certains pays.

Qu'il s'agisse de l'élévation du niveau de la mer et de **la submersion** éventuelle de certains États îliens du Pacifique, d'une partie du Bangladesh, de **la désertification** accrue de pays d'Afrique, de la poussée démographique alliée à **la pénurie d'eau** au Maghreb et au Moyen-Orient, de **l'érosion des côtes** où sont implantées des mégapoles sous-équipées –sur la côte ouest de l'Afrique en particulier– des conséquences néfastes des **cyclones**, des **précipitations diluviennes** ou de tout autre **phénomène extrême**, devenu plus fréquent, **l'évolution du climat renforcera nombre d'exclusions**.

Face à des problèmes d'une telle ampleur à résoudre dans l'urgence, que pèseront les projets de «développement propre» destinés à permettre à ces pays, durement frappés, d'évoluer vers un mode de vie occidentalisé tout en adoptant un développement durable ?

Il est à craindre, comme l'a observé votre Rapporteur, dans ses déplacements en Israël et aux Pays-Bas, que l'intérêt porté aux impacts des changements climatiques viennent après d'autres priorités vitales, comme en Israël, ou que la possibilité d'éviter les conséquences climatiques les plus néfastes des dits changements ne soit étroitement liée à la capacité de faire preuve d'un niveau technique et d'investissement très élevé –comme celui nécessité par la surélévation des digues aux Pays-Bas.


*

Pourtant, diminuer très fortement et très rapidement les émissions de gaz à effet de serre apparaît bien comme **une légitime priorité internationale** car résultant d'un enjeu planétaire incontestable.

Mais, aucune autorité ne semble à même de faire valoir cette priorité, à moins qu'**une prise de conscience très large** intervienne dans l'opinion, auprès de très nombreux passagers du vaisseau spatial Terre.

2. La difficulté d'une prévision climatique régionale

Dans le contexte décrit ci-dessus, des prévisions climatiques régionales permettraient peut-être de mieux affronter les évolutions en cours.


Mais, selon M. Jean-François MINSTER  , il sera nécessaire **d'attendre encore quatre ou cinq années pour détenir des prévisions sur les effets régionaux des changements climatiques.**

Depuis vingt ans, les impacts des changements climatiques sur les deltas des fleuves, sur la fréquence des inondations, sur la pêche, sur les marais constituent des préoccupations de recherche. Mais ce n'est que depuis une dizaine d'années que les moyens techniques de traiter ces problèmes existent.

Toutefois, même encore mal estimés, il est certain que **les impacts régionaux des changements climatiques seront loin d'être négligeables puisque, par définition, certains d'entre eux dépasseront les effets moyens.**

IV. À QUELLES CONDITIONS ?

A quelles conditions la prise de conscience souhaitée ci-dessus pourrait-elle s'opérer ? Après quelques mois d'investigations, il est apparu à votre Rapporteur que la sensibilisation de l'opinion à la problématique des changements climatiques était encore plus urgente que la poursuite de telle recherche ou l'obtention des résultats de telle simulation.

La Conférence des Citoyens, organisée les 9 et 10 février 2002, est partie du même constat  ⁽¹⁾.

A. SENSIBILISATION DE L'OPINION

Au-delà des articles de presse, des émissions de télévision, des colloques multiples, des publications scientifiques, la sensibilisation de l'opinion sur le thème de la lutte contre l'intensification de l'effet de serre ne fait que commencer.

⁽¹⁾ Le texte intégral de la déclaration finale de cette Conférence des Citoyens figure sur le Cd-rom relatif aux changements climatiques joint au présent rapport.

Votre Rapporteur, encouragé dans ce projet par le Président de l'OPE CST, a souhaité la diffusion du présent rapport et du double Cd-rom qui y est associé d'une part, au plus grand nombre possible d'élus nationaux, régionaux, départementaux ou locaux et, d'autre part, à tous les élèves des lycées à travers la remise d'un exemplaire de ce triple document aux Centres de Documentation et d'Information (C.D.I.) de ces établissements.

En effet, ces documents peuvent constituer un bon complément à **l'enseignement des sciences de la vie et de la Terre (S.V.T.)**, obligatoire pour tous les élèves des collèges et des lycées. Dans ce cadre, le phénomène de l'effet de serre est enseigné et le développement durable décrit.

Cette action apparaît d'autant plus nécessaire que, depuis le milieu des années 1980, aucune action nationale d'information sur les économies d'énergie n'a été entreprise. Ce sont donc des classes d'âge entières qui ont manqué d'un éveil sur ce thème.

Les tranches les plus jeunes de la population n'ont pas été sensibilisées à l'impératif des économies d'énergie.

B. ÉDUCATION

Compte tenu des délais dans lesquels les changements climatiques vont probablement se manifester, ce sont plutôt **les jeunes âgées aujourd'hui de dix ans au maximum**, qui connaîtront la réalité des phénomènes aujourd'hui seulement envisagés. Mais ce sont les **lycéens actuels** qui auront à prendre des décisions collectives ou individuelles liées à cet avenir.

Ils vivront sur une planète ainsi modifiée et devront s'en accommoder, ils auront à décider de réactions face à ce nouvel état de leur environnement.


A cet égard, il est intéressant de noter qu'**en France, les programmes scolaires de seconde et de terminale** incluent aujourd'hui des parties traitant de l'atmosphère, de l'effet de serre, du développement durable et de l'environnement planétaire.

De plus, dans **l'enseignement supérieur**, il est envisagé de créer de nouveaux enseignements, voire de nouvelles formations correspondant davantage au caractère global des données à maîtriser par l'homme.

Des formations interdisciplinaires pourraient être organisées ainsi que **de meilleurs procédés de dialogue pluridisciplinaire**.

À une échelle plus modeste, votre Rapporteur a constaté, peu après le début de ses investigations sur les changements climatiques en 2100, qu'il



n'était pas normal de prendre une posture d'attente en espérant des scientifiques la réponse à toutes les questions, leur rôle consistant d'ailleurs davantage à bien formuler celles-ci. Il a estimé qu'il n'était pas davantage raisonnable de patienter jusqu'à l'entrée en vigueur des conventions internationales, même étendues à de nouveaux États ; en revanche, il lui est apparu indispensable de **mieux informer les jeunes générations sur l'état de la planète qui leur sera léguée.**


Déjà, des **brochures pratiques**, comme celle de RAC-France « *SOS Climat* »  indiquent **des gestes quotidiens, à la portée de chacun**, pour diminuer les émissions de gaz à effet de serre ; l'ADEME a pris des initiatives dans le même sens, notamment à travers la récente **campagne télévisuelle** incarnée par le comédien Fabrice LUCCHINI, opérant des rapprochements inattendus entre des éléments de la nature et des engagements des sociétés industrialisées dont les liens ne s'imposent pas de prime abord – comme celui entre l'ours polaire et l'ampoule électrique...

Le présent rapport devrait apporter sa contribution à cette éducation des citoyens du monde à effet de serre renforcé et suggérer aussi de nouveaux comportements quotidiens vécus.

C'est pourquoi, votre Rapporteur a imaginé, soutenu par les Présidents successifs de l'OPECST et les Bureaux de l'Assemblée nationale comme du Sénat, d'éditer le présent rapport sous forme de **Cd-rom diffusé, en particulier, aux Centres de Documentation et d'Information (CDI) des lycées de France** pour que la richesse des documents associés à ce rapport constitue une source d'information particulièrement attractive.

Elle pourrait, par exemple, servir de base aux **Travaux Personnels Encadrés (T.P.E.)** dont bénéficient, depuis l'an dernier, les classes de Première et de Terminale.

Des rapports de l'Académie des Sciences, du Sénat, du Conseil Economique et Social, de la Mission interministérielle de l'effet de serre (MIES), de l'ADEME, du GIEC, des articles parus dans la revue « Sécheresse » , **des séquences vidéo du CNES**  **figurent sur le Cd-rom publié parallèlement au rapport écrit.**

De plus, l'actuel ministre de l'environnement, **M. Yves COCHET**, a accepté d'emblée d'apporter sa pierre à l'édifice avec l'insertion dans le Cd-rom de son rapport sur l'efficacité énergétique .

Par ailleurs, en plus du Cd-rom sur les changements climatiques, **un autre Cd-rom**, associé au présent rapport **regroupe les 65 rapports de l'Office Parlementaire d'Evaluation des Choix Scientifiques et Technologiques, l'OPECST, parus de 1985 à 2001**, dont plusieurs traitent de

thèmes complémentaires à celui des changements climatiques et auxquels le présent rapport renvoie en tant que de besoin.

Il en est ainsi, par exemple, lorsqu'il est question du **véhicule électrique**, des **risques naturels**, des **déchets**, des **énergies renouvelables**...

Mettre en commun les efforts considérables d'auteurs d'horizons très différents à la poursuite du même but, à savoir la meilleure connaissance des causes et impacts des changements climatiques au cours du XXI^{ème} siècle, telle fut la contribution de votre Rapporteur en espérant s'adresser non seulement aux interlocuteurs habituels de l'OPECST mais aussi au plus grand nombre possible d'élus nationaux, régionaux, départementaux ou locaux, et à de plus jeunes lecteurs soucieux du monde qui sera le leur demain.

CONCLUSION

Le climat de la planète va probablement changer de manière assez sensible au cours du présent siècle. Et, ce, en grande partie **du fait des activités humaines**, des retombées de la civilisation actuelle. Cela va modifier la situation d'individus, de régions, de pays et même de continents.

Face à cela, **l'homme peut-il faire valoir un droit acquis au climat ?** Pourquoi pas. Mais ce sera face à lui-même, aux générations qui viennent de le précéder comme à la génération actuelle et, surtout, face aux générations futures.

Cependant, même si au niveau international, à celui de chaque État, entreprise ou individu, la volonté de conserver le climat actuel se manifestait de manière immédiate, unanime et irrévocable, **l'humanité devrait attendre plusieurs dizaines d'années pour constater l'arrêt de l'évolution en cours relative à la hausse de la température et plusieurs centaines d'années pour voir cesser l'élévation du niveau des mers.**

Sans cette volonté, suivie d'une action de très grande ampleur, les changements climatiques s'accéléraient. L'énoncé brutal de ce fait peut favoriser une prise de conscience qui nécessite **l'ouverture d'un vaste débat public au-delà du cercle des divers spécialistes.**

Par le présent rapport, assorti de rapports ou publications connexes essentiels à la connaissance des données de la question des changements climatiques, l'OPECST a souhaité, grâce à une diffusion de ces travaux au moyen d'un Cd-rom, élargir le cercle des personnes intéressées par ces questions et, surtout, **donner à chacun les moyens de s'informer directement afin de se forger une opinion personnelle.**

Cela devrait initier des modifications dans les comportements individuels et collectifs, de même que la prise en compte de nouvelles préoccupations dans les décisions publiques et privées.

Sans plus tarder mais sans alarmisme, l'homme a le devoir de se réapproprier la planète mais, désormais, en bannissant les abus que seule l'Antiquité associait au droit de propriété.

La Terre est non seulement le vaisseau spatial qui transporte l'humanité mais, bien plus, elle est le milieu sans lequel toute vie serait impossible. Grâce aux algues bleues, elle est devenue la planète vivante, du fait de l'homme...

Est-ce suffisant pour convaincre ?

RECOMMANDATIONS GÉNÉRALES ET PRÉCONISATIONS RELATIVES À LA VIE QUOTIDIENNE

Dans la mesure du possible, votre Rapporteur s'est efforcé d'assortir chaque série de **recommandations générales** – dont trente recommandations prioritaires figurant dans un encadré – de **préconisations concrètes relatives à la vie quotidienne** afin de recommander des modes d'action ou des gestes simples que chaque passager du vaisseau spatial Terre peut accomplir dans son propre intérêt et dans celui de ses descendants.

Agriculture, forêt, élevage

Agriculture

Prévoir

- | | |
|------|--|
| A. 1 | Instaurer un lieu de réflexion à long terme sur l'agriculture en Europe et sur le pourtour de la Méditerranée |
|------|--|
- | | |
|------|--|
| A. 2 | Promouvoir des systèmes de production (engrais, cultures, élevage) économes en énergie et en eau. Réguler l'usage de l'irrigation agricole en fonction de sa nécessité et de son efficacité |
|------|--|
- A. 3 Envisager la constitution et la gestion des **stocks alimentaires** à moyen terme de manière à faire face à des pénuries causées par des événements ou des changements climatiques de grande ampleur
- A. 4 Améliorer l'agriculture et la gestion de la forêt dans **d'autres parties du monde**

Connaître

- | | |
|------|--|
| A. 5 | Etablir des indicateurs de performance pour l'environnement |
|------|--|
- permettant notamment de comparer les impacts de l'intensification de l'effet de serre avec d'autres impacts environnementaux.
- A. 6 Evaluer l'enrichissement et l'appauvrissement des **sols** en matière organique
- A. 7 Mesurer et limiter les émissions de **méthane, d'oxyde nitreux...**
- A. 8 Former **des naturalistes**
- A. 9 Evaluer **l'impact des épandages** et obtenir **la traçabilité des boues d'épandage**

S'adapter aux changements climatiques

- A. 10** Approfondir la recherche agronomique sur le développement des **espèces moins consommatrices en eau** et plus adaptables
- A. 11** Etablir **une carte des gammes de potentialité des productions agricoles** selon les climats

Forêt

- A. 12** Poursuivre la politique actuelle de **gestion de la forêt française** en assurant sa cohérence sur le long terme, en fonction des changements climatiques
- A. 13** Vulgariser **les connaissances sur la forêt**

Elevage

- A. 14** Repenser les implantations, l'importance et la nature des **élevages**, région par région en fonction des nuisances occasionnées par ceux-ci (méthane, lisier, ...) après réalisation de bilans carbone

Aménagement du territoire et biodiversité

Vouloir

- A.T. 1** Eriger en priorité l'élaboration d'**une politique européenne d'aménagement du territoire** prenant en compte les impacts éventuels des changements climatiques sur :
- les sociétés humaines
 - la biodiversité
- dans le respect des espaces protégés.
- En conséquence, repenser **le Plan** et **la DATAR** dans le contexte européen

Agir

- A.T. 2** Adopter **une défense souple contre l'élévation du niveau de la mer et les crues des cours d'eau** dans l'intérêt :
- des sociétés humaines
 - de la biodiversité
- en accordant une attention particulière aux zones humides, dans le respect des zonages et des réglementations
- A.T. 3** Proposer l'élaboration dans toute l'Europe d'**une carte des actuelles et futures zones à risques naturels**, en assurer la diffusion et réexaminer le coût d'un respect des normes par rapport à celui du risque à éviter pour les constructions ayant bénéficié d'**implantations dérogatoires** par rapport aux zones inondables passées ou actuelles
- A.T. 4** Repenser en agriculture et en élevage le degré de **spécialisation des régions**

Biodiversité

- B. 1** Elaborer **une politique de la biodiversité** comprenant :
- . **la préservation des zones humides**
 - . le développement dans les **programmes scolaires** de la **sensibilisation à la biodiversité**
 - . la création d'un **réseau d'observatoires de la biodiversité** : par exemple, sur les montagnes pour le suivi des espèces
 - . l'élaboration d'un **inventaire des richesses des territoires en biodiversité**

Eau

E. 1	<p>Progresser vers une coopération totale entre Etats sur l'eau à travers :</p> <ul style="list-style-type: none">. le choix de faire de l'Europe la championne de la politique de l'eau. les effets contraignants donnés à la Charte européenne de l'eau de 1994. la mise en place de coopérations régionales au lieu de coopérations bilatérales sur l'eau
-------------	--

E. 2 Surveiller toutes **les pollutions de l'eau** : par les nitrates, les pesticides, les composés organiques, les métaux lourds...

E. 3 Prévoir **les déficits en eau** par bassin hydrologique et :

- . Rationaliser les **usages excessifs de l'eau** (gaspillages en irrigation...)
- . Améliorer **le stockage de l'eau**
- . Promouvoir les techniques d'**enrichissement et d'optimisation des nappes phréatiques** (lagunage...)
- . Développer les techniques de **réutilisation de l'eau**
- . Evaluer l'intérêt de la création d'**un double réseau d'eau** dans les zones à urbaniser ou à rénover

E. 4 Améliorer les techniques de **déssalement de l'eau de mer**

... et, **dans la vie quotidienne**, chacun peut **économiser l'eau** en choisissant de :

V.Q. 1 **Récupérer les eaux pluviales** pour de multiples usages domestiques (arrosage du jardin, lavage de la voiture, alimentation des toilettes...)

V.Q. 2 Prendre des **douches** plutôt que des bains

- V.Q. 3 Privilégier l'installation de **robinets d'eau à arrêt automatique**
- V.Q. 4 Déceler puis **supprimer les fuites d'eau**
- V.Q. 5 Choisir **lave-linge et lave-vaisselle** en fonction de leurs performances en **économie d'eau**
- V.Q. 6 Equiper les toilettes d'**un réservoir à double capacité**

Economie

Eco. 1	Etablir de nouveaux indicateurs de bien être à long terme différents de l'addition des taux de croissance annuels (prise en compte de critères environnementaux, du caractère durable de la croissance...)
--------	---

Eco. 2 Disposer d'un bilan actualisé en permanence des **ressources naturelles non renouvelables** (comprenant les espèces et les écosystèmes) au regard de l'état des technologies

Energie

E. 1	Enseigner et promouvoir les économies d'énergie et l'efficacité énergétique :
------	---

. Réserver, par exemple, **la climatisation** des immeubles comme des véhicules aux seuls besoins impérieux

E. 2	Etudier sans passion la chaîne technologique de l'énergie nucléaire et conduire des campagnes d'information afin de tendre vers un consensus national et international de reconnaissance de la situation exceptionnelle de la France par rapport à la production d'énergie
------	---

E. 3	Développer toutes les formes d' énergies renouvelables (éolien, photovoltaïque, biomasse, dont les biocarburants) selon leur coût et leur respect de l'environnement, améliorer leur efficacité économique et, par exemple :
-------------	---

- . Accroître la part de la **mini-hydraulique** dans la production d'électricité
- . Améliorer les performances des **grands barrages**

E. 4 Développer la **cogénération**

E. 5 Accélérer les recherches sur la **pile à combustible**

E. 6 Mener à bien **un plan d'action bois-énergie**

E. 7 Réaliser des **bilans d'émission de gaz à effet de serre** dans les entreprises publiques et privées, dans les administrations, dans les collectivités territoriales

... et, **dans la vie quotidienne**, chacun peut **économiser l'énergie** en choisissant de :

V.Q. 7 Acquérir des **appareils ménagers** en fonction de leur **performance énergétique**

V.Q. 8 Utiliser ses équipements ménagers en **mode « économique »**

V.Q. 9 **Eteindre la lumière** en quittant une pièce

V.Q. 10 **Eteindre plutôt que de laisser en veille les appareils électriques** (télévisions, ordinateurs...)

V.Q. 11 Prendre l'habitude de **lire les thermomètres** et de régler en conséquence les appareils consommant de l'énergie

Fiscalité

- F. 1** Instaurer **un taux réduit de T.V.A.** pour les produits ou services permettant de lutter contre l'intensification de l'effet de serre et améliorer la politique **d'aide aux investissements** permettant des économies d'énergie.

Institutions

- I. 1** Intégrer **la connaissance scientifique** aux lieux de décisions politiques
- I. 2** Lancer une réflexion sur la prise en compte des **intérêts des générations futures** dans les instances politiques
- I. 3** Favoriser la traduction des impératifs du **développement durable** dans toutes les grandes décisions engageant l'avenir
- I. 4** Réfléchir à la possibilité d'**une véritable organisation mondiale de l'environnement**

Recherche

- | | |
|-------------|---|
| R. 1 | Donner des garanties de durée aux programmes de recherche liés aux climats ou aux ressources énergétiques... Adapter les moyens à cette durée (ex : des techniciens pour alimenter en données les modèles créés) |
|-------------|---|

- | | |
|-------------|--|
| R. 2 | Développer les connexions entre les recherches climatiques et les recherches politiques, sociologiques, économiques, démographiques... influant sur les données indispensables aux recherches climatiques |
|-------------|--|

- R. 3** Etendre la **coordination** entre tous les centres de recherche travaillant sur les changements climatiques (en France, en Europe et dans le monde) à **l'accès partagé aux calculateurs**, à tous les moyens de recherche, aux données, aux réseaux

- R. 4** Accroître la représentation de la France et de l'Europe au sein du **G.I.E.C.** et reconnaître aux **chercheurs**, qui participent à ce type de travaux ou à des négociations internationales, la possibilité d'en attendre un impact positif sur leur carrière
- R. 5** Maintenir dans la durée la **programmation de la recherche** en France et en Europe
- R. 6** Poursuivre la réforme des techniques d'**appels d'offres européens** pour éviter à la fois l'émiettement et l'absence de suivi des études
- R. 7** Favoriser la mise en place d'une très bonne **veille technologique** compte tenu de la rapidité des changements techniques. Exemple : le véhicule tout électrique considéré comme une solution il y a seulement quelques années apparaît aujourd'hui comme une solution en partie dépassée
- R. 8** **Intensifier les recherches sur :**

La climatologie

⇒ l'**océan**,

⇒ la récapitulation des **connaissances acquises**,

⇒ les systèmes d'**observation**,

⇒ la microphysique des **nuages**,

⇒ le **stockage du carbone** dans le sol (terres agricoles, prairies...),

⇒ l'**enfouissement du CO₂**,

⇒ les **liens** entre changement de temps et variation des **précipitations**,

L'eau

⇒ la **valeur économique de l'eau** et les choix rationnels liés à l'utilisation de celles-ci,

⇒ la **désertification**

- ⇒ les possibilités de **stockage des nouvelles ressources en eau** liées à la modification prévisible de la pluviométrie,
- ⇒ **le droit international de l'eau**, sous l'impulsion de l'Union européenne,
- ⇒ **les espèces agricoles** (notamment leur consommation d'eau)

La forêt

- ⇒ le suivi de **la déforestation** et les moyens de l'enrayer,
- ⇒ **la forêt tropicale**,
- ⇒ les modifications intervenant dans **le milieu forestier** (air et sol des forêts, répartition des essences, évolution des populations d'insectes et de champignons),
- ⇒ **les modèles de végétation et d'hydrologie** à perfectionner

La santé

- ⇒ **la vaccination** contre les maladies à vecteurs (paludisme...)

Les risques

- ⇒ **la cartographie des risques** (programmes d'Etat à favoriser)

Relations internationales

Négociations internationales

R.I. 1	Former des équipes pluridisciplinaires de négociateurs en France et en Europe à même d'être en relation permanente – au niveau optimal au cours des négociations – avec les scientifiques et tous les spécialistes concernés.
---------------	---

A cette fin :

. Développer des **formations supérieures** initiales et continues **aux techniques juridiques de négociation des accords internationaux**, et en faire bénéficier tous les participants à des négociations internationales.

. Associer systématiquement **des équipes de forestiers, d'agronomes et d'océanologues français** aux négociations internationales relatives au climat et aux travaux du GIEC.

R.I. 2 Adapter les techniques des négociations internationales au **monde actuel**

Commerce international

R.I. 3 Favoriser l'**exportation des technologies françaises**

Santé

Veille sanitaire

S. 1	Développer des réseaux de veille sanitaire : . Développer l'étude des relations entre climat et santé dans les DOM-TOM
-------------	---

S. 2	Multiplier les relevés de mesures relatives aux diverses pollutions (air, eau, acariens) à l'extérieur comme à l'intérieur des locaux abritant la vie et l'activité humaines et notamment : . Mesurer les polluants dans les rues afin d'analyser la composition du mélange ambiant respiré . Poser des hygromètres dans les locaux
-------------	--

S. 3	Elaborer et publier des bulletins médico-météorologiques
-------------	---

- S. 4** Distinguer entre **les notions de risques et de seuils** pour identifier l'émergence des problèmes de **santé publique**
- S. 5** **Croiser les études sur la santé de l'homme** avec celles effectuées par les vétérinaires sur la santé des animaux
- S. 6** Former des **entomologistes médicaux**
- S. 7** Elargir le **réseau de l'OMS** dans le monde

... et, **dans la vie quotidienne**, chacun peut favoriser **un meilleur état de santé** de tous en choisissant de :

- V.Q. 12** **Se déplacer de préférence à pied, à bicyclette**
- V.Q. 13** **Couper le moteur de son véhicule à l'arrêt**
- V.Q. 14** **Adapter la température des locaux** à leur usage et à leur durée d'utilisation
- V.Q. 15** **Aérer** régulièrement les pièces les plus humides de son habitation
- V.Q. 16** **Consommer** de préférence les aliments dont la production améliore le bilan carbone ou la non production de gaz à effet de serre, donc **davantage de végétaux et de céréales**
- V.Q. 17** **S'hydrater** quand il fait chaud, surtout pour les personnes âgées

Sécurité civile

- S.C. 1** **Former, informer, entraîner** à tous les aspects de sécurité civile liés aux accidents météorologiques
- Organiser des **exercices de simulation** aux échelons locaux, régionaux et nationaux -comme le fait le Japon- **face à des difficultés nées de risques naturels** (inondations, pollutions diverses, épidémies, incendies, mouvements sismiques, tempêtes...)

Sensibilisation de l'opinion

=== Aspect prioritaire ===

Forums

S.O. 1	Lancer en France un grand débat national sur le changement climatique s'inspirant de ce qui a été fait en Allemagne et en Belgique
S.O. 2	Organiser des lieux de dialogues contradictoires interculturels sur les changements climatiques
S.O. 3	Communiquer sur les progrès accomplis dans la réduction des émissions de gaz à effet de serre par rapport aux objectifs annoncés

Medias

S.O. 4 Utiliser tous les médias pour former et informer sur les changements climatiques :

- Introduire dans **les programmes scolaires** :
 - l'apprentissage des gestes et comportements quotidiens propres à **économiser toutes les formes d'énergie** ;
 - la compréhension de **la complexité du milieu de vie**
- Favoriser le développement de **l'Institut des Hautes Etudes de l'Environnement** en y intégrant les préoccupations climatiques
- Créer **un site Internet universitaire interdisciplinaire sur les changements climatiques** dont la mise à jour permanente serait assurée par des étudiants de 3^{ème} cycle
- Produire **des émissions de télévision pédagogiques** sur l'intensification de l'effet de serre et les changements climatiques
- **Réaliser un Cd-rom** regroupant le rapport de l'OPECST sur les changements climatiques en 2100 et nombre de rapports et documents de référence sur ce thème

- **Diffuser ce Cd-rom** à tous les lycées de France, aux collectivités territoriales, aux conseillers scientifiques des Ambassades de France dans le monde. Eventuellement, le traduire en anglais.
- Produire **une série audiovisuelle de fiction** afin de sensibiliser le grand public à la diversité et au rythme des retombées des changements climatiques

... et, **dans la vie quotidienne**, chacun peut :

V.Q. 18 **Diffuser les propositions et recommandations du présent rapport** dans ses sphères directes d'influence

Transports

Aérien

T. 1	Maîtriser la croissance des transports aériens (favoriser le télétravail, la téléconférence, les liaisons ferroviaires...) et donc : • Soumettre le transport aérien aux mêmes règles fiscales que les autres modes de transports en France, en Europe et dans le monde.
-------------	---

Ferroviaire

T. 2	Accorder la priorité aux investissements destinés au rail par rapport à ceux destinés à la route (inversion de la tendance actuelle)
-------------	---

et, pour cela :

- Evaluer le rapport coût-efficacité de la construction d'**un réseau ferroviaire européen dédié au fret**
- Améliorer toutes les **liaisons intermodales**
- Développer le transport **rail-route**
- Moderniser le parc de **locomotives diesel**
- Installer des escaliers roulants pour accéder aux **moyens de transport en commun** (vieillesse de la population)

Fluvial et maritime

T. 3	Favoriser le transport fluvial , et, pour cela : - Réaliser le canal Seine-Nord - Réaliser le canal Saône-Moselle
T. 4	Réaliser l'intermodalité dans les ports

Routier

T. 5	Cesser de favoriser le transport routier de marchandises (choix d'investissements, prise en compte des coûts réels pour la collectivité...)
-------------	--

Véhicules automobiles

T. 6	Limiter dès leur construction la vitesse maximale des véhicules automobiles
T. 7	Favoriser la multiplication des véhicules à boîte de vitesse automatique (conduite économique et apaisée)
T. 8	Enseigner une conduite économique des véhicules (gain de carburant de 15 %)
T. 9	Réglementer les pollutions (air et son) et la vitesse des véhicules à moteur à deux roues
T. 10	Faire du développement des transports en commun une vraie priorité

... et, **dans la vie quotidienne** , chacun peut :

choix du mode de transport

- V.Q. 19 **Ne prendre l'avion qu'à bon escient**
- V.Q. 20 **Voyager en train, tramway, métro, plutôt qu'en automobile ou en avion**

économies

- V.Q. 21 **Consommer les produits transportés sur les plus courtes distances**
- V.Q. 22 **Privilégier l'achat de produits de saison**

automobiles

- V.Q. 23 **Renoncer à se déplacer en automobile :**
- sur des **trajets encombrés**
 - de **petits trajets**
- V.Q. 24 **Acquérir de préférence un véhicule hybride plutôt qu'un véhicule essence ou diesel**
- V.Q. 25 **Adapter l'achat de son véhicule à ses besoins réels – pourquoi circuler dans un puissant 4x4 tout terrain sur du bitume pour atteindre 20 km/h dans un embouteillage ?**
- V.Q. 26 **Entretenir régulièrement son véhicule**
- V.Q. 27 **Respecter les limitations de vitesse**
- V.Q. 28 **Adopter un mode de conduite apaisé et donc économique –jusqu'à 40 % d'économie de carburant**

Urbanisme et habitat

U. 1	Définir et respecter des zones foncières à long terme en fonction des plans de prévention des risques prévisibles, à moyen et long terme
------	---

U. 2 Modifier **la fiscalité** applicable aux transactions immobilières pour inciter au rapprochement de l'habitat des lieux de travail

U. 3 Favoriser **le télétravail**

U. 4 Mener à bien **un plan d'action bois-matériau**

U. 5 Installer de préférence des **ascenseurs à contrepoids**

U. 6 Lancer une campagne nationale sur l'intérêt des **lampes à basse consommation**

U. 7 Prévoir des **interrupteurs** sur tous les appareils domestiques

U. 8 **Respecter les réglementations** applicables aux immeubles publics ou privés

... et, **dans la vie quotidienne**, chacun peut :

V.Q. 29 Préférer faire construire **un bâtiment intégré au climat** de son lieu d'implantation

V.Q. 30 Utiliser des **énergies renouvelables** pour son habitat

V.Q. 31 Veiller à **une bonne isolation** des murs, – à l'extérieur comme à l'intérieur – du circuit d'eau chaude et à la qualité des vitrages

- V.Q. 32** Privilégier **l'éclairage naturel** lors d'une construction ou d'une rénovation
- V.Q. 33** S'équiper de **lampes fluocompactes** plutôt que d'ampoules à filament

EXAMEN DU RAPPORT PAR L'OFFICE

Au cours de la réunion de l'Office tenue le mercredi 30 janvier 2002, **M. Marcel DENEUX, sénateur, rapporteur de l'étude sur « l'ampleur des changements climatiques, de leurs causes et de leur impact prévisible sur la géographie de la France à l'horizon 2025, 2050 et 2100 »**, a présenté son rapport aux membres de l'Office et leur a proposé **l'adoption de recommandations générales, dont une trentaine de recommandations prioritaires, ainsi que de préconisations relatives à la vie quotidienne.**

A la suite de cette présentation générale, **M. Henri REVOL, sénateur, premier vice-président**, s'est demandé s'il existait un consensus des milieux scientifiques sur **le rôle de l'homme dans le réchauffement climatique** et si ce réchauffement ne s'inscrivait pas plutôt dans un cycle naturel d'évolution du climat.

M. Marcel DENEUX, sénateur, rapporteur, a confirmé que le Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat, le GIEC (ou IPCC, en anglais) qui mène des travaux sur ce thème depuis 1988, venait de remettre à l'automne 2001 son troisième rapport et avait maintenant désigné sans ambiguïté l'homme comme responsable de l'intensification de l'effet de serre.

Il a ajouté que ce réchauffement, d'origine anthropique, s'inscrivait dans un cycle général de refroidissement qui devrait culminer dans 70 000 ans.

A une question de **M. Serge POIGNANT, député**, sur **l'impact de l'élévation du niveau de la mer sur les côtes françaises** (trait de côte, érosion des falaises...), notamment à la suite de publications de cartes dans divers organes de presse, le rapporteur a précisé que nombre des cartes publiées indiquaient des rythmes et des niveaux d'élévation de la mer peu vraisemblables et, généralement, très exagérés. En effet, les experts du GIEC évoquent, au cours du XXI^e siècle, une hausse oscillant entre 45 et 95 cm en moyenne et non plusieurs mètres.

Dans une seconde réponse à **M. Serge POIGNANT**, sur **les dérèglements climatiques entraînant les cyclones**, le rapporteur a précisé que le réchauffement climatique était susceptible de modifier les rythmes des pluies, leur abondance et leur localisation. De plus, sans pouvoir établir de lien direct entre réchauffement et multiplication des phénomènes extrêmes, il a estimé qu'il serait avisé de prévoir des mesures de protection civile nouvelles face aux événements extrêmes.

M. Henri REVOL, sénateur, premier vice-président, a rappelé que bien des **phénomènes climatiques extrêmes** étaient qualifiés de « jamais vu », de « sans précédent », souvent parce qu'ils excédaient la capacité de mémorisation d'une génération et, que, même un événement marquant survenu il y a quatre-vingt-dix ans, pouvait être oublié, comme les deux tempêtes de décembre 1999 l'ont montré en maintes régions.

M. Marcel DENEUX, sénateur, rapporteur, a rappelé que le climat de la terre était variable, par définition, mais que les inquiétudes actuelles portaient sur la rapidité du rythme de l'évolution en cours causée par les agissements de l'homme, la portée planétaire du problème incitant à créer une Agence mondiale de l'Environnement.

Après avoir félicité le rapporteur pour la grande qualité de son étude, **M. Gérard MIQUEL, sénateur**, a tenu à rappeler l'atout que **le nucléaire** représente pour la France et, par ailleurs, les difficultés qui ne manqueraient pas de survenir pour installer **des éoliennes** en grand nombre.

Le rapporteur a précisé à ce sujet que même un programme ambitieux en faveur des énergies renouvelables ne permettrait pas de fournir plus de 15 % des besoins en énergie du pays.

M. Serge POIGNANT, député, et M. Henri REVOL, sénateur, premier vice-président, ont joint leurs félicitations à celles exprimées par leur collègue, et **M. Henri REVOL** a rappelé à quel point ce rapport était attendu en espérant que le nouveau mode de diffusion choisi, le **Cd-rom**, permette de toucher un public aussi large que possible, objectif auquel il attachait le plus grand prix.

Les recommandations du rapport de M. Marcel DENEUX, sénateur, ont alors été adoptées à l'unanimité.

LISTE DES ANNEXES

I – ANNEXES GÉNÉRALES

	<u>Pages</u>
1 – Saisines	251
2 – Liste des personnes auditionnées	255
3 – Rapports connexes figurant dans le cd-rom n° 1 sur les changements climatiques	263
4 – Liste des colloques	265

II – ANNEXES DE LECTURE DU RAPPORT

5 - Chronologie de l'évolution des connaissances sur les changements climatiques	267
6 – Engagement de l'Union européenne et de ses Etats-membres relatif à la réduction des émissions de gaz à effet de serre	269
7 – Glossaire	271
8 – Symboles chimiques	275
9 – Sigles	277
10 – Bibliographie	279
11 – Sites Internet	291

ANNEXE 1 – SAISINES

ANNEXE 2 - LISTE DES PERSONNES AUDITIONNEES

	<u>Pages du tome II</u>
• Académie des Sciences	11
- Professeur Maurice TUBIANA	
- M. Bernard TISSOT	
• Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME)	17
- M. Pierre RADANNE	
- M. Jacques LABEYRIE	
• Airlines European Association (AEA)	23
- Mme Thi Mai LE	
• AIRPARIF	27
- M. Michel ELBEL	
- M. Philippe LAMELOISE	
• Assemblée Permanente des Chambres d'Agriculture (APCA)	33
- M. Guy VASSEUR	
- M. Jean-Noël TERRIBLE	
- M. Jacques PIOR	
• BNP PARIBAS	37
- M. Denis AUTIER	
- M. Emmanuel DEBOAISNE	
• Bureau de Recherches Géologiques et Minières (B.R.G.M.)	41
- M. Yves CARISTAN	
• Caisse Centrale de Réassurance (C.C.R.)	45
- M. Thierry MASQUELIER	

- **CEA – CNRS** **49**
Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement
- M. Laurent TURPIN
- **CEMAGREF – Institut de recherche pour l'ingénierie
de l'agriculture et de l'environnement** **55**
- M. Pierrick GIVONE
- M. Jean-Louis VERREL
- **Centre d'Etudes sur les Réseaux, les Transports,
l'Urbanisme et les constructions publiques (CERTU)** **59**
- M. Jean-Pierre ROTHEVAL
- **Centre National d'Etudes Spatiales (CNES)** **63**
- M. Jacques ARNOULD
- **Centre National d'Etudes Spatiales (CNES)** **67**
- Mme Anny CAZENAVE
- **Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS)** **69**
Laboratoire Climat et Santé – Faculté de Médecine de Dijon
- Professeur Jean-Pierre BESANCENOT
- **Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS)** **75**
Laboratoire de Météorologie Dynamique à l'Ecole Polytechnique
- M. Robert KANDEL
- **Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS)** **79**
- M. Jean-François MINSTER
- **Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS)** **85**
- Mme Sylvie JOUSSAUME
- **Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS)** **91**
- M. Gérard MEGIE

- **Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS)** **97**
Laboratoire de Géographie physique
- M. Paolo Antonio PIRAZZOLI
- **Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS)** **101**
Laboratoire de Géographie physique
- Docteur Christine ROMANA
- **Commission européenne** **105**
Direction générale des relations extérieures
- M. René LERAY
- **Conservatoire National des Arts et Métiers (CNAM)** **109**
- Professeur Jean LUCAS
- **DATAR** **115**
- M. Jean-Louis GUIGOU
- **M. Robert DELMAS** **119**
- **Electricité de France (EDF)** **123**
- M. Bernard MECLOT
- M. Jean-Yves CANEIL
- **Energies renouvelables (Syndicat)** **127**
- M. Erik GUIGNARD
- **Fédération des entreprises de Transports
et Logistique de France (TLF) et SNCF** **299**
- M. Alexis BORDET
- M. Francis ROL-TANGUY
- **Fédération Nationale des Syndicats d'Exploitants Agricoles (FNSEA)** **131**
- M. Jean SALMON

- **Groupe Intergouvernemental d'experts
sur l'Evolution des Climats (GIEC)** 133
 - M. Michel PETIT
- **Institut Français de l'Environnement (IFEN)** 135
 - Conservatoire du Littoral
 - M. Jean-François LETOURNEUX
- **Institut Français de l'Environnement (IFEN)** 139
 - M. Bernard MOREL
- **Institut Français du Pétrole (IFP)** 141
 - M. André DOUAUD
- **Institut Français de Recherche
pour l'Exploitation de la Mer (IFREMER)** 147
 - M. Jean-François MINSTER
- **INESTENE - Institut d'Evaluation
des Stratégies sur l'Energie et l'Environnement en Europe** 151
 - M. Antoine BONDUELLE
- **Institut National d'Agronomie de Paris-Grignon (INA P-G)** 155
 - M. Alain PERRIER
- **Institut National de la Recherche Agronomique (INRA)** 161
 - M. Ghislain GOSSE
- **Institut National de la Recherche Agronomique (INRA)** 163
 - M. Bertrand HERVIEU
 - M. Jean BOIFFIN
 - M. Pierre STENGEL
 - M. Ghislain GOSSE
 - M. Bernard SEGUIN

• Institut Pasteur	167
- Professeur François RODHAIN	
• Institut Pierre Simon Laplace (I.P.S.L.)	173
- M. Hervé LE TREUT	
• Institut de Recherche pour le Développement (IRD)	179
- M. Jacques MERLE	
- M. Rémy LOUAT	
• M. Jean-Marc JANCOVICI , Ingénieur consultant (MANICORE)	185
• Mme Corinne LEPAGE , Ancien ministre de l'environnement	193
• Météo France	199
- M. Daniel CARIOLLE	
• Mission Interministérielle de l'Effet de Serre (M.I.E.S.)	203
- M. Michel MOUSEL	
- M. Marc GILLET	
• Ministère de l'Agriculture , Direction de l'espace rural et de la forêt	207
- M. Christian BARTHOD	
• Ministère de l'Agriculture , Direction de l'espace rural et de la forêt	213
- M. Guy LANDMANN	
• Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement ,	217
- M. Yves COCHET	
• Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement , Direction de l'Eau	221
- M. Noël GODARD	
• Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, GICC	227
- M. Jean-Claude ANDRÉ	

• Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement	235
- M. Benoît LESAFFRE	
- M. Jean-Marc SALMON	
- M. Maurice MULLER	
• Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement, Direction des Affaires Économiques et Internationales	241
- M. Thierry VEXIAU	
• M. Patrice MIRAN	247
• Muséum national d'histoire naturelle	251
- M. Denis COUVET	
• Office National des Forêts (O.N.F.)	255
- M. Bernard GOURY	
- M. Cyril LOISEL	
• Palais de la Découverte	261
- M. Jean AUDOUZE	
• Ponts et Chaussées – Conseil général	265
- M. Jean-Pierre GIBLIN	
• PSA-Peugeot Citroën	269
- M. Bruno COSTES	
- M. Hervé PICHON	
• Le Quotidien du Médecin – Prix Epidaure	275
- Mme Florence MEHL	
• Réseau Action-Climat France (RAC France)	277
- M. Philippe QUIRION	
- Melle Raphaëlle GAUTHIER	
• M. Philippe ROQUEPLO	283

• Sécurité routière	289
- M. Yves ROBICHON	
- M. Bernard GAUVIN	
• SNCF et Fédération des entreprises de Transports et Logistique de France (TLF)	293
- M. Francis ROL-TANGUY	
- M. Alexis BORDET	
• Université Pierre et Marie Curie (Paris VI)	299
- M. le Professeur Pierre ROGNON	
• M. Paul VERGÈS, Sénateur	309
• Vivendi Environnement	313
- M. Jean-Pierre TARDIEU	
- M. Michel DUTANG	
- Mme Marie-Thérèse SUART-FIORAVANTE	
• Voies Navigables de France (VNF)	317
- M. François BORDRY	
• WWF – Fonds Mondial pour la Nature	321
- M. Jean-Stéphane DEVISSE	

ANNEXE 3 - RAPPORTS CONNEXES FIGURANT DANS LE CD-ROM N° 1 SUR LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Académie des Sciences

« *L'effet de serre* »

(rapport n° 31 – novembre 1994)

« *Impact de la flotte aérienne sur l'environnement atmosphérique et le climat* »

(rapport n° 40 – décembre 1997)

« *Pollution atmosphérique due aux transports et santé publique* »

(rapport commun n° 12 – octobre 1999)

« *Conséquences scientifiques, juridiques et économiques du Protocole de Kyoto* »

(rapport n° 45 – novembre 2000)

Conférence des citoyens

« *Texte de la déclaration finale* » de la Conférence des citoyens organisée les 9 et 10 février 2002 à la Cité des Sciences

Conseil Economique et Social

« *Le suivi de l'effet de serre* »

Avis présenté par M. Jean GONNARD, rapporteur et Mme Frédérique RASTOLL, rapporteur pour avis (octobre 2000)

G.I.E.C.

« *Résumé pour les décideurs* » (extrait du rapport publié en octobre 2001)

Mission interministérielle de l'effet de serre

« *Memento des décideurs* » (1999)

« *Impacts potentiels du changement climatique en France au XXIème siècle* » (2000)

« *Programme national de lutte contre le changement climatique* » (2000)

« *Le changement climatique et les espaces côtiers* » (2001)

« *Troisième communication nationale à la Convention cadre des Nations Unies sur les changements climatiques* » (2001)

RAC-France (Réseau Action Climat France)

« *Effet de serre et dérèglements climatiques. Risques et actions citoyennes* » SOS Climat (2000)

Revue « Sécheresse » et articles sur la désertification

Secrétariat d'Etat à l'Industrie

Note de synthèse sur le « *Télétravail* » par M. Jean-Marc JANCOVICI (MANICORE) (2001)
(Etude commandée par le Ministère des Finances)

Sénat

« *Maîtriser les émissions de gaz à effet de serre : quels instruments économiques ?* » par M. Serge LEPELTIER, Sénateur (n° 346 – mai 1999)

ANNEXE 4 - LISTE DES COLLOQUES ET CONFÉRENCES LIÉS AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES AUXQUELS LE RAPPORTEUR A ASSISTÉ

JANVIER 1999

Mercredi 6 *Conférence-débat : Les négociations de Buenos Aires : Quels résultats pour le changement climatique ?*

Jeudi 21 *21^{ème} forum d'Iéna du Conseil Economique et Social : Les enjeux du marché international de l'eau*

OCTOBRE 1999

Jeudi 14 *2^{èmes} rencontres parlementaires sur l'énergie : « politique énergétique : les enjeux d'une vision globale » (Assemblée nationale)*

NOVEMBRE 1999

Jeudi 18 *Exposition « Espace et océan » au Palais de la Découverte*

AVRIL 2000

Lundi 3 *Colloque européen « Aménagement et développement durable du territoire » (Ministère de l'aménagement du territoire, Commission européenne, DATAR).*

Mardi 4 *Conférence de presse de M. Paul VERGÈS, Sénateur, sur la création d'un observatoire national sur les effets du réchauffement climatique*

MAI 2000

Mardi 2 *Colloque « Énergie et environnement au XXI^{ème} siècle : besoins, enjeux, solutions ? » (ADAPES)*

Mercredi 3 *Suite du Colloque « Énergie et environnement »*

Jeudi 11 *Conférence de presse du Sénateur Aymeri de MONTESQUIOU sur « la situation et les perspectives de l'énergie nucléaire en Europe »*

Lundi 15 *Colloque « Transport aérien et développement durable » (Assemblée nationale)*

Lundi 29 *Colloque « Energie et développement durable : la place des énergies renouvelables » organisé par le Syndicat des énergies renouvelables*

JUIN 2000

Jeudi 15 *Colloque « Environnement : expertise, science et société » organisé par le CNRS, l'ADEME, l'ANVIE*

OCTOBRE 2000

Jeudi 12 *Colloque « La réforme de la loi sur l'eau : enjeux environnementaux et financiers », organisé par le Sénat*

Mardi 18 *Réunion-débat « Contrôler l'effet de serre : l'enjeu de politique publique internationale » organisée par le Centre d'études prospectives et d'informations internationales (CEPII)*

NOVEMBRE 2000

Mardi 7 *Colloque « Politique énergétique et lutte contre les changements climatiques » organisé par nouvelle UDF*

MAI 2001

Lundi 21 *Rencontre nationale de la recherche scientifique sur l'effet de serre « Contributions françaises et perspectives d'action » organisée par le Ministère de la Recherche*

JUIN 2001

Mardi 12 *Colloque « Energies renouvelables et aménagement du territoire » organisé par le Syndicat des énergies renouvelables*

Mardi 19 et
Mercredi 20 *Museum national d'histoire naturelle : « 1^{er} bilan annuel du programme national de lutte contre le changement climatique »*

Mardi 26 *Réunion « Transports de voyageurs et réduction des gaz à effet de serre » organisée par l'Institut Montaigne*

ANNEXE 5 - CHRONOLOGIE DE L'ÉVOLUTION DES CONNAISSANCES SUR LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Début du XVII^{ème} siècle : invention du **thermomètre** par le Hollandais Van DREBBEL

1735 : description de la **circulation atmosphérique** par l'Anglais George HADLEY

1837 : naissance de la **paléoclimatologie** lorsque le Suisse Louis AGASSIZ émet l'hypothèse d'un âge glaciaire ayant précédé de peu notre époque.

1842 : un mathématicien français, Joseph-Alphonse ADHEMAR émet l'hypothèse que l'**âge glaciaire** était lié aux variations d'ensoleillement de la Terre.

1873 : réseau mondial de mesures météorologiques

Vers **1880** : un géographe allemand, Albrecht PENCK suppose que **quatre âges glaciaires** ont existé.

Vers **1890** : Svante ARRHENIUS énonce la théorie de l'**effet de serre** accru par les combustions d'énergie fossile.

Vers **1930** : Milutin MILANKOVITCH, mathématicien serbe, calcule les **variations d'ensoleillement de la Terre** au cours des derniers 600.000 ans.

Années **1950** : la corrélation entre les **âges glaciaires** observés en Amérique du Nord et en Europe est établie.

1955 : l'Américain, Cesare EMILIANI réalise les premières **analyses isotopiques des sédiments marins**. La proportion d'atomes d'oxygène de masse atomique (¹⁸C) par rapport à ceux de masse atomique (¹⁶C) dans le calcaire des coquilles fossiles permet de connaître les périodes de glaciation – la proportion d'isotopes lourds augmente au cours de celles-ci.

Après **1958** : débutent les **mesures de concentration de CO₂** dans l'atmosphère sur le mont Mauna Loa (Hawaï).

1979 : un rapport de l'Académie des sciences américaine évoque l'élévation de 2° à 3°C de la température globale de la Terre vers 2050, du fait de l'augmentation de la teneur de l'atmosphère en **gaz à effet de serre**.

A partir de **1980** : débute le **couplage des concepts océan-météo**.

Années **1980** : André BERGER de l'Université Catholique de Louvain effectue le calcul des **insolations de la Terre**, mois par mois, à toutes les latitudes pour le million d'années passées ; ces calculs pouvant être étendus aux prochaines centaines de milliers d'années.

Jusqu'en **1990**, personne ne se préoccupait vraiment de **l'émission des gaz à effet de serre**.

A partir de **1990** : **le couplage de la biologie avec les sols** débute.

1992 : mise sur orbite du satellite Topex-Poseïdon (NASA- CNES) pour mesurer **le niveau des océans**.

**ANNEXE 6 – ENGAGEMENT DE L’UNION EUROPEENNE ET
DE SES ETATS-MEMBRES RELATIF A LA REDUCTION DES
EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE**

Article 4 du Protocole de Kyoto

Conclusions du Conseil du 16 juin 1998

Autriche	- 13 %	Italie	- 6,5 %
Belgique	- 7,5 %	Luxembourg	- 28 %
Danemark	- 21 %	Pays-Bas	- 6 %
Finlande	0 %	Portugal	+ 27 %
France	0 %	Espagne	+ 15 %
Allemagne	- 21 %	Suède	+ 4 %
Grèce	+ 25 %	Royaume-Uni	- 12,5 %
Irlande	+ 13 %		
Communauté européenne : - 8 %			

ANNEXE 7 - GLOSSAIRE



A	<p>Aérosol : suspension, dans un milieu gazeux, de particules solides</p> <p>Albédo : fraction du rayonnement solaire direct renvoyé par la surface des continents. Ex : 40% pour les déserts secs et ensoleillés, 80 % pour la neige fraîche</p> <p>Alizés : vents d'est soufflant sur la partie orientale du Pacifique et de l'Atlantique (entre les parallèles 30°N et 30°S)</p> <p>Atmosphère : couche d'air qui entoure le globe terrestre</p>
B	<p>Biomasse : masse de matière vivante, animale ou végétale, de la surface du globe terrestre</p>
C	<p>Circulation thermohaline (thermos : chaud; hals :sel) : mouvement des eaux de l'océan provoqué dans les régions polaires par la forte densité des eaux les plus froides et les plus salées, qui plongent de 2000 mètres à 3000 mètres sous les eaux plus chaudes et plus salées qui s'écoulent en direction de l'équateur puis remontent en se réchauffant et retournent vers les pôles sous forme de courants chauds.</p> <p>Climat : ensemble des circonstances atmosphériques et météorologiques propres à une région du globe terrestre</p> <p>Cogénération : fourniture combinée de chaleur et d'électricité</p> <p>Cryosphère : l'ensemble des glaces et des neiges présents à la surface de la Terre.</p>
D	<p>Dendroclimatologie : mesure de l'épaisseur des cernes qui se forment chaque année à la périphérie d'un tronc d'arbre. Des arbres vieux de plus de mille ans ont permis de retracer le climat du dernier millénaire.</p> <p>Dénitrification : décomposition, par une action bactérienne, des nitrates du sol et des eaux</p>

E	El Niño (L'Enfant Jésus) -Oscillation australe , ENSO El Niño Southern Oscillation - : tous les trois à quatre ans, entre janvier et mars, l'anticyclone du Pacifique sud descend vers le sud-ouest ; des eaux chaudes tropicales (+1°C à +4°C par rapport à leur température habituelle) se déplacent le long de l'équateur, de l'Australie au Pérou, créant un courant ouest-est inversant le sens des alizés et provoquant des pluies torrentielles (Colombie, nord du Pérou, Equateur), des tempêtes et des sécheresses (Australie, Indonésie). Ce réchauffement des eaux entraîne la destruction du plancton et donc des poissons.
F	<p>Fermentation entérique : transformation de substances organiques dans les intestins</p> <p>Forçage radiatif (ou du climat) : réchauffement additionnel au réchauffement naturel</p> <p>Force de Coriolis : déviation qui se produit dans un repère en rotation et qui a pour effet sur la Terre de dévier les vents et les courants vers la droite dans l'hémisphère Nord et vers la gauche dans l'hémisphère Sud</p> <p>Coriolis Gaspard : mathématicien Français (1792-1843)</p>
L	La Niña : phénomène de refroidissement provoqué par le déplacement d'une masse d'eau chaude tropicale poussée par des alizés vers l'Asie et l'Australie (inondations) et provoquant de la sécheresse (Pérou).
M	<p>Maillage : réduction de l'étude d'un milieu aux valeurs des nœuds d'un filet imaginaire, en deux ou trois dimensions, qui permet à un ordinateur de réaliser des calculs approchant la réalité d'un milieu continu.</p> <p>Mangroves : étendues vaseuses de sable sur lesquelles pousse une végétation abondante prospérant sur des eaux saumâtres</p>
N	Nitrification : transformation, sous l'action des bactéries, de l'azote ammoniacal en nitrates
P	<p>Permafrost : sol perpétuellement gelé des régions arctiques</p> <p>Phytoplancton : ensemble des organismes végétaux vivant en suspension dans l'eau de mer (algues...)</p> <p>Piles à combustible : pile dont les électrodes sont à gaz (oxygène et combustible tel que l'hydrogène)</p> <p>Polder : marais littoral endigué et asséché</p>

	Puits de carbone : absorption du dioxyde de carbone par un milieu naturel (océan, forêt ...)
R	Rétroaction (positive ou négative) : effet d'accélération d'un processus (positive) ou d'inhibition de celui-ci (négative)
S	Stratosphère : couche de l'atmosphère située au-dessus de la troposphère et se terminant vers 50 kilomètres d'altitude
T	Troposphère : couche la plus basse de l'atmosphère se terminant à une altitude de 7 à 15 kilomètres (selon la latitude)
Z	Zones humides : étendue semi-aquatique précieuse pour la biodiversité Zooplancton : ensemble des organismes animaux qui vivent en suspension dans l'eau de mer (protozoaires, colentérés, crustacés à l'état de larves)

ANNEXE 8 - SYMBOLES CHIMIQUES

ADN	acide désoxynibonuclérique
C	carbone
^{12}C ^{13}C ^{14}C	isotope 12, isotope 13, isotope 14 du carbone
CF_4	perfluorométhane
CFC	chlorofluorocarbures
CH_4	méthane
CO	monoxyde de carbone
CO_2	dioxyde de carbone (gaz carbonique)
COV	composés organiques volatiles
DMS	sulfure de diméthyl
HCFC	hydrochlorofluorocarbures
HFC	hydrofluorocarbures
N	azote
N_2O	protoxyde d'azote (homioxyde d'azote ou oxyde nitreux)
NH_4	ammoniac
NO_2	dioxyde d'azote espèce azotée très active vis-à-vis de l'ozone
NO_x	Oxydes d'azote autres que le protoxyde espèce azotée très active vis-à-vis de l'ozone
O_3	ozone
PFC	perfluorocarbures (hydrocarbures perfluorés)
pH	potentiel hydrogène caractérisant l'acidité ou la basicité d'un milieu
SF_6	Sulfure d'hexafluor (hexafluorure de soufre)
SO_2	Dioxyde de soufre

UNITÉS DE MESURE

Mte CO_2				million de tonnes équivalent gaz carbonique
MW	mégawatts	10^6	ppmv	parties par million en volume (10^{-6})
GW	gigawatts	10^9	ppbv	parties par milliard en volume (10^{-9}) (billion en anglais)
TW	terawatts	10^{12}	pptv	parties par billion en volume (10^{-12}) (trillion en anglais)
W/m^2	watts par mètres carrés			

ANNEXE 9 - SIGLES

ADEME	Agence pour le développement durable et la Maîtrise de l'Energie
CCNUCC	Convention Cadre des Nations Unies sur le Changement Climatique
CDI	Centre de Documentation et d'Information
CEA	Commissariat à l'Energie Atomique
CEI	Communauté des Etats Indépendants
CEMAGREF	Centre national du machinisme agricole, du génie rural et des eaux et forêts
CFR	Centre des Faibles Radioactivités
CIRAD	Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement
CLIMAP	Climate : Long range Investigation, Mapping and Prediction
CNES	Centre National d'Etudes Spatiales
CNRM	Centre National de Recherche Météorologique
CNRS	Centre national de la recherche scientifique
COP	Conférence des Parties
CRESPI	Centre de réflexion et d'étude sur les problèmes internationaux
EUROFLUX	Programme européen
GES	Gaz à effet de serre
GICC	Gestion et Impact du Changement Climatique
GIEC (IPCC)	Groupe Intergouvernemental d'experts sur l'Evolution du Climat (IPCC en anglais)
IFEN	Institut Français de l'Environnement
IFP	Institut Français du Pétrole
IFREMER	Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer
INESTENE	Institut d'Evaluation des Stratégies sur l'Energie et l'Environnement en Europe
INRA	Institut National de la Recherche Agronomique
INSU	Institut National des Sciences de l'Univers
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (GIEC en français)
IPPC	Directive européenne (1996) sur la prévention et la réduction intégrée de la pollution
IRD	Institut de Recherche pour le Développement
LMD	Laboratoire de Météorologie Dynamique

MATE	Ministère de l'Aménagement, du Territoire et de l'Environnement
MIES	Mission Interministérielle de l'Effet de Serre
NASA	National American Spatial Agency
NGGIC	Australian National Green House Gas Inventory Committee
OACI	Organisation de l'Aviation Civile Internationale
OMM	Organisation Météorologique Mondiale
ONF	Office National des Forêts
ONU	Organisation des Nations Unies
OPECST	Office Parlementaire d'Evaluation des Choix Scientifiques et Technologiques
OSIS	Organization of Small Island States
PCRD	Programme Cadre de Recherche et de Développement de l'Union européenne
PDU	Plan de Déplacements Urbains
PMIP	Paleoclimate Model Intercomparaison Project
PNAEE	Programme National d'Amélioration de l'Efficacité Energétique
PNLCC	Programme National de Lutte contre le Changement Climatique
PNUE	Programme des Nations Unies pour l'Environnement
PREDIT	Programme national de recherche et d'innovation sur les transports terrestres
SNCF	Société Nationale des Chemins de Fer
SRU	Solidarité et Renouvellement Urbain
SVT	Sciences de la Vie et de la Terre
TGAP	Taxe Générale sur les Activités Polluantes
TOPEX-POSEIDON	Satellite lancé en 1992 par le CNES et la NASA
TPE	Travaux Personnels Encadrés
TRAGNET	Réseau d'observation des cultures (Etats-Unis d'Amérique)
UTCf	Utilisation des Terres, ses Changements et Forêts
VNF	Voies Navigables de France

ANNEXE 10 - BIBLIOGRAPHIE

(par ordre alphabétique d'auteur)

AGRICULTURE
Cellule prospective et stratégie, Jean-Luc PUJOL, Dominique DRON, <i>Agriculture, monde rural et environnement : qualité oblige</i> , La documentation française – 589 p. - 1998
Chambres d'agriculture, <i>Cap 2010, le Projet stratégique des chambres d'agriculture : Pour une agriculture durable</i> , Assemblée permanente des chambres d'agriculture – 15 p.
Conseil économique et social Régis BOUCHE, <i>L'agriculture face aux risques climatiques, Avis et rapports du Conseil économique et social</i> , Journaux Officiels - 148 p - 1998
Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, <i>Bilan et gestion des gaz à effet de serre dans l'espace rural, Connaissances tirées du programme AGRIGES et des recherches menées à l'étranger. Colloque des 18 et 19 mai 1999</i> – Paris - Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement – 392 p. 1999
European Parliament : Scientific and technological options assessment, STOA, <i>Consequences of climate change for agricultural production (Final study)</i> , European Parliament – 65 p. - Feb. 1999
AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE
Assemblée nationale, Philippe DURON, <i>Rapport fait au nom de la Commission de la Production et des Échanges sur le projet de loi d'orientation pour l'aménagement et le développement durable du territoire t.I</i> -Assemblée nationale, 142 p. - 1998
Assemblée nationale, Philippe DURON, <i>Rapport fait au nom de la Commission de la Production et des Échanges sur le projet de loi d'orientation pour l'aménagement et le développement durable du territoire t. II</i> , Assemblée nationale – 142 p. - 1998
DATAR, <i>Aménagement du territoire et recensement de la population en 1999</i> DATAR – 23 p. - 31.12.1999
Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, Commission européenne, DATAR, <i>Colloque européen - Paris - 3 avril 2000, Aménagement et développement durable du territoire</i> - 2000

Ministère de l'équipement, des transports et du logement, Jacques THEYS, <i>Notes du Centre de Prospective et de veille scientifique, Développement durable Villes et Territoires, Innover et décroisonner pour anticiper les ruptures</i> – 135 p. – 2000
ASSURANCES
Caisse centrale de Réassurance, <i>Les catastrophes naturelles en France, Natural disasters in France</i>), CCR – 21p. - Août 1999
GEMA, <i>Contributions 1999, Rapport annuel</i> , GEMA – 25 p. – 1999
CLIMAT
Académie des Sciences, <i>L'effet de serre, Rapport n° 31</i> , TEC & DOC – 86 p. - 1994
Ambassade de France en Suède, Service Scientifique et Technologique, <i>Man and Coastal Areas, Towards a Sustainable Aquaculture, Final report of the European workshop for a sustainable development of aquaculture, 28-29-30 june 1999, Kristineberg Marine Research Station, Fiskebäckill, Sweden</i> - Jean-Marie GUASTAVINO, Laurent HOLZMAN, Leila JOHANSSON, Antoine PELOUIN, Laurent SAUNIER, Loïc VIATTE – 120 p. - 2000
Atmospheric CO2 Symposium, Sophia Antipolis (December 1984), <i>Actes du Colloque</i> , Association Sophia-Antipolis – 250 p. - 1984
Center for Clean Air Policy, <i>Design of a practical approach to greenhouse gas emissions trading combined with policies and measures in the EC</i> , Center for clean air policy – 70 p. - 1999
Centre d'études prospectives et d'informations internationales, <i>Contrôler l'effet de serre : l'enjeu de politique publique internationale, Economie Internationale - La revue du CEPII n° 82</i> , La documentation française, 220 p. - 2000
Climate Action Network (CAN), <i>Climate Action Network, International NGO Directory 1998</i> , Climate Action Network – 266 p. - 1998
Commission des communautés européennes, <i>Document de travail de la Commission européenne : La politique communautaire de coopération économique et au développement face aux nouveaux défis du changement climatique</i> – 44 p. - 11.1999
Commission des communautés européennes, <i>Communication au Conseil et au Parlement européen : Changement climatique - Vers une stratégie communautaire post-Kyoto</i> – 33 p. -06.1998
Commission européenne, <i>La planète sous pression</i> , Office des publications officielles des communautés européennes, plaq. - 10 p - 1998
Commission internationale pour la protection du Rhin, <i>Grundlagen und Strategie zum Aktionsplan Hochwasser, Koblenz, Dezember 1995</i> , Commission internationale pour la protection du Rhin – 40 p. - 1995
Croisée des Sciences, Thérèse Encrenaz, <i>Atmosphères planétaires, Origine et évolution</i> , Belin - CNRS Editions – 152 p. - 2000
Dutch national research programme, <i>Light on climate research, Programme on global air pollution and climate change</i> , Programme Bureau NRP, Pays-Bas – 24 p.

ECLAT-2 Partners, <i>1998-2001-ECLAT-2, Representing uncertainty in climate change scenarios and impact studies, Proceedings of the Eclat-2 Helsinki Workshop, 14-16 april, 1999</i> - Climate Research Unit, U.E.A., (University of East Anglia), Norwich UK – 128 p. - 1999
ECLAT-2 Partners, <i>1998-2001-ECLAT-2, Climate scenarios for agricultural, forest and ecosystem impact studies - Proceedings of the Eclat-2 Potsdam Workshop, 13-15 october, 1999</i> - Climate Research Unit, U.E.A., (University of East Anglia), Norwich UK – 120 p. - 1999
Espaces pour demain, L'environnement : comprendre pour agir, <i>La nature en colère - Réflexions - Solutions – Perspectives</i> - Espaces pour demain - 2000
European Commission, DG Environment, <i>Final Report, Designing options for implementing an emission trading regime for greenhouse gases in the EC, FIELD</i> – 53 p. - 2000
European Commission, Directorate-General for Research, <i>Simulation, diagnosis and detection of the anthropogenic climate change (SIDDACLICH)</i> - EUR 19310, Office for Official publications of the European Communities – 78 p. - 2000
European Commission, Directorate-General for Research, <i>Mediterranean Desertification, Research results and policy implications, Volume 1 - Plenary session</i> - EUR 19303 - Office for Official publications of the European Communities – 429 p. - 1999
European Commission, Directorate-General for Research, <i>Sea level change and coastal processes, Implications for Europe, EUR 19337</i> - Office for Official publications of the European Communities – 247 p. - 2000
European Commission, Directorate-General for Research, <i>Greenhouse gases and their role in climate change : the status of research in Europe, International Workshop Orvieto, Italy, 10-13 november, 1997</i> - EUR 19085 EN, Office for Official publications of the European Communities – 116 p. - 1999
European Commission, Directorate-General for Research, <i>Climate change impact on agriculture and forestry, EUR 18175 EN</i> , Office for Official publications of the European Communities – 519 p. - 1998
European Commission, Research Directorate-General/DI.1, <i>Biospheric sinks in the Kyoto protocol, What tools do we need to monitor a European carbon balance ?, Executive summary of a workshop held in Wageningen, 2-3 march 1999, EUR 19316</i> - Office for Official Publications of the European Communities – 8 p. - 1999
European Commission, Research Directorate-General for Science, <i>European Climate Science Conférence - Vienne - 19-23 october 1998</i> - CD-ROM - Austrian Federal Ministry of Science and Transport – 10 p. - 2000
European Commission, Directorate-General Science, Research and Development, <i>ESCOBA, A European multidisciplinary study of the global carbon cycle in ocean, atmosphere and biosphere. Synthesis report</i> - EUR 16989 EN - Office for Official Publications of the European Communities – 24 p. - 1999
German Bundestag, <i>Protecting the earth's atmosphere : an international challenge</i> , Deutscher Bundestag – 592 p. - 1989
Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), <i>Le changement climatique – dimensions économiques et sociales</i> , Ed. Multimondes, Dossiers et débats pour le développement durable 4D - 546 p. - 1995
HUET Sylvestre, <i>Quel climat pour demain ?</i> Calmann-lévy, 240 p. – 2000
Institut d'Evaluation des Stratégies sur l'Energie et l'Environnement (France), INESTENE, <i>Campagne du WWF sur les changements climatiques : Réduction des émissions de CO2 : politiques et mesures pour la France (Etude pour la période de 1997 à 2005)</i> – WWF, Fonds mondial pour la nature, France – 107 p. - 1997

Interdepartmental Vision for the Coast', <i>A coastal zone perspective, Preparatory study</i> , Ministry of Transport, Public Works and Water Management, Ministry of Agriculture, Nature Management and Fisheries, Ministry of Economic Affairs, Ministry of Public Housing, Spatial Planning and the Environment - PAYS-BAS – 24 p. – 1999
Intergovernmental panel on climate change, <i>The regional impacts of climate change, An Assessment of Vulnerability</i> - Robert T. WATSON, Marufu C. ZINYOWERA, Richard H. MOSS – 518 p. – 1998
International Society of Soil service, H.P. BLUM & S.M. BERKOWICZ, <i>Arid ecosystems</i> , CATENA VERLAG GeoScience – 11 p. - 1995
LABEYRIE Jacques, <i>L'homme et le climat</i> , Points Sciences - 344 p - 1993
LORIUS Claude, <i>Glaces de l'Antarctique – Une mémoire, des passions</i> , Odile Jacob, Points, 300 p, 1993
Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement (MATE), Service de la Recherche et de la Prospective (SRP), <i>Impacts potentiels du changement climatique en France au XXIe siècle, Seconde édition</i> - Mission interministérielle de l'effet de serre (MIES), Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement (MATE) – 128 p. - 2000
Ministry of the Environment, <i>Israel environment bulletin</i> , Shoshana Gabbay – 23 p. - 1999
Premier Ministre, Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, Mission interministérielle de l'effet de serre (MIES), <i>Conférence mondiale préparatoire sur le changement climatique, Lyon - 4/15 septembre 2000, Compte rendu de la conférence</i> - Services du Premier ministre – 55 p. -2000
Stephen H. SCHNEIDER, <i>La Terre menacée – Un laboratoire à risques</i> , Hachette Littératures – 240 p - 1999
CONFÉRENCES INTERNATIONALES
ADEME/PREMIER MINISTRE, Les mercredis de l'ADEME, <i>Les négociations de Buenos Aires : Quels résultats pour le changement climatique ?</i> ADEME/Premier Ministre – 88 p. - 6 janvier 1999
Assemblée nationale, Roland NUNGESSER, Ségolène ROYAL, <i>Rio, deux ans après : Un espoir déçu, un sursaut attendu, Commission des affaires étrangères, Rapport d'information n° 1362</i> , Assemblée nationale – 72 p.
DIPCN : Conférence de Paris, (17-19 juin 1999) - <i>Déclaration de Paris : Conclusions et recommandations de la Conférence sur « La prévention des catastrophes naturelles, la gestion de territoires et le développement durable »</i> - Ministère Aménagement du territoire et de l'environnement – 4 p - juin 1999
Nations Unies : <i>Convention-cadre sur les changements climatiques : Report of the conference of the parties on its fifth session, held at Bonn from 25 October to 5 November 1999</i> , United nations – Secretariat – 65 p. - 1999
Nations Unies : Conférence sur l'environnement et le développement, <i>Action 21, Déclaration de Rio sur l'environnement et le développement, Déclaration de principes relatifs aux forêts</i> , Nations Unies – 256 p. - 1993
Sénat, Xavier PINTAT (Commission des affaires étrangères), <i>Le protocole de Kyoto</i> , Le Sénat – 36 p. – 2000

EAU
Académie des sciences et Académie des sciences morales et politiques – Rapport n° 45 - <i>Conséquences scientifiques, juridiques et économiques du Protocole de Kyoto</i> – TEC & DOC - 76 p. - novembre 2000
Agence de l'eau Artois-Picardie, <i>L'Observatoire du prix des services de l'eau et de l'Assainissement</i> , J.P. DUPLAN – 7 p. - 1998
Agence de l'eau Loire-Bretagne, <i>VIIe programme - 1997 – 2001, L'alimentation en eau potable - Les aides financières de l'agence de l'eau</i> - Agence de l'eau Loire-Bretagne – 4 p. - 1997
Après-demain, n° 408-409, <i>Eau et développement durable</i> - Après-demain - nov-déc - 1998
Assemblée nationale, Philippe MATHOT, Thierry MARIANI, <i>Inondations :- une réflexion pour demain, Commission d'enquête, Rapport n° 1641</i> , Assemblée nationale – 338 p. - 1994
Roselyne BACHELOT, députée du Maine-et-Loire, <i>1ères Assises de l'eau , Pays de la Loire : Région pilote dans la gestion de l'eau</i> , 25 novembre 1999, M&M Conseil – 158 p. - 2000
J. BEBIN, J. BUSTARRET, P. FAISANDIER, F. VALIRON, <i>La politique de l'eau en France - De 1945 à nos jours</i> , Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées – 149 p. - 1990
Cercle Français de l'Eau, Dossier de presse : <i>Comment gagner la bataille de la qualité de l'eau potable ?</i> Colloque du 25 juin 1998 - Palais du Luxembourg, Cercle Français de l'Eau – 44 p. - 1998
Chambres d'agriculture : Assemblée permanente, <i>La réforme de la politique de l'eau : position de l'APCA - APCA-SDPAR</i> – 20 p. - juin 2000
Commission européenne, Coll. Que fait l'Europe ? <i>L'eau, une ressource vitale en danger</i> , Publications officielles des Communautés européennes – 10 p.-
C.I.EAU, Centre d'Information sur l'eau, <i>La qualité de l'eau du robinet</i> , C.I.EAU – 22 p. - 1996
C.I.EAU, Centre d'Information sur l'eau, <i>L'assainissement des eaux usées</i> - C.I.EAU – 23 p. - 1997
C.I.EAU, Centre d'Information sur l'eau, <i>Le prix du service de l'eau</i> - C.I.EAU – 13 p. - 1998
Comité interministériel de l'évaluation des politiques publiques, <i>Les zones humides, Rapport de l'instance d'évaluation, Premier ministre - Commissariat général du Plan</i> , La documentation Française – 391 p. - 1994
Commissariat général du plan, <i>Rapport au Gouvernement 1997, Evaluation du dispositif des Agences de l'eau</i> , La Documentation Française – 215 p. - 1997
Commissariat général du plan, <i>Evaluation du dispositif des agences de l'eau</i> , La Documentation Française – 26 p. - 1997
Compagnie Générale des Eaux, <i>Chiffres clés, Environnement Construction Communication</i> , Compagnie Générale des Eaux – 35 p. - 1997
Conseil économique et social (CES), <i>Economie et prospective de l'eau dans le bassin euro-méditerranéen, Contribution du CES au troisième sommet euro-méditerranéen des Conseils économiques et sociaux (Marrakech 27 et 28 novembre 1997)</i> , Journaux Officiels – 107 p. - 1997
Conseil économique et social, <i>21ème Forum d'Iéna : « Les enjeux du marché international de l'eau »</i> , Conseil économique et social - Dossier du forum, 1999

Conseil économique et social, René BOUË, Francis VENDEWEEGHE, Claude MIQUEU - <i>La réforme de la politique de l'eau</i> , Journaux officiels – 172 p. - 2000
Conseil économique et social de Picardie, Denis DUBOIS, <i>Protection de l'environnement : le devenir des boues, Annexes et contributions, Avis, Contribution de l'ADEME</i> – CES – 53 p. – 25 p., 10 p., 12 p. - 1998
CRESPI (Centre de Réflexion et d'Etude sur les Problèmes Internationaux), <i>Le Moyen-Orient et l'eau (André DULAIT et François THUAL)</i> , CRESPI – 87 p. - 2000
Délégation pour l'Union européenne, Béatrice MARRE, <i>L'Europe de l'eau : une nouvelle approche, Rapport d'information n° 739</i> , Assemblée nationale – 64 p. - 1998
L'Ecole française de l'eau, N° 2 : <i>Surveillance, rénovation et renouvellement du patrimoine français de l'eau - La politique de l'eau au Sénat</i> , Union des industries et entreprises de l'eau et de l'environnement – 83 p. - Oct. 1998
L'Ecole française de l'eau, N° 4 : <i>la politique gouvernementale de l'eau, Les dossiers des industriels et entrepreneurs du cycle de l'eau</i> , Union des industries et entreprises de l'eau et de l'environnement – 84 p. - 1999
L'Ecole française de l'eau, French water, <i>Les dossiers des industriels et entrepreneurs du cycle de l'eau : Surveillance, rénovation et renouvellement du patrimoine français de l'eau</i> , Union des industries et entreprises de l'eau et de l'environnement (U.I.E.) – 83 p. - 1998
Ecole Française de l'Eau, N° 4, <i>Articles divers, Préface de Jacques CHIRAC</i> , Union des industries et entreprises de l'eau et de l'environnement – 82 p. - Oct. 2000
ENA (Ecole Nationale d'Administration), <i>ENA Mensuel N° 284 - Dossier : l'eau</i> - Association des Anciens élèves de l'Ecole Nationale d'Administration – 56 p. - 1998
Ecole Nationale des Ponts & Chaussées, <i>Gestion des eaux : coût et prix de l'alimentation en eu et de l'assainissement</i> - Presses de l'Ecole nationale des Ponts & Chaussées – 487 p. - 1991
Générale des Eaux, <i>Eau</i> , Générale des Eaux – 10 p. -
Groupe de travail pour la prévention des inondations dans le bassin de la Meuse (GTIM), <i>Plan d'Action Inondations Meuse</i> , Francis HAMBYE – 60 p. - 1998
Ambroise GUELLEC, <i>Le prix de l'eau : de l'explosion à la maîtrise, Commission de la production, Rapport d'information n° 2342</i> , Assemblée nationale – 85 p. - 1995
Ministère de l'Equipement, des Transports et du Logement, <i>Bilan de la loi « littoral »</i> , Ministère de l'Equipement – 93 p. - 1999
Mission Interministérielle de l'Effet de Serre, avec le concours de la Région Provence-Alpes-Côte d'Azur et de la DATAR. <i>Actes du Colloque « Le changement climatique et les espaces côtiers » - « L'élévation du niveau de la mer : risques et réponses »</i> - 98 p. –septembre 2001
Le Moniteur, Cahier de l'environnement, <i>Eau potable - La bataille de la qualité</i> , Groupe Moniteur – 46 p. - juin 1998
Le Moniteur, <i>L'eau et les collectivités locales</i> , Editions du Moniteur – 332 p. - 1991
Office Parlementaire d'Evaluation des Choix Scientifiques et Technologiques, Jean FAURE, Richard POUILLE, <i>Rapport sur la préservation de la qualité de l'eau : Distribution de l'eau potable et traitement des eaux résiduaires</i> – Sénat – 254 p. - 1991

Parlement néerlandais, Ministère du Logement, de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, Ministère des Transports, des Travaux Publics et de la Gestion des Eaux, <i>Loi sur la protection contre les eaux (21 décembre 1995)</i> , Directive « <i>plus d'espace pour les fleuves</i> » (avril 1997), Journal Officiel du Royaume des Pays-Bas, Ministère des Transports, des Travaux Publics et de la Gestion des Eaux, Direction Générale des Travaux Publics et de la Gestion des Eaux
Réseau National des Données sur l'Eau (RNDE), <i>Débits des cours d'eau, 10 ans d'observation, 1984–1993</i> , Synthèse sur 200 stations de mesures en France, RNDE – 186 p. - 1994
Réseau National des Données sur l'Eau (RNDE), <i>Qualité des cours d'eau, 10 ans d'observation - 1984 – 1993</i> , Synthèse sur 150 stations de mesures en France, RNDE – 150 p. 1994
Revue Française de géoéconomie, N° 4 - Hiver 1997-1998, Dossier : <i>De l'eau pour demain - Stratégies, conflits et coopération</i> , Economica – 210 p. - 1998
Sénat, Marcel DENEUX, Pierre MARTIN, <i>Inondations dans la Somme : des leçons pour l'avenir</i> , rapport de la Commission d'enquête sur les inondations de la Somme, n° 34 – 608 p. - 2001
Science et vie, <i>Menaces sur l'eau, Comment éviter une crise mondiale</i> , Sciences et vie, hors série n° 211 - Science et vie – 162 p. - 2000
Science et changements planétaires, Sécheresse - volume 11- <i>Dossier : Eau et gestion de l'eau</i> - décembre 2000
Sénat, Jean FRANÇOIS-PONCET, Jacques OUDIN, <i>rapport sur la réforme de la loi sur l'eau : enjeux environnementaux et financiers</i> - Compocenter Elysées – 86 p. - 2000
Suez Lyonnaise des eaux, <i>Alternative solutions for water supply and sanitation in areas with limited financial resources</i> , Lyonnaise des eaux – 161 p. - 1998
Valeurs vertes, <i>Eau potable : Les conquérants de la qualité</i> , Générale des Eaux – 7 p. - 1998
Water Kader, Ministère des Transports, des Travaux publics et de la Gestion des Eaux (Pays-Bas), <i>Quatrième document national sur l'aménagement et la gestion des eaux, Décision gouvernementale (version abrégée)</i> – 71 p. – 1998
EFFET DE SERRE
Conseil Economique et Social, Jean-Pierre CLAPIN, <i>Effet de serre et prospective industrielle française</i> , Journaux Officiels – 53 p. - 1997
Conseil économique et social, Jean-Pierre CLAPIN, <i>Séance des 14 et 15 octobre 1997 : « Effet de serre et prospective industrielle française »</i> , Journal officiel – 52 p - 1997
Conseil économique et social, Jean GONNARD, Frédérique RASTOLL, <i>Le suivi de l'effet de serre</i> , Journal officiel – 93 p. - 2000
DATAR – Territoires 2020 – Revue d'études et de prospective n° 4 – 124 p. – 2 ^e semestre 2001
DUPLESSY Jean-Claude – MOREL Pierre, <i>Gros temps sur la planète</i> , Poches, Odile Jacob – 340 p
IFEN - <i>Contribution à l'étude des gaz à effet de serre, Rapport présenté à la Commission des comptes et de l'économie de l'environnement du 5 janvier 2000</i> , IFEN – 60 p. - 2000

Serge LEPELTIER, Délégation du Sénat pour la planification, <i>Maîtriser les émissions de gaz à effet de serre : Quels instruments économiques</i> - Coll. Les rapports du Sénat (N° 346), Sénat – 140 p. - 1999
Hervé LE TREUT et Jean-Marc JANCOVICI - <i>L'effet de Serre – Allons-nous changer le climat ?</i> Dominos Flammarion – 127 p - 2001
François PLOYE – <i>L'effet de serre – Science ou religion du XXIème siècle ? Témoins – Naturellement</i> – 181 p. 2000
Réseau Action Climat France (RAC-F) – <i>Effet de Serre et dérèglements climatiques</i> – 18 p – février 2000
ENERGIE
Assemblée nationale, Michel DESTOT (Rapporteur spécial du budget de l'Industrie), <i>Deuxièmes rencontres parlementaires sur l'énergie - Politique énergétique : les enjeux d'une vision globale</i> , Actes du Colloque, M & M Conseil – 146 p. - 1999
Bernard BARBIER, Ladislas PONIATOWSKI, <i>Energie et effet de serre</i> , M & M Conseil – 159 p. - 1996
Commissariat à l'énergie atomique, Christian NgÔ, <i>Quelles énergies pour demain ?</i> CEA – 15 p.
Commissariat Général du Plan, <i>Energie 2010-2020 : Les chemins d'une croissance sobre</i> , La documentation française – 533 p. - 1998
Communautés européennes, Coll. « Que fait l'Europe ? », <i>Energies douces, énergies d'avenir</i> , Office des publications officielles des communautés européennes – 10 p.
Conseil économique et social, <i>Les perspectives énergétiques de la France à l'horizon 2010-2020</i> , Journal officiel – 92 p. - 1999
Michel DESTOT, <i>Les défis internationaux de la politique énergétique française</i> , Assemblée nationale – 200 p. -1998
Direction générale de l'énergie et des matières premières, <i>L'énergie nucléaire en 110 questions</i> , Editions de l'Industrie, Ministère de l'économie, des finances et de l'industrie – 212 p. - 1999
Institut d'Evaluation des Stratégies sur l'Energie et l'Environnement (INESTENE), pour la MIES, <i>Chauffage bois et émissions du secteur électrique en France, Résumé d'étude</i> , Institut d'Evaluation des Stratégies sur l'Energie et l'Environnement (INESTENE) – 20 p. - 1999
Rapport au Premier ministre – <i>Stratégie et moyens de développement de l'efficacité énergétique et des sources d'énergie renouvelables en France</i> , Yves COCHET – La documentation Française –184 p. - 2000
Sénat - Délégation pour l'Union européenne, Aymeri de MONTESQUIOU, <i>L'énergie nucléaire en Europe : Union ou confusion ?</i> Sénat – 182 p. –2000
ENVIRONNEMENT
Assemblée nationale/Sénat, <i>E 1414 : Livre blanc sur la responsabilité environnementale</i> , Journal officiel – 33 p. - 2000
Colloque ADEME-CNRS-ANVIE-EE, <i>Environnement : expertise, science et société</i> , Actes du Colloque – 50 p. - 2000

Conseil Economique et Social, <i>L'environnement</i> – 6 p. - 1999
Conseil Economique et Social, Jean BILLET, <i>Croissance et environnement</i> , Journaux Officiels – 174 p. - 1998
Institut français de l'environnement (IFEN), <i>L'environnement en France</i> , Editions La Decouverte – 480 p. - 1999
Ministry of Environment, State of Israel, <i>The environment in Israel</i> – 380 p. - 1998
Institut français de l'environnement (IFEN), <i>Chiffres-clés de l'environnement</i> – 22 p. - 1999
Rapport au Premier ministre, Laurence TUBIANA (Collection des Rapports officiels), <i>Environnement et développement : L'enjeu pour la France</i> , La documentation française – 170 p. – 1997
EXPERTISE
Association Française des Entreprises pour l'Environnement, Actes du colloque « <i>Environnement : expertise, science et société</i> » du 15 juin 2000 – 104 p
Philippe ROQUEPLO, <i>Climats sous surveillance - Limites et conditions de l'expertise scientifique</i> – 402 p – Economica – 1993
Philippe ROQUEPLO, <i>Entre savoir et décision, l'expertise scientifique</i> - 112 p - avril 1996 - INRA Editions
FISCALITE
Nicole BRICQ, <i>Pour un développement durable : une fiscalité au service de l'environnement</i> , Rapport d'information n°1000, Assemblée nationale – 177 p. - 1998
Dominique BUREAU, Olivier GODARD, Jean-Charles HOURCADE, Claude HENRY, Alain LIPIETZ, <i>Fiscalité de l'environnement</i> , Conseil d'Analyse économique, La documentation Française – 197 p. - 1997
Ministère de l'Economie et de l'Environnement, <i>Livre blanc sur les modalités de l'extension de la taxe générale sur les activités polluantes aux consommations intermédiaires d'énergie des entreprises</i> – 40 p. - 1999
Jean FRANÇOIS-PONCET, Jacques OUDIN, <i>Compte rendu du colloque du 20 octobre 1998 : La taxe générale sur les activités polluantes : Une remise en cause radicale de la politique de l'eau ?</i> Coll. Les rapports du Sénat (N° 112) – Sénat – 118 p. – 1999
FLORE
Commission européenne - Commission économique pour l'Europe des nations unies, Institut national de la recherche forestière, <i>Programme de l'Union européenne sur la protection des forêts contre la pollution atmosphérique : Etat des forêts en Europe - Rapport de synthèse 1999</i> – 35 p. - 1999
European Forest Institute (EFI), <i>Causes and Consequences of Accelerating Tree Growth in Europe</i> EFI Proceedings n° 27, International Seminar held in Nancy, France, 14-16 may 1998, T. KARJALAINEN, H. SPIECKER, O. LAROUSSINIE – 285 p. - 1999

Greenpeace, Ove HOEGH-GULDBERG (University of Sydney), <i>Climate change coral bleaching and the future of the world's coral reefs</i> – 26 p. - 1999
Office National des Forêts, Frédéric MORTIER, <i>Le CO2 et la forêt</i> , <i>Bulletin technique</i> n° 29 – 160 p. - 1995
Rapport au Premier ministre, Jean-Louis BIANCO (Coll. des rapports officiels), <i>La forêt : une chance pour la France</i> , La documentation française – 138 p. – 1998
OZONE
Académie des Sciences, <i>Ozone et propriétés oxydantes de la troposphère, Essai d'évaluation scientifique</i> , Rapport n° 30, TEC & DOC – 262 p. - 1993
CNRS-INSU, <i>Pollution atmosphérique aux échelles locale et régionale</i> – 76 p. - 1999
Commission des Communautés européennes, <i>Proposition de règlement (CE) du Conseil, présentée par la Commission, relatif à des substances qui appauvrissent la couche d'ozone</i> , Publications officielles des communautés européennes – 74 p. - 1998
Gouvernement : Texte soumis en application de l'article 88-4 de la Constitution à l'Assemblée nationale et au Sénat, <i>Proposition de directive du Parlement européen et du Conseil fixant des plafonds d'émission nationaux pour certains polluants atmosphériques</i> – 130 p. - 06.1999 – <i>Proposition de directive du Parlement européen et du Conseil relative à l'ozone dans l'air ambiant</i>
Gouvernement : Texte soumis en application de l'article 88-4 de la Constitution à l'Assemblée nationale et au Sénat, <i>Proposition de règlement du Parlement européen et du Conseil modifiant le règlement relatif aux substances qui appauvrissent la couche d'ozone en ce qui concerne l'année de base pour l'attribution des quotas d'hydrochlorofluorocarbures (E 1516)</i> – 6 p. - 08.2000
Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, Robert GALLEY, Louis PERREIN, <i>Les effets des chlorofluorocarbones sur l'environnement et les moyens de supprimer ou de limiter leurs émissions</i> , Assemblée nationale – Sénat – 425 p. - 1990
Parlement européen, (Commission de l'environnement, de la santé publique et de la protection des consommateurs), <i>Document de séance : Rapport sur la proposition de règlement (CE) du Conseil relatif à des substances qui appauvrissent la couche d'ozone</i> – 18 p. – 1998
POLLUTION
Assemblée nationale, Annette PEULVAST-BERGEAL, <i>Villes : un air trompeur ?</i> 184 p. - 2001
CNRS-INSU, <i>Pollution atmosphérique aux échelles locale et régionale : Colloque du 16 mars 1999</i> – 76 p. – 1999

RECHERCHE
Commission européenne, <i>Vers un espace européen de la recherche, Communication de la Commission au Conseil, au Parlement européen, au Comité économique et social et au Comité des régions, Office des publications officielles des Communautés européennes</i> – 46 p. - 2000
Commission des communautés européennes, <i>Réalisation de l'« espace européen de la recherche » : orientations pour les actions de l'Union dans le domaine de la recherche (2002-2006), Communication de la Commission au Conseil, au Parlement européen, au Comité économique et social et au Comité des régions</i> – 23 p. - 2000
UNESCO, <i>Rapport mondial sur la science 1998</i> , Elsevier – 300 p. – 1998
University of Haifa, <i>Research centers</i> , Research Authority – 45 p. – 1997
RISQUES NATURELS
Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, Christian KERT, <i>Les techniques de prévision et de prévention des risques naturels en France</i> , Assemblée nationale-Sénat – 420 p. – 1999
SANTÉ
Académie des Sciences, Conseil pour les Applications de l'Académie des Sciences (CADAS), <i>Pollution atmosphérique due aux transports et santé publique, Rapport commun n° 12</i> , Editions TEC & DOC – 196 p. - 1999
Jean-Pierre BESANCENOT, <i>Climat et Santé</i> , PUF, Médecine et société - 128 p.- octobre 2001
Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, Jean-François MATTEI, <i>Les liens entre la santé et l'environnement, notamment chez l'enfant, Tome I : Conclusions du rapporteur, Tome II : Contributions des membres du groupe de travail</i> - Assemblée nationale – Sénat – 272 p/255 p. – 1996
TRANSPORTS
Air Transport Action Group, <i>Aviation and the environment</i> – 24 p. - 1999
Association of European Airlines, <i>Réchauffement de la planète et contribution du transport aérien</i> – 35 p. - 2000
Jacques BERNOT, Jacques ROCCA SERRA, Marc SCHREIBER, <i>Canal Rhin-Rhône</i> , Economica – 222 p. - 1997
CCFA, <i>Gaz carbonique et effet de serre : l'automobile citoyenne</i> – 12 p. - 1999
Communautés Européennes, Coll. « Que fait l'Europe ? », <i>Sortir la route de l'impasse</i> , Office des Publications officielles des Communautés européennes – 10 p.

Fédération européenne pour le transport et l'environnement (T&E) - <i>Vers des ciels dégagés - La nécessité d'une écotaxe européenne comme mesure pour un développement durable de l'aviation</i> - European Federation for Transport and Environment (T&E) - PAYS-BAS – 4 p. - 1999 ?
Fédération européenne pour le transport et l'environnement (T&E) – Belgique, <i>Calculer les kilomètres - et les payer. Comment introduire une taxe kilométrique en U.E. ?</i> 4 p. - 2000
Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement, <i>Les transports en 1999 : 37e rapport de la commission des comptes des transports de la nation</i> , INSEE – 257 p. - 2000
Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, Pierre LAFFITTE, <i>Rapport sur l'intérêt du véhicule électrique au regard de la protection de l'environnement (n° 680 AN- 70 Sénat)</i> , Assemblée nationale – Sénat – 150 p. - 1993
PSA Peugeot-Citroën, <i>Environnement et automobile - Rapport 1999</i> – 135 p. – 1999
URBANISME
Assemblée nationale, 2èmes Rencontres parlementaires sur la ville, Pierre BOURGUIGNON, <i>Actes du colloque de mars 2000 : « Pour une renaissance de la ville »</i> , M & M Conseil – 143 p. - 2000
Les Rapports du Sénat , (n° 18), Pierre HÉRISSON Louis ALTHAPÉ, <i>La réforme du droit de l'urbanisme à mi-parcours : Actes du colloque sur la modernisation du droit de l'urbanisme</i> – 56 p. - 10.2000

ANNEXE 11 - QUELQUES SITES INTERNET CONTENANT DES INFORMATIONS SUR LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

I – ASSEMBLÉES ET MINISTÈRES FRANÇAIS

- Assemblée nationale
Site : <http://www.assemblee-nationale.fr>
- Conseil économique et social
Site : <http://www.conseil-economique-et-social.fr>
- Délégation à l'aménagement du territoire et à l'action régionale (DATAR)
Site : <http://www.datar.gouv.fr/>
- Ministère de l'Agriculture et de la pêche
Site : <http://www.agriculture.gouv.fr>
- Ministère de l'Aménagement du territoire et de l'environnement
Site : <http://www.environnement.gouv.fr>
- Ministère de l'Équipement, des transports et du logement
Site : <http://www.equipement.gouv.fr/>
- Ministère de la Recherche
Site : <http://www.recherche.gouv.fr>
- Mission interministérielle de l'effet de serre (M.I.E.S.)
Site : <http://www.effet-de-serre.gouv.fr>
- Sénat
Site : <http://www.senat.fr>
- Mise à jour des rapports publiés par l'OPECST, sur le site du Sénat :
Site : <http://www.senat.fr/opecest/rapports.html>

II - INSTITUTIONS EUROPÉENNES

- Commission européenne – DG XII – Science, recherche et développement
Site : <http://www.europa.eu.int/comm/dg12>
- Commission européenne - Direction Générale de l'Environnement
Site : http://europa.eu.int/comm/environment/index_fr.htm
- Commission Européenne - site Recherche
Site : http://europa.eu.int/comm/research/index_fr.html
- Communauté européenne - Institut de l'environnement (JRC)
Site : <http://www.ei.jrc.it>
- Conseil de l'Europe - Site sur l' Environnement et l'Aménagement du territoire
Site : <http://www.nature.coe.int>

III - INSTITUTIONS ETRANGÈRES ET INTERNATIONALES

- Centre International sur l'Eau et l'Hygiène (IRC)
Site : <http://www.irc.nl/lqfr/index.html>
- Conseil Mondial de l'eau (CME)
Site : http://www.worldwatercouncil.org/activities_events.htm
- Convention de lutte contre la désertification des Nations Unies (UNCCD)
Site : <http://www.unccd.ch>
- Gouvernement belge - le changement climatique
Site : http://www.environment.fgov.be/Root/tasks/atmosphere/klim/set_fr.htm
- Gouvernement canadien - le changement climatique
Site : <http://www.climatechange.gc.ca/french/>
- Groupement Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC)
Site : <http://www.ipcc.ch>
- Institut de l'énergie et de l'environnement de la Francophonie (IEPF)
Site : <http://www.iepf.org/>
- Institut des Ressources naturelles Mondiales
Site : <http://www.wri.org>

- Observatoire Mondial des Forêts (OMF)
Site : <http://www.globalforestwatch.org/french/>
- Observatoire du Sahara et du Sahel
Site : http://www2.unesco.org/oss1/v_fr/presentation.htm
- Organisation des Nations Unies pour l'Education, la Science et la Culture (UNESCO)
Site : <http://www.unesco.org/general/fre/>
- Programme des Nations Unies pour l'environnement (UNEP)
Site : <http://www.unep.org>
- UNESCO - Programme hydrologique International
Site : http://www.unesco.org/water/ihp/index_fr.shtml
- UNESCO - Commission océanographique intergouvernementale
Site : <http://www.unesco.org/ioc>
- Union pour la Protection de la Planète
Site : <http://iucn.org>

IV - ETABLISSEMENTS ET ORGANISMES PUBLICS FRANCAIS

- Académie des sciences
Site : <http://www.academie-sciences.fr/>
- Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME)
Site : <http://www.ademe.fr>
- Agences de l'Eau
Site : <http://www.eaufrance.tm.fr>
- Bureau de Recherche Géologique et Minière (BRGM)
Site : <http://www.brgm.fr>
- Centre International de Recherche sur l'Environnement et le Développement (CIRED) -
Site : <http://www.centre-cired.fr/home/home.htm>
- Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS)
Site : <http://www.cnrs.fr/>

- Centre National d'Etudes Spatiales (CNES)
Site : http://www.cnes.fr/index_v3.htm
Site MERCATOR : <http://www.mercator.com.fr/>
- Centre de Recherche sur l'Environnement et l'Aménagement (CRENAM)
Site : <http://www.univ-st-etienne.fr/crenam/>
- Cité des sciences et de l'industrie
Site : <http://www.cite-sciences>
- Comité de Liaison Energies Renouvelables (CLER)
Site : <http://www.cler.org>
- Fédération Nationale des Conseils d'Architecture, d'Urbanisme et de l'Environnement (FNCAUE)
Site : <http://www.fncaue.asso.fr>
- Institut Français de l'Environnement (IFEN)
Site : <http://www.ifen.fr>
- Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer (IFREMER)
Site : <http://www.ifremer.fr>
- Institut Français pour la Recherche et la Technologie Polaire (IFRTP)
Site : <http://www.ifremer.fr/ifrtp>
- Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (INERIS)
Site : <http://www.ineris.fr>
- Institut National de la Recherche Agronomique (INRA)
Site : <http://www.inra.fr/index.html>
- Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale (INSERM)
Site : <http://www.inserm.fr/>
- Institut National des Sciences de l'Univers (INSU)
Site : <http://www.insu.cnrs-dir.fr>
- Institut de Recherche pour le Développement (IRD)
Site : <http://www.ird.fr>
- Institut de recherche pour l'ingénierie de l'agriculture et de l'environnement (CEMAGREF)
Site : <http://www.cemagref.fr>

- Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement
Site : <http://www-lsce.cea.fr/>

- Office National des Forêts (ONF)
Site : <http://www.onf.fr>

V - ASSOCIATIONS, CENTRES, CERCLES, FONDATIONS, INSTITUTS, SYNDICATS...

- Agence méditerranéenne de l'environnement (AME)
Site : <http://www.ame-lr.org/>
- Association Internationale de Lutte contre l'Effet de Serre (AILES)
Site : <http://www.ailes.com/index.html>
- Centre d'Etudes Prospectives et d'Informations Internationales (CEPII)
Site : <http://www.cepii.fr>
- Environnement Canada - le changement climatique
Site : http://www.ec.gc.ca/extreme/index_f.htm
- Entreprises Pour l'Environnement (E.P.E.)
Site : <http://www.epe.asso.fr>
- Fonds Mondial pour la Nature (WWF)
Site : <http://www.panda.org>
- Institut Max Planck pour la météorologie (Hambourg, Allemagne)
Site : <http://www.mpimet.mpg.de>
- Inventaire Forestier National (IFN)
Site : <http://www.ifn.fr/pages/index-fr.html>
- Jean-Marc JANCOVICI (consultant)
Site : <http://www.manicore.com>
- Office International de l'Eau
Site : <http://www.oieau.fr/index.htm>
- Presses Universitaires de Cambridge
Site : <http://www.cup.org>

- Réseau Action Climat France (RAC-FR)

Site : <http://www.rac-f.org>

- Ressources naturelles Canada - le changement climatique

Site : <http://climatechange.nrcan.gc.ca/francais/index.asp>

- Syndicat des Energies Renouvelables

Site : <http://www.ser.ipseo.com>

VI – ENTREPRISES

- Comité des Constructeurs Français d'Automobiles (C.C.F.A.)

Site : <http://www.ccfa.fr>

- PSA Peugeot-Citroën

Sites : <http://www.psa.peugeot.citroën.com>

<http://www.psa.fr>

VII – PÉRIODIQUES SCIENTIFIQUES, REVUES

- Association Des Amis de Passages (ADAPES – association des Amis de la revue Passages)

Site : <http://www.club-internet.fr/perso/passages>

- « La recherche »

Site : <http://www.larecherche.fr>

- « Nature »

Site : <http://www.nature.com>

- « Pour la Science »

Site : <http://www.pourlascience.com>

VIII - CENTRES DE RESSOURCES

- Liste de bases de données sur l'eau

Site : <http://www.nal.usda.gov/wqic/dbases.html>

- Portail de sites sur l'eau

Site : <http://www.uswaternews.com/links.html>

Sans l'effet de serre naturel, la Terre serait bien moins accueillante. Mais ce phénomène bienfaisant, qui favorise la vie, se double désormais d'un effet de serre artificiel provoqué par l'homme. Depuis quelques années, la communauté scientifique délivre avec une fermeté grandissante un message inquiétant : à force d'émettre dans l'atmosphère des gaz dits « à effet de serre », résultant notamment de la combustion des énergies fossiles, l'homme ne serait-il pas devenu un agent climatique ?

Une telle mutation aurait des impacts sur les hommes, sur la biodiversité et sur les territoires. Mais comment remettre en question le recours croissant aux combustibles fossiles ou encore l'agriculture intensive au moment même où la planète va se trouver peuplée d'un nombre inégalé d'êtres humains ? N'est-ce pas saper les fondements mêmes de la civilisation industrielle ? D'autres choix sont-ils possibles ? Comment permettraient-ils d'atteindre les horizons 2025, 2050 et 2100 ?

Après avoir contribué, en un siècle et demi seulement, à dérégler la climatisation du vaisseau spatial Terre, l'homme sera-t-il à même de réparer les conséquences de ses excès passés et actuels et de réorienter son action ? En est-il encore temps ? Les relations Nord-Sud, comme le sort des générations futures, en dépendent.

Compte tenu du caractère planétaire du problème posé à chacun, l'OPECST a voulu donner au lecteur du présent rapport les moyens de se forger lui-même son opinion, en joignant à cette étude un Cd-rom sur les changements climatiques.

Outre le rapport du sénateur Marcel DENEUX, ce Cd-rom comporte une vingtaine de rapports ou d'articles connexes émanant des sources les plus autorisées (Académie des Sciences, Mission Interministérielle de l'Effet de Serre...), sans omettre d'indiquer des sites Internet permettant d'accéder à d'autres connaissances sur les changements climatiques, l'effet de serre et l'avenir de la Planète Bleue.

N° 3603
ASSEMBLÉE NATIONALE
CONSTITUTION DU 4 OCTOBRE 1958
ONZIÈME LÉGISLATURE

N° 224
SÉNAT

SESSION ORDINAIRE DE 2001-2002

Enregistré à la Présidence de l'Assemblée nationale
le 13 février 2002

Annexe au procès-verbal de la séance du
13 février 2002

**OFFICE PARLEMENTAIRE D'ÉVALUATION
DES CHOIX SCIENTIFIQUES ET TECHNOLOGIQUES**

RAPPORT

sur

L'ÉVALUATION DE L'AMPLEUR DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES,
DE LEURS CAUSES ET DE LEUR IMPACT PRÉVISIBLE SUR LA GÉOGRAPHIE DE LA
FRANCE À L'HORIZON 2025, 2050 ET 2100,

par

M. Marcel DENEUX,
Sénateur.

Tome II - Auditions

Déposé sur le Bureau de l'Assemblée nationale
par M. Jean-Yves LE DÉAUT
Président de l'Office.

Déposé sur le Bureau du Sénat
par M. Henri REVOL
Premier Vice-Président de l'Office.

INTRODUCTION

Les soixante-sept auditions figurant dans le Tome II du présent rapport sur les changements climatiques en 2100 ont été menées par votre Rapporteur principalement au cours des années 2000 et 2001.

Les résumés publiés ont été soumis aux personnalités entendues avant publication.


Votre Rapporteur a, en outre, effectué deux **missions à l'étranger** : l'une en Israël, l'autre aux Pays-Bas.


Ces deux pays, en effet, risquent d'être confrontés très directement à des conséquences des changements climatiques, soit du fait d'une pénurie d'eau aggravée, soit du fait d'une élévation du niveau de la mer.

Les experts de haut niveau rencontrés lors de ces missions mènent des recherches analogues à celles des chercheurs français et de l'ensemble de la communauté scientifique mondiale.

Des avis de hauts fonctionnaires de **la Commission européenne** ont également été recueillis lors d'un déplacement à Bruxelles.

Enfin, sur le **Cd-rom**, joint au présent rapport, il est possible de consulter les deux tomes de cette publication.

Dans le corps du rapport (Tome I) de petits icônes placées après le nom de la personne entendue  **signalent les auditions figurant dans le tome II** ; en cliquant dessus, le texte de l'audition est immédiatement accessible.

De même, en cliquant sur  la liste d'**une vingtaine de rapports ou d'articles de référence sur les changements climatiques** apparaît, et tel ou tel d'entre eux peut être consulté dans son texte intégral.

Sans avoir l'ambition d'être exhaustif sur un thème aussi vaste, la qualité comme la diversité des documents reproduits peut permettre à tout lecteur de mener **une recherche pour se forger sa propre opinion** sur le sujet à partir de sources multiples.

Il procède ainsi, en quelque sorte, lui-même aux auditions qu'il aurait pu souhaiter organiser.

Cette présentation d'un rapport de l'OPECST constitue une innovation sur laquelle le Rapporteur serait très intéressé de connaître **votre avis** (opecst@senat.fr)

SOMMAIRE

AUDITIONS

(classées par ordre alphabétique du nom de l'organisme ou de la personne) (1)

	<u>Pages</u>
• Académie des Sciences	11
- Professeur Maurice TUBIANA	
- M. Bernard TISSOT	
• Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME)	17
- M. Pierre RADANNE	
- M. Jacques LABEYRIE	
• Airlines European Association (AEA)	23
- Mme Thi Mai LE	
• AIRPARIF	27
- M. Michel ELBEL	
- M. Philippe LAMELOISE	
• Assemblée Permanente des Chambres d'Agriculture (APCA)	33
- M. Guy VASSEUR	
- M. Jean-Noël TERRIBLE	
- M. Jacques PIOR	
• BNP PARIBAS	37
- M. Denis AUTIER	
- M. Emmanuel DEBOAISNE	

(1) Un index alphabétique des noms des personnes entendues figure à la fin du présent tome.

• Bureau de Recherches Géologiques et Minières (B.R.G.M.)	41
- M. Yves CARISTAN	
• Caisse Centrale de Réassurance (C.C.R.)	45
- M. Thierry MASQUELIER	
• CEA – CNRS	49
Laboratoire des Sciences du Climat et de l’Environnement	
- M. Laurent TURPIN	
• CEMAGREF – Institut de recherche pour l’ingénierie de l’agriculture et de l’environnement	55
- M. Pierrick GIVONE	
- M. Jean-Louis VERREL	
• Centre d’Etudes sur les Réseaux, les Transports, l’Urbanisme et les constructions publiques (CERTU)	59
- M. Jean-Pierre ROTHEVAL	
• Centre National d’Etudes Spatiales (CNES)	63
- M. Jacques ARNOULD	
• Centre National d’Etudes Spatiales (CNES)	67
- Mme Anny CAZENAVE	
• Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS)	69
Laboratoire Climat et Santé – Faculté de Médecine de Dijon	
- Professeur Jean-Pierre BESANCENOT	
• Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS)	75
Laboratoire de Météorologie Dynamique à l’Ecole Polytechnique	
- M. Robert KANDEL	
• Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS)	79
- M. Jean-François MINSTER	

• Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS)	85
- Mme Sylvie JOUSSAUME	
• Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS)	91
- M. Gérard MEGIE	
• Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS)	97
Laboratoire de Géographie physique	
- M. Paolo Antonio PIRAZZOLI	
• Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS)	101
Laboratoire de Géographie physique	
- Docteur Christine ROMANA	
• Commission européenne	105
Direction générale des relations extérieures	
- M. René LERAY	
• Conservatoire National des Arts et Métiers (CNAM)	109
- Professeur Jean LUCAS	
• DATAR	115
- M. Jean-Louis GUIGOU	
• M. Robert DELMAS	119
• Electricité de France (EDF)	123
- M. Bernard MECLOT	
- M. Jean-Yves CANEIL	
• Energies renouvelables (Syndicat)	127
- M. Erik GUIGNARD	
• Fédération des entreprises de Transports et Logistique de France (TLF) et SNCF	299
- M. Alexis BORDET	

- M. Francis ROL-TANGUY
- **Fédération Nationale des Syndicats d'Exploitants Agricoles (FNSEA)** 131
 - M. Jean SALMON
- **Groupe Intergouvernemental d'experts sur l'Evolution des Climats (GIEC)** 133
 - M. Michel PETIT
- **Institut Français de l'Environnement (IFEN)** 135
 - Conservatoire du Littoral
 - M. Jean-François LETOURNEUX
- **Institut Français de l'Environnement (IFEN)** 139
 - M. Bernard MOREL
- **Institut Français du Pétrole (IFP)** 141
 - M. André DOUAUD
- **Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer (IFREMER)** 147
 - M. Jean-François MINSTER
- **INESTENE - Institut d'Evaluation des Stratégies sur l'Energie et l'Environnement en Europe** 151
 - M. Antoine BONDUELLE
- **Institut National d'Agronomie de Paris-Grignon (INA P-G)** 155
 - M. Alain PERRIER
- **Institut National de la Recherche Agronomique (INRA)** 161
 - M. Ghislain GOSSE
- **Institut National de la Recherche Agronomique (INRA)** 163
 - M. Bertrand HERVIEU
 - M. Jean BOIFFIN
 - M. Pierre STENGEL

- M. Ghislain GOSSE
- M. Bernard SEGUIN
- **Institut Pasteur** **167**
 - Professeur François RODHAIN
- **Institut Pierre Simon Laplace (I.P.S.L.)** **173**
 - M. Hervé LE TREUT
- **Institut de Recherche pour le Développement (IRD)** **179**
 - M. Jacques MERLE
 - M. Rémy LOUAT
- **M. Jean-Marc JANCOVICI**, Ingénieur consultant (MANICORE) **185**
- **Mme Corinne LEPAGE**, Ancien ministre de l'environnement **193**
- **Météo France** **199**
 - M. Daniel CARIOLLE
- **Mission Interministérielle de l'Effet de Serre (M.I.E.S.)** **203**
 - M. Michel MOUSEL
 - M. Marc GILLET
- **Ministère de l'Agriculture**, Direction de l'espace rural et de la forêt **207**
 - M. Christian BARTHOD
- **Ministère de l'Agriculture**, Direction de l'espace rural et de la forêt **213**
 - M. Guy LANDMANN
- **Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement**, **217**
 - M. Yves COCHET
- **Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement**,
Direction de l'Eau **221**
 - M. Noël GODARD

- **Ministère de l'Aménagement du Territoire
et de l'Environnement, GICC** 227
 - M. Jean-Claude ANDRÉ
- **Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement** 235
 - M. Benoît LESAFFRE
 - M. Jean-Marc SALMON
 - M. Maurice MULLER
- **Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement,
Direction des Affaires Economiques et Internationales** 241
 - M. Thierry VEXIAU
- **M. Patrice MIRAN** 247
- **Muséum national d'histoire naturelle** 251
 - M. Denis COUVET
- **Office National des Forêts (O.N.F.)** 255
 - M. Bernard GOURY
 - M. Cyril LOISEL
- **Palais de la Découverte** 261
 - M. Jean AUDOUZE
- **Ponts et Chaussées – Conseil général** 265
 - M. Jean-Pierre GIBLIN
- **PSA-Peugeot Citroën** 269
 - M. Bruno COSTES
 - M. Hervé PICHON
- **Le Quotidien du Médecin – Prix Epidaure** 275
 - Mme Florence MEHL

• Réseau Action-Climat France (RAC France)	277
- M. Philippe QUIRION	
- Melle Raphaëlle GAUTHIER	
• M. Philippe ROQUEPLO	283
• Sécurité routière	289
- M. Yves ROBICHON	
- M. Bernard GAUVIN	
• SNCF et Fédération des entreprises de Transports et Logistique de France (TLF)	293
- M. Francis ROL-TANGUY	
- M. Alexis BORDET	
• Université Pierre et Marie Curie (Paris VI)	299
- M. le Professeur Pierre ROGNON	
• M. Paul VERGÈS, Sénateur	309
• Vivendi Environnement	313
- M. Jean-Pierre TARDIEU	
- M. Michel DUTANG	
- Mme Marie-Thérèse SUART-FIORAVANTE	
• Voies Navigables de France (VNF)	317
- M. François BORDRY	
• WWF – Fonds Mondial pour la Nature	321
- M. Jean-Stéphane DEVISSE	

ACADÉMIE DES SCIENCES

PROFESSEUR MAURICE TUBIANA (1)

M. BERNARD TISSOT

(29 mars 2000)

M. Bernard TISSOT a tout d'abord évoqué la situation du **transport automobile** en remettant quelques graphiques. Il a, par exemple, rappelé que certains modèles d'automobiles ne consommaient déjà que trois à quatre litres aux 100 km il y a une dizaine d'années, mais que, depuis, les nouvelles exigences des consommateurs ont contribué à alourdir les voitures ; c'est ainsi que les tableaux de bord pèsent maintenant jusqu'à 150 ou 200 kg.

Il a ensuite rappelé qu'**une étude de l'Académie des Sciences sur les villes françaises et européennes** avait été menée ; des études sur d'autres villes comme, par exemple, Los Angeles n'étant évidemment pas transposables à la France.

(1) Le Professeur Maurice TUBIANA est Directeur honoraire de l'Institut Gustave Roussy (Villejuif), membre de l'Académie des sciences et Président du Comité de l'Environnement de celle-ci, Vice-Président de l'Académie nationale de médecine.

Articles et livres récents :

- *Santé et Environnement (comptes rendus Académie des Sciences – Sciences de la vie - 323, p. 651-664, 2000)*
- *La santé et la ville (comptes rendus Académie des Sciences – Sciences de la vie – 324, p. 757-767, 2001)*
- *Principe de précaution, ses avantages et ses risques (Bull. Académie Nationale de Médecine, 184, p. 969-993, 2000)*
- « *Histoire de la pensée médicale* » (Flammarion – Collection Champs 1995)
- « *L'éducation et la vie* » (O. Jacob – 1999)

De même, il a souligné que **les comparaisons de pays à pays** devaient être effectuées avec précaution. Comment comparer l'Italie et l'Autriche, qui n'ont pas de centrale nucléaire, à la France qui, avec 80 % de son électricité d'origine nucléaire, se trouve dans une situation extrême en Europe ?

Le Professeur Maurice TUBIANA a insisté, quant à lui, sur **la sous-utilisation de la voie d'eau en France** alors qu'elle devrait être le fondement de la circulation industrielle.

Puis, il a relevé **l'importance des responsabilités individuelles dans les émissions de gaz à effet de serre**. C'est ainsi qu'**une conduite dite sportive** multiplie par vingt les émissions de polluants. De plus, la pollution étant proportionnelle à **l'âge de la voiture**, il existe un décalage entre les techniques actuelles et l'état moyen du parc automobile, sans compter que **les deux roues** sont particulièrement polluants.

Il a également rappelé que le pot catalytique avait été rendu obligatoire le 1^{er} janvier 1993, et le filtre à particules le 1^{er} janvier 1997, les effets bénéfiques de ces réglementations n'intervenant que progressivement.

Mais, **au-delà des problèmes techniques, existe un problème social**. Par exemple, les très grosses motos polluent moins que les petites, tandis qu'**aucun contrôle technique n'existe sur les cyclomoteurs** dont le niveau de pollution n'est pas sans rappeler celui de l'automobile Trabant en Europe centrale.

Enfin, même si le carburant est souvent évoqué dans des comparaisons sur la pollution, les moteurs fabriqués aujourd'hui, qu'ils soient à **essence ou diesel**, ne polluent pas davantage les uns que les autres.

M. Bernard TISSOT a ensuite souligné que l'émission d'oxyde d'azote était difficile à réduire pour les diesels, mais qu'en revanche les nouveaux moteurs à essence émettaient aussi des particules. Les deux types de moteurs soulèvent donc des problèmes, mais pas plus l'un que l'autre.

Il a indiqué également qu'il serait souhaitable de **mesurer les polluants dans les rues** afin d'obtenir une sorte d'indicateur du niveau de pollution atteint par l'espèce de « soupe » ambiante.

Le Professeur Maurice TUBIANA a rappelé que de grands progrès avaient été effectués dans les moteurs automobiles sous l'influence de la réglementation prise pour lutter contre la pollution en Californie, des mesures drastiques ayant été employées là-bas. De plus, au-delà des caractéristiques des moteurs, il faut aussi prendre en compte **la fluidité du trafic**, qui est un facteur essentiel, à condition que cette fluidité ne permette pas non plus une trop grande vitesse.

En outre, il a rappelé que **les camions et camionnettes constituent des sources majeures de pollution**.

Si un bilan coût-bénéfice des voitures était dressé, il apparaîtrait que celles-ci constituent des outils fondamentaux, qui ne pourraient être remplacés que si l'on repensait l'urbanisme dans les banlieues (où l'usage des voitures particulières est souvent indispensable) **et les transports en commun** (leur réseau, leur sécurité, leur confort). Par exemple, l'absence d'escaliers roulants à toutes les bouches de métro empêche les personnes âgées de recourir systématiquement à ce mode de transport, ce qui, compte tenu du vieillissement de la population française, devrait pourtant être pris en compte.

Le Professeur Maurice TUBIANA a noté aussi que **les économies d'énergie pouvaient elles-mêmes conduire à des excès**. C'est ainsi qu'en Suède et en Hongrie, ces économies ont été vivement encouragées, ce qui a conduit les habitants à calfeutrer leurs maisons, faisant surgir un autre danger car l'absence d'aération favorise les miasmes et le radon.

De même, **un discours excessif sur la pollution peut générer des angoisses aboutissant à des conduites irrationnelles**. C'est ainsi que, dans les écoles de Paris, lors d'une alerte à la pollution, il avait été interdit aux élèves de sortir dans la cour de récréation, et dans certains établissements des maux de têtes importants étaient apparus du fait des émanations dégagées par des locaux récemment repeints.

Ces considérations conduisent à penser que l'urbanisme lui-même devrait être reconsidéré en fonction de la pollution. En ville et surtout dans les banlieues, l'habitat pourrait être recentré autour des gares.

Dans le contexte actuel, le Professeur Maurice TUBIANA a insisté sur le fait que **le nucléaire**, même en prenant en compte l'ensemble de son cycle, offre plus de sécurité et dégage moins de pollution que chacune des autres sources d'énergie.

A ce sujet, M. Bernard TISSOT a exprimé la crainte que, par souci d'économie, les Etats-Unis d'Amérique finissent par prendre certains risques, notamment dans le nucléaire.

Il s'est félicité ensuite de l'approche suivie par la loi dite BATAILLE. Il a indiqué qu'il lui semblait impossible qu'un réacteur capable de détruire les déchets nucléaires soit construit avant une vingtaine d'années. Mais, dans la mesure où la COGEMA possède une capacité de stockage lui permettant de faire face aux soixante-dix années de déchets nucléaires à venir et même davantage, il est possible d'attendre la construction de ces réacteurs.

En fait, le problème posé est principalement celui des déchets à vie longue – 1 million d'années-, sachant que 100.000 m³ de ceux-ci seront produits d'ici à 2020. L'ANDRA mène des recherches sur ce point, mais, en fin de compte, il existera toujours un déchet ultime qu'il sera possible d'enfouir à 500 m de profondeur, à un endroit où personne n'ira chercher quoi que ce soit.

Le Professeur Maurice TUBIANA a rappelé également la nécessité de **surveiller les sources médicales très actives (cobalt)** qui peuvent donner lieu à des accidents, comme ce fut le cas au Brésil et au Mexique (30 morts), ou encore en Turquie (10 morts), il y a encore un an ; les petites billes brillantes de cobalt avaient été vendues à un ferrailleur, alors que celles-ci ont une durée de demi-vie de cinq ans. Il a aussi insisté sur les précautions à prendre lors du démantèlement des stations de recherche comme dans la vallée du Rhône. Il a exprimé aussi sa préférence pour **des stockages réversibles dans des sites profonds** tout en indiquant que les conclusions à tirer de ces stockages ne seront probantes que pour le site où les observations auront été effectuées.

Il a indiqué aussi que, dans **le total des radiations absorbées par chaque individu**, les radiations naturelles représentaient environ 2,5 mSv/an (avec des variations d'une région à l'autre de la France entre 1,5 et 6 mSv/an), l'irradiation médicale 1 mSv/an en moyenne et l'ensemble de la filière de l'énergie nucléaire 0,01 mSv/an soit moins de 1 % de l'irradiation naturelle.

En fait, peu d'efforts ont été accomplis pour des recherches diminuant les irradiations médicales bien que celles-ci représentent 99 % des irradiations d'origine humaine et qu'avec des efforts limités on pourrait aisément les réduire sans altérer la qualité des informations obtenues. Il a ensuite rappelé qu'à l'Académie des sciences, les questions de santé et de météo étaient coordonnées par Michel PETIT, vice-président du Comité environnement de l'Académie des Sciences, le Professeur Maurice TUBIANA étant lui-même président dudit Comité.

Par ailleurs, le Professeur Maurice TUBIANA a souhaité revenir sur une idée reçue concernant **le paludisme, celui-ci étant moins une question de climat que de niveau socioéconomique** : Miami et Abidjan se trouvent sur la même latitude mais connaissent des situations sanitaires fort différentes. De même, en Algérie ou dans le sud de l'Italie, le problème des moustiques avait été supprimé grâce au DDT. En outre, **il serait probablement possible de trouver un vaccin contre le paludisme**, mais le marché concerné est peu solvable.

De la même manière, les études faites en Afrique noire montrent que, **davantage que le climat, un des facteurs de la longévité réside dans le niveau d'éducation des femmes**, de la manière dont elles s'occupent des enfants et dont, surtout, elles les nourrissent.

Le Professeur Maurice TUBIANA a déclaré que le **problème de l'eau serait le problème majeur du XXIème siècle**. Il s'agira, dans le monde, d'un problème colossal qui épargnera en partie l'Europe, d'où l'intérêt d'**améliorer les méthodes d'irrigation**, ce qui constituerait une première source possible d'économie.

M. Bernard TISSOT a ensuite évoqué les perspectives offertes par **les moteurs à gaz**, qu'il s'agisse de méthane ou de butane propane. Actuellement, le butane et le propane sont commercialisables (**GPL**). En **Italie** et aux **Pays-Bas**, il existe un petit parc de véhicules roulant au GPL, et il est question dans ces pays

d'équiper la Poste et les services après-vente de véhicules roulant au GPL, mais la rareté des points d'approvisionnement ralentit cette évolution.

Il a indiqué en outre que **le méthane CH₄, gaz naturel**, était utilisé pour les camions, mais cela dégage aussi du CO₂, en quantité moindre toutefois que le pétrole, et pour l'instant aucune infrastructure n'existe pour l'approvisionnement.

A propos des **véhicules mixtes** (électrique et diesel), il a estimé que le problème des accumulateurs demeure réel et interdit le parcours de longues distances. Sur ces véhicules, la propulsion électrique est couplée avec un moteur diesel pour recharger. Un avenir lui a semblé possible pour cette technique.

De même, le Professeur Maurice TUBIANA a évoqué l'avenir des **véhicules à hydrogène** dont le seul produit de combustion est l'eau. A cet égard, M. Bernard TISSOT a rappelé le bon niveau de sécurité offert par le GPL et par le méthane, tandis que l'hydrogène pose un problème réel.

Le Professeur Maurice TUBIANA s'est demandé si la mise à disposition de **petites voitures électriques en ville**, moyennant des paiements effectués par carte de crédit, n'était pas une piste à explorer de même que **l'utilisation de camionnettes électriques ou hybrides pour les livraisons**.

Evoquant ensuite la question de **la climatisation**, il a relevé que le réchauffement entraînait un recours accru à celle-ci qui, à son tour, accroît les dépenses d'énergie. Par ailleurs, la climatisation constitue un facteur important de l'allongement de la durée de la vie, en évitant l'augmentation des accidents cardiaques au cours des périodes de canicule, mais, d'un autre côté, le système de climatisation favorise aussi l'apparition de la légionellose.

A ce propos, il a rappelé le coût important de la lutte contre une infection dans un bâtiment comportant une installation défectueuse entraînant des risques de contamination, comme ce fut le cas à Gustave Roussy à Villejuif. Cependant, au total, les réfrigérateurs, comme la climatisation, constituent des bienfaits pour la santé.

Interrogés ensuite sur **les effets des transports aériens sur la pollution atmosphérique**, le professeur Maurice TUBIANA a considéré ceux-ci comme relativement négligeables au regard de l'émission des gaz à effet de serre.

**AGENCE DE L'ENVIRONNEMENT
ET DE LA MAÎTRISE DE L'ÉNERGIE (ADEME)**

**M. Pierre RADANNE, PRÉSIDENT
et M. Jacques LABEYRIE, DIRECTEUR SCIENTIFIQUE**

(20 janvier 2000)

M. Pierre RADANNE a tenu à rappeler en introduction qu'il était difficile de construire des **outils publics pour anticiper des crises** lorsque le public n'a pas perçu les signes qui annonçaient ces problèmes, ce qui est le cas pour le réchauffement climatique.

L'expérience actuelle de l'ADEME est riche des deux chocs pétroliers, vécus comme des drames, alors qu'elle n'avait aucun savoir-faire au départ. Ces événements ont montré que les délais de réponse des pays ont demandé dix à quinze années, de 1973 à 1985 où, enfin, les prix du pétrole ont baissé ; un phénomène analogue est constaté actuellement pour les déchets.

Pour **l'effet de serre**, il n'existe pas de signal extérieur qui attire l'attention de tous les acteurs ; le gaz carbonique n'étant pas un polluant local. D'où l'interrogation suivante : faut-il, pour préparer 2010, remplacer un signal faible par un signal fort, en instaurant par exemple une nouvelle fiscalité, génératrice de hausses de prix ? Grâce à une telle mécanique d'adaptation, il est probable que dans dix ans, le prix de la tonne de carbone approcherait les 500 F.

Abordant ensuite le rôle propre de **l'ADEME**, son Président a indiqué qu'elle accomplissait quatre missions essentielles :

1) L'ADEME contribue à **l'élaboration des réglementations thermiques**. C'est ainsi qu'entre 1972 et 2000, l'énergie nécessaire pour chauffer une maison neuve a été divisée par trois. Cependant, le parc immobilier ayant une durée de vie proche de 150 ans, même une évolution de cette importance n'a encore qu'un impact limité.

2) **L'ADEME dispense des conseils aux petits opérateurs, PME-PMI**, grâce à une procédure d'aide au diagnostic se concrétisant par **des prêts**. Les collectivités locales et les entreprises peuvent bénéficier de subventions à hauteur de 90 % pour une étude menée en trois jours et avec des délais très rapides d'intervention de l'ADEME. A cet égard, M. Pierre RADANNE a exprimé son optimisme sur la capacité de réaction de la société française qui peut être rapide si elle est bien conseillée.

3) **L'ADEME libère des moyens financiers**. En 1998, 100 millions de francs ont été consacrés à la maîtrise de l'énergie et ce montant a été porté à 600 millions de francs en 1999. Par ailleurs, les contrats de plans Etat-Régions ont mobilisé 300 millions de francs.

4) **L'ADEME agit en liaison avec le secteur bancaire**, finançant 20 % à 30 % des opérations au moyen de subventions, et la SOFARIS garantissant les PME à hauteur de 40 %. L'association de l'ADEME et de la SOFARIS a permis à l'ADEME de rajouter 30 % de garanties, l'ADEME ne provisionnant que 3 % en fonction du taux de risque. De tels procédés permettent la démultiplication de l'action publique pour **obtenir, dès l'horizon 2010, première étape fixée à Kyoto, des résultats significatifs**.

Abordant ensuite les actions menées secteur par secteur, M. Pierre RADANNE a estimé que **l'industrie** avait opéré beaucoup d'améliorations, même si des actions restaient à conduire. Il a souligné qu'il s'agissait d'un secteur où les progrès étaient réguliers notamment grâce à la modernisation des procédés de l'informatique.

Dans **l'habitat**, il a noté les progrès accomplis en matière de réglementation thermique en 2000 qui ont permis de baisser les coûts de 7 % par rapport à 1999, une nouvelle étape devant être franchie en 2003-2004. Dans ce secteur, **la consommation d'énergie par les logements augmente peu**, mais **l'inertie dans les améliorations provient du patrimoine bâti ancien et de mauvaise qualité thermique**. Dans l'ensemble, seulement 15 % du patrimoine est vraiment préoccupant. Il s'agit surtout de maisons individuelles et d'habitats de rue fortement dégradés.

Dans le secteur des **appareils ménagers**, l'électricité française provenant du nucléaire dégage peu de CO₂, alors qu'à l'étranger le même besoin est couvert par des centrales thermiques dégageant beaucoup de CO₂. En France, le nucléaire ne peut plus progresser dans la satisfaction de ce besoin et il est probable que l'ouverture du marché de l'électricité à la concurrence entraîne le recours à des centrales thermiques, étant rappelé qu'en France, actuellement, aux heures de pointe, on s'éclaire, pourrait-on dire, au charbon.

Dans le secteur des **transports** qui se trouve **au centre des difficultés**, **trois problèmes majeurs** apparaissent. D'une part, **une aspiration au transport** entretenue par les professionnels des loisirs. Ainsi, la croissance du trafic dans ce domaine excède de 1 % la croissance économique, le trafic maritime connaissant une hausse plus rapide encore.

D'autre part, l'urbanisme et l'aménagement du territoire aboutissent au développement de **villes en tâches d'huile** dont les transports publics desservent mal la périphérie.

Si à Paris, un ménage sur deux ne possède pas de voiture, ce cas reste isolé. En effet, dans l'ensemble, le pourcentage des déplacements en voiture n'a cessé d'augmenter, le chômage a d'ailleurs éloigné l'emploi de l'habitat, et la distance **domicile-travail a été multipliée par deux en 25 ans**.

Enfin, **les véhicules sont de plus en plus puissants**. Le poids moyen de ceux-ci s'est accru de 600 kilos en dix ans. La vitesse que peuvent atteindre les véhicules est couramment de 200 km/heure alors que la limitation de vitesse se situe à 130 km/heure.

Ces évolutions ont gommé les gains qui avaient été accomplis par ailleurs en termes de consommation de carburant par les véhicules.

Aujourd'hui, les transports contribuent à hauteur de 35 % aux émissions de gaz à effet de serre et il est probable que ce pourcentage atteindra 40 % en 2010.

Une certitude émerge : cette façon de vivre n'est pas transposable au reste du monde.

Face à cela, M. Pierre RADANNE estime qu'**il s'agit de faire évoluer la voiture**, en promouvant, par exemple, un accord européen pour ne construire que des voitures allant à 150 km/heure, en reétagant les boîtes de vitesses. La vitesse la plus couramment utilisée est la troisième, alors qu'il serait possible d'être en quatrième dès le seuil des 50 km/heure. Il faudrait parvenir à faire passer les consommations de carburants de 10 litres à 6 litres aux 100 km sur route.

Selon lui, sans basculer dans une attitude anti-voiture, il serait souhaitable de **changer la relation à la voiture**, en améliorant la qualité des transports en commun, en utilisant les nouvelles technologies pour réduire les déplacements contraints, en rapprochant le prix du transport de son coût, celui-ci intégrant l'impact sur l'effet de serre, et en remettant en cause l'éclatement des sites industriels très coûteux en transports.

L'ensemble de ces points montre qu'**un véritable débat de société est indispensable**.

Enfin, dans le secteur des **énergies nouvelles et renouvelables**, dont la filière bois, l'encouragement du **chauffage au bois** en milieu rural est à recommander.

M. Pierre RADANNE a ensuite estimé que l'effet de serre étant lié au développement économique des sociétés, et le remplacement des réacteurs nucléaires français devant intervenir entre 2010 et 2020, **l'échéance de 2010 ne serait pas influencée par le choix nucléaire.**

En revanche, au-delà, si le nucléaire était en partie remplacé par les combustibles fossiles (co-génération, turbines à gaz...), l'effet de serre total serait différent. A cet égard, il a noté que les turbines à gaz émettent quatre fois moins de gaz à effet de serre qu'une centrale thermique classique au charbon. Des évolutions technologiques permettent de réduire les émissions de CO₂ en cas d'usage de combustible fossile. Il serait envisageable d'installer des **petites unités de co-génération au pied des immeubles**, ainsi que de développer **la pile à combustible**. La recherche se focalise également sur le stockage de CO₂ émis par des sources concentrées (centrales thermiques, raffineries...).

M. Pierre RADANNE a relevé que les éoliennes sont maintenant très proches de la compétitivité avec un coût de production qui descendra progressivement vers une trentaine de centimes le kWh, mais leur développement se heurte au problème des sites et de leur acceptabilité sociale. Ces deux problèmes pourraient d'ailleurs être résolus par l'implantation de **fermes éoliennes off-shore** (par exemple au large de Dunkerque) ; chaque unité pouvant produire environ le dixième de l'électricité d'un réacteur nucléaire. Elles prendraient place sur des bancs de sable à près de 10 kilomètres des côtes. Les pays nordiques ont ainsi déjà pris des options très fortes en faveur du développement des éoliennes.

Par ailleurs, M. Pierre RADANNE a insisté sur le fait que les **filières rustiques d'exploitation de la biomasse** étaient plus productives que les filières plus sophistiquées. Il a indiqué qu'il existait sur le bois des marges de progression de rendement à court terme assez importantes. Les rendements actuels étant les suivants : cheminées 10 %, inserts 30 %, poêles Godin 35 %, bons poêles 50 % à 60 %, très bonnes chaudières 80 %. Associée à une bonne isolation des maisons, les améliorations de rendements permettront de réduire les émissions de carbone.

Il a relevé que la tempête de décembre 1999 pouvait servir à moderniser la filière bois, le bois constituant 5 % de l'approvisionnement énergétique de la France.

En ce qui concerne les économies d'électricité, M. Pierre RADANNE a recommandé l'emploi des **nouvelles ampoules à basse consommation d'énergie** tout en notant l'adaptation des luminaires qu'elles nécessitaient. Celles-ci devraient permettre une économie sensible de charbon, énergie utilisée pour la production électrique de pointe.

Il s'est déclaré favorable au **transport fluvial**, notamment pour les déchets qui ne requièrent pas de flux tendu. Il a jugé très intéressante la **liaison Seine-Nord** et estime envisageable, sans grand problème, la **liaison Saône-Moselle**.

Au sujet du **dialogue avec les constructeurs d'automobiles**, il a indiqué que Renault serait d'accord pour aller de l'avant dans le sens de la réduction des consommations de carburants à condition qu'un accord européen existe.

Il a également relevé que le **photovoltaï que (photo-piles) pouvait freiner l'exode rural, voire l'émigration, dans les pays en développement en y introduisant l'électricité**, et qu'il s'agissait là d'**un enjeu mondial majeur**, étant observé que la population a tendance à se rapprocher de l'eau, que ce soit du littoral ou des fleuves. En France, Montpellier aspire, par exemple, la population du sud du Massif Central.

Evoquant les **négociations internationales sur l'effet de serre**, M. Pierre RADANNE a relevé que ce débat pouvait entraîner des tensions entre les pays. Ainsi, lors de la négociation du protocole de Kyoto, le climat était-il assez tendu. Dans ce contexte, **la position de la France sur la question de l'effet de serre apparaît comme très crédible sur la scène internationale**. Lors de la Conférence de Bonn, des représentants de chaque pays ont exprimé leur point de vue et **certaines Etats manifestaient la peur d'une vraie rupture climatique** : tel était le cas du **Bangladesh** dont 15 % du sol agricole est déjà salé, des **Maldives** où deux îles ont dû être abandonnées, ou encore du **Népal** où le régime des pluies et le système hydrologique sont en pleine mutation, sans parler des ouragans et des sécheresses.

Face à cela, **l'ADEME estime que le principe de précaution doit être respecté** et manifeste des inquiétudes sur la modification éventuelle du *Gulf Stream*.

Evoquant les adaptations à effectuer par les sociétés, M. Pierre RADANNE a noté que le coût pour celles-ci dépendrait davantage, en quelque sorte, du rayon de courbure de leur changement que du changement de direction en tant que tel.

Par ailleurs, il a aussi noté que la production de froid, notamment **la climatisation automobile**, pouvait engendrer du gaz à effet de serre. En effet, un climatiseur bas de gamme perd de 20 à 30 % de son gaz chaque année alors que 5 % de pertes seraient atteignables.

En conclusion, M. Pierre RADANNE a jugé intéressant **le projet de CD-rom envisagé par l'OPECST** à destination notamment des collègues et a estimé que **les réactions face à l'intensification de l'effet de serre dépendraient en fin de compte du degré de maturité de chaque société**.

En terminant, il a attiré l'attention sur la nécessité d'**éviter des terminologies porteuses de discord** comme celles de l'expression « permis à polluer » au profit de celle de « quotas échangeables ».

**ASSOCIATION OF EUROPEAN AIRLINES
(A. E. A.)**

**MME LE THI MAI,
GENERAL MANAGER INFRASTRUCTURE AND ENVIRONMENT**

(9 mai 2000)

Mme LE Thi Mai a rappelé qu'**A.E.A** s'est imposée, au fil des années, comme **l'interlocuteur privilégié des institutions européennes** présentant au nom de ses 29 compagnies membres des positions communes. Cette association réunit deux fois par an les présidents des compagnies membres pour évoquer tous les grands problèmes du moment. Par exemple, l'une des questions prioritaires du jour consiste à résoudre le grave problème du retard qui affecte près du tiers des vols, retard qui a commencé avec la guerre du Kosovo, mais qui s'est poursuivi dans les premiers mois de l'an 2000. Des sujets sensibles tels que les aides d'Etat, la composition des alliances ou encore les choix stratégiques des compagnies, ne sont jamais abordés au sein de l'A.E.A.

L'association rassemble des compagnies membres au-delà des pays de l'Union européenne actuelle. Il s'agit des compagnies de Chypre, Croatie, Hongrie, Islande, Malte, Roumanie, Slovénie, Suisse, République Tchèque, Turquie et la Yougoslavie.

Un comité animé par Mme LE Thi Mai travaille en permanence sur les questions d'infrastructure et d'environnement et suit de très près les travaux du GIEC.

Abordant le sujet de **la pollution par les avions**, Mme LE Thi Mai a souligné qu'il n'y a que les onze Concorde supersoniques commerciaux qui volent dans la zone de la stratosphère, outre les avions militaires ; que 80 % des gaz à effet de serre sont constitués par le CO₂. Certes, les avions émettent des gaz à des altitudes que d'autres pollutions mettent du temps à atteindre. Cependant, le rapport du GIEC souligne qu'on ne peut pas distinguer le CO₂ émis par l'avion de celui émis par des sources au sol, mais qui progressivement monte dans l'atmosphère. **L'ensemble du CO₂ émis par toute l'aviation mondiale est de l'ordre de 3 %, soit l'équivalent de**

celui émis par le seul Royaume -Uni (1). Pour l'avenir, et selon certains scénarios de croissance du trafic aérien, il est prévu que **de 1990 à 2050, les émissions de CO₂ provenant de l'aviation devraient passer de 2 à 8 %, soit une multiplication par quatre.**

Elle a ajouté à propos de **la traînée de condensation observée dans le sillage des avions**, qu'il s'agit de **vapeur d'eau** qui s'agglutine aux nuages et provoque donc une réaction de condensation formant des cirrostratus qui peuvent voiler l'ensemble de la vision dans certains cas. Selon certains, les vols ont pour effet d'introduire de la vapeur d'eau à une altitude où il n'y en avait pas, mais le rapport du GIEC est lui-même très prudent sur la question des condensations.

Il y a dix ans, la préoccupation prioritaire en matière de transport aérien concernait les émissions de NOx, alors qu'aujourd'hui, l'attention se porte sur le CO₂. Mais, il est à noter que le NOx absorbe le méthane (gaz à effet de serre) dans la troposphère et que le NOx émis par les supersoniques diminue la présence de l'ozone, mais dans de très faibles proportions (moins de 0,1 %).

Une autre préoccupation concerne **la suie** provenant des imbrûlés, mais ce phénomène a presque disparu aujourd'hui.

Mme LE Thi Mai a insisté sur le fait que **le renouvellement de la flotte aérienne** était très lent, même si l'ensemble de la flotte A.E.A. avait moins de neuf ans d'âge. Mais, comme un avion a une durée de vie économique de plus de trente ans, certaines compagnies *charters* utilisent les avions revendus par les compagnies nationales. Aux Etats-Unis d'Amérique, la moyenne d'âge de la flotte est d'environ douze ans, mais la plupart des compagnies américaines conservent leurs avions jusqu'à obsolescence -parfois une trentaine d'années-, tant que la sécurité est pleinement assurée.

Elle a précisé que les gains technologiques observés au cours des dernières années vont maintenant marquer une pause, en attendant les retombées des programmes de recherche et développement. En conséquence, l'augmentation de trafic entraînera une consommation accrue de carburants, en termes absolus, même si la consommation spécifique par avion s'est considérablement améliorée. De plus, elle a noté que tous les éventuels carburants de substitution (éthanol, méthanol, méthane, hydrogène) étaient très lourds par rapport au kérosène et ne sont pas opérationnels pour le moment. Même l'hydrogène devient lourd du fait des mesures de protection qui doivent accompagner son usage.

(1) *En grammes par passager au kilomètre, l'aviation émettait en 1995 dans l'Union européenne, 175 grammes, les voitures privées -avec 1,7 passager par voiture- 125 grammes, le train, 65 grammes, l'autobus, 45 grammes.*

Ces chiffres de l'Union européenne sont contestés par l'AEA car, selon elle, pour le train, on ne tient pas compte de la source première de production de l'énergie –charbon ou nucléaire.

Evoquant **les recours respectifs à l'avion ou au train**, Mme LE Thi Mai a noté que, sur Paris-Lyon, le TGV avait supplanté l'avion et qu'il pourrait en être de même sur Paris-Marseille.

Cependant, des trajets comme Paris-Bruxelles ou Paris-Londres demeurent très fréquentés dans la mesure où ces destinations sont souvent davantage celles d'aéroports de correspondance plutôt que des villes elles-mêmes. A cet égard, des recherches de complémentarité devraient être développées ; par exemple, il pourrait exister de nouvelles perspectives pour l'intermodal avec un enregistrement de bagages commun à l'avion et au train.

Abordant ensuite **la place du transport aérien dans les émissions de CO₂ dans l'Union européenne**, Mme LE Thi Mai a noté que ce secteur ne produisait que 3 % du CO₂ émis dans l'Union européenne, mais qu'il connaissait la plus forte progression avec une augmentation de 3,3 %, de 1990 à 1995, d'où l'inquiétude compréhensible du législateur et son souci d'étudier diverses formes de **taxation**.

A cet égard, la Commission européenne a commandé une étude sur les conséquences économiques et environnementales d'une taxe sur le carburant. Avec une hypothèse de 245 écus de taxation pour 1.000 litres, il y aurait une perte de 530 millions d'écus, soit plus d'un demi-milliard d'écus pour toutes les compagnies basées en Europe, pour seulement une diminution de 1,4 % par rapport au CO₂ de tous les modes de transport de l'Union, ou 0,34 % de réduction par rapport à toutes les sources de CO₂ de l'Union. C'est payer très cher pour un résultat à l'unité qui risquerait en outre d'entraîner la perte de 48.000 emplois directs.

Une autre hypothèse consisterait à taxer le carburant de tous les vols de et vers l'Europe, ce qui serait irréaliste car il faudrait renégocier environ **2.000 accords internationaux** qui, **pour le moment, accordent une exemption fiscale au carburant utilisé dans l'aérien**.

Enfin, il reste la piste des **permis négociables** que l'aviation pourrait acheter ailleurs dans d'autres secteurs économiques. Cela ne reviendrait pas à l'exonérer d'effort mais lui permettrait d'atteindre ses objectifs de réduction de pollution, sans pour autant compromettre sa croissance.

Mme LE Thi Mai a beaucoup insisté sur le fait que **les compagnies aériennes étaient tout à la fois conscientes de leurs responsabilités, mais soucieuses de minimiser les coûts d'une limitation des nuisances environnementales** dans un contexte de hausse significative du nombre de passagers.

Elle a par ailleurs souligné qu'avec un **renforcement de la concurrence**, les compagnies ont tendance à favoriser une politique de fréquences, c'est-à-dire le recours accru à des avions de petite et moyenne taille, ce que certains considèrent comme un gaspillage.

Mme LE Thi Mai a précisé que **la consommation de carburant** variait selon les phases du vol qui inclut le cycle de décollage, le vol et l'atterrissage, et

également selon la taille des modules, selon aussi qu'il s'agit de moyens ou de longs courriers ou encore de cargos, les gros porteurs long courrier ayant la meilleure consommation spécifique par passager transporté.

Mme LE Thi Mai a insisté sur la nécessité d'intégrer l'objectif environnemental dans **la gestion de l'espace aérien**, la fragmentation actuelle du ciel européen étant source de congestion et d'aggravation de la pollution. Une étude de l'OACI (Organisation de l'Aviation Civile Internationale) montre qu'une amélioration du système de contrôle aérien européen réduirait de 5 % la consommation de carburant.

Enfin, elle a présenté la **Déclaration commune des constructeurs et des compagnies aériennes de décembre 1999**.

En effet, l'European Association of Aerospace Industries (AECMA) et l'Association of European Airlines (AEA) ont rendu publique une position commune sur la réduction des émissions de dioxyde de carbone (CO₂) par l'aviation.

Selon elles, **entre 1990 et 2012, la consommation de carburant des compagnies AEA par passager au kilomètre devrait diminuer de 22,4 %** grâce au renouvellement de la flotte aérienne et **les émissions de CO₂ par l'aviation devraient être réduites de 15 % à 20 %** d'ici 2015 grâce à la mise en œuvre de nouvelles technologies résultant d'une active politique de recherche.

Les deux associations se sont déclarées favorables aux accords volontaires de réduction des émissions de CO₂ et à un contrôle de celles-ci en liaison avec la Commission européenne.

AIRPARIF

M. MICHEL ELBEL, PRÉSIDENT

M. PHILIPPE LAMELOISE, DIRECTEUR

(14 novembre 2000)

M. Philippe LAMELOISE a commencé par rappeler que la loi sur l'air avait chargé AIRPARIF de **la surveillance de la qualité de l'air en Ile-de-France**. Cela s'accomplit à partir d'analyses chimiques, d'échantillonnages couplés à des simulations mathématiques.

Différents microenvironnements sont étudiés, notamment à proximité immédiate des sources de pollution, par exemple automobiles ou aériennes, le transport étant le secteur qui préoccupe le plus en Ile-de-France. Il serait d'ailleurs souhaitable de pouvoir distinguer entre les pollutions dues aux transports de personnes et celles provenant des transports de marchandises, sans doute plus importantes. M. Philippe LAMELOISE a insisté sur la très forte croissance du **transport aérien**.

La pollution de fond la plus préoccupante est constituée par **l'oxyde d'azote**, surtout d'origine automobile. Cette pollution se situe 15 % au-delà des seuils admissibles, mais comme cet excès provient de transformations chimiques dans l'atmosphère, il faudrait diminuer de 50 % les émissions pour diminuer de 15 % le seuil de pollution atteint. Il a précisé à cet égard que le régime de **la circulation alternée** ne diminue que de 20 à 25 % les émissions.

M. Philippe LAMELOISE a souligné que la pollution atmosphérique constitue un signal des émissions dont l'amplificateur peut être la météorologie. C'est ainsi qu'en cas de grande pluie ou de grand vent tout est nettoyé. A l'inverse, **en cas de grand beau temps**, en hiver comme en été, avec un froid prononcé ou une chaleur importante, **la pollution atteint son maximum**. En cas de petit vent d'est, assez fréquent aujourd'hui, une forte pollution se répand sur tout Paris.

Si des progrès très importants ont été accomplis dans la réduction des **pollutions industrielles**, notamment dans celles des émissions de dioxyde de soufre

qui ont été divisées par dix en quarante ans en région parisienne, les pollutions qui demeurent proviennent essentiellement des centrales thermiques. De plus, certains combustibles très polluants ont été interdits en région parisienne.

Evoquant ensuite les caractéristiques du trafic lui-même, M. Philippe LAMELOISE a noté que **la baisse de la pollution de chaque véhicule s'est accompagnée d'une augmentation du trafic**. C'est ainsi que, selon les points d'observation, des conclusions différentes peuvent être tirées. Par exemple, au carrefour d'Alésia, une tendance à la baisse du monoxyde de carbone a été observée, alors qu'aux Champs-Élysées cette baisse est très faible, ce qui s'explique par le fait que la circulation au carrefour d'Alésia étant déjà saturée au début de la période d'observation, la modification traduit donc l'amélioration de la qualité des émissions des véhicules sensibles.

Le Président Michel ELBEL a observé que **la fluidité du trafic faisait varier la nature de la pollution, mais sans la supprimer**. Ainsi, un encombrement dégagera un maximum de monoxyde de carbone, alors qu'une circulation fluide provoquera un maximum d'oxyde d'azote. Le problème principal en Ile-de-France est qu'il y existe 4 millions de personnes subissant des pollutions se situant au-dessus des seuils européens, d'où la difficulté d'effectuer des simulations en prenant en compte toutes les heures de la journée dans tous les lieux sensibles ; c'est pourquoi les informations sont encore imprécises à ce jour. Un objectif pourrait être de réguler la fluidité du trafic.

Quant au projet, souvent évoqué, de la construction de **tunnels en région Ile-de-France**, M. Michel ELBEL a jugé cette proposition dépassée, l'objectif premier étant de respirer correctement dans les tunnels grâce à une ventilation suffisante. Or, **une fois la pollution diluée, elle n'est plus traitable**. C'est ainsi qu'à Bergen, en Norvège, un tunnel traite spécifiquement les particules émanant de l'usure des pneus à clous qui érodent le béton, et créent donc une poussière analogue à celle d'un chantier. De même, un tunnel de 50 km emprunté par les poids lourds entre deux îles du Japon a nécessité la dépollution des particules Diesel. Mais **on ne sait pas traiter la pollution des gaz**, pourtant 20 à 50 fois supérieure à celle de l'extérieur. En réalité, le tunnel est efficace pour lutter contre les nuisances sonores subies par les lieux traversés... sauf si le traitement de la pollution de l'air augmente celles-ci à l'endroit du traitement.

A propos de **l'air intérieur**, M. Michel ELBEL a jugé très souhaitable **une connaissance de la pollution globale tant intérieure qu'extérieure** à laquelle les personnes sont soumises et a rappelé que les Associations de surveillance de la qualité de l'air y travaillent. Par exemple, dans les voitures, l'air de l'environnement immédiat est respiré et il est indispensable d'assurer une ventilation minimale sinon, en deux à trois minutes, toutes vitres fermées, la composition de l'air sera identique à celle de l'air extérieur. Les filtres à air actuels pour les habitacles sont peu efficaces, seuls les filtres à charbon actif étant performants, mais ils demandent une très forte puissance de ventilation atteignant cinq fois la puissance des filtres traditionnels.

Contrairement à une fausse évidence, l'enfant assis dans sa poussette sur le trottoir au niveau des pots d'échappement est moins exposé que celui qui se trouve sur le siège d'une voiture pendant plusieurs heures au milieu d'embouteillages.

De même, **le benzène** est parfois en plus forte concentration à l'intérieur qu'à l'extérieur, mais AIRPARIF n'est chargé que de l'air extérieur, à savoir la vérification d'une qualité minimale de cet air qui risque d'être encore dégradée à l'intérieur, où s'y ajoutent les fumées de tabac, celles des activités domestiques (cuisine au gaz, émanation des produits ménagers ou de bricolage, mode de construction) sans compter la présence éventuelle d'un garage donnant sur l'habitation qui subit, de ce fait, l'évaporation des réservoirs. Dans le même ordre d'idées, **le calfeutrement des locaux peut être néfaste à la qualité de l'air intérieur**, même s'il permet de chauffer moins.

M. Michel ELBEL a tenu à signaler que dans l'univers professionnel il existe **un très grand décalage entre les règles imposées sur les lieux de travail et les normes dans l'environnement extérieur en général**.

Les institutions européennes ont actualisé **des normes applicables à la population en général**, ce qui est loin d'être inutile puisque les règles d'hygiène au travail datent d'une trentaine d'années, et ont quelques facteurs cents d'écart avec les normes applicables à l'habitat.

A propos des **normes d'hygiène au travail**, il a été rappelé qu'à la RATP, il existe des normes différentes applicables soit aux voyageurs, soit aux conducteurs. A titre d'exemple, M. Michel ELBEL a indiqué qu'à la station de mesures d'AIRPARIF située à la Porte d'Auteuil, où passent 250 000 véhicules par jour, dont beaucoup de poids lourds, des capteurs situés à 3 mètres de la chaussée ont détecté un niveau de particules quatre fois inférieur à celui relevé sur les quais du RER. Des études sont d'ailleurs menées sur les effets de cette situation sur les conducteurs du métro, mais il est à déplorer que **l'épidémiologie constitue une discipline peu reçue en France**.

M. Philippe LAMELOISE a ensuite détaillé les caractéristiques de **la pollution par l'ozone**, qui est un polluant formé à partir des autres polluants émis, lorsqu'existe un fort ensoleillement. Il se produit alors une catalyse de l'oxygène par l'oxyde d'azote émis par les transports, et par les hydrocarbures résultant à la fois des transports et de la distribution de carburants. Il s'agit là d'une chimie très complexe, lente, puisqu'**il s'écoule six heures entre l'émission des gaz et la formation de l'ozone**. **Le monde rural se trouve donc concerné par ce phénomène**, car il subit la pollution qui s'est formée ailleurs.

L'ozone produit des **effets sanitaires** : grâce au métier de soudeur à arc électrique, des normes d'hygiène au travail et environnementales ont pu être édictées concernant ces effets.

D'autres effets concernent **la végétation**, notamment le rendement des céréales. AIRPARIF a mené une expérience sur des blés américains en Beauce, dont la croissance est entravée de 10 à 15 % en cas de pollution.

Des effets sur **le bâtiment** existent aussi, provoquant la dégradation du verre sous l'effet du dioxyde de soufre et du nitrate, ce qui rend ce matériau moins transparent et entraîne des coûts. La pierre est également touchée, comme l'ont montré les chevaux de Marly, au bas des Champs-Élysées.

Il est à craindre que **la pollution par l'ozone continue à augmenter**, car si l'oxyde d'azote diminue, cela va augmenter l'ozone, qui ne disparaît pas en 24 heures. La forêt de Rambouillet est très touchée, la pollution à l'ozone se répartissant environ 1/3 sur Paris, 2/3 sur Rambouillet.

L'air pollué provient d'Allemagne ou d'ailleurs, puis l'ozone se forme en France. Seule **une solution européenne** peut donc être efficace.

Considérant l'évolution future des transports, M. Philippe LAMELOISE a observé que la motorisation thermique engendrera encore davantage de gaz carbonique, que les émissions filtrées par **les pots catalytiques** ne sont pas encore vraiment connues -d'autant que d'ici à dix ans le pot lui-même risque de se dégrader- et que les plus grosses incertitudes concernent tous les véhicules utilitaires. Quant aux **deux roues**, ils accusent un très grand retard: **ils polluent souvent autant qu'un moteur de voiture d'il y a 25 ans et connaissent un très grand développement**, par exemple à Rome.

D'autres **moteurs thermiques** non liés aux déplacements (groupes électrogènes, engins de chantiers, tondeuses à gazon, petits matériels de jardin), et pour lesquels il n'existe pas de normes en Europe, contrairement aux Etats-Unis d'Amérique, sont très polluants.

Evoquant **des exemples étrangers**, les personnes entendues ont rappelé qu'en **Californie**, il existe de très graves problèmes de pollution atmosphérique : au cours des années 1960, à Los Angeles, les pneumatiques des automobiles éclataient sous l'effet de la pollution par l'ozone, qui dépassait une concentration de 800 mg/m³. De même, à Londres, dans les années 1950, le *smog* a rendu difficiles les projections cinématographiques car la lumière des projecteurs était affaiblie avant d'atteindre l'écran.

Au sujet de **la pollution causée par le transport aérien**, M. Philippe LAMELOISE a relevé que si une automobile dégage de l'oxyde d'azote mesuré en grammes par kilomètre parcouru, **les avions dégagent de l'oxyde d'azote par centaines de kilos à chaque mouvement** (manœuvres, décollages, etc.).

Lorsqu'une simulation générale de cette pollution est effectuée, **les localisations des aéroports ressortent en tant que zones polluées sur les cartes.**

Quant au **transport ferroviaire**, il pollue du fait des **locomotives Diesel de traction** dont chacune pollue autant que 15 camions de 40 tonnes. Les gares de Paris risquent de recevoir de nouveaux autorails diesel de plus faible puissance et de conception plus modernes car, dans les régions, la SNCF a incité à acheter ces trains (TER), notamment dans la région Bourgogne et ceux-ci ont leur terminus à Paris.

En conclusion, M. Michel ELBEL et M. Philippe LAMELOISE ont souhaité que **la circulation de personnes et des marchandises s'adapte à l'agglomération**, et non l'agglomération à l'automobile ou l'automobile à l'agglomération, sans omettre de rappeler que la pollution par le bruit est également très nuisible.

**ASSEMBLÉE PERMANENTE
DES CHAMBRES D'AGRICULTURE
(A.P.C.A.)**

**M. GUY VASSEUR,
PRÉSIDENT DE LA COMMISSION ENVIRONNEMENT**

**M. JEAN-NOËL TERRIBLE,
CHARGÉ DES DOSSIERS AGRONOMIE ET ENVIRONNEMENT,**

**ET M. JACQUES PIOR,
CHARGÉ DE L'AGRICULTURE BIOLOGIQUE
ET DES DÉBOUCHÉS NON ALIMENTAIRES**

(29 novembre 2000)

M. Guy VASSEUR a constaté que l'APCA n'avait pas encore mené de réflexion sur l'**incidence du changement climatique** en agriculture prévu dans les décennies à venir. Il a toutefois dégagé les thèmes qui seront concernés par cette évolution : l'impact sur les cultures, la forêt et le développement des biocarburants et le problème de l'eau.

Il a rappelé l'existence d'**un rapport sur la politique de l'eau** présenté au mois de novembre au **Conseil économique et social**, dans lequel la prédominance des Agences de l'eau est réaffirmée, ainsi que la nécessité de bien distinguer entre l'eau, bien de production, et l'eau, bien de consommation ; la tonalité de ce rapport semblant d'ailleurs plus proche de celle de la directive européenne que ne l'est le projet de loi sur l'eau.

Il a émis un jugement négatif sur la présentation de **la taxe générale sur les activités polluantes**, et positif **sur la redevance azote**, qui est proche de la

conception de l'APCA dans son principe. Il a salué le fait que l'argent de l'eau soit prévu pour retourner à l'eau.

M. Guy VASSEUR a ensuite rappelé que **l'agriculture est le deuxième préleveur d'eau en France après le secteur de l'énergie et à égalité avec les collectivités**. Mais, il a fait remarquer qu'en agriculture, une partie de l'eau était restituée à l'environnement, ce que le ministère du même nom se refuse à prendre en considération.

Il s'est déclaré favorable à **une gestion de l'eau par les volumes et non par les prix** ; il a cité l'exemple de la nappe de Beauce. Pour ne pas descendre au-dessous d'un certain niveau, des restrictions à l'irrigation durant la fin de semaine ou la journée ont été instaurées. Ces mesures n'ont que peu d'effet et de plus, elles profitent à ceux qui sont bien équipés et pénalisent les autres. Une gestion quantitative, contrôlée au moyen de compteurs a été mise en place avec l'administration, sans aboutir cependant à une politique stricte de quota.

A l'inverse, le ministre de l'Environnement propose une gestion par les prix qui privilégie celui qui peut payer, mais ne règle pas le problème du volume d'eau utilisé.

Abordant la question de **la pluviométrie**, M. Jean-Noël TERRIBLE a fait remarquer que dans ce contexte de changement climatique, les excès ou les défauts de pluie ainsi que les aléas climatiques semblaient être plus nombreux et plus importants qu'auparavant. Or, pour une bonne efficacité agricole de l'eau, il ne faut pas des abats d'eau excessifs. L'eau doit en effet pénétrer dans le sol pour pouvoir être absorbée par les plantes.

De plus, une précipitation trop intense peut entraîner un ruissellement qui est susceptible de provoquer de **l'érosion**. Si les pluies sont importantes et brutales, elles peuvent également provoquer des **crues dramatiques** même en l'absence de remembrement (Nîmes, Vaison la Romaine,...). Ce phénomène de ruissellement est accentué en zone urbaine par l'imperméabilisation de surfaces importantes.

D'un point de vue général, M. Jean-Noël TERRIBLE a relevé que **les exploitations agricoles ne peuvent migrer en fonction de l'évolution climatique. Les agriculteurs seront amenés à adapter leurs cultures** en fonction des réponses apportées par la recherche. Ainsi, pour le matériel génétique, à l'avenir, les recherches génétiques permettront de disposer de variétés adaptées aux nouvelles conditions climatiques.

Cependant, plus violents et sévissant sur des zones variables et imprévisibles, **les aléas climatiques risquent de provoquer des dégâts plus importants aux cultures**.

A propos des **zones humides**, il a relevé que certains marécages du sud-ouest et d'autres régions françaises ont été assainis au cours des siècles afin de lutter contre les « fièvres » qui frappaient les populations. Il a rappelé la nécessité d'être

vigilant car entretenir ou reconstituer des zones humides, avec le réchauffement climatique, pourrait recréer des conditions favorables au **développement des insectes vecteurs de maladies** qui deviennent de plus en plus résistantes aux médicaments (le paludisme ...).

De plus, l'augmentation de la température moyenne risque d'avoir aussi une influence sur **le développement des insectes xylophages** et particulièrement les termites. Connus depuis longtemps dans le sud, ils sont en train de coloniser les zones rurales et urbaines de la France. Les chablis de la tempête de 1999 restés sur place constituent un terrain de multiplication de ces insectes.

Actuellement, plus de la moitié des départements sont touchés et on relève la présence de ces insectes en plein cœur de Paris.

Par ailleurs, les hivers insuffisamment froids pourraient entraîner **la prolifération de ravageurs** des cultures tels que les campagnols et les limaces.

Abordant ensuite les questions liées à **la forêt**, M. Guy VASSEUR a observé qu'il faudrait peut-être remplacer les jachères par des jachères énergétiques, voire par une reforestation. M Jacques PIOR a observé qu'**un massif forestier a des effets sur les climats locaux, les sols et l'érosion**, et que la reforestation permettrait peut-être de récupérer des zones délaissées en France, indépendamment des retombées de l'évolution des prix du pétrole.

M. Guy VASSEUR a mis l'accent sur **le décalage entre les prises de conscience face aux diverses formes de pollution**, trois vagues pouvant être distinguées :

- 1960 : perception de la pollution industrielle,
- 1980 : perception de la pollution agricole,
- 1990 : perception de la pollution des ménages.

Aujourd'hui, les médias ne parlent que des pollutions d'origine agricole. Il est important de **mieux faire connaître les effets utiles et bénéfiques de l'agriculture** dans notre société. Ainsi, lorsqu'un agriculteur procède à l'épandage de boues de stations d'épuration urbaines, il rend un service à la société en éliminant ce déchet par le recyclage de la matière organique avec les cultures.

M. Guy VASSEUR a insisté sur le fait que **la question des boues** allait être un dossier difficile à gérer. L'agro-industrie, la grande distribution incorporent dans les cahiers des charges de production agricole des restrictions, voire des interdictions d'utilisation de boues et déchets. Les agriculteurs sont pris en otage. La profession agricole avait demandé la mise en place d'un système de couverture des risques pour les agriculteurs épandant des boues. Il n'est toujours pas créé à ce jour.

M. Guy VASSEUR a déploré que depuis quatre années, les pouvoirs publics restent dans l'expectative sur ce dossier, ce qui a abouti à une impasse et un blocage se traduisant par des réticences de plus en plus marquées de la part des agriculteurs à recevoir les boues urbaines.

Il a estimé qu'il revient donc aux pouvoirs publics de prendre une position claire sur ce qui constitue un dossier de société et non un dossier agricole.

Evoquant ensuite **les biocarburants**, M. Jacques PIOR a parlé de l'existence d'écobilans privés relatifs à la filière alcool et aux huiles dont les résultats étaient assez positifs. De plus, même si le résultat était équivalent à celui obtenu grâce aux combustibles fossiles, **la production de biocarburants devrait être encouragée**, puisque leur caractère renouvelable l'emporte sur d'autres aspects. Or, avec un pétrole à 35 \$ le baril, cette production devient intéressante avec, pour limite, l'ampleur des surfaces utilisables. Il a rappelé également que BP venait de gagner une procédure en première instance relative à la défiscalisation des biocarburants, et qu'une procédure en appel était pendante.

BNP PARIBAS

**M. DENIS AUTIER,
CHEF DU DÉPARTEMENT GESTION GLOBALE DES RISQUES,**

**ET M. EMMANUEL DEBOAISNE,
CONSEILLER AU DÉPARTEMENT GESTION GLOBALE DES RISQUES**

(11 octobre 2000)

MM. Denis AUTIER et Emmanuel DEBOAISNE ont présenté la nouvelle activité dans laquelle les banques et les assurances se sont rapprochées, à savoir **les dérivés climatiques**.

Ces nouveaux produits reflètent une approche globale du risque. De plus en plus de risques de type assurance apparaissent.

Dans cet esprit, il arrive que des entreprises s'assurent en cas de croissance insuffisante. Dans cette approche, BNP PARIBAS joue le rôle de conseil, évalue le prix et transfère le cas échéant les risques à d'autres investisseurs.

La couverture des risques climatiques est née aux Etats-Unis d'Amérique en 1997, à l'époque où les compagnies d'énergie ont redouté des fluctuations fortes de leur activité liées au climat. L'idée consistait à se protéger des variations de prix résultant des aléas climatiques car le climat peut entraîner beaucoup de perturbations pour un certain nombre d'entreprises.

En France, les données historiques de MÉTÉO FRANCE permettent l'évaluation d'un prix de transfert de risque. La clientèle de BNP PARIBAS, dans ce domaine, compte aussi bien des compagnies d'énergie que des fabricants de boissons -les brasseurs, par exemple- des glaciers, des transporteurs qui redoutent l'enneigement et le gel, des parcs d'attraction, des stations de sports d'hiver, des entreprises de bâtiment et de travaux publics dont l'activité est perturbée par la pluie et le gel. Des assurances garantissent, elles, contre, par exemple, le risque de pluie durant les tournois de tennis à Roland Garros ou bien encore contre l'enneigement ou

contre le mauvais temps en général- en cas de tournage de cinéma ou de concert en plein air.

Les risques assurés pris en compte par BNP PARIBAS sont, soit conservés, soit replacés sur le marché de la réassurance.

Une comparaison internationale montre que **le Royaume-Uni et la Scandinavie** sont plus en avance que la France en matière de risques climatiques dans la mesure où le marché de l'énergie est déjà dérégulé dans ces pays.

Les collectivités publiques sont également très concernées. En effet, certaines communes ou départements sont très exposés -le sablage des routes ou leur déblaiement n'ont pas un coût négligeable. Mais actuellement, les collectivités publiques n'ont pas le droit de s'assurer contre les aléas du climat car il leur est proposé un produit financier et non une assurance proprement dite. L'absence de demande provient aussi de l'insuffisante connaissance de ce nouveau produit. Déjà à l'étranger, au Royaume-Uni et aux Etats-Unis d'Amérique, les collectivités locales souscrivent des assurances climatiques.

Quant à l'importance économique de ce secteur, elle est exprimée par le marché américain du risque climatique qui représente environ 7 milliards de dollars de montants couverts, les primes atteignant 4 % à 15 % de ce montant. La probabilité de survenance des événements assurés est environ de 10 %, ce qui signifie qu'elle est calculée d'après un rythme décennal.

Pour les vendeurs de ces nouveaux produits, il s'agit de **faire prendre conscience aux entreprises de l'existence du risque climatique qui est en réalité un des trois risques principaux de l'entreprise.**

95 % des opérations de ce type sont qualifiés de contrat financier et non d'assurance, ce qui oblige l'entreprise à évaluer l'impact financier d'un degré de température. Le banquier chiffre ensuite le coût de la couverture. En sens inverse, les assureurs ou réassureurs évoluent aussi vers le secteur financier.

Certaines entreprises souhaiteraient un produit multirisques concernant le compte de résultat. BNP PARIBAS mène des études en ce domaine qui devraient pouvoir aboutir lorsque le risque est bien identifié. Pour mettre au point ces produits, BNP PARIBAS a recruté des assureurs pour parler le même langage qu'eux.

Ces attitudes d'anticipation de la part des entreprises sont importantes dans le cadre des accords de Kyoto qui prévoient un marché de permis d'émission de carbone, dont les mesures réglementaires restent à adopter. BNP PARIBAS estime que **des investisseurs existent pour des aspects environnementaux mais il faut attendre le bon moment pour proposer la création du bon produit.**

Déjà la Banque Mondiale a lancé un fonds (Prototype Carbon Fund) de 150 milliards de dollars afin de financer des projets dans le cadre des accords de

Kyoto, cadre dans lequel la Banque Mondiale récupère les permis liés aux projets ainsi financés.

Il semblerait que le marché potentiel des permis d'émission de carbone soit important. Un seul précédent existe : celui du marché des émissions de soufre aux Etats-Unis d'Amérique.

Mais derrière tous ces développements, demeure la question de fond de la météo. Existe-t-il, ou non, une tendance météo exprimant un changement et, dans l'affirmative, par quoi est-elle pilotée ? Cette interrogation est capitale pour les assureurs et les banquiers qui doivent diversifier les risques par zone géographique et choisir en conséquence certains pays pour exercer leur activité climatique.

Pour l'instant, la meilleure protection contre les aléas climatiques résulte d'hivers plutôt chauds.

Dès à présent, en **Californie** et en **Espagne**, des agences sont chargées d'observer les évolutions ; il s'agit, en Espagne, d'une agence de l'Etat. Un risque important est l'inondation. La ville de Cologne en **Allemagne** redoute beaucoup les crues et un nouveau produit est souhaité contre ce risque car son importance excessive en fait refuser la garantie par les assureurs.

Tous les temps sont concernés. Par exemple, pour les compagnies procédant au dégivrage des avions, il est important de se couvrir contre les hivers chauds.

Mais **la bonne connaissance des données météorologiques est toujours difficile**. Par exemple, à Las Vegas, il a suffi de la création d'un lac devant la station météorologique pour créer un microclimat.

D'une manière générale, **la tendance au réchauffement de la température semble certaine** : soit une augmentation de plus d'un degré en vingt ans et les organismes privés qui travaillent à partir des données de MÉTÉO FRANCE -qui possède un très bon réseau, de bonnes bases de données historiques et qui est probablement le meilleur organisme de météo en Europe- analysent très soigneusement l'ensemble des informations recueillies.

D'autres régions du monde sont moins favorisées. C'est le cas de l'**Afrique** qui n'est même pas observée dans la mesure où il n'y existe pas d'historique météo sur les trente dernières années. Quant à l'**Australie** et au **Brésil**, ils donnent lieu à quelques opérations isolées.

Une fois les données météo collectées, pour estimer le risque et le montant de la prime d'assurance, **une approche actuarielle** est utilisée afin de permettre un excédent et un retour du capital.

De nouvelles sociétés se manifestent sur ce marché, notamment des sociétés américaines qui incitent éventuellement à conclure des assurances sur Internet. BNP

PARIBAS vient également de lancer un site Internet permettant de proposer des produits liés aux données météorologiques.

Mais le changement de mentalité incitant les entreprises à se couvrir contre le risque climatique commence seulement à s'opérer. De nouveaux produits destinés aux particuliers qui pourraient, par exemple, se couvrir contre une augmentation anormale de leur facture de chauffage restent à inventer.

Par ailleurs, certaines entreprises ne s'assurent plus car elles estiment qu'au sein même de leur groupe, un phénomène de mutualisation existe déjà en interne du fait de la taille de leur société. C'est le cas de British Petroleum (B.P.) et cet exemple s'étend.

Des liens avec la recherche doivent encore être développés pour intégrer par exemple les phénomènes réguliers appelés El Niño ou La Niña -ou oscillation australe- ou encore les risques liés à l'oscillation nord atlantique.

A ce stade, il n'y a pas véritablement de liens entre la réflexion des banques et des assureurs et la politique gouvernementale ou l'action de la MIES liée au climat.

**BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES
ET MINIÈRES
(B.R.G.M.)**

M. YVES CARISTAN, DIRECTEUR GÉNÉRAL

(6 avril 2000)

M. Yves CARISTAN, Président du Comité Supérieur d'Evaluation des Risques Volcaniques et Directeur général du BRGM, a indiqué que depuis les années 1980, **l'étude du climat a beaucoup évolué en couplant certains concepts**, par exemple, les océans avec la météo, et, à partir des années 1990, en couplant ou bien le développement durable et les interactions de l'atmosphère, ou bien la biologie et les sols, en s'intéressant à la surface et à la modification de la géométrie de cette surface.

Il a rappelé que les modifications météorologiques et climatiques avaient des **impacts géomorphologiques** (érosion, élévation du niveau moyen des mers observé de 0,3 cm par an, dilatation thermique des océans) et que seules les mesures étaient à même de fournir des certitudes. Il a aussi souligné que **le changement du niveau de référence hydrologique des fleuves** pouvait être lié à des changements du transport des sédiments possibles. En effet, une grande mobilité a pu être observée, par exemple, pour le Fleuve Jaune en Chine et pour la Somme en France.

Les modifications des traits de côtes sont aussi étudiées par le B.R.G.M., par exemple les modifications des bancs de vase au bord de la côte de Cayenne, qui entraînent des problèmes pour les ports de Cayenne et de Kourou. Des programmes de suivi des traits de côtes sont donc nécessaires et le B.R.G.M. constitue des bases de données à partir de ses observations. Les territoires d'Outre-mer sont également affectés par **la hausse du niveau de la mer**. Ainsi, en Polynésie, les atolls de un à trois mètres de hauteur sont concernés.

Au-delà des impacts climatiques directs, **les glissements de terrain** risquent de se multiplier du fait des pluies et des sécheresses, comme cela s'est produit aux Antilles et au Japon ; **les inondations** vont augmenter.

Pour M. Yves CARISTAN, de récents événements comme le séisme de Turquie ou les tempêtes de décembre 1999 en France, ont rappelé **la vulnérabilité**

des sociétés modernes aux phénomènes naturels, celle-ci étant d'ailleurs augmentée par la complexité desdites sociétés.

M. Yves CARISTAN a noté également que **les changements climatiques peuvent entraîner des modifications du couvert végétal, de la vie bactérienne du sol, des températures et de l'hygrométrie**.

Dans ce contexte, la politique de prise en compte des **risques naturels** devrait être encore davantage confortée, notamment quant aux prévisions. C'est pourquoi l'Etat développe des programmes de **cartographie du risque**.

A propos des **eaux souterraines**, M. Yves CARISTAN a considéré que celles-ci constituaient un patrimoine plus ou moins bien géré. Le B.R.G.M., spécialiste de ces questions, s'interroge sur l'impact des climats, sur la montée ou la baisse des nappes phréatiques, surtout en cas de modification des précipitations. Il pourrait y avoir alors une importante remontée des nappes, voire des affleurements et des apparitions de marais permanents, la localisation des zones humides pourrait en être modifiée, tout comme le trajet des pollutions diffuses, ce qui ne manquerait pas d'entraîner des effets indirects sur la qualité et la quantité des eaux.

M. Yves CARISTAN a ensuite insisté sur ce qu'était **le problème du biseau d'eau salée** qui a pour effet, le long des côtes, de faire pénétrer l'eau de mer dans l'aquifère puis d'entraîner sa remontée vers les nappes de surface comme cela se produit en Aquitaine, mais aussi dans de nombreuses régions côtières dans le monde. Il a estimé qu'il conviendrait de recycler davantage l'eau et, probablement, de recharger les aquifères, y compris avec les eaux recyclées.

En **Inde**, où une semaine est consacrée à l'eau, et dont les habitants seront sans doute près de 1,1 milliard en 2050, l'eau, apportée en abondance par les moussons, l'est cependant à une mauvaise époque de l'année. La recharge artificielle pourrait présenter un intérêt.

M. Yves CARISTAN a ensuite indiqué que le B.R.G.M. s'intéressait au **stockage artificiel du CO₂** et qu'à leur tour, les industriels manifestaient un intérêt soutenu pour ce procédé.

Il s'est ensuite inquiété de **la gestion des eaux souterraines** qui n'est pas idéale à ce jour du fait de la pollution, de la baisse des niveaux et du désintérêt de l'Etat. A cet égard, il lui a semblé que la loi sur l'eau allait dans le bon sens.

Interrogé sur l'éventualité d'un cataclysme lié à **la fonte éventuelle des calottes glaciaires** et à leur précipitation instantanée dans l'océan, M. Yves CARISTAN a jugé cette hypothèse absurde dans la mesure notamment où les calottes ont une inertie mécanique très grande. Une fonte totale des calottes glaciaires prendrait plusieurs siècles et il est inconcevable d'imaginer que la calotte se retrouve dans l'océan. En effet, la glace n'est pas cassante et le milieu est ductile. Sur ce

point, il a recommandé au rapporteur de consulter le Laboratoire de glaciologie de Grenoble.

Interrogé sur le parallèle possible entre la terre et **un vaisseau spatial**, M. Yves CARISTAN a approuvé cette comparaison et a rappelé qu'il s'agissait d'un problème de civilisation mondiale concernant aussi bien l'économie, les sciences, que les religions.

Il a rappelé à cet égard les réflexions de Teilhard de Chardin sur le futur de la Terre et les théories de Lovelock sur Gaïa qui poursuit l'analogie entre les organismes vivants et une société humaine. Il a indiqué aussi qu'un article paru dans « *Nature* » en 1997 avait essayé de chiffrer les services rendus par la nature en établissant une carte du coût en dollars par hectare démontant en quelque sorte les cases du vaisseau spatial Terre.

**CAISSE CENTRALE DE RÉASSURANCE
(C.C.R.)**

M. THIERRY MASQUELIER, PRÉSIDENT

(11 octobre 2000)

Après avoir rappelé que la Caisse Centrale de Réassurance (CCR) était une société anonyme, à capitaux limités, jouissant de la garantie de l'Etat, et ayant pour but de **réassurer les assureurs travaillant en France**, M. Thierry MASQUELIER a indiqué que la loi de 1982 sur les catastrophes naturelles avait obligé les assureurs à garantir les catastrophes naturelles et leur avait ouvert le droit de se réassurer auprès de la CCR pour les dommages non assurables, étant précisé que ce système ne concerne pas les risques agricoles.

A propos des récents événements naturels survenus en France, que ce soit en France métropolitaine ou dans les DOM, y compris Wallis-et-Futuna, mais pas dans les TOM, il a rappelé que **les catastrophes naturelles sont couvertes dès lors qu'un événement naturel revêt une intensité anormale**.

Les risques biologiques ou animaliers ne sont pas pris en compte mais beaucoup d'autres le sont comme, aux Antilles, le risque réel de tremblement de terre, ou en métropole, **les inondations** par débordement de fleuve ou par ruissellement, **la sécheresse** et la subsidence, ou, plus précisément, le mouvement de terrain différentiel qu'elle peut provoquer (un terrain argileux desséché se contracte et en cas de fondations insuffisantes, le bâtiment joue, rendant éventuellement celui-ci impropre à sa destination). Depuis 1982, ce risque de subsidence a coûté aussi cher que l'ensemble des dommages liés aux inondations. Sont également garantis les risques liés aux **avalanches**, aux **glissements de terrain** et aux éruptions volcaniques.

Dans le domaine de la réassurance, la CCR se trouve en concurrence avec tous les réassureurs de la planète ; elle intervient dès qu'il y a déclaration de catastrophes naturelles -par opposition à des catastrophes récurrentes, c'est-à-dire qui interviennent plusieurs fois en dix ans.

La CCR couvre entre 90 et 95 % du marché, tous les types d'assurance pouvant être adhérents auprès d'elle.

A propos de la fréquence des sinistres, M. Thierry MASQUELIER a observé qu'il n'y avait pas eu de changement de fréquence des phénomènes dans la période récente, mais que **le coût financier de chaque événement avait tendance à augmenter** du fait des concentrations de valeur dans des zones exposées (Côte d'Azur...). Cela est également lié à l'augmentation de la sensibilisation du public qui fait pression pour obtenir des arrêtés de catastrophes naturelles, d'autant plus que le système de réassurance fonctionne bien. Tel est le cas par exemple dans les zones argileuses très exposées (Vallée de Chevreuse, Seine-et-Marne, St-Quentin-en-Yvelines, Marne-la-Vallée, alentours de Toulouse, Gers, Flandres...).

L'assurance contre les catastrophes naturelles constitue désormais une clause obligatoire des contrats d'assurance et son taux de cotisation est fixé par arrêté. Il était de 9 % et est passé à 12 %, il est prélevé en plus de la prime de base qui atteint 103 au lieu de 100.

A cause du sinistre survenu dans l'Aude, puis pour les tempêtes de décembre 1999, il a fallu faire appel à **la garantie de l'Etat**, qui n'avait jamais été mise en jeu auparavant hormis lors du démarrage du système.

En volume, sur les cinq milliards de francs collectés par les assureurs, deux milliards de francs sont conservés par les assureurs et trois milliards de francs par la CCR.

Une comparaison internationale montre que **l'Espagne** possède un système très proche, que **la Belgique** et **l'Italie** sont en train de mettre en place un système analogue quoique limité aux tremblements de terre en Italie, qu'en **Suisse**, il existe un système par canton et qu'en **Californie**, au-delà des assurances, la prise en charge des conséquences de tremblements de terre incombe à l'Etat.

Pour chiffrer les risques, les lois de probabilité sont davantage déduites des phénomènes climatiques du passé que de l'étude des phénomènes actuels, les assureurs se comportant davantage en statisticiens qu'en scientifiques (par exemple : le risque de retour d'une tempête du type de celle de décembre 1999 est considéré comme impossible à annoncer). Un taux uniforme est ensuite choisi, indépendamment du taux d'exposition réel de l'assuré au risque. A la limite, si un assuré présente un risque de catastrophe naturelle trop grand, l'assureur peut refuser de le prendre en charge pour l'incendie, dont l'assurance catastrophes naturelles n'est qu'une annexe, ou bien une tarification spéciale peut aussi être établie.

Une attitude préventive pourrait aussi consister à suggérer **des normes de construction renforcées**. Le ministère de l'environnement souhaite que soit relancée une telle politique.

L'ensemble de ces considérations ont conduit les assureurs et les réassureurs à proposer de nouveaux produits appelés « **dérivés climatiques** ». Ce système n'en

est qu'à ses débuts. Il s'inspire des techniques de l'assurance et prévoit une prestation forfaitaire. Il s'agit de la promesse d'une somme forfaitaire ou du résultat d'un mode de calcul directement lié à une perte de recettes ou à un excédent de dépenses. Les entreprises dont l'action est liée de près ou de loin aux variations de température sont intéressées par ce produit. Les variables peuvent prendre en compte aussi bien la consommation d'électricité que celle de boissons par les clients d'un établissement, le gel, la baisse de température, les précipitations de neige ou de pluie.

L'observation des données de Météo France devient donc essentielle pour couvrir les risques assurés. Ce nouveau produit d'assurances peut en outre présenter l'intérêt de différencier le risque selon les régions afin d'éviter de voir sa réalisation survenir partout au même moment. Il peut être un facteur d'équilibre au sein d'un portefeuille d'assurances.

Ce concept de dérivés climatiques, né aux Etats-Unis d'Amérique, ne se développe en France que depuis deux ou trois ans et nécessite l'évaluation financière des grands événements survenus au cours des dernières années quant à leur impact sur les biens assurés, à l'exclusion des impacts sur les équipements publics ou les bâtiments non assurés.

**LABORATOIRE DES SCIENCES DU CLIMAT
ET DE L'ENVIRONNEMENT (L.S.C.E.)**

(UNITÉ MIXTE DE RECHERCHE CEA – CNRS)

**M. LAURENT TURPIN,
DIRECTEUR DU LABORATOIRE DES SCIENCES DU CLIMAT ET DE
L'ENVIRONNEMENT (L.S.C.E.),**

**M. PIERRE TRÉFOURET,
CONSEILLER AU CABINET DE L'ADMINISTRATEUR GÉNÉRAL**

(16 novembre 2000)

M. Laurent TURPIN a tout d'abord présenté l'unité de recherche dénommée « **Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement** », qui est associée au CNRS au sein d'une unité mixte CEA-CNRS, et fait partie de l'Institut Pierre-Simon Laplace, une fédération de laboratoires de recherche d'Ile de France, comprenant au total plusieurs centaines de personnels dont la plupart travaillent sur le climat ou ses composantes, atmosphère et océan.

La recherche du CEA effectuée au LSCE s'efforce de comprendre **la variabilité des climats à travers le passé**, ainsi que **l'étude des cycles naturels**, en priorité celui du carbone mais l'étude des aérosols et des gaz est aussi menée. Ses recherches dans le domaine ont débuté au cours des années 1950.

Le LSCE est également en charge d'**un service d'observation du dioxyde de carbone atmosphérique** agréé par l'O.M.M., RAMCES. Il y en a très peu dans le monde : aux Etats-Unis d'Amérique, la N.O.A.A. possède un réseau de stations, en Australie il y a le C.S.I.R.O. et, en France, il n'existe que le réseau RAMCES ; le Japon ne détient que quelques stations nationales. Le réseau mondial est donc constitué de la juxtaposition des moyens de la N.O.A.A., du C.S.I.R.O. et de RAMCES.

Des **mesures** isotopiques et autres sont effectuées, ainsi que de la modélisation lourde. **Le LSCE élabore des modèles du cycle du carbone, comprenant la végétation, et, également, couple des modèles tridimensionnels.** Il observe aussi la terre par satellite.

Ces modèles ont été validés pour l'instant à travers l'observation de climats du passé. Les modèles du GIEC couplant l'océan et l'atmosphère n'ont pas permis de vérifier les changements climatiques du passé . Pour cela, il faut leur ajouter le modèle de végétation du LSCE.

Revenant aux faits observés depuis un siècle, M. Laurent TURPIN a noté **l'augmentation moyenne de 1 ° de la température, et que, depuis 150 ans, des gaz à effet de serre sont rejetés par l'homme**, d'où la question du lien de causalité entre ces deux observations. Or, depuis seulement deux ou trois ans, il est apparu comme une certitude qu'il était impossible d'expliquer le lien entre ces deux phénomènes sans mettre en cause le rôle de l'homme. Il s'agit d'une conclusion sans ambiguïté des travaux du GIEC : le réchauffement des quarante dernières années ne peut être expliqué que par l'accumulation de gaz à effet de serre dans l'atmosphère.

Il y a trois ans, un article paru dans la revue « *Science* » soutenait qu'un équilibre se réalisait entre le rejet du CO₂ aux Etats-Unis d'Amérique et le développement des forêts. Depuis cette date, le LSCE a montré que, de 1988 à 1998, en étudiant **le bilan de carbone océans-continentes**, le puits de carbone important constitué aux Etats-Unis d'Amérique il y a quatre ans, n'existait plus aujourd'hui.

Que ce soit pour les conditions observées aux Etats-Unis d'Amérique ou pour le phénomène *El Niño*, **de très fortes variabilités sont observées d'une année sur l'autre**, ce qui conduit à rappeler que « *les chercheurs sont payés pour douter, et les politiques pour décider* ». C'est ainsi que **des données exactes au moment de la signature du protocole de Kyoto peuvent être fausses aujourd'hui, tellement le rôle des forêts est considérable**, et il reste très difficile d'établir le bilan carbone de celles-ci.

M. Laurent TURPIN a noté par ailleurs l'existence d'**une étanchéité quasi totale entre les chercheurs et les négociateurs politiques internationaux, notamment européens**. Les messages ne passent qu'indirectement entre eux, tandis qu'en face les négociateurs américains ont à leurs côtés des scientifiques qui leur fournissent des arguments au bon moment.

Il a également insisté sur le fait que **les fourchettes économiques** citées dans les travaux du G.I.E.C. ne sont que des hypothèses économiques, au nombre d'une quarantaine, qui entraînent des fourchettes climatiques. **L'hypothèse des rejets de gaz à effet de serre va de 4 gigatonnes par an, hypothèse optimiste, à 20 gigatonnes par an.** A ce dernier niveau élevé, les Etats sont supposés libres d'agir avec diversité, tandis que l'hypothèse des 4 gigatonnes suppose la diffusion efficace des technologies de maîtrise des émissions aux pays en voie de développement.

M. Laurent TURPIN a observé ensuite que seuls les scientifiques anglais du Hadley Center ont reçu une mission publique spécifique des politiques sur les calculs de scénarios climatiques, alors qu'en France la recherche est trop émiettée et repose que sur l'initiative individuelle des chercheurs., Or, on constate que **l'intercomparaison des modèles climatiques fait apparaître d'importantes variabilités de l'un à l'autre**. Le GIEC devrait peut-être compléter ses modèles par une approche statistique diversifiée.

Les modèles climatiques comprennent principalement trois composantes :

1. les modèles d'océan : ils prennent en compte l'océan et leur pas de temps est de dix jours, en supposant que l'océan se trouvait en équilibre thermodynamique au siècle dernier, ce qui n'est sans doute pas exact car un tel équilibre ne semble pas avoir existé si ce n'est dans un passé très lointain.

2. les modèles d'atmosphère : ils ne prennent pas assez en compte les aérosols (suies, charbons, sulfates) et leurs évolutions dans le temps. De plus, à l'échelle globale, les nuages y sont mal représentés (la résolution possédant une maille de 100 km x 100 km).

3. les schémas de surface et de végétation : ils donnent de bons résultats sur la végétation grâce aux satellites, mais sont très chers en calculs. Leur pas de temps est d'une journée mais **il manque la dimension agricole**, d'où une exactitude limitée à la Sibérie en Eurasie. Il faudrait donc parvenir à une régionalisation meilleure pour améliorer les prévisions, mais en Europe de l'ouest il existe peu de végétation naturelle, même dans les forêts.

Il reste à établir un dialogue entre les acteurs socioéconomiques, agricoles et les auteurs de modèles de végétation. Cela pourrait être développé grâce aux réseaux de l'INRA et grâce, notamment, à une intégration européenne de la recherche dans ce domaine.

Au demeurant, M. Laurent TURPIN a considéré que **le perfectionnement de tels modèles est indispensable pour contrôler la mise en œuvre du protocole de Kyoto.**

Une limitation majeure des performances des modèles est la puissance de calcul disponible. On commence à imaginer des calculateurs climatiques : les Etats-Unis d'Amérique et le Japon poursuivent leurs avancées chacun de leur côté, leurs projets de machines incluant déjà des variables climatiques.

L'Europe commence à envisager de se doter d'un tel outil de calcul.

Un saut technologique sera opéré lorsque l'architecture des machines sera calquée sur celle des modèles de climat, ce qui devrait permettre un grand gain de temps.

En ce qui concerne les machines actuelles, le CEA et le CNRS utilisent des machines japonaises (NEC, Fujitsu) mais la réécriture totale ou partielle des codes est souvent indispensable après l'achat des machines et **il ne se trouve pas suffisamment de personnels techniques en informatique dans ces organismes français pour réécrire les codes**, contrairement à la situation au Hadley Center ou à Météo-France.

Même si des moyens considérables sont mobilisés, notamment des moyens spatiaux, M. Laurent TURPIN a relevé qu'en France, malgré l'important potentiel des **organismes de recherche**, il manque de capacité d'organisation et de réactivité pour répondre à des questions précises, en comparaison avec le Hadley Center au Royaume Uni, où tous les moyens humains et financiers sont rassemblés en un seul centre de recherche. En revanche, la recherche du Max Planck Institut est scindée en trois : recherche sur le climat à Hambourg, sur le cycle du carbone à Iéna, et sur la chimie atmosphérique à Mayence. Il s'est aussi inquiété du fait que le retard ou l'avance en sciences dépend seulement de la présence ou non de quelques personnes de talent et aussi d'opportunités qu'il faut avoir les moyens de saisir.

M. Laurent TURPIN a souhaité que **des satellites** soient mis en place **pour observer le cycle du carbone**, ce qui serait d'ailleurs très utile pour déterminer les cadastres d'émission et ainsi taxer les pollueurs. De plus, **le réseau d'observation au sol et par avion pourrait être densifié**. Cela pourrait entrer dans la dynamique retenue par les Etats-Unis d'Amérique qui souhaitent faire de l'effet de serre un avantage économique pour leurs entreprises.

M. Laurent TURPIN a par ailleurs regretté que le nucléaire ne soit pas explicitement cité par l'Union européenne comme une source d'énergie électrique exempte de rejets de CO₂.

Il a relevé que les industries dégagent **du CO₂ qui pourrait être mélangé à de l'hydrogène produit à partir de centrales nucléaires pour offrir un carburant à la pile à combustible, permettant aux automobiles de rouler au nucléaire** puisque, aujourd'hui, les émissions de carbone liées aux transports représentent près de 30 % des émissions.

Il a estimé que **d'ici cinq à dix années le changement climatique se sentirait dans la vie quotidienne**, alors que, pour l'instant, sa dimension planétaire le rend difficile à appréhender pour la population.

Evoquant ensuite **la M.I.E.S**, il a loué le bon niveau scientifique de ses documents de synthèse et a considéré qu'elle effectuait un bon travail en tant que mission. Par ailleurs, il a regretté qu'**aucun colloque scientifique** véritable sur ce sujet n'ait eu lieu en France, ni d'ailleurs **aucun colloque sur ce thème regroupant des décideurs**.

Evoquant **le programme du ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement sur la gestion et l'impact du changement climatique**

(G.I.C.C.), il a noté qu'étant donné la complexité du problème, ses travaux n'étaient pas encore en état de déboucher sur des conclusions opératoires.

Interrogé ensuite sur divers thèmes, M. Laurent TURPIN a indiqué que **le modèle du Hadley Center n'intégrait aucune donnée paléoclimatique**, que les recherches sur les modèles climatiques étant assez récentes, elles pourraient récolter ultérieurement les immenses progrès des machines informatiques et de l'observation satellitaire. L'espoir de pouvoir **décrire un océan véritable grâce au projet français Mercator** est par exemple aujourd'hui bien réel.

A propos de l'évolution de **la banquise**, il a noté que **celle de l'Arctique semble reculer**, et que **celle de l'Antarctique plonge** sous le niveau de l'eau actuel, ce qui fera de sa diminution éventuelle un problème non pas d'évolution graduelle, mais de **passage de seuil**.

Quant au **niveau de la mer**, sa hausse résultera surtout de la dilatation des océans causée par l'augmentation de la température globale, mais elle ne devrait pas atteindre 2 mètres.

La question de l'augmentation de la fréquence des cyclones, surtout aux Etats-Unis d'Amérique et en Australie, reste ouverte. Celle de **la multiplication des événements extrêmes** pourrait résulter du changement climatique du fait d'un plus grand contraste entre les zones froides des pôles et les zones chaudes de l'Equateur. Les cinq années à venir permettront probablement de répondre à cette interrogation.

Il a enfin déploré qu'**aucun scientifique français** n'ait été présent **à la Conférence de La Haye**, les économistes se contentant de traduire des dispositions du protocole de Kyoto.

**CENTRE NATIONAL DU MACHINISME AGRICOLE,
DU GÉNIE RURAL
ET DES EAUX ET FORÊTS
(CEMAGREF)**

**M. PIERRICK GIVONE,
DIRECTEUR SCIENTIFIQUE ADJOINT**

**M. JEAN-LOUIS VERREL,
DÉLÉGUÉ À L'ENVIRONNEMENT**

(20 décembre 2000)

M. Jean-Louis VERREL a rappelé que **le CEMAGREF est en charge tant des réductions des émissions de gaz à effet de serre à la source que de l'atténuation de leurs impacts ou encore du stockage du carbone.**

Pour **la réduction des émissions à la source**, le CEMAGREF travaille à **l'amélioration des installations frigorifiques**, en envisageant éventuellement un retour aux installations utilisant l'ammoniac ou les hydrocarbures, et en rappelant que les systèmes à paroi épaisse perdent moins de froid et atteignent donc une meilleure efficacité énergétique.

Dans l'étude du froid, allant des systèmes frigorifiques jusqu'aux plats congelés, le CEMAGREF s'intéresse plutôt aux équipements, et l'INRA plutôt aux procédés.

Dans le même but de réduction des émissions de gaz à effet de serre, **l'étude des déjections animales** résultant de l'ensemble du système d'élevage intensif est également menée à Rennes.

L'utilisation des déchets organiques, qu'il s'agisse de déchets ou d'ordures ménagères ou de boues des stations d'épuration pose le problème de **la traçabilité de l'épandage**. Pour l'instant, en France, il n'existe pas d'accord entre les agriculteurs et les stations d'épuration des collectivités territoriales sur **les assurances à contracter dans l'hypothèse d'éventuels sinistres**. En Allemagne, un fonds de garantie existe pour couvrir ce risque.

Enfin, **l'agriculture de précision** est développée afin de réduire les émissions de N_2O .

Sur le terrain de **l'atténuation des impacts du changement climatique**, le CEMAGREF mène, dans le bassin du Rhône, **des modélisations hydrologiques et météorologiques** afin de ne pas toujours être à l'aval du modèle météo. Le CEMAGREF s'efforce de prévoir les déficits en eau par région en cas d'augmentation moyenne de la température supérieure à un degré.

Aux Etats-Unis d'Amérique, ce genre de système d'analyse est très développé, notamment à Los Angeles, approvisionnée par de l'eau venant de plus de 80 km.

Le CEMAGREF étudie également **les peuplements biologiques dans les cours d'eau**, le devenir de **l'irrigation**, celui de **l'alimentation en eau potable** et les enjeux socio-économiques de celui-ci. Il s'interroge notamment sur la captation des eaux du Rhône au bénéfice de l'Espagne. Il observe aussi **un bassin glaciaire** dans les Alpes, en liaison avec le programme européen GLACIORIX, qui porte sur un parallèle entre les Alpes et la Scandinavie.

Le CEMAGREF examine aussi les impacts des changements climatiques sur **les forêts**, à travers par exemple les déplacements des limites géographiques des forêts comme des pâturages. Il étudie la croissance et la qualité du bois ainsi que les impacts socioéconomiques des évolutions constatées. Il s'efforce aussi d'identifier les espaces protégés, et conduit des expertises, comme après les tempêtes de 1999, par exemple. Il s'intéresse aussi à **la gestion des espaces pâturés d'altitude** et au maintien de cette activité, tout en notant que l'évolution de ces systèmes est déjà entamée.

Enfin, concernant **le stockage du carbone**, le CEMAGREF, associé à l'IRD et au CIRAD, collabore à un programme GESSOL en **Martinique**, lié aux pratiques des agriculteurs dans la gestion des matières organiques. Pour l'instant des éléments de connaissance ont été rassemblés, mais pas encore exploités.

M. Pierrick GIVONE a rappelé ensuite que **la vapeur d'eau** est le gaz à effet de serre le plus important, et que l'irrigation produit de la vapeur d'eau, ce qui donne lieu à de nouvelles études du CEMAGREF, non encore abouties à ce jour.

Quant aux **programmes biomasse**, le CEMAGREF les a arrêtés, sans qu'il soit possible de dire si un autre organisme a repris ces études.

M. Jean-Louis VERREL a rappelé qu'il avait eu des contacts avec la MIES, et qu'il avait noté que **le stockage du gaz carbonique par le sol** demeurerait encore un phénomène mal connu. Il a rappelé l'existence de l'inventaire forestier national.

Quant aux **recherches sur le machinisme agricole**, elles ont été réduites et réorientées, en l'absence de financement spécifique comme de partenaires ; la priorité est désormais donnée aux questions d'intérêt public, telles que la sécurité ou les enjeux environnementaux. Celles sur **les économies d'énergie** ont été pour l'essentiel abandonnées.

En revanche, des recherches sont menées sur **les épandeurs de pesticides ou d'engrais**, dans la perspective de l'agriculture de précision, respectant les équilibres entre l'atmosphère, le climat et le sol. A cet égard, il a noté que la majorité des pesticides se trouvant dans les eaux en France y sont parvenus par voie aérienne et non par les sols. Il a insisté sur **les techniques d'irrigation** et la nécessité de ne pas gaspiller l'eau, notamment en réfléchissant à la nécessité d'exporter ou non tel ou tel produit.

M. Jean-Louis VERREL a précisé que le CEMAGREF entretenait des liaisons avec l'ensemble des pays d'**Europe**, dans tous les domaines de la recherche-développement, et qu'il remportait de bons succès dans les programmes européens, concernant par exemple l'eau, la forêt ou les risques naturels, pôles d'excellence du CEMAGREF.

Il participe aussi à **la diffusion des connaissances**, comme par exemple au printemps 2000, à travers un film projeté au Palais de la découverte, lors de l'*Aquaexpo* sur l'eau.

M. Pierrick GIVONE a estimé que **les phénomènes climatiques extrêmes risquent de devenir de plus en plus fréquents, selon les prévisions des climatologues**, et que la forte expertise du CEMAGREF serait utile pour examiner l'eau, son usage et ses milieux ainsi que les risques naturels comme les inondations ou les incendies de forêts.

A cet égard, il a noté que la vision des risques naturels par le public est en train de se modifier, et que la question du type de développement économique à mener pose de plus en plus celle des contraintes **des risques naturels importants à accepter pour obtenir ce développement économique**.

Il a insisté sur le fait que **le CEMAGREF détient un véritable axe d'excellence, englobant toute la chaîne des savoirs indispensables dans le contexte actuel du changement climatique**, qu'il s'agisse des inondations, de l'aménagement hydraulique, de la recherche sur les phénomènes climatiques, des écoulements de toute nature, de la cartographie des informations par rapport aux descriptions et à la réglementation, et, enfin, de la vulnérabilité, toujours difficile à évaluer.

En revanche, il a signalé que **l'information pendant les périodes de crise** ne relevait pas du CEMAGREF, mais de la protection civile.

Il a estimé qu'à l'avenir les mécanismes d'**assurance** allaient varier pour s'adapter aux nouvelles réalités.

Il a précisé que dans le domaine de **la cartographie**, l'Institut géographique national (IGN), documenté en outre par les informations spatiales recueillies par le CNES, permet au CEMAGREF de produire des **cartes thématiques**. En effet, l'IGN ne possède pas de compétence thématique particulière, mais il organise sur son site web des comparaisons, par exemple entre les différents niveaux d'un lit de rivière en fonction des dates, et ses données sont un modèle du genre.

Concernant **les inondations**, un projet de gestion de celles-ci est lancé, le projet PACTE, grâce à l'emploi des technologies modernes.

Par ailleurs, il a précisé que lors de l'inondation de Vaison-la-Romaine en 1992, environ 75 % des constructions endommagées avaient moins de 25 ans d'âge.

Interrogé sur **les DOM-TOM**, M. Pierrick GIVONE a répondu qu'en dehors de préoccupations liées à l'érosion à la Réunion, les DOM-TOM ne constituaient pas une cible particulière.

**CENTRE D'ÉTUDES SUR LES RÉSEAUX, LES
TRANSPORTS, L'URBANISME ET LES CONSTRUCTIONS
PUBLIQUES**

(C E R T U)

M. JEAN-PIERRE ROTHEVAL (1)
RESPONSABLE DU DÉPARTEMENT ENVIRONNEMENT

(14 novembre 2000)

Après avoir rappelé que **le CERTU** dépendait du Ministère de l'Équipement et regroupait environ 170 personnes, M. Jean-Pierre ROTHEVAL a précisé que le Département Environnement de ce centre étudiait les émissions des transports sans avoir fait du CO₂ sa priorité. En fait, ce n'est que **le début des simulations sur le CO₂**, étant observé que, pour les autres polluants, les améliorations sont nettement plus sensibles que pour le CO₂ et le bruit.

Les projections relatives au gaz carbonique émis par **les transports** montrent ceux-ci participant à hauteur d'environ 22 à 30 % à l'émission de gaz à effet de serre, vraisemblablement à hauteur de 22 % pour le gaz carbonique(2). **L'augmentation des émissions de CO₂ est prévisible**, car le parc de véhicules français représente de plus en plus de kilomètres parcourus par an -la moyenne est passée de 12.000 à 14.500 km par an. De plus, ces augmentations concernent aussi bien le transport de personnes que le transport de marchandises.

A cela s'ajoutent l'augmentation de la masse des véhicules, l'allongement de la durée de renouvellement du parc et le recours accru à la climatisation.

Les émissions de dioxyde de carbone dues aux transports ont presque doublé en 25 ans -de 1963 à 1998 (3)- dont plus de 50 % sont rejetées en

(1) *Ingénieur au Ministère de l'Équipement, des transports et du logement.*

(2) *Il ne peut s'agir ici que d'un ordre de grandeur et non d'une évaluation très précise.*

(3) *Chiffres du CITEPA.*

agglomération, 20 % en transport régional et 30 % en transit lointain. Par rapport aux années antérieures, il peut être noté une stabilisation de la croissance des émissions en ville, une croissance en régional, et une croissance supérieure en transit lointain.

M. Jean-Pierre ROTHEVAL a souligné que **l'évaluation même des émissions de polluants n'est pas évidente**, puisque peu de mesures ponctuelles sont effectuées et que le calcul des polluants émis suppose de connaître les émissions unitaires individuelles de chaque véhicule, de distinguer entre les diesel et les non diesel, qui sont rapprochés mais surtout, en théorie, de connaître l'âge du parc de véhicules et le nombre de kilomètres parcourus.

Ainsi, de 1975 à 1997, les véhicules individuels sont passés de 222 à 180 grammes de CO₂ émis par kilomètre, soit un faible gain par rapport aux progrès effectués pour les autres polluants, dont la catalyse a été améliorée dans une proportion de 10, voire de 20.

L'objectif maintenant fixé est d'atteindre **140 grammes de CO₂ par kilomètre en 2008**, les 180 grammes d'aujourd'hui représentant en réalité plutôt 197 grammes pour les véhicules à essence et 178 grammes pour les diesel.

Il a pu être noté à de nombreuses reprises **une corrélation entre l'augmentation des transports et la croissance du PIB**. De 1971 à 1993, le produit intérieur brut a crû de 2,3 % par an en moyenne tandis que la croissance des transports fut nettement supérieure avec 3,6 % (et même 3,8 % pour le transport routier de marchandises).

En milieu interurbain, la courbe de croissance prévue à moyen terme est très forte, et c'est le trafic autoroutier qui croît le plus vite. Une prolongation à l'identique de la tendance actuelle donnerait une augmentation des émissions de CO₂ supérieure de 30 à 40 % aux émissions actuelles en **2030**.

M. Jean-Pierre ROTHEVAL a indiqué que, d'après l'OCDE, **un seul scénario permettrait de stabiliser en 2020 les émissions de CO₂, à savoir l'augmentation du prix du litre d'essence jusqu'à 13 francs**, les tendances observées ou prévisibles étant analogues dans tous les pays de l'OCDE. Toutefois, cette simulation économique ne prend pas en compte les aspects sociaux d'une telle augmentation.

En affinant l'examen des situations régionales, il a pu être noté que même des villes comme **Strasbourg** ou **Grenoble** connaissent des augmentations de plus de 10 % du nombre de véhicules kilomètres parcourus, du fait en particulier de la **périurbanisation**. De même, les villes d'**Amérique du Nord** enregistrent une très forte consommation tant dans les transports que dans tous les réseaux. A l'inverse, à **Hong Kong**, dont le territoire est très restreint, la consommation énergétique par habitant est faible du fait de la densité urbaine.

Le recours au gaz naturel pour les véhicules collectifs produisant un meilleur rendement a donc été préconisé, mais ce carburant continue à poser des problèmes de sécurité pour les véhicules individuels. C'est ainsi qu'après un accident survenu à Lyon, les parkings souterrains ont été interdits aux véhicules à gaz.

Mais, **il n'est pas facile d'opérer des substitutions entre carburants**, comme l'a montré l'exemple de **Berlin** où, pour éviter l'émission de particules, le diesel avait été découragé jusqu'au moment où la nouvelle priorité fut donnée à la baisse de CO₂, ce qui a incité à s'équiper en diesel.

De leur côté, les Etats-Unis d'Amérique étudient la possibilité d'accroître très sensiblement leur part de **véhicules diesel**. A propos du **véhicule électrique**, M. Jean-Pierre ROTHEVAL a déploré sa trop faible autonomie, ce qui le réserve à l'usage urbain, et en dissuade l'usager, qui veut utiliser son véhicule pour de multiples usages. En revanche, pour des flottes ou pour des véhicules mixtes, comme celui de Toyota, ce choix reste possible mais demeure cher.

Abordant la question des **transports publics**, M. Jean-Pierre ROTHEVAL a estimé qu'une action était possible sur les déplacements réguliers domicile-travail, mais il a noté que **l'emplacement périphérique des circuits de distribution commerciaux très importants que sont les hypermarchés rend pratiquement obligatoire l'usage de la voiture individuelle** pour s'y approvisionner.

Dans le même temps, **les transports de loisirs** ont augmenté.

Face à ces difficultés, une solution souvent préconisée consiste à réduire **l'étalement urbain**, mais dans ce cas-là, le centre ville concentre les nuisances du bruit et de la pollution de l'air, sauf à augmenter de façon drastique le transport collectif.

Depuis 15 ans, le temps de transport quotidien est resté constant alors que les distances à accomplir ont augmenté. Cela pourrait être modifié en s'inspirant d'exemples comme celui de **Portland (Oregon)**, qui constitue une référence aux Etats-Unis d'Amérique ou encore de celui des **Pays-Bas** ou de certaines **villes allemandes**, car **l'aménagement y fut effectué à partir des axes de transports en commun.**

En France, il n'existe pas pour l'instant de réelle priorité environnementale. De plus, le type d'habitat dispersé incite à posséder une ou deux voitures, et la rupture ou la difficulté d'approvisionnement en carburant laisserait nombre de familles sans solution alternative.

Des études restent à mener sur l'importance réelle des **budgets de transport par famille.**

Par ailleurs, M. Jean-Pierre ROTHEVAL a observé qu'aux Etats-Unis d'Amérique des expériences de **voies réservées au covoiturage** (1) sur les autoroutes avaient été lancées, et qu'une ville aussi étendue que Los Angeles ne comptait pratiquement pas de transports en commun.

Il a noté l'intérêt de **la solution covoiturage** et de son encouragement, par exemple dans les entreprises.

(1) *Voies HOV (high occupancy vehicles).*

M. JACQUES ARNOULD (1)
(CNES)

(14 novembre 2000)

M. Jacques ARNOULD a d'abord évoqué **la modification induite par les connaissances acquises grâce aux techniques spatiales** (en particulier l'observation par satellite) **dans la perception que l'humanité a désormais de la Terre.**

Il a estimé que le spatial avait accéléré la prise de conscience écologique et celle de la fragilité de la Terre, et en même temps avait fait naître une peur, la Terre étant perçue depuis l'espace comme « éloignée ».

Il a relevé une certaine contradiction entre la perception simultanée de l'homme en tant que maître de la nature lorsqu'il est sur la Terre et celle de l'homme protecteur de l'environnement lorsqu'il est dans l'espace. Il a noté que cette perception s'inscrivait dans un rapport à la science assez tendu actuellement comme en témoignent les tensions en matière d'agro-éthique et d'environnement. Il a estimé qu'une bonne communication sur ces sujets était plus que jamais nécessaire et qu'à partir du moment où il apparaissait indispensable de dire, il n'y avait pas de raison de ne pas tout dire, comme cela a été observé dans le cas de l'encéphalopathie spongiforme bovine.

Il a surtout noté que, d'une manière générale, **le discours scientifique** -qui ne peut être qu'un discours de doute- n'était pas compris comme tel par le public, ce qui est illustré par la relation entre le public et la météo dont les prévisions non vérifiées par les faits ne sont pas admises. M. Jacques ARNOULD a souligné aussi que l'intérêt porté à l'environnement était souvent lié à l'impact immédiat de celui-ci pour chacun et que d'une manière générale, les rapports entre le macro-environnement et le micro-environnement étaient difficiles à gérer.

(1) *M. Jacques ARNOULD est ingénieur agronome, docteur en histoire des sciences et en théologie, chargé de mission au CNES pour les questions éthiques, sociales et culturelles.*

Ouvrages récemment parus : « La seconde chance d'Icare. Pour une éthique de l'Espace » (2001) et, en collaboration avec Jean-Pierre HAIGNERÉ, « Chevaucheur des nuées » (2001).

Abordant ensuite **les rapports entre les scientifiques, les experts, le monde de la communication et les sphères de décision**, il a cité les travaux de M. Philippe ROQUEPLO sur l'expertise scientifique et a noté que le discours du scientifique ne saurait être déjà considéré comme une décision.

M. Jacques ARNOULD a estimé que **plusieurs peurs** se cumulaient en ce moment dans la société et s'est demandé comment il était possible de rassurer face à ces craintes. Il a passé en revue une série de possibilités consistant, par exemple, à augmenter les crédits de la recherche, améliorer les moyens d'observation de la nature (espèces, forêts, cultures ...), se familiariser avec le risque pour mieux l'accepter- l'usage quotidien de la voiture ne démontre-t-il pas que cela est possible ? Les tempêtes de décembre 1999 auraient contribué à cette familiarisation ; il reste à tirer les leçons des événements extrêmes même si ceux-ci ne sont pas directement liés au changement climatique.

M. Jacques ARNOULD a estimé utile de parler de ces changements, d'accepter de voir la Camargue sous l'eau, de se mettre dans l'idée que les climats peuvent changer, d'imaginer ce que cela produirait à Paris et peut-être de se demander qui pourrait être le nouveau Noé et de quelle Arche ? Il a noté qu'admettre de réfléchir à l'horizon de cinquante ans, c'est envisager un horizon très proche ; or, prévoir, c'est déjà maîtriser sa peur.

Dans cette prise de conscience, M. Jacques ARNOULD a évoqué l'utilité de l'association « *La Main à la Pâte* » créée par M. Georges CHARPAK, qui s'occupe d'informer les jeunes.

M. Jacques ARNOULD a aussi noté **la nécessité de se réapproprier son environnement**, ce qui vient à porter un nouveau regard sur soi, quelquefois gênant. Il a relevé qu'en France métropolitaine même, l'intérêt pour l'environnement est très variable selon les régions, la nature existante se trouvant très diversifiée.

Il a insisté ensuite sur la nécessité d'**allier la communication à l'éducation** (celle-ci étant la partie la plus noble de la communication) et de bien relier les deux intérêts complémentaires du global et du local.

M. Jacques ARNOULD a aussi estimé qu'il serait fructueux de **comparer les changements vécus au cours des cinquante ou des cent dernières années avec ceux déjà vécus au cours de périodes historiques** et retracées dans des archives. Cela pourrait concerner, par exemple, des modifications de paysages ou encore un phénomène comme l'exode rural qui s'est accompagné de la disparition de villages.

Il a indiqué que **les regards de certains intellectuels** sur ces questions pourraient être utilement croisés. Ainsi, a-t-il cité Philippe ROQUEPLO, Dominique LECOURT, Jean-Jacques SALOMON, Roger LESGARDS ou encore Gérard MÉGIE.

Il a indiqué ensuite que **des accords de coopération ont été passés entre les grands organismes pour l'observation des phénomènes naturels** survenant à

l'heure actuelle et qu'énormément de données avaient été collectées, mais il s'est demandé s'il existait toujours la possibilité de traiter celles-ci. Ainsi, l'exploitation des données recueillies par les satellites nécessite beaucoup de temps. Enfin, il a rappelé que le CNES s'implique davantage dans l'observation des risques naturels.

MME ANNY CAZENAVE
RESPONSABLE DU DÉPARTEMENT
GÉOPHYSIQUE
ET OCÉANOGRAPHIE SPATIALE

(C.N.E.S)

(18 octobre 2001)

Mme Anny CAZENAVE a rappelé qu'au cours du XX^{ème} siècle, **les variations de niveau des océans** ont été observées à partir d'enregistrements **marégraphiques**. Ces observations indiquent **une hausse de 1 à 2 mm par an, soit 10 à 20 cm sur l'ensemble du siècle**.

Cependant, il n'existe que très peu de stations marégraphiques (une vingtaine seulement) offrant des séries continues d'observations de qualité couvrant les décennies passées. De plus, leur distribution géographique est très inhomogène, les sites d'observation, étant principalement situés le long des côtes de l'Amérique du Nord et de l'Europe. L'estimation de l'élévation du niveau de la mer pour le siècle passé, issue des données marégraphiques, est donc seulement indicative. Sa marge d'incertitude est importante en raison de l'absence totale d'observations denses et globales.

Depuis 10 ans, **les satellites altimétriques** permettent de corriger ce défaut en offrant des données sur l'ensemble des océans. Le satellite TOPEX-POSEIDON mesure depuis son lancement en 1992, les variations du niveau moyen de la mer, avec une précision et une résolution géographique (environ 300 km) inégalées, et une récurrence temporelle de l'ordre de dix jours.

TOPEX-POSEIDON indique que **le niveau moyen global de la mer a augmenté de 2,5 mm par an au cours de la dernière décennie**. Cependant, cette moyenne dissimule le fait que **cette élévation n'est pas du tout uniforme** sur l'ensemble de la surface des océans et cette constatation fut une sorte de révélation. Les scientifiques ont montré récemment que **l'élévation du niveau de la mer**

observée par Topex-Poseidon est parfaitement corrélée avec la dilatation thermique de l'océan causée par le réchauffement climatique.

Interrogée sur la fonte éventuelle des **calottes glaciaires**, Mme Anny CAZENAVE a précisé que **les observations ne suggèrent aucune fonte significative de l'Antarctique** sur l'ensemble du XXème siècle. Quant aux **évolutions futures**, évoquées dans le chapitre 11 du rapport du GIEC paru en octobre 2001, elles devraient résulter principalement du réchauffement des océans. **La fonte des glaciers de montagne** se poursuivra, ce qui contribuera aussi à élever le niveau des océans. **L'évolution de l'Antarctique** sera évidemment essentielle selon que son équilibre sera ou non préservé et, sur ce point, il n'existe **pas de consensus de la communauté scientifique**.

En observant la courbe dressée par le GIEC aboutissant à l'année 2100, la hausse du niveau des océans est prévue pour être de 40 cm en moyenne, mais **de très grandes incertitudes existent entre les modèles** qui annoncent une marge allant de 10 à 80 centimètres. De plus, **le désaccord porte tant sur l'ampleur du phénomène que sur sa répartition géographique.**

En conclusion, Mme Anny CAZENAVE a estimé que, **face à la montée des eaux**, il s'agissait plutôt d'adopter **une défense souple** et qu'il convenait de **s'inquiéter davantage de la récurrence plus fréquente d'événements climatiques extrêmes (tempêtes, précipitations intenses et inondations) que de la hausse finalement assez modérée du niveau de la mer**. Toutefois, dans certaines régions côtières basses du globe, l'élévation du niveau des océans pourrait avoir des **conséquences néfastes** (érosion des côtes, salinisation des estuaires et des nappes phréatiques, submersion permanente des rivages, etc), et il conviendrait d'étudier les impacts de la hausse du niveau des mers dans les zones littorales. Elle a noté également qu'il était très important de conserver des marégraphes opérationnels car ils permettent de calibrer les mesures effectuées par satellites.

Enfin, questionnée sur le phénomène des **marées terrestres** qui consistent en une déformation périodique de la croûte terrestre parallèlement aux marées océaniques, elle a précisé que cette déformation peut atteindre jusqu'à 30 cm sous nos latitudes.

**LABORATOIRE CLIMAT ET SANTÉ
FACULTÉ DE MÉDECINE DE DIJON**

PROFESSEUR JEAN-PIERRE BESANCENOT, (1)

DIRECTEUR DE RECHERCHE AU CNRS,

**RESPONSABLE DU LABORATOIRE CLIMAT ET SANTÉ
A LA FACULTÉ DE MÉDECINE DE DIJON**

(8 décembre 1999)

L'influence des climats sur la santé se caractérise d'abord, aux yeux du Professeur Jean-Pierre BESANCENOT, par **un grand nombre d'incertitudes**.

Le risque d'extension du paludisme illustre cela dans la mesure où, par exemple, la mise en œuvre d'un vaccin changerait radicalement les prévisions liées à l'évolution de cette maladie en fonction du climat. Cela ne peut qu'inciter à la prudence dans l'élaboration des prévisions sans pour autant négliger la surveillance attentive des situations observées.

De plus, le Professeur Jean-Pierre BESANCENOT souligne que **les experts émettent des conclusions fort diverses** généralement marquées par trop de catastrophisme : tout finit par être expliqué par l'effet de serre ou par El Niño alors que la réalité est plus complexe.

(1) M. Jean-Pierre BESANCENOT est notamment l'auteur de :

- « *Risques pathologiques, rythmes et paroxysmes climatiques* » - Paris-Londres-Rome, John Libbey Eurotext, 1992
- « *Climat, pollution atmosphérique, santé* » - Dijon, GDR Climat et santé, 1995
- « *Incidences possibles du réchauffement climatique sur la santé en France métropolitaine et dans les DOM-TOM au XXIème siècle* » - Paris : Mission Interministérielle de l'Effet de Serre, 2^{ème} édition, 2000
- « *Le climat et la santé* » - PUF, 2001.

Ainsi, actuellement, dans la zone intertropicale, les habitants des montagnes sont épargnés par le paludisme au-dessus de 1.200 ou 1.600 mètres d'altitude selon les cas. Mais, si ces populations peu immunisées venaient à être atteintes, de nouveaux problèmes surgiraient. De nombreuses publications américaines, australiennes ou encore japonaises ont montré ces phénomènes, par exemple en Ouganda ou à Madagascar, mais pas toujours avec assez de rigueur car l'effet de serre y est automatiquement désigné comme le coupable alors que, dans le même temps, la population a augmenté, les activités de celle-ci ont changé et que, par exemple, la culture du papyrus a disparu alors que celui-ci secrète un film à la surface de l'eau qui empêche la présence des moustiques.

Souvent, **les modèles climatiques s'intéressent surtout aux températures, moins aux précipitations et moins encore aux autres éléments du climat.** C'est ainsi qu'au nord de Dakar, les grandes sécheresses des années 1970 et 1980 se sont accompagnées du recul du paludisme, du fait de l'absence d'eau permettant le développement des larves.

Depuis 1995, la pluviosité est redevenue normale dans cette région, mais les moustiques ayant disparu, le problème du paludisme ne se pose plus ; dans ce cas, le réchauffement a, en quelque sorte, fait reculer le paludisme.

Autres exemples relatifs à **l'âge des populations concernées**, les vagues de chaleur dans les zones intertropicales frappent des populations jeunes qui ont donc des réactions différentes de celles qui pourraient être observées parmi d'autres strates d'âge.

Il est de plus à noter qu'en 1990, 45 % de la population mondiale vivaient dans des régions où le paludisme sévissait. Si, avec l'augmentation de la température, ce chiffre passe à 60 %, dont une grande partie ne dispose que de moyens sanitaires limités, le paludisme frappera des populations moins jeunes.

Le Professeur Jean-Pierre BESANCENOT a aussi rappelé qu'en fait, le moustique qui transmet le paludisme est toujours présent **en France**, près de cent espèces de moustiques pouvant d'ailleurs colporter cette maladie et que des cas de paludisme importés sont détectés aux alentours des grands aéroports du fait de la présence des containers provenant du monde entier. En général, ces cas sont détectés rapidement et l'épidémie est stoppée.

L'ensemble de ces exemples montre que **le retour du paludisme n'est sans doute pas le risque majeur souvent décrit, en tout cas pas pour l'Europe occidentale** où des mesures faciles peuvent intervenir. **Il en va probablement différemment de l'Europe de l'Est et surtout de la Russie.** Le paludisme a d'ailleurs constitué en URSS un très grand problème jusque dans les années 1930 où il touchait parfois jusqu'à 9 millions de personnes certaines années. Pour la Russie actuelle, les informations manquent.

Depuis 1980, la réémergence du paludisme s'est manifestée sous la forme d'épidémies plus ou moins graves au **Sri Lanka**, au **Swaziland** et à **Madagascar** (avec 100.000 décès de 1985 à 1987, puis en **Arménie**, en **Azerbaïdjan**, au **Tadjikistan** (1999) et en **Corée** (2000). Il en est de même en Amérique centrale.

L'Organisation Mondiale de la Santé (O.M.S.) centralise ces renseignements sur la base des réseaux médicaux existants, mais en **Afrique**, le recours à la médecine traditionnelle, de préférence à la médecine occidentale, fausse les statistiques, d'où **la nécessité d'élargir le réseau de l'O.M.S.** qui est très sensibilisée à ce thème depuis quelques temps (le thème d'étude de l'O.M.S. en 1999 était « temps, climat et santé »).

Abordant la question du **virus du Nil occidental** colporté par un moustique, le Professeur Jean-Pierre BESANCENOT indique que, ces dernières années, ce virus a déclenché des **épidémies en Roumanie, en Russie, en Israël, au Congo et aux Etats-Unis d'Amérique. Les oiseaux et les chevaux y sont particulièrement sensibles** (76 chevaux touchés en **Petite Camargue** en 2000, avec une vingtaine de décès, mais aucun cas humain n'a été détecté dans cet épisode). Les symptômes restent le plus souvent ceux d'une très bénigne infection fébrile, mais dans un peu moins de 1 % des cas, il y a évolution vers une redoutable méningo-encéphalite, avec une forte mortalité. Il n'empêche que **le rôle du changement climatique, souvent évoqué, est jugé de moins en moins crédible par les chercheurs.**

Au fil des ans, **des politiques sanitaires ont été interrompues.** C'est ainsi que la démoustication a été arrêtée dans les pays industrialisés tandis que le moustique s'est adapté aux insecticides.

Entre temps, notamment dans le Languedoc, une pollution des eaux importante, quoique de courte durée, a été causée par les insecticides.

Les observatoires régionaux de la santé et les DIREN sont bien conscients de ces problèmes.

Concernant **les DOM-TOM**, il n'existe pratiquement pas d'étude sur le lien entre climat et santé, celle-ci débute à peine. Toutefois, à l'Institut Pasteur, **le Professeur François RHODAIN** a travaillé sur ces thèmes (1).

Les changements climatiques peuvent aussi provoquer des **cyclones tropicaux** causés par des eaux superficielles chaudes. Un réchauffement peut en effet augmenter le risque de cyclones, plus violents ou plus fréquents ou les deux à la fois, dont l'un des effets à court terme pourrait être la survenue d'**épidémies.**

Le Professeur Jean-Pierre BESANCENOT a indiqué qu'il avait rédigé **un rapport après le passage du cyclone Hugo sur la Guadeloupe** et qu'il avait y pu consigner l'apparition de pathologies de *stress* facilitant les accidents cardiaques, des

(1) *Le Professeur François RHODAIN a été entendu par le Sénateur Marcel DENEUX le 10 octobre 2000.*

troubles psychologiques, voire psychiatriques, même deux ou trois ans après le passage du cyclone, une hausse des suicides et des tentatives de suicides, ce qui s'observe aussi après les tremblements de terre, de même qu'une augmentation nette de certains cancers comme les leucémies, même si cela reste inexpliqué.

Evoquant ensuite les cas de **vagues de chaleur**, le Professeur a noté que les personnes âgées de plus de 65 ou de 75 ans en sont davantage victimes, notamment les femmes. En cas de **vagues de froid**, comme en janvier-février 1985 en France, si les journaux n'ont relevé que 57 décès dus au froid, il a été constaté 12.000 décès supplémentaires par rapport aux années précédentes.

De même, en juillet 1987 à Athènes, plus de 2.000 morts semblent avoir été causées par la chaleur ou la pollution.

D'après des études portant sur les Etats-Unis d'Amérique, certains auteurs estiment que **la mortalité de plein été pourrait croître de deux à trois fois en cas de vagues de chaleur**, cette évolution étant de plus en plus marquée en cas d'évolution brusque.

Le Professeur Jean-Pierre BESANCENOT a également mentionné que d'autres conséquences **en cas d'augmentation de la température** ont été observées : **le taux de fécondité diminue** plutôt lors des étés très chauds, même s'il n'existe pas d'étude très récente sur ce thème. Par ailleurs, il existe une corrélation très forte entre la hausse de température et le nombre croissant de **fausses-couches** et de **naissances prématurées**. Une étude sur ce point a été menée en Turquie.

Dans les villes, il est apparu que la carte des zones de surmortalité se superpose strictement à la carte des zones dépourvues d'installations d'air conditionné : à New York, les quartiers les plus touchés n'étaient pas équipés. Mais, si l'air conditionné aide à lutter contre les très fortes chaleurs, il ne faut pas oublier qu'en même temps, il accentue les contrastes et les difficultés d'adaptation. C'est pourquoi des sas de transition ont été aménagés dans des grands hôtels au Canada.

Sur ce thème, des expériences ont été tentées dans des maisons de retraite du sud de la France en climatisant toute la journée ou seulement une heure ou deux par jour. Il est alors apparu que les deux systèmes étaient équivalents.

Au sujet de l'air conditionné, le Professeur Jean-Pierre BESANCENOT a relevé que dans **les véhicules automobiles**, la climatisation a des effets complexes : elle peut être bénéfique pour éviter **la somnolence**, toutefois, la quasi-totalité des systèmes de climatisation des véhicules entraînant la présence d'ions positifs en grand nombre, les temps de réaction du conducteur s'en trouvent allongés. Les constructeurs (Fiat, Volkswagen, General Motors, Opel...) étudient donc de nouveaux systèmes de climatisation d'autant que certains systèmes de climatisation produisent beaucoup d'ozone.

Dans les bâtiments, la climatisation peut favoriser **la dissémination des germes**, comme cela s'est vu avec **la légionellose**. Des normes ont donc été édictées

pour les hôpitaux interdisant totalement le recyclage de l'air et pour les autres bâtiments, il serait souhaitable de ne recycler qu'un pourcentage réduit de l'air total. De plus, un nettoyage régulier des gaines est imposé, de même que le contrôle de l'eau de condensation et que la relation entre la température et l'hygrométrie.

Certains systèmes d'humidification de l'air ont d'ailleurs été interdits, notamment à la suite des observations de l'INSERM à Clermont-Ferrand et du Laboratoire d'Hygiène Municipale à Paris.

Le Professeur Jean-Pierre BESANCENOT a ensuite rappelé que **les médecins ont été les premiers à s'intéresser au climat** et à mettre en place des réseaux météo ; ce jusqu'à la première guerre mondiale. Cela était lié tant à l'observation de la tuberculose que de celle de l'adaptation de l'homme blanc au climat tropical. Puis, les médecins se sont désintéressés de cette question jusqu'à la fin des années 1950 et un regain très progressif d'intérêt se manifeste depuis, même si, en France, le Ministère de la Santé ne finance pas de recherches sur ce sujet alors qu'au **Japon**, par exemple, des études ont été institutionnalisées avec des résultats, pour l'instant, limités.

Dans l'ancienne **Tchécoslovaquie** existait un grand centre exemplaire consacré au climat et à la santé, employant environ 150 personnes, mais cet effectif fut ramené à une seule personne puis le centre fermé faute de moyens. En **Allemagne**, existe un centre rattaché au service de la météo.

Abordant la question des **maladies pulmonaires** (bronchite, pulmonie...) qui en hiver peuvent dégénérer en problèmes cardiaques, et en été, en crises d'asthme, le Professeur Jean-Pierre BESANCENOT s'est interrogé sur ce qu'il adviendrait en matière d'**épidémies de grippe** en période de réchauffement, surtout par temps frais et humide ou en cas de redoux. En effet, si la température augmente, le nombre de gripes se multiplie mais il y a aussi des épidémies lors de grands froids et alors, c'est le redoux qui met fin à l'épidémie, la météo n'étant qu'un des facteurs de la grippe.

En conclusion, le Professeur Jean-Pierre BESANCENOT a noté que les études évoquées n'avaient pas donné lieu à des croisements avec les travaux des vétérinaires, qu'en matière de bâtiments, le message santé passe très difficilement et que pour se limiter à **quelques conseils simples**, il faudrait :

- **sensibiliser la population aux problèmes d'hygrométrie** en posant des hygromètres dans les locaux ;
- **faire boire les personnes âgées durant les périodes chaudes** ;
- **installer des systèmes d'alerte** lors des grandes vagues de chaleur ou de froid grâce au relais des hôpitaux, des radios, de la télévision... ;
- **mieux cerner les notions de risques et de seuils** selon des recommandations qui pourraient être édictées par le Ministère de la Santé.

M. ROBERT KANDEL (1)

**LABORATOIRE DE METEOROLOGIE DYNAMIQUE À L'ECOLE
POLYTECHNIQUE (2)**

(8 décembre 1999)

M. Robert KANDEL travaille à la fois au Laboratoire de Météorologie Dynamique, fondé il y a plus de trente ans et qui associe Polytechnique et le CNRS, et avec la NASA en tant que membre depuis 1980 de l'équipe scientifique internationale chargée de l'évaluation du bilan radiatif de la Terre. Il a reçu le soutien du CNES, et il a été responsable scientifique français de la construction et de l'exploitation d'instruments de radiométrie embarqués sur deux satellites russes, fournissant des observations qui ont complété celles de la NASA.

Il a indiqué que le consortium européen de **satellites météorologiques** (EUMETSAT) se prépare à créer et à exploiter une nouvelle génération de satellites météorologiques, et que les Anglais et les Belges préparent un nouvel instrument d'observation du bilan radiatif sur Météosat. Il lui a semblé souhaitable que de nouvelles mesures soient effectuées par l'Agence Spatiale Européenne, et il a évoqué l'intérêt que peuvent manifester d'autres pays, notamment le Japon et la Chine. De son côté, à Météo France, le service de la climatologie réunit de très nombreuses données indispensables et, notamment, des statistiques sur les différentes régions.

(1) *Docteur-ès-Sciences. Directeur de Recherche au CNRS, exerçant au Laboratoire de Météorologie Dynamique, membre de l'équipe scientifique CERES (Clouds and the Earth's Radiant Energy System) de la NASA, et du JSPG, groupe conjoint de préparation scientifique des Agences Spatiales européenne et japonaise (ESA et NASDA) pour le projet EarthCARE (Clouds Aerosol Radiation Explorer).*
Ouvrages : « L'incertitude des Climats » (Hachette-Littératures, coll. Pluriel, 1998) – « Les Eaux du Ciel (Hachette-Littératures, coll. Sciences, 1998).

(2) *Le Laboratoire de Météorologie Dynamique est une Unité mixte du CNRS, de l'Ecole Normale Supérieure, de l'Ecole Polytechnique, et de l'Université Pierre et Marie Curie.*

D'une manière générale, M. Robert KANDEL a estimé souhaitable qu'en matière de changement climatique les projections ne conduisent pas à prédire partout des catastrophes, mais à **imaginer aussi des énergies alternatives** ou à **rendre les transports moins dépensiers tout en raisonnant sur trente ans ou plus**.

Dans le même esprit, il a estimé que dans la mesure où **les forêts** allaient survivre dans leur état actuel, voire s'épanouir avec l'élévation du taux de CO₂ dans l'atmosphère, elles tendraient à limiter encore cette élévation pendant une cinquantaine d'années ; au-delà de cette durée, selon un modèle anglais, les changements climatiques pourraient au contraire entraîner le dépérissement des forêts et l'accélération des émissions de CO₂.

Au sujet des **océans**, il a indiqué qu'**en cas de réchauffement, il existe un risque de dégagement important de méthane, gaz qui renforcerait l'effet de serre bien plus puissamment que le CO₂**.

Il a rappelé que l'étude des carottes glaciaires permet de connaître le climat qui régnait il y a 250 000 (et même 420 000) ans et a salué les travaux des équipes de Grenoble et de Gif-sur-Yvette. Il a précisé que les sédiments du fond des océans préservent des indices sur les événements climatologiques remarquables qui se sont produits à des époques encore plus lointaines. Il a rappelé que des carottes prélevées au fond des lacs ou des tourbières dans le Jura Suisse donnent des informations très riches sur des périodes récentes.

A propos de **la réinjection par l'homme du CO₂ au fond des océans**, M. Robert KANDEL a estimé qu'au-delà du problème de coût, cela revenait à transmettre le problème aux générations futures alors qu'il serait préférable de limiter les gaspillages.

Evoquant **le protocole de Kyoto**, il a noté que les objectifs de celui-ci n'étaient pas très spectaculaires mais qu'ils constituaient une phase utile pour une prise de conscience et un changement de cap.

Abordant la question des **permis d'émission de gaz à effet de serre**, il a noté qu'il serait toujours plus avantageux d'économiser l'énergie que de payer pour des permis comme cela se fait déjà aux Etats-Unis d'Amérique pour les émissions soufrées.

M. Robert KANDEL a relevé que l'effet "parasol" provenant des nuages rendus plus brillants grâce, par exemple, aux **émissions soufrées** ralentissait et masquait en partie le réchauffement climatique, ce qui n'est pas sans paradoxe dans la mesure où l'arrêt de la pollution constituée par des émissions soufrées pourrait venir renforcer le réchauffement dû au renforcement de l'effet de serre. Il a évoqué l'importance particulière de la pollution soufrée en Asie, par exemple à Pékin, et il a remarqué que la technologie pour réduire cette pollution existe et pourrait être mise

en œuvre rapidement. De même, les pays en développement rapide auraient tout à gagner à adopter les techniques ayant un meilleur rendement énergétique.

Curieusement, les Etats-Unis d'Amérique auraient également beaucoup à faire sur ce point mais ce sera difficile de les en convaincre.

**CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE**

(C. N. R. S.)

M. JEAN-FRANÇOIS MINSTER

(20 janvier 2000)

1) Le changement climatique et ses effets régionaux

En évoquant les changements climatiques survenus depuis le début du siècle, M. Jean-François MINSTER a supposé qu'il existait de fortes chances pour que **les augmentations de température** ne soient pas naturelles, même si cela était impossible à démontrer dans la mesure où, en science, il était toujours impossible de démontrer que quelque chose est juste. Il a jugé qu'aucun mécanisme naturel ne semblait propre à produire de tels changements

En effet, tandis que l'étude des séries sur le climat au cours des 1000 dernières années, montre une certaine stabilité de celui-ci, des changements apparaissent depuis 1880. A partir de là, des projections vers le futur amènent à supposer que si la concentration de CO₂ doublait, la température pourrait augmenter de 0,8° et ce en tenant compte des effets des aérosols.

Il a par ailleurs noté que **les modèles relatifs aux océans** étaient de plus en plus proches de la réalité.

Au-delà de cette constatation de réchauffement global, **les effets régionaux** doivent être distingués, y compris en observant des zones où la température se refroidit. Les modèles numériques confirment d'ailleurs **le caractère non homogène du réchauffement** et il n'est pas exclu que des catastrophes surviennent.

C'est ainsi que **le Gulf Stream** pourrait être ralenti. En effet, si la température augmente, la glace et les calottes glaciaires fondent, leur apport d'eau douce diminue la salinité qui entraîne actuellement la plongée des eaux tandis que les

eaux les moins lourdes ne coulent pas. En conséquence, le *Gulf Stream* ne s'étendrait plus vers le nord et **le nord de l'Europe deviendrait de plus en plus froid**. Cela est déjà arrivé, il y a 8000 ans et le refroidissement au Nord de l'Europe qui en était résulté a été de plusieurs degrés.

Le front polaire migrerait vers le sud et ferait naître des *jets streams* importants dont on sait qu'ils induisent **des tempêtes** avec des dépressions plus intenses ; mais les modèles de climat ne sont pas encore assez fins pour décrire les tempêtes.

Pour avoir une idée de ce type de climat, il est possible de se référer au climat actuel de l'Ecosse qui subit souvent des tempêtes du style de celles envisagées et où, de ce fait, ne poussent que de petits arbres.

M. Jean-François MINSTER estime qu'il faudrait attendre **encore quatre ou cinq ans pour détenir des prévisions sur les effets régionaux des changements climatiques**.

Quelles seraient les conséquences de ces changements, leurs impacts ? La recherche commence à s'orienter vers l'étude de ceux-ci, notamment en s'intéressant aux deltas des fleuves, à la fréquence des inondations, à la pêche, aux marais... Beaucoup d'équipes travaillent sur ces thèmes qui, depuis environ vingt ans, constituent une préoccupation de la recherche même si les moyens techniques de traiter le problème n'existent que depuis une dizaine d'années.

2) La question de l'observation de l'océan

De nombreux satellites d'**observation** ont été lancés par l'Europe, le Japon, les Etats-Unis et le Canada, par exemple. Des réseaux mondiaux d'observation *in situ* sont mis en place, par exemple dans la forêt africaine, les équipes locales étant associées à ces observations et les données étant transmises gratuitement.

A cet égard, M. Jean-François MINSTER a rappelé que les Américains transmettent leurs **données** gratuitement lorsqu'elles sont acquises sur fonds publics quand bien même l'utilisateur en ferait une utilisation commerciale. A l'inverse, les Européens veulent être rétribués si les données sont utilisées à des fins commerciales. Pour la Météorologie, l'Organisation Mondiale de la Météorologie (O.M.M) a élaboré un cadre à ces échanges.

Il a noté aussi que **l'Europe** a relancé la recherche à travers les programmes-cadres de Bruxelles et le développement des échanges intra-européens, et a observé que la France influe moins sur les programmes européens que d'autres pays comme le Royaume-Uni ou les Pays-Bas, très efficaces au contraire pour cela.

Il a relevé par ailleurs que dans **les négociations internationales**, les Américains manifestent beaucoup d'audace, parfois à la limite de l'acceptable. C'est

ainsi qu'à Kyoto, ils avaient proposé de **stocker le gaz carbonique dans la végétation et les sols**, ce qui n'était pas sérieux à long terme mais la réfutation technique de cette proposition n'est arrivée qu'après la Conférence internationale.

M. Jean-François MINSTER a insisté sur le fait que **le seul moyen de bien comprendre un mécanisme climatique était d'observer toute la Terre**. C'est pourquoi le programme mondial «*climate variability*» (CLIVAR) se préoccupe de vastes sujets comme *El Niño* ou l'oscillation nord atlantique.

Ces recherches concernent aussi **la Méditerranée**. Par exemple, le phénomène d'évaporation de son eau qui se retrouve dans l'Atlantique, contribue à le saler de manière importante. De plus, la Méditerranée joue un rôle dans la circulation de l'Atlantique à travers Gibraltar et le courant des Açores. **Pour mener à bien ces recherches planétaires, il est indispensable de disposer de satellites opérationnels durant une trentaine d'années**. Pour l'océan, c'est ainsi que JASON complètera l'opération TOPEX-POSÉIDON et que, sur le satellite opérationnel européen de Météorologie METOP, des instruments d'observation du vent à la surface des océans seront installés.

Il a également souligné que **l'opération MERCATOR** bénéficie de l'effort de six organismes français, et que, pour obtenir un modèle réaliste, il faut qu'il soit contraint par les observations des satellites et celles effectuées in situ afin d'obtenir de meilleures prévisions des courants océaniques. Outre la surveillance du climat dans l'océan, cela permettrait aussi une aide à la pêche, à la détection acoustique des sous-marins et à l'étude des océans. A cet égard, **l'expérience GODAE** consistant à installer 3.000 bouées dérivantes pouvant descendre et remonter comme des yo-yo jusqu'à 1.000 mètres de profondeur -en cinq ans, dix descentes sont possibles- pour ensuite envoyer leurs informations aux satellites sera **tout à fait décisive pour la bonne connaissance des océans**. Cette expérience bénéficiant de technologies américaines et françaises sera principalement financée par les Etats-Unis d'Amérique (50 %), le Japon (25 %), et les pays européens. Déjà 2.000 bouées sont envisagées actuellement à travers l'opération ARGO et 500 bouées de ce type ont déjà été installées.

Pour la France, M. Jean-François MINSTER a rappelé l'existence du **Comité Directeur de l'Océanographie relative aux questions du climat** présidé par le président de l'IFREMER et qui travaille en liaison avec le Service géographique de la Marine, le CNES, Météo-France, le CNRS-INSU et l'IRD.

C'est donc actuellement toute l'océanographie du futur qui se met ainsi en place.

3) D'autres questions relatives au changement climatique

Les hydrologues estiment que les conséquences des changements climatiques sur l'eau seront plus importantes que celles sur la température . Des

témoignages de l'histoire hydrologique sont recherchés dans **les grands lacs** au travers de l'enregistrement de leur histoire, que l'on trouve dans les sédiments.

A propos des **risques entraînés par les changements climatiques sur la santé humaine**, M. Jean-François MINSTER a indiqué que ces aspects allaient être étudiés par le G.I.C.C.

Par ailleurs, selon les pays, des programmes divers vont être lancés. Par exemple, au **Vietnam**, il existe un grand programme sur l'étude de l'eau. En **Asie**, il s'agit davantage d'études sur les forêts et l'océanographie (pêche au niveau des mers). Quant aux **Japonais**, ils étudient la manière d'injecter du gaz carbonique dans les océans tout en se penchant sur les piles à combustible très liées à la lutte contre l'effet de serre.

Interrogé ensuite sur **les tempêtes du mois de décembre 1999**, M. Jean-François MINSTER a relevé qu'il n'existait pas beaucoup d'études de l'impact du changement climatique sur les phénomènes extrêmes.

Toutefois, il a estimé que quelques observations pouvaient être tirées des forêts déjà exploitées dans le passé, car, en cas de destruction de forêts, des ruptures dans les temps de repousse apparaissent. De même, à partir de la nature des destructions observées en 1999 dans les pentes ou sur les lisières ou en enfilade à l'intérieur des forêts, **l'étude des modifications forestières du passé** permet ou non de retrouver ces phénomènes selon la géométrie des forêts qui a changé au cours du temps.

Evoquant la situation des **atolls**, dont environ **80 % sont morts**, même en Méditerranée, par suite des fluctuations du climat comme le phénomène *El Niño* de 1997-98. M. Jean-François MINSTER a qualifié ce phénomène de **désastre écologique**.

Au sujet du niveau des océans, il a précisé que, au **Bangladesh** qui se situe à moins de trois mètres d'altitude, les bancs de sable se déplacent mais se reconstituent selon l'apport des fleuves faisant douter que l'élévation du niveau de la mer soit le facteur décisif dans la modification de ces côtes.

Pour **la France**, un rapport du Ministère chargé de l'environnement sur **les plages françaises** a montré que, **en cas d'élévation de la mer d'un mètre, le recul de la plage pourrait atteindre cent mètres**, mais que le sable érodé va se déposer ailleurs. Ce phénomène de montée des eaux a d'autres conséquences, comme celle de chasser l'eau douce à l'intérieur des estuaires sous **l'arrivée de l'eau salée**. Ce phénomène pourrait atteindre quelques kilomètres dans l'estuaire de la Loire. Mais déjà, depuis le XIX^{ème} siècle, de l'eau salée a pénétré de vingt kilomètres à l'intérieur des terres, par suite des aménagements du fleuve. De même, **Venise** ne s'enfonce pas à cause de l'élévation du niveau de la mer, mais du fait des marées, des pompes de l'eau et du pétrole effectués sous elle, ainsi que de l'envasement des canaux.

En réalité, aucun modèle ne peut dire, par exemple, si **la Camargue** serait submergée en cas de montée du niveau des eaux, étant d'ailleurs rappelé que celle-ci a été aménagée dans les années 1930. Rappelant qu' **aux Pays-Bas**, des digues de plus de six mètres ont été édifiées pour parer à des inondations survenant tous les mille ans, M. Jean-François MINSTER a considéré que, si la mer montait d'un mètre, des inondations importantes pourraient survenir non plus tous les mille ans, mais tous les cent ans. L'impact du niveau des mers est donc plus significatif en terme de fréquence de phénomènes catastrophiques.

En fait, beaucoup dépend de l'aménagement des côtes comme par exemple du système de digues, et de son entretien. Si le niveau de la mer monte d'un mètre, l'adaptation semble possible dans les zones déjà aménagées. Cela étant souligné par M. Jean-François MINSTER pour montrer qu'en cette matière **les choix politiques comptent davantage que les prévisions théoriques.**

C. N. R. S.
INSTITUT PIERRE-SIMON LAPLACE

MME SYLVIE JOUSSAUME

Auteur du livre « *Climat d'hier à demain* »

(5 octobre 2000)

Après avoir salué comme une bonne idée l'édition d'un **CD Rom sur le climat** destiné en particulier aux jeunes, Mme Sylvie JOUSSAUME, spécialiste du climat du passé et des modèles climatiques, a présenté l'utilisation des modèles sur les climats du passé.

Elle a rappelé que son **ouvrage** récent « *Climat d'hier à demain* » avait surtout pour but d'énoncer le consensus auquel était parvenue la communauté scientifique et d'insister sur les incertitudes qui demeuraient, la base de ces travaux étant constituée par le rapport du GIEC édité en 1995. Mme Sylvie JOUSSAUME a rappelé qu'elle fait actuellement partie des équipes de rédaction du troisième rapport du GIEC en tant que responsable d'un projet international d'évaluation des modèles climatiques à partir de situations climatiques extrêmes du passé.

Interrogée sur les conclusions à tirer des **rapprochements possibles entre les résultats des modèles et ceux observés sur le terrain**, notamment par la paléoclimatologue Mme Nicole PETITMAIRE, Mme Sylvie JOUSSAUME a relevé que tous les modèles ont montré que les pluies plus importantes révélées par la présence de lacs et de végétation il y a 6.000 à 8.000 ans en plein cœur du **Sahara** résultent d'un ensoleillement d'été plus intense suite aux variations lentes du mouvement de la Terre autour du Soleil. La confrontation entre modèles et données a montré que ces changements d'ensoleillement sont amplifiés par la réponse de l'océan et de la végétation.

Mme Sylvie JOUSSAUME a noté que **le système climatique est complexe et résulte de nombreuses interactions**. Actuellement les modèles de climat incluent les interactions entre l'atmosphère et l'océan, or d'autres rétroactions au sein du système devraient être prises en compte dans l'estimation de l'évolution future du climat. L'étude du climat d'il y a 6000 ans, par exemple, a montré l'importance des modifications de la végétation. L'enjeu actuellement est également de pouvoir inclure une simulation explicite du cycle du carbone. En effet, les puits de carbone peuvent être amenés à évoluer dans le futur avec le réchauffement du climat. De même d'autres cycles seraient modifiés, comme celui de l'ozone ou celui du méthane.

Elle a estimé que **les Anglais dominaient la recherche sur les modèles climatiques**, grâce au **Hadley Center**, tout en rappelant le bon niveau de l'**Institut Max Planck** à Hambourg, la France lui semblant un peu en retard par rapport à ces deux centres. Toutefois, le CNRS bénéficie de l'atout de spécialistes rassemblés au sein de l'Institut Pierre Simon Laplace, en partenariat entre plusieurs organismes. **L'IPSL vient, par exemple, de s'illustrer par la réalisation des premières expériences couplant climat et cycle du carbone**. Seuls l'IPSL et le Hadley Center ont effectué de telles simulations mettant en évidence une diminution relative des puits de carbone dans le futur suite aux changements du climat.

Elle a rappelé aussi que le Hadley Center créé à la fin de 1980, qui compte environ quatre-vingts chercheurs, avec pour mission d'étudier l'effet de serre, bénéficiait d'une mission plus ciblée que le CNRS davantage chargé d'une mission académique. Soixante des chercheurs britanniques sont affectés à la modélisation contre une trentaine seulement à l'Institut Pierre-Simon Laplace. En particulier, le personnel ingénieur est plus limité en France et fait défaut dans le développement de ces modèles complexes.

Mme Sylvie JOUSSAUME a ensuite rappelé que dans tous les pays du monde, **les résultats marquants de la modélisation climatique dépendent des moyens de calcul**. Aujourd'hui, ce sont les machines japonaises qui sont les meilleures, mais les Etats-Unis d'Amérique refusent d'en acheter et prennent, par là même, un certain retard.

Le Japon, a un projet de supercalculateur *l'Earth simulator* dédié pour moitié au climat et pour moitié à la physique de la Terre, devrait atteindre une puissance cent fois supérieure à celle de l'ordinateur actuel utilisé pour le climat à l'IDRIS, le centre de calcul du CNRS.

Aux **Etats-Unis d'Amérique**, l'ACPI (Accelerated Climate Prediction Initiative) tente de suivre l'offensive japonaise. Face à cette concurrence, il faudrait que les pays européens se regroupent autour d'un projet de supercalculateur commun s'ils veulent pouvoir faire face. Un autre axe de recherche consiste à **coordonner les différents modèles**, tout en conservant un éventail de réponse. Cela pourrait résulter de l'échange des modules. Cette démarche commence au niveau européen et s'intensifiera probablement dans l'avenir.

Mme Sylvie JOUSSAUME a également insisté sur **la nécessité de développer des observatoires pour le climat**, notamment du gaz carbonique et du méthane. Déjà, de telles observations sont soutenues dans le cadre de l'INSU, mais il y a des difficultés à financer ces observatoires sur le long terme, en particulier au niveau des moyens humains. Ce problème n'existe pas qu'en France qui apparaît même plutôt précurseur en la matière car de tels services d'observation n'existent ni en Allemagne, ni au Royaume-Uni.

Or, comment suivre l'application de Kyoto sans instrument de mesure et alors que les puits de carbone ne sont pas bien cernés ? De plus, dans ce domaine, une mesure n'est utile que si elle est opérée sur de longues années. Peut-être une amélioration serait-elle à attendre d'une meilleure connexion entre le Ministère de la Recherche et le Ministère de l'Environnement ?

Interrogée sur **les gaz à effet de serre autres que le CO₂**, Mme Sylvie JOUSSAUME a indiqué que les modèles climatiques prenaient en compte l'ensemble des gaz à effet de serre en les présentant en équivalent CO₂, même si cela n'est pas toujours dit explicitement.

Dans **les prévisions du GIEC**, aboutissant à prévoir une augmentation de température de 1 à 3,5 degrés *(1)* l'incertitude sur les émissions comme celle sur les réponses des modèles ont été intégrés. La moitié des incertitudes provient des différents scénarios possibles d'émission de gaz à effet de serre et constitue notre marge de manœuvre en matière de politique énergétique. L'autre moitié résulte d'incertitudes sur les modèles eux-mêmes, la plus grande difficulté provenant de **la représentation des nuages**.

Ces prévisions ne prennent pas en compte le fait que le climat se réchauffant, les puits de carbone tendent à diminuer accélérant en retour l'augmentation du CO₂. De même, **les aérosols comme les autres gaz ont des teneurs imposées en fonction de scénarios économiques qui ne prennent pas en compte le changement du climat.** Dans l'avenir, des modèles plus complets seront utilisés permettant de mieux quantifier les différentes évolutions possibles du climat. Le domaine de l'évolution du climat est en plein développement. Il n'est qu'à rappeler qu'il y a dix ans les modèles couplant atmosphère et océan n'étaient pas utilisés pour ces prévisions.

Interrogée sur l'évolution du climat en France, Mme Sylvie JOUSSAUME précise qu'actuellement **il est très difficile de prévoir avec certitude l'évolution du climat à l'échelle de la France. Les résultats par région diffèrent beaucoup selon les modèles. La convergence des résultats se limite à énoncer qu'il y aura davantage de pluies**, notamment des pluies plus fortes, au nord de l'Europe. Par contre, il est encore très difficile de se prononcer sur les extrêmes de vents et les

(1) puis de 1,4° à 5,8° (rapport de 2001)

tempêtes. En particulier, **il est impossible de dire si les tempêtes de fin décembre 1999 sont liées ou non au réchauffement du climat**.

Pour le sud de l'Europe, Mme Sylvie JOUSSAUME a constaté qu'il semblait difficile de parvenir à une conclusion si ce n'est une tendance à une diminution des pluies en été. **Pour la France, il n'existe pas davantage de conclusion précise**. Les experts espèrent réduire l'incertitude, ce qui est d'autant plus difficile que **l'incertitude sur les principales données des scénarios** (concentration en gaz à effet de serre) est elle-même prononcée. En effet, qu'en sera-t-il de **la démographie** et de **l'économie** au cours des années qui viennent ?

A ces incertitudes se rajoute l'aspect chaotique du temps. Par exemple, même avec un seul modèle et un seul scénario, l'évolution future du climat est différente suivant l'état initial de l'océan. Celui-ci n'étant pas connu précisément, il est nécessaire de faire un ensemble de simulations prenant en compte la marge d'incertitude de cet état de l'océan et donnant une prévision statistique de l'évolution possible du climat. Il n'y a pas seulement un futur possible ; il faut s'efforcer de **discerner le plus probable d'entre ces futurs**, pas davantage.

Certes, **les satellites** fournissent des observations d'un intérêt inégalé, mais la série de ces observations n'est pas assez longue. Et il est important de pouvoir disposer des séries longues afin par exemple de mieux cerner la variabilité de l'océan. Dans ce contexte, **les rapports produits par le GIEC** sont très intéressants, même s'ils sont très lourds à élaborer. **Certains pays s'impliquent particulièrement** dans ces travaux dont les pays européens (Royaume-Uni, Allemagne, France, et dans une moindre mesure Italie, Pays-Bas, Suisse), les Etats-Unis d'Amérique et le Canada, le Japon, l'Australie, et un peu la Chine et quelques pays africains. Israël est impliqué dans les recherches mais pas dans la modélisation. Le Canada consacre un important budget de recherche à l'adaptation aux changements climatiques.

Mme Sylvie JOUSSAUME a rappelé par ailleurs, que **le gaz carbonique ne représentait que 50 % des émissions de gaz à effet de serre** et que les CFC n'avaient pas un rôle négligeable. Quant aux **actions concrètes** à mener, elle a estimé que certaines pourraient concerner les automobiles, le prix de l'essence, et l'incitation pour les constructeurs à fabriquer des véhicules consommant moins.

Elle a aussi noté qu'aux mesures économiques devraient s'ajouter la possibilité de **faire passer aux jeunes générations l'idée que la consommation ne peut croître à l'infini sans conséquences**. Il faudrait, en outre, parler davantage de l'impact de la déforestation sur l'émission de gaz carbonique. Il faudrait également parvenir à **amener les médias à ne pas mettre uniquement l'accent sur les aspects catastrophistes du changement climatique mais davantage sur la nécessité de prendre des mesures sur le long terme au-delà des échéances politiques...**

A propos de **la pertinence des trois échéances choisies pour l'étude de l'OPECST**, à savoir 2025, 2050 et 2100, Mme Sylvie JOUSSAUME a estimé que la première date, 2025, n'avait pas trop de signification car l'importance de l'incertitude

serait plus grande entre 2025 et 2050 que la variation des données entre ces deux périodes. Peut-être faudrait-il mieux considérer seulement deux échéances : 2010-2020 et 2050-2100 ?

Interrogée sur **les publications scientifiques et internationales** dans les revues « *Nature* » et « *Science* », Mme Sylvie JOUSSAUME a mis en garde contre les phénomènes de mode qui apparaissant parfois dans ces revues et le fait qu'un certain nombre de scientifiques de renom tendent à ne plus soumettre d'articles à ces revues. Elle a indiqué que d'autres bonnes publications spécialisées existaient comme « *Geophysical Research Letters* », « *Climate Dynamics* », « *Journal of Climate* ».

Elle a ensuite observé que le Ministère de l'Environnement finançait des études sur **les impacts du changement climatique**, ce qui était très bien mais qu'il fallait veiller à ne pas aboutir à un financement excessif des recherches sur les impacts au détriment du financement des recherches en amont, encore nécessaires.

Elle s'est réjouie de la présence d'un membre du CNRS dans le comité d'orientation du Ministère de l'Environnement.

Elle a enfin **déploré l'absence de liaison entre les chercheurs impliqués dans le GIEC et la mission interministérielle de l'effet de serre (MIES)** jusque là, mais a noté que cela était en train de changer. Elle a ensuite souligné **les liens entre l'ADEME et le CNRS** notamment sur les problèmes de pollution (exemple : la quantification des émissions de particules des véhicules diesel), même si à sa connaissance il n'existe pas de liens sur le climat avec l'ADEME.

**CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE**
(C.N.R.S.)

M. GÉRARD MÉGIE,

**PROFESSEUR A L'UNIVERSITÉ PIERRE ET MARIE
CURIE**

PRÉSIDENT DU C.N.R.S.

(8 octobre 2001)

Interrogé tout d'abord en tant que spécialiste de l'ozone, M. Gérard MEGIE a précisé que **l'ozone troposphérique** était un gaz à effet de serre dont le pouvoir de réchauffement atteignait à masse égale 1 200 fois celui du CO₂.

Il a estimé qu'il n'était pas assez question de l'ozone troposphérique dans les débats sur le changement climatique et qu'il était nécessaire d'étudier la chimie de l'atmosphère en la couplant aux modèles climatiques.

Il a rappelé que l'ozone était un polluant secondaire causé à la fois par le méthane, le monoxyde de carbone, les hydrocarbures, le soleil et les oxydes d'azote, les trois-quarts des oxydes d'azote étant produits par l'homme. Il a souligné également **que le mécanisme entraînant la formation de l'ozone est très sensible** puisqu'il suffit d'une concentration d'oxyde d'azote de cinq à dix millièmes de milliardièmes ; or, un tel seuil est atteint sur presque toute la surface de la Terre.

M. Gérard MEGIE a précisé ensuite que **le méthane** -dont le pouvoir de réchauffement à masse égale est égal à cinquante-six fois celui du gaz carbonique- provenait aux deux-tiers de l'activité humaine, qu'elle soit industrielle ou agricole. Quant aux **hydrocarbures** autres que le méthane, ils sont à 20 % environ d'origine anthropique, car les plantes elles-aussi en dégagent en particulier au-dessus des

forêts, ce qui explique par exemple les formations importantes d'ozone au-dessus de certaines forêts comme celles de Fontainebleau, de Rambouillet ou des Landes.

Au-delà du pouvoir de réchauffement de chaque gaz, **les temps de résidence des différents gaz à effet de serre dans l'atmosphère** doivent être pris en considération. Le méthane a, par exemple, un temps de vie court, d'une dizaine d'années, ce qui donne à l'homme une marge de manœuvre pour réduire de manière efficace ses émissions de gaz à effet de serre. A l'inverse, le gaz carbonique ayant un temps de résidence supérieur au siècle dans le système couplé atmosphère-océan-biosphère, ses effets ne peuvent être aisément corrigés à court terme.

Depuis le début du XXème siècle, les activités humaines ont conduit à une augmentation d'un facteur 4 dans l'hémisphère Nord et d'un facteur 2 dans l'hémisphère Sud des teneurs en ozone dans la basse atmosphère. Au total, environ **17 % de l'effet de serre additionnel est dû à l'ozone, 50 % au CO₂ et 17 % au méthane (CH₄).** Cette problématique de l'ozone troposphérique est d'ailleurs **mal prise en compte actuellement dans les rapports du GIEC**, car elle implique de considérer l'ensemble des mécanismes chimiques et photochimiques qui se déroulent dans la basse atmosphère. Elle lie également les phénomènes de pollution locale au changement climatique. Une proposition a d'ailleurs été faite par certains Etats pour qu'un rapport spécial du GIEC traite de ce problème au cours des deux ou trois prochaines années.

Abordant ensuite la question de **l'ozone stratosphérique**, M. Gérard MEGIE a souligné l'influence de celui-ci sur l'effet de serre additionnel liée au fait que la diminution d'ozone aujourd'hui observée dans la basse stratosphère, notamment dans les régions polaires et de moyenne latitude, entraîne une diminution de l'énergie infrarouge émise vers la surface. Il s'agit donc d'un mécanisme de contre-réaction qui contribue à diminuer l'effet de serre additionnel, dans la mesure également où il surpasse l'effet simultané d'augmentation de l'énergie solaire ultra-violette susceptible de traverser une couche d'ozone stratosphérique amincie.

Par ailleurs, la stratosphère se refroidit sous l'effet conjugué de la diminution de l'ozone stratosphérique et de l'augmentation des concentrations de gaz carbonique à haute altitude. De ce fait, le gradient de température entre la basse atmosphère qui se réchauffe et la haute atmosphère qui se refroidit augmente dans la zone d'altitude de la tropopause entre 10 et 20 km. Les conséquences de ces variations restent à déterminer mais elles concerneront les équilibres dynamiques et radiatifs au voisinage de la tropopause, région particulièrement sensible, et pourront modifier certains mécanismes climatiques. Quoi qu'il en soit, il faudra encore attendre dix à vingt années pour que les effets des diminutions des concentrations des CFC se fassent sentir sur la couche d'ozone stratosphérique. Il faut enfin noter que **les hydrofluorocarbures, qui doivent remplacer les CFC, sont des gaz à effet de serre**, d'ailleurs réglementés par le Protocole de Kyoto.

M. Gérard MEGIE a ensuite rappelé qu'il existait **un consensus des scientifiques sur le fait que la période actuelle connaît un changement climatique**

et une hausse de température, même si les conséquences de ces événements ne sont pas visibles et si beaucoup d'incertitudes demeurent.

Il a insisté sur le jeu d'acteurs en cours autour de l'intensification de l'effet de serre : les scientifiques jouent un rôle influant à travers le protocole de Kyoto, les politiques s'intéressent à l'effet de serre, les industriels s'interrogent sur la conduite à tenir et les journalistes parlent de plus en plus de ce phénomène. Au total, **l'attention sur l'effet de serre ne retombe plus**, ce qui se traduit d'ailleurs par l'organisation quasi incessante de colloques sur ce thème.

Pour autant, **les scientifiques ne peuvent que souligner les certitudes et incertitudes de cette problématique et ne sont pas en mesure d'apporter aujourd'hui des solutions**. D'autant que les incertitudes viennent aussi de nos comportements futurs en matière d'énergie. Par exemple, dans les fourchettes d'estimations données par le GIEC, la moitié des incertitudes est d'origine scientifique, l'autre moitié d'origine économique et politique. Il convient donc de faire un effort important pour améliorer les mécanismes qui conduisent de l'expertise scientifique à la décision publique, d'autant que l'administration gouvernante française, en particulier en matière économique et financière, n'est pas fortement sensibilisée au problème.

M. Gérard MEGIE souligne que **le XXIème siècle devra être marqué par une rupture en termes de pratiques énergétiques. Dans cette perspective, il importe de relancer une activité de recherche sur l'ensemble des modes de production d'énergie** sans a priori idéologique dans la mesure où toutes les solutions doivent être considérées : amélioration des rendements énergétiques pour les énergies fossiles, énergie nucléaire et problème des déchets, énergies renouvelables, filière hydrogène, modes de transport et de distribution d'énergie... Pour sa part, **le CNRS** relance des recherches dans ces différents domaines en liaison avec les autres organismes de recherche et les industriels (automobile, pétroliers...). Les dimensions de prospective économique, de gouvernance juridique et d'acceptabilité sociale sont également prises en compte grâce à l'inclusion en amont des programmes des chercheurs en sciences humaines et sociales.

Cet effort de recherche doit s'accompagner d'**un effort dans le domaine de la formation**. Actuellement, les cursus universitaires dans le domaine de l'énergie connaissent un certain succès qu'il convient d'amplifier notamment pour prendre en compte la demande des pays en développement de modes de production énergétique préservant l'environnement et décentralisés.

En tant que citoyen, M. Gérard MEGIE constate que le changement climatique en cours s'accompagnera à court terme d'une variabilité climatique accrue conduisant à **une augmentation probable de la fréquence des événements extrêmes**. Il importe alors d'élargir les champs de recherche au domaine de la **prévention des risques et des mécanismes d'adaptation**. Dans le contexte actuel, le plus difficile est probablement d'incurver la pente des courbes d'émissions de gaz à effet de serre. En ce sens, le protocole de Kyoto apparaît comme un premier pas,

comme pouvait l'être l'accord de Montréal sur les CFC, puisque seule une réduction de 40 %, insuffisante pour éliminer totalement la destruction de l'ozone stratosphérique, avait été programmée dans la première négociation. Il s'est cependant interrogé sur l'existence d'une autorité propre à **contrôler l'application du protocole de Kyoto**. Il s'est tout de même déclaré assez optimiste sur l'évolution en cours dans la mesure où **toute la communauté scientifique mondiale abonde dans le même sens**, y compris l'Académie des Sciences des Etats-Unis d'Amérique et, où les politiques européens, et les industriels, y compris américains, sont aujourd'hui conscients du problème.

A propos de **la politique menée par le CNRS concernant la recherche sur le changement climatique**, M. Gérard MEGIE a exposé que ces recherches ressortaient d'**une approche pluridisciplinaire** qui est aujourd'hui une priorité de l'organisme. Dans cette perspective, le CNRS propose d'**élargir les compétences de l'Institut National des Sciences de l'Univers au domaine de l'environnement** pour en faire un moteur de cette pluridisciplinarité. Le CNRS souhaite également **renforcer les activités d'expertise et de communication scientifique et technique** sur ces sujets, qui font également partie des missions et des métiers du chercheur, et mettre en place **une évaluation stratégique** permettant d'apprécier les résultats des efforts accomplis en termes de moyens financiers et de moyens humains.

Quant à l'intérêt porté par le CNRS aux **phénomènes biosphériques et de désertification**, M. Gérard MEGIE a indiqué qu'il existait des programmes importants sur la désertification et le cycle du carbone. En revanche, en ce qui concerne **les programmes sur la biosphère continentale**, ceux-ci ressortent aujourd'hui d'une Action Concertée Incitative du Ministère de la Recherche, mise en place dans le cadre du Fonds national de la Science et à laquelle le CNRS participe. Il a noté également que ces recherches avaient fait l'objet de programmes importants dans le cadre du 4^{ème} Programme Cadre de Recherche et Développement (PCRD) de la Commission Européenne, notamment en ce qui concerne **le pourtour méditerranée**, et que cet effort n'a malheureusement pas été maintenu dans le 5^{ème} PCRD. Le CNRS visera à maintenir des recherches sur ces enjeux importants, notamment via la coopération avec les pays méditerranéens (Maroc, Tunisie).

Il a relevé qu'une relance de la recherche devait être impulsée aussi dans la mesure où la pression démographique de cette zone du monde viendra nécessairement peser sur l'Europe si des problèmes climatiques accrus apparaissaient au sud de la Méditerranée. A cet égard, il s'est interrogé sur la possibilité de relancer des relations à travers le réseau de la francophonie.

Quant au **transport aérien** qui est responsable de modifications potentielles des concentrations d'ozone tant dans la stratosphère (destruction au-dessus de 15 km) que dans la troposphère (production en-dessous de 12 km due à l'émission d'oxydes d'azote dont le pouvoir de formation d'ozone est multiplié par 20 en altitude par rapport à la surface du sol en raison d'un rayonnement solaire accru), il a relevé qu'il existait **un impact évident de l'aviation au-dessus des couloirs aériens**, en particulier sur **l'Atlantique nord**. Par ailleurs, les émissions de gaz carbonique par le

transport aérien ne représentent actuellement que 3 % des émissions totales, mais elles sont destinées à croître et donc, même si leur part est aujourd'hui faible, cela ne peut justifier l'absence d'action pour les diminuer.

Il a aussi rappelé l'existence d'**émissions par les avions de vapeur d'eau et de poussières** qui conduisent à la formation de cirrus et pourraient donc avoir un impact climatique, même si celui-ci reste potentiellement faible.

Cependant, en l'état actuel des connaissances, il n'est pas évident d'indiquer aux constructeurs d'avions les normes à respecter par les moteurs en 2020 alors qu'il n'existe pas de bases scientifiques précises. En conclusion sur ce thème, M. Gérard MEGIE a rappelé que **la zone d'altitude où volent les avions est particulièrement sensible aux modifications chimiques et dynamiques.**

Enfin, il a souligné qu'un problème important aujourd'hui était celui du **dispositif d'observation** qui doit nous permettre d'apprécier les modifications du système climatique et de les interpréter pour pouvoir mieux les prévoir. Il doit se fonder sur la complémentarité des mesures au sol, en mer, ou à partir de capteurs embarqués sur avions, ballons ou satellites. Il doit également s'inscrire dans la durée, notamment en ce qui concerne les observatoires au sol.

**LABORATOIRE DE GÉOGRAPHIE PHYSIQUE
(C.N.R.S.)**

**M. PAOLO ANTONIO PIRAZZOLI, DIRECTEUR DE
RECHERCHE (1)**

(25 avril 2001)

Parmi les cinquante chercheurs en géographie physique du Laboratoire du CNRS établi à Meudon, M. Paolo Antonio PIRAZZOLI mène essentiellement **des recherches sur le niveau de la mer.**

A ce titre, il a rappelé que le niveau de la mer pouvait être estimé à l'aide des marégraphes –pour le dernier siècle-, d'après l'analyse des causes de la variation du volume des eaux océaniques et, enfin, d'après l'altimétrie satellitaire- pour la dernière décennie.

Il a noté que les observations tirées des **marégraphes** étaient d'une fiabilité très variable car ces instruments avaient été installés d'abord pour la navigation. Ils indiquent **une hausse du niveau de la mer de 11 à 15 cm ou encore de 6 à 24 cm** – selon les auteurs- **au cours du XXème siècle** tandis que le GIEC évalue cette hausse

(1) *M. Paolo Antonio PIRAZZOLI est Directeur de recherche au CNRS. Parmi ses travaux (plus de deux cents publications scientifiques), on peut citer, sur le thème de l'audition, trois livres :*

- «*Sea Level Changes : The Last 20,000 Years*». John Wiley & Sons, Chichester, 211 p, 1996 ;

- «*Les littoraux* ». Nathan, Paris, 191 p, 1993.

- «*World Atlas of Holocene Sea-Level Changes*». Elsevier, Amsterdam, 300 p, 1991.

et deux articles récents :

- *L'élévation récente du niveau de la mer et les prévisions pour le XXIème siècle. Actes du colloque « Le changement climatique et les espaces côtiers » (Arles, 12-13 octobre 2000), Paris, p.10-13, 2001 ;*

- *Surges, atmospheric pressure and wind change and flooding probability on the Atlantic coast of France. « Oceanologica Acta », vol. 23, p. 643-661, 2000.*

entre 14 et 80 cm (1) pour le prochain siècle mais avec de fortes variations d'une région à l'autre.

Face à cela, **le calcul des variations du volume des eaux océaniques** aboutirait à une hausse de niveau d'environ **6,5 cm** pour le XXème siècle.

De leur côté, **les satellites** mis en place depuis une dizaine d'années ont mesuré une hausse de 1,7 millimètre par an.

De plus, M. Paolo Antonio PIRAZZOLI a précisé que le niveau de la mer devait être mis en regard avec **les mouvements verticaux des terres** ; en particulier, le delta du Rhône devrait s'abaisser en raison du moindre apport d'alluvions et de la compaction des sédiments.

M. Paolo Antonio PIRAZZOLI a ensuite rappelé le rôle majeur de **la dilatation thermique des océans** qui s'opère dans la couche de surface, c'est-à-dire, dans les 200 premiers mètres accessibles au réchauffement solaire, la dilatation de cette couche représentant 50 % de la hausse de niveau prévue.

A propos des **DOM-TOM**, il a observé que c'est en Polynésie que la variation du niveau des océans aura le plus d'impact.

Interrogé sur **la fonte des glaciers et des calottes glaciaires**, M. Paolo Antonio PIRAZZOLI a précisé que les petits glaciers ont reculé nettement au cours du siècle dernier, et que la calotte antarctique ne devrait pas commencer à fondre avant le XXIIème siècle dans la mesure où la température actuelle dans cette zone du monde ne permet pas cette fonte.

Quant au **Groenland**, sa fonte complète pourrait entraîner une hausse du niveau de la mer d'environ 6 mètres au cours des prochains siècles.

Enfin, dernière hypothèse, si toutes les glaces et glaciers fondaient, la hausse totale, du niveau des océans oscillerait entre 60 et 80 mètres, ce qui serait considérable et doit être rapproché de certaines projections publiées dans des hebdomadaires à fort tirage qui avaient présenté des cartes simulant une montée des eaux de 200 mètres, niveau totalement invraisemblable, même dans l'hypothèse la plus pessimiste.

Evoquant **les Maldives**, M. Paolo Antonio PIRAZZOLI a noté que pour l'instant leur environnement avait été davantage dégradé par l'homme que par la montée des eaux. De plus, les données relatives aux Maldives sont assez incertaines.

(1) Et dans son troisième rapport, paru en octobre 2001, à une hausse oscillant entre 9 et 88 cm.

M. Paolo Antonio PIRAZZOLI a relevé aussi que, contrairement à ce que le public pourrait supposer, l'**Institut Géographique National** n'est pas vraiment en charge du problème de la variation du niveau des océans. Il gère seulement le marégraphe de Marseille et concentre plutôt son intérêt sur la géodésie.

Revenant au changement climatique en général, M. Paolo Antonio PIRAZZOLI a noté que ce serait un risque majeur si les prévisions des modèles venaient à se vérifier et a rappelé que la vapeur d'eau était le gaz à effet de serre le plus important.

Quant à **la Camargue**, il a estimé raisonnable de reculer progressivement face à la montée de la mer, si possible, plutôt que de tenter une résistance en construisant des digues.

**DOCTEUR CHRISTINE ROMANA
C.N.R.S.**

MAÎTRE DE CONFÉRENCES DES UNIVERSITÉS

UNIVERSITÉ DE PARIS V

(29 novembre 2000)

Interrogée sur l'influence du changement climatique sur la santé, le Docteur Christine ROMANA (1) dont la spécialité est la médecine tropicale, a indiqué que **certains faits observés ces dernières années pourraient être dus à l'augmentation globale de la température : élargissement de l'aire de distribution des moustiques qui transmettent la dengue ou bien émergence de la fièvre jaune dans des localités où cette maladie n'avait jamais été observée, comme dans la province de Sao Paulo, au Brésil, ou encore des épidémies dues au virus de West Nile dans l'Etat de New York ou en Camargue. En réalité, les études concernant l'impact du climat sur les maladies tropicales à transmission par insectes vecteurs sont aujourd'hui très insuffisantes pour bien cerner le phénomène.**

Cependant, les **Anglo-Saxons**, en particulier les scientifiques Américains et les Anglais, **ont déjà commencé à effectuer des études préliminaires** (2). Ils sont appuyés dans leurs recherches par la NASA qui, grâce à ses images satellitaires, a

(1) Christine ROMANA est médecin tropicaliste, responsable au Laboratoire de Géographie Physique « Pierre Birot », UMR 8591 (CNRS) du Groupe émergent « INTENSA » (Interactions Environnement Santé). Elle est aussi co-responsable dans le programme Environnement – Vie – Sociétés (CNRS), du programme de recherches « Vers la construction d'un réseau d'observatoires de surveillance éco-épidémiologique des maladies tropicales émergentes ou re-émergentes : le cas de ROVERTA (Red de Observatorios para la Vigilancia Ecoepidemiologica Regional de la Tripanosomosis Americana) ».

(2) International Research Institute for Climate Prediction (IRI), LDEO/Columbia University, NY, USA. MALSAT, Liverpool School of Tropical Medicine, Liverpool, UK

consolidé une veille sanitaire (1). A partir de là, ils ont pu constituer **des modèles de simulation** sur les effets que pourrait avoir l'augmentation globale de la température sur les épidémies de paludisme, de dengue ou d'infection par le virus de West Nile dans certaines régions du monde.

Dans le cas de la France, le Docteur Christine ROMANA a estimé que le nombre d'équipes concernées par cette problématique était insuffisant, malgré le fait que des nombreux territoires sont sous l'emprise de ce type de maladies. En effet, l'approche des questions concernant le climat et la santé pose le problème général de l'interdisciplinarité dans les approches systémiques ou globales des maladies, les insectes ou mollusques vecteurs étant directement dépendants de l'environnement, donc du climat (paludisme, leishmanioses, arboviroses comme la fièvre jaune ou la dengue, onchocercose, etc...).

De rares travaux ont été quand même effectués dans le domaine ; les plus percutants peut-être étant ceux du Professeur Jean-Antoine RIOUX sur la leishmaniose en France (côte méditerranéenne) et en Afrique du Nord. Dans ces travaux, **le Professeur RIOUX a mis en évidence**, entre autres observations, **des relations étroites entre les aires de distribution de différentes espèces de phlébotomes qui transmettent les leishmanioses et le climat** (2). Ces travaux ont démontré l'intérêt de l'approche systémique des maladies à transmission par insectes vecteurs et ont abouti à la conception d'une méthode de terrain qui se base sur l'apport de l'écologie scientifique à la santé publique, l'écoépidémiologie (3). Contrairement aux écoles anglo-saxonnes qui travaillent à des échelles géographiques impliquant des vastes territoires, l'école française a toujours abordé le problème par l'étude des foyers à **des échelles correspondant aux « foyers d'infection »**.

En réalité, pour le Docteur Christine ROMANA, **il ne peut y avoir de conclusions concernant le problème de l'influence du climat que si des études à long terme sont décidées aujourd'hui même sous la forme de sites-observatoires dans les zones qui pourraient être d'intérêt pour la France : les territoires d'outre-mer et particulièrement la Guyane, en liaison étroite avec d'autres implantations internationales.** En effet, la circulation des agents pathogènes est étroitement liée aux écosystèmes dans lesquels ils cohabitent naturellement avec les animaux et l'homme. Toute modification de ces écosystèmes aura comme

(1) *International Research Partnership for Infectious Diseases (INTREPID), NASA Goddard Space Flight Center, MD, USA*

(2) J.A. RIOUX, P. RISPAIL, G. LANOTTE, J. LEPART, 1984. *Relation phlébotomes-bioclimats en écologie des leishmanioses. Corollaires épidémiologiques. L'exemple du Maroc. Bull. Soc. Bot. de France 131 : 549-557*

(3) J.A. RIOUX, G. LANOTTE, J. COUSSERANS, A. GABINAUD, J.J. CORRE, 1981. *Écologie, développement et santé publique. Bases écologiques de l'analyse d'un système épidémiologique ; foyers d'infection et parasitocoenose ; stratégies d'enquêtes et d'intervention. Bull. CNRS, 245-254. J.A. RIOUX, J. DEMEURE, PERIERES, 1990. Approche Écologique du « Risque épidémiologique ». L'exemple des leishmanioses. Bull. Écol. 21(1) : 1-9*

conséquence l'émergence ou la ré-émergence ou la disparition de ces complexes pathogènes.

Pour pouvoir donc comprendre l'impact que la modification climatique aura sur la santé humaine à l'avenir, il faudrait d'abord commencer par bien **comprendre les interactions qui existent entre les écosystèmes, le climat et ces complexes pathogènes**. Cela nécessiterait de développer dès maintenant **des nouvelles équipes** qui prennent en compte l'épidémiologie, l'écologie, la géographie et la santé publique afin de créer de nouveaux outils permettant la description des phénomènes, leur interprétation, compréhension et gestion.

Le Docteur Christine ROMANA a estimé donc, que, pour apporter une réponse à la question formulée par l'OPECST, il faudrait commencer par **mettre en œuvre des observatoires à long terme, comme ceux financés actuellement par le CNRS dans le cadre du Programme Environnement, Vie et Société (1)** afin d'aboutir à des modélisations de la dynamique spatiale et temporelle des foyers d'infection en se basant sur **des interactions entre les systèmes d'information géographiques opérationnels et des banques de données à variables multiples** (environnementales, biologiques, écologiques, botaniques, agronomiques, économiques, etc.).

Les **apports méthodologiques** doivent donc porter essentiellement sur **l'organisation des activités de suivi, la gestion des données et la modélisation** dans des sites observatoires en milieu concerné (particulièrement la Guyane et les territoires d'Outre-mer). Il faut donc **systématiser et structurer des bases de données à long terme** autour du phénomène afin d'optimiser les méthodes de mesure en fonction des objectifs à atteindre. En effet, les bases de données sont un reflet de la perpétuelle évolution des écosystèmes et des anthroposystèmes. D'où la nécessité de concevoir des modèles conceptuels pour prédire et surveiller le risque pour les populations locales. Des organismes comme le CNRS (2) ou l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD) (3) pourraient être capables de trouver des équipes pour une telle mission.

(1) Appel d'offres MOTIVE, "Observatoires de recherche sur les anthroposystèmes: modèle et méthodes", CNRS.

(2) Groupe émergent « Intensa », Laboratoire de Géographie Physique « Pierre Birot », UMR 8591.

(3) UR 016 « Caractérisation et contrôle des populations d'insectes vecteurs », LIN/IRD, 911

COMMISSION EUROPÉENNE

M. RENÉ LERAY

DIRECTION DES RELATIONS EXTÉRIEURES

(14 décembre 1999)

Pour évoquer **le problème de l'eau et du changement climatique**, M. René LERAY a pris **l'exemple du Proche-Orient** en précisant que dans l'approche de telles questions, il ne fallait pas raisonner en statique mais anticiper des évolutions et donc décaler le problème vers l'avenir.

A propos d'Israël, M. René LERAY a rappelé que l'irrigation au goutte à goutte était largement pratiquée et que, dans une région comme Gaza, il y avait à la fois manque d'eau et gaspillage d'eau.

Face à de tels dilemmes, le délai de réflexion pour anticiper les problèmes futurs doit être d'environ dix ans pour permettre d'imaginer l'évolution de l'utilisation de l'eau par l'économie comme **l'évolution des contrats géopolitiques vers une coopération totale**.

En fait, l'élaboration d'un plan global sur dix ans doit reposer sur une conception du court terme intégrant déjà le moyen et le long terme. A cet égard, M. René LERAY a indiqué qu'il faudrait **éviter que des pays décident seuls de l'aval de leurs décisions liées à l'eau**. C'est ainsi que **la Turquie**, en réalisant l'aménagement de l'Anatolie orientale joue en réalité un rôle dans toute cette région du monde. Quoi qu'il en soit, une fois mises en œuvre toutes les solutions actuellement connues face aux pénuries d'eau, **le choc de la pénurie réelle ne semble pas pouvoir être reculé de plus d'une dizaine d'années**. Avant cela, même les solutions les plus simples supposent de coopérer, ce qui est impensable, par exemple, en Israël dans le climat politique actuel.

M. René LERAY a rappelé ensuite que **la production d'une tonne de blé suppose l'utilisation d'un million de m³ d'eau**, ce qui devrait conduire souvent à importer de la nourriture plutôt qu'à la produire soi-même. Ainsi, l'Arabie

Saoudite exporte 1,5 million de tonnes de blé par an tandis que l'eau contenue dans son sous-sol ne se renouvelle que tous les mille ans.

En Afrique australe, en Namibie ou en Afrique du Sud, des accords ont été conclus sur l'eau car cela était devenu vital. Malheureusement, d'un point de vue général, le travail sur **le droit international de l'eau** n'a pas encore vraiment débouché par ailleurs.

Dans l'Union européenne, des programmes d'aide bilatéraux existent, mais ils ne sont pas élaborés bassin par bassin. L'idée de prévention des conflits sur l'eau est bien présente. En 1992, s'est réuni au Proche Orient, **un Comité sur l'eau, l'énergie et les transports** afin de dégager les synergies mutuelles entre ces trois secteurs, ce qui devrait permettre de changer les termes de la discussion politique.

Face à ces préoccupations liées à l'eau, M. René LERAY a souligné qu'**il y a encore huit ans environ, les conséquences du réchauffement de la planète n'étaient pas du tout intégrées à la question de l'eau**. Or, de toute évidence, **la rareté sera porteuse de conflits** sauf si toutes les solutions ont été optimisées. Il y a là un vrai enjeu que la diplomatie actuelle n'intègre pas, d'autant que les économistes et les responsables de l'eau ne dialoguent pas vraiment. De plus, il sera difficile d'introduire l'idée de tarification de l'eau dans des cultures où l'eau est considérée comme un don de Dieu.

S'interrogeant sur ce qui pouvait être le rôle de l'ONU dans la prévention des conflits liés à l'eau, M. René LERAY a déploré que **la connaissance scientifique** ne soit pas assez intégrée à la politique.

Prenant l'exemple de la nappe aquifère de **Cisjordanie** qui s'écoule d'est en ouest, M. René LERAY a indiqué que les forages opérés en Israël devaient atteindre la profondeur de 50 mètres environ tandis que ceux effectués en Jordanie devaient descendre à 600 mètres.

Comment dès lors **faire de la cause de confrontation qu'est l'eau un terrain de coopération**? Une étape consisterait à convaincre les Etats-Unis d'Amérique du bien fondé de cet objectif, ce qui irait au-delà de la diffusion des technologies déjà opérées actuellement. Il serait aussi souhaitable, d'après M. René LERAY, de **remplacer les habitudes d'aides bilatérales par des incitations à des coopérations régionales**, tout en posant des conditions à l'octroi de ces incitations. C'est ainsi qu'entre le **Maroc, l'Algérie et la Tunisie** n'existent actuellement que peu de relations économiques alors que de nouvelles approches des problèmes d'aide et de coopération pourraient élargir leurs relations.

Quant à **l'Afrique** où l'eau insalubre constitue le principal vecteur des maladies, beaucoup de catastrophes y sont annoncées sans qu'il y ait de reflet de ces annonces sur l'action politique, comme si un maillon manquait. Dans la mesure où les temps de retour sur les investissements liés à l'eau peuvent être très longs, le marché ne peut régler ce problème et seule la collectivité publique peut intervenir.

Elle devrait le faire à la faveur de **solutions régionales inter-pays** plutôt que de se cantonner aux projets nationaux.

M. René LERAY a conclu que la question de l'eau concerne en fait trois niveaux : le monde, la France et l'environnement géographique immédiat.

Si l'on considère le **pourtour de la Méditerranée**, au sud de celle-ci, 60 % de la population est âgée de moins de 25 ans. Il s'agit donc de peuples adolescents dont le sort ne doit pas être indifférent à la France puisque les vagues migratoires, les conflits entre ces pays, l'utilisation de l'énergie par ceux-ci, la criminalité et la problématique de l'Etat dans ces pays ne peuvent qu'avoir des répercussions sur la France.

Dans cette perspective, M. René LERAY a estimé que des projets comme la zone de libre échange prévue pour 2010 par **le protocole de Barcelone** constituent un pari intéressant et qu'il est de la responsabilité de la France comme de l'Union européenne de prévenir les évolutions futures.

Pour M. René LERAY, **toute réflexion sur le changement climatique n'a de sens qu'au niveau mondial** et même une réflexion qui se voudrait limitée à la France ne pourrait se passer d'étudier le contexte méditerranéen.

Quant à savoir si l'effet de serre allait ou non aggraver les problèmes actuels, si par exemple il allait exacerber les conflits de souveraineté liés à **l'eau**, M. René LERAY a estimé que, pour répondre à cette question, il fallait prendre en considération à la fois l'approche politico-opérative, économique et les approches régionales.

A cet égard, il a signalé qu'un livre de Shimon PERES montrait bien comment **Israël** participe à l'environnement régional tout en s'en protégeant, ce qui conduit cet Etat à percevoir le problème de l'eau de plusieurs manières. A cet égard, il a estimé indispensable d'étudier sur place le cas d'Israël et a insisté de nouveau sur le fait qu'**importer un produit à base d'eau revient à importer de l'eau, éventuellement d'un pays qui en manque**.

Evoquant plusieurs régions du monde, M. René LERAY a noté que le Soudan pourrait constituer un grenier à blé s'il n'était en guerre tandis que l'Arabie Saoudite, en paix, gaspille l'eau pour produire du blé.

Il a estimé que pourraient souvent être imaginées des **zones de libre échange englobant l'eau** et l'ensemble des activités économiques. Par exemple, entre la France et la Belgique, une petite nappe souterraine près de Mons pourrait être exploitée en commun ; en Yougoslavie, de grandes possibilités existent qui pourraient profiter tant à la Macédoine qu'à la Grèce, voire à l'Italie.

Mais déjà, en sens contraire, certains considèrent que l'envoi de tankers d'eau de Marseille à Barcelone pourrait constituer une sorte d'atteinte à la souveraineté des Etats concernés.

M. René LERAY a rappelé ensuite que, dès 1994 à Rome, **une charte européenne de l'eau** avait été signée, mais qu'elle n'avait pas d'effets contraignants.

Il a insisté sur l'existence de certains **conflits nés de l'eau** dans le monde comme celui lié aux ressources de l'Amou-Daria et du Syr-Daria entre le **Kirghizistan** et le **Tadjikistan**, celui entre l'**Angola** et la **Namibie**, et enfin ceux entre l'**Afrique du Sud**, le **Botswana**, le **Zimbabwe** et le **Mozambique** qui pourraient pourtant coopérer dans un même bassin en rassemblant des investisseurs privés et publics.

Il a estimé que lors de la réunion du Conseil mondial de l'eau tenue à Marseille, les débats ont été un peu trop centrés sur les aspects juridiques ou techniques (technologies avancées) alors qu'il serait important de **placer au centre de la discussion sur l'eau la rationalité économique** ; mais, jusqu'à présent, les économistes ont à peine fait leur entrée dans le sujet.

En fait, derrière beaucoup de difficultés liées à l'eau existent **des divergences sur les concepts de frontière et de souveraineté** selon qu'il s'agit de pays d'Europe ou du reste du monde.

Pour M. René LERAY, l'approfondissement du dialogue avec la **Turquie** pourrait aider à faire passer le message sur l'eau, notamment en Anatolie, ce qui déboucherait sur une sorte de **diplomatie de l'eau**, celle-ci ne devant pas se limiter à l'environnement *stricto sensu*. **L'Europe pourrait être la championne de la politique de l'eau**, tout en aidant à mesurer les impacts de l'effet de serre en matière de pénuries diverses, ce qui constituerait un grand renouvellement dans la pensée.

Pour l'Afrique, la première priorité consiste à assainir son eau qui constitue le principal vecteur des maladies.

M. René LERAY a enfin déploré le **grand gaspillage d'eau auquel donnait lieu l'agriculture**. Il a estimé que des mesures pourraient être prises en Israël pour éviter cela.

M. JEAN LUCAS *(1)*

PROFESSEUR DE THERMIQUE INDUSTRIELLE
AU CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET MÉTIERS

(30 novembre 2000)

Après avoir rappelé qu'il avait été amené, dans le passé, à s'intéresser aux économies d'énergie comme aux énergies renouvelables, et à travailler sur différents carburants, M. Jean LUCAS a indiqué que la population française recevait peu d'enseignements sur **les stratégies énergétiques**, mais qu'un cours sur ce thème était professé en dernière année du CNAM.

Il a noté que deux grandes options s'offraient en matière de politique énergétique, soit **subventionner à grands frais des énergies renouvelables**, ce qui suscite la méfiance des industriels, soit **taxer le CO₂** à partir d'une taxation sur le CO₂ ajouté, ce qui équivaldrait à une sorte de TVA sur le plan international, (mais cette solution n'est pas envisagée aujourd'hui).

M. Jean LUCAS a ensuite déploré que l'**ADEME** n'ait pas attaché par le passé assez d'importance à l'évaluation technico-économique prévisionnelle de l'intérêt des projets innovants qui lui étaient présentés et ait fonctionné plutôt selon un principe de saupoudrage aléatoire pondéré parfois par les amitiés personnelles. Seule la rentabilité est en effet susceptible de déclencher d'importantes réalisations ce qui s'est vérifié en matière de chauffe-eau solaire et d'énergie éolienne, énergie qui s'est développée dès que des prix garantis (décrétés artificiellement) ont rendu leur installation rentable pour ceux qui en font métier.

Sur ce dernier point, il a noté que pour émettre un jugement sur l'**énergie éolienne**, il faut prendre en compte le problème de l'intermittence de cette source d'énergie, et de la faculté offerte ou non par une autre source d'énergie, par exemple hydraulique, de remédier aux intermittences de l'éolien, d'où la nécessité d'imputer à cette énergie le coût d'un double équipement. Il en est de même pour la production électrique classique lorsque les pointes d'une semaine doivent être satisfaites par la production électrique de centrales thermiques.

(1) Ancien élève de l'École Polytechnique et de l'École nationale du génie rural.

L'énergie éolienne doit donc être conçue avec, en complément, une turbine à gaz, une pile à combustible ou tout autre système. Le problème de stockage de l'énergie éolienne est un problème important sans doute insuffisamment étudié.

En revanche, actuellement, il existe pour **l'éolien au fil du vent** des procédés très fiables (les éoliennes ne cassent plus.....). Malheureusement le bruit reste pour les éoliennes un véritable problème. Pour le résoudre, **la création de fermes éoliennes en mer**, dites « *offshore* » est évoquée. Les éoliennes envisagées actuellement sont toutes posées ou fixées au fond mais il n'y a pas eu d'expérimentation d'éoliennes sur ponton flottant, technique qui devrait fournir de l'électricité au fil du vent à un prix nettement plus bas que ce qui est fait actuellement. Le coût du transport de l'électricité produite jusqu'à la terre ferme est un poste important du coût global. On a donc proposé de fabriquer de l'hydrogène par électrolyse sur les sites de production d'électricité mais cela semble plus coûteux et délicat que le transport de l'électricité et la production d'hydrogène à terre. L'intérêt de cet hydrogène est qu'il peut, par la suite, être utilisé comme combustible « dans des piles produisant de l'électricité » ou comme composant chimique dans la production de méthanol et d'hydrocarbures de synthèse.

Evoquant ensuite **l'énergie solaire**, le Professeur LUCAS a regretté que les meilleures solutions n'aient pas été testées et développées. Comme exemple, il a cité certains types de capteurs plans retenus par l'Allemagne depuis 1970, et qui intègrent un récepteur poreux ; il s'agit de capteurs particulièrement intéressants pour l'habitat. De plus, les efforts pour promouvoir **une architecture solaire** raisonnée, apparaissent insuffisants. Dans ce domaine, on peut en particulier penser à des toitures réfléchissantes inspirées du multi miroir de Fresnel et concentrant le rayonnement solaire direct. De telles toitures fourniraient de la chaleur au fil du soleil à un prix très intéressant et à un niveau de température permettant la climatisation. On pourrait même produire avec ces toitures une électricité photovoltaïque que de prix acceptable si l'on disposait de photopiles à moyenne concentration ; malheureusement **le développement de ces techniques de capteurs à moyenne concentration et des photopiles associées n'a pas été soutenu par l'ADEME** alors que l'Union Européenne a aidé récemment un projet commun de B.P. et d'un laboratoire espagnol.

De ce fait, **les photopiles** sont réservées aujourd'hui à quelques niches dans lesquelles leur prix n'est pas dissuasif et à une production d'électricité très fortement subventionnée par le biais de prix de rachat garantis très élevés. L'utilisation de la concentration, en divisant par 50 la surface de récepteurs photovoltaïques nécessaires pour la même puissance produite aurait permis et permettra sans doute de développer une électricité photovoltaïque que bien moins coûteuse qu'aujourd'hui. En résumé **les meilleures solutions solaires ont sans doute des potentialités technico-économiques intéressantes** mais le soutien de recherches mal ciblées n'aboutissant qu'à des solutions trop coûteuses fait un grand tort aux solutions qui auraient pu être meilleures.

M. Jean LUCAS a observé que, d'une manière générale, il serait possible de développer des énergies renouvelables compétitives si le baril de pétrole était à un coût moyen de 25 \$. Mais ce n'est pas le cas actuellement et il lui paraît très difficile d'être compétitif avec du pétrole à 16 \$ le baril.

Sauf à créer et appliquer une **taxe sur le CO₂ ajouté dans l'atmosphère** qui a été déjà évoquée plus haut et qui pourrait être d'au moins 5 \$ le baril on n'aboutira pas à un prix permettant le développement massif d'énergies renouvelables ou l'accroissement des économies d'énergie pour lesquelles les potentialités sont encore considérables.

Pour illustrer ce dernier point, M. Jean LUCAS a pris un exemple dans l'industrie agro alimentaire où des techniques innovantes peuvent encore conduire à des économies d'énergie substantielles et cela dans des conditions économiques intéressantes : en sucrerie, il a été montré que l'on peut économiser plus de 60% de l'énergie consommée en étalant sur toute l'année la production sucrière, ce qui est rendu possible par le stockage des betteraves dans des bassins d'eau acidifiée.

De très fortes économies pourraient donc résulter de nouvelles technologies et de nouvelles sources d'énergie, mais, pour l'instant, les industriels continuent à miser sur le fait que le pétrole montera et baissera mais restera en moyenne aux alentours de 20 \$ le baril. Parallèlement, les opérateurs qui s'étaient illustrés il y a 20 ans dans les économies d'énergie ou les énergies renouvelables (par exemple dans le domaine agricole le CEMAGREF et l'INRA) s'en sont désintéressés. C'est donc une véritable relance de la recherche énergétique qui serait nécessaire si l'on voulait économiser l'énergie et développer les énergies renouvelables. Et il ne semble pas judicieux de faire cette relance sans décider d'une taxe sur le CO₂ ajouté ou d'un équivalent à une telle taxe.

M. Jean LUCAS a rappelé l'intérêt de la biomasse énergie.

La synthèse du méthanol par exemple pourrait être très rentable en gazéifiant la biomasse à l'arc électrique durant les heures d'été pendant lesquelles de l'électricité nucléaire est disponible à bas prix. Une telle utilisation justifierait d'ailleurs le renforcement du parc nucléaire actuel. Cependant, EDF ne s'est pas intéressée à un tel programme. Cela se comprend dans la mesure où elle ne croit sans doute pas à la possibilité de construire de nouvelles centrales, vu la situation politique et le refus d'une frange de l'opinion publique.

De l'énergie éolienne à bas prix permettrait aussi de produire dans de bonnes conditions du méthanol de synthèse à partir de biomasse.

Concernant toujours **la biomasse**, M Jean LUCAS a rappelé qu'elle présentait d'excellentes opportunités et cela même si le choix de mauvais procédé dans diverses opérations de « démonstration » a conduit à des contre-références. Un exemple de mauvais choix technique lié à ce que l'on appelle le syndrome du NIH

(« *Not Invented Here* » : « pas inventé ici ») est donné par une réalisation en Guyane visant à produire de l'électricité à partir de biomasse, qui bien menée aurait pu être rentable mais qui a été un échec suite à un mauvais choix de gazogène.

Avec le pétrole à 20 \$ le baril, et si une taxe sur le CO₂ était instaurée, **une production intensive de biomasse serait possible dans de très nombreuses conditions**. Alors, il serait possible d'utiliser **les tiges de maïs ou de topinambour** qui correspondent à près de 10 tonnes de matières sèches de résidus par hectare et par an en Europe ; de même que **l'exploitation forestière ou l'exploitation de taillis à courte rotation** qui produisent des tonnages de matière sèche plus importants encore et à moindre coût. Malheureusement, ce type de projet doit affronter **la résistance des milieux forestiers** qui privilégient la production de bois d'œuvre considérés comme nobles ou, à la limite, de bois papetiers, mais n'admettent que lentement la complémentarité de l'usage des résidus de la production forestière ou de ses sous produits.

Actuellement, des sols sont en jachère au lieu d'être utilisés à produire de la biomasse. Or, **il serait possible, même pour la France seule, de se lancer dans une politique fondée sur l'exploitation de la biomasse**.

Cette carence est en partie due au fait que, **le secteur agricole n'a soutenu que des systèmes sans avenir** (éthanol carburant, diester de colza) qui sont davantage des systèmes reflétant le dynamisme de certains groupes de pression que des sources d'énergie rentables.

A l'appui de cela, il peut être rappelé que le projet éthanol du Brésil fut un échec, du reste parfaitement prévisible et prévu par les bons experts.

Quoi qu'il en soit, **même avec une action efficace sur la biomasse, la taxe sur le CO₂ demeure le signal à donner qui permettrait d'atteindre une réelle rentabilité donc un réel engagement industriel**. On peut espérer que les inquiétudes croissantes sur les conséquences des changements climatiques liés à l'intensification de l'effet de serre finiront par déclencher des décisions dans ce domaine.

A propos du phénomène global d'**intensification de l'effet de serre**, M. Jean LUCAS a observé que l'on avait maintenant des convictions scientifiques étayées et partagées par quasiment toute la communauté scientifique. On peut toujours affiner et préciser tel ou tel modèle et intégrer mieux des facteurs parfois sous-estimés mais quoi qu'il en soit on a aujourd'hui **les éléments nécessaires pour affirmer qu'il est urgent d'agir**.

En complément de l'ensemble des arguments étudiés et présentés par le monde scientifique international sur ce problème de l'augmentation de la température planétaire, M. Jean LUCAS a cité une expérience personnelle : en 1975 il avait remarqué que le niveau des crues du fleuve Sénégal, manifestait depuis 1914 une périodicité de 11 ans qui l'avait alors surpris. On sait aujourd'hui qu'il s'agit là de la

période de l'activité solaire qui influe notablement sur le climat (d'aucuns attribuent même la Révolution française aux suites d'une chute de l'activité solaire qui avait engendré ce que l'on a appelé une « petite glaciation »).

Actuellement, **la température moyenne de la terre augmente**, et cela semble devoir continuer. **Cette augmentation apparaît aujourd'hui clairement due à l'augmentation de la teneur en CO₂ de l'atmosphère du fait de l'utilisation des combustibles fossiles**. Il faut noter à ce sujet que, même si les effets directs de l'augmentation de la teneur en CO₂ de l'atmosphère sont faibles, **ces effets sont très largement amplifiés par l'augmentation de la teneur atmosphérique en vapeur d'eau**, vapeur d'eau qui est un gaz à effet de serre bien plus abondant que le CO₂.

C'est pourquoi **une grave catastrophe écologique n'est pas à exclure dans les 100 ans à venir si des mesures vigoureuses ne sont pas prises**.

Malheureusement, le public en France n'est pas formé à la compréhension des problèmes énergétiques et les enseignants ont une véritable responsabilité dans ce domaine.

Or, **c'est la créativité et la compétence de toute la population qui permettront l'émergence d'une bonne politique énergétique**.

Dans l'état actuel des choses, on assiste à **une sorte de schizophrénie de l'opinion publique française mais aussi européenne dans le domaine des choix énergétiques : on s'émeut des risques engendrés par la production d'électricité nucléaire** (même si l'on peut montrer que ces risques sont très faibles) **et, parallèlement, on néglige les risques liés à l'augmentation de la teneur en CO₂ de l'atmosphère** (dont on est aujourd'hui convaincu qu'ils sont importants ou très importants). Il y a deux poids, deux mesures. Serait ce à la suite d'une « pente du cœur » liée à l'histoire ? serait-ce le résultat d'un matraquage politicien volontaire ?

Il vaudrait pourtant mieux décider à partir des faits et d'un raisonnement objectif, après avoir pesé coûts et risques des énergies produites par les diverses solutions étudiées.

Cette schizophrénie rejaillit sur les décisions gouvernementales : On renonce à l'augmentation du prix du gazole alors que l'on augmente délibérément le coût de l'électricité en imposant le rachat de l'électricité éolienne à un tarif élevé !

Il faut manifestement renforcer l'information et la formation dans le domaine des choix énergétiques. Mais, pour l'instant, peu de gens s'y intéressent vraiment.

Pour toutes ces raisons, le Professeur LUCAS s'est déclaré très favorable à la diffusion du rapport de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques sur les changements climatiques au moyen d' **un Cd-rom**.

DATAR

M. JEAN-LOUIS GUIGOU,
DÉLÉGUÉ À L'AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE

(3 mai 2000)

Après avoir rappelé les pronostics alarmistes concernant l'effet de serre, M. Jean-Louis GUIGOU a noté que les nombreuses investigations existantes ne permettaient toujours pas d'avoir des certitudes absolues. Aussi, le principe de précaution s'impose et **les politiques mises en œuvre tendent à minimiser les émissions de gaz à effet de serre. Il s'agit d'inciter les industries à diminuer leurs émissions et de maîtriser les impacts dus aux transports**, alors même qu'avec la réduction du temps de travail la mobilité sera encore renforcée.

M. Jean-Louis GUIGOU a présenté l'action du Gouvernement et de la DATAR pour accompagner cette politique. Il existe désormais neuf **schémas de services collectifs à l'horizon 2020**. De plus, le Comité interministériel d'aménagement du territoire, qui doit se tenir le 18 mai 2000, aura comme idée maîtresse **la réduction de la mobilité au moyen de l'organisation d'une France polycentrique constituée de six grandes régions**. Il ne s'agit pas là d'une nouvelle version des métropoles d'équilibre, mais plutôt de la structuration de grappes de villes, un peu à l'image de ce qui existe en Allemagne, même si les villes y font moins d'un million d'habitants. Par exemple, Stuttgart, qui regroupe deux millions d'habitants, rassemble en réalité 28 villes, ce qui est à l'opposé de la périurbanisation.

A l'inverse, en France, chaque maire a tendance à agir isolément, engendrant ainsi une certaine anarchie sur le territoire. Heureusement, **l'engouement pour les pays, les communautés de communes et les agglomérations tempère les initiatives disparates**. C'est ainsi qu'en Indre-et-Loire, des intercommunalités systématiques sont mises en place, alors qu'en Languedoc ou en Provence, il n'y a pour ainsi dire pas d'inter-communalité.

M. Jean-Louis GUIGOU a rappelé que le choix des six grandes régions avait été dicté par les **six fleuves** au long desquels s'étaient développés les systèmes urbains. Il a rappelé **les axes Rennes-Nantes-Angers, Metz-Nancy-Strasbourg, Lyon-Marseille, Toulouse-Bordeaux, Lille-Bruxelles**, en notant qu'en pratique, tout désaccord entre ces villes profitait à Paris.

A partir de cette réalité, **la division du travail par région devrait réduire les mobilités**. Cela serait également facilité par **la nouvelle économie** (télétravail, téléenseignement, téléservices) dont le commerce électronique, qui représente actuellement 2 % du marché français, contre 20 % aux Etats-Unis d'Amérique. Toutefois, les centres villes devraient continuer à jouer leur rôle de vitrines, complétées par des coursiers, dans la mesure où il reste indispensable pour l'acheteur de voir, de toucher, de sentir et d'entendre. La fermeture de 50 % des supermarchés qui risque de survenir aux Etats-Unis d'Amérique au cours des dix prochaines années illustrera cette évolution.

Le délégué a ensuite décrit ce que pourrait être **la reconquête des centres villes** avec la mixité des populations comme des activités et la création de places centrales. Cette reconquête devrait aussi entraîner un essor des **transports collectifs** comme dans les Bouches-du-Rhône, ou à Nantes avec le tramway, ainsi que des **grands centres piétonniers**.

Il a ensuite regretté qu'il n'y ait pas eu assez de travail accompli sur **le transport fluvial**. La réalisation du canal Rhin-Rhône a, par exemple, été estimée à 45 milliards de francs pour 200 km environ, ce qui rend discutable sa rentabilité.

M. Jean-Louis GUIGOU a considéré que **le ferroutage constituait la voie d'avenir**. Des appels d'offres pourraient avoir lieu pour les lignes SNCF, qui pourraient d'ailleurs comporter des trains allemands dans dix ans, tandis que la SNCF assurerait la liaison entre Bruxelles et Rotterdam. Il a estimé que d'énormes marges de manœuvre existaient sur le rail. Il a noté que dans certains cas, comme pour la traversée des Pyrénées, seul le rail pouvait être efficace.

Concernant **l'implantation des entreprises**, le délégué à l'aménagement du territoire a mis l'accent sur l'importance de l'organisation de celles-ci plutôt que sur la concurrence. Par exemple, en Italie, l'organisation spécifique des districts industriels a permis qu'y soient fabriqués 80 % de la production mondiale d'antivols. Il a salué l'action très dynamique du Centre des Jeunes Dirigeants, même si elle demeure encore minoritaire. **Le délégué a nié la nécessité des délocalisations**, qui devraient plutôt être remplacées par des mises en commun de moyens, la compétition se faisant davantage sur les nouveaux produits que sur les bas prix.

Au sujet des **répercussions du climat sur la santé**, M. Jean-Louis GUIGOU a noté le fort impact de l'un sur l'autre. Par ailleurs, citant d'autres forts impacts du climat, le délégué a rappelé qu'une **absence de pluie** durant l'hiver au Maroc peut

supprimer toute récolte de blé. Il a relevé aussi qu'en Algérie, **la désertification** remonte vers le nord de plus de un kilomètre par an, ce qui n'entraîne pas pour autant de grandes vagues de migration.

Il a souhaité qu'une aide soit apportée au **codéveloppement du Maghreb** dans la mesure où la sécheresse va gonfler les populations d'Alger ou de Casablanca.

Interrogé sur **le projet d'irrigation de la Catalogne avec de l'eau venue de France**, M. Jean-Louis GUIGOU a noté que l'Etat français n'était pas saisi officiellement par le gouvernement espagnol. Toutefois, la capacité de réaliser ce projet existe, pour peu que quatre à cinq milliards de travaux soient effectués pour recueillir 2 à 3 % des eaux du Rhône. Même en comparant les 1,2 million d'hectares qui pourraient être irrigués de la sorte en Catalogne aux trois millions d'hectares qui vont être irrigués en Anatolie, M. Jean-Louis GUIGOU a considéré que ces questions devaient encore être réfléchies.

M. ROBERT DELMAS (1)

(24 avril 2001)

M. Robert DELMAS a indiqué en introduction qu'il travaillait au Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement (LGGE) de Grenoble, dépendant du CNRS, ce qui lui avait donné l'occasion de collaborer notamment avec MM. Jean JOUZEL et Claude LORIUS, et qu'il exerçait maintenant une double activité, étant en plus chargé de mission auprès de la Direction de la Recherche (DR3) au ministère de la Recherche.

A ce propos, il a attiré l'attention du rapporteur sur l'organisation prochaine, le 21 mai 2001, d'**une journée sur l'effet de serre au ministère de la Recherche**, dont l'une des priorités était de **rendre plus visible la recherche française relevant des activités du GIEC**, et d'encourager **la pluridisciplinarité**.

M. Robert DELMAS a ensuite souligné que l'intensification de **l'effet de serre pouvait être considérée comme la troisième grande crise environnementale**, après celle des pluies acides, pas si grave, celle du trou d'ozone, nettement plus grave, qui avait donné lieu à l'élaboration d'une théorie, d'ailleurs couronnée par un prix Nobel de chimie, et de prendre les mesures adéquates au bon moment.

Il a ensuite décrit les activités du LGGE de Grenoble, qui portent pour l'essentiel sur les carottes de glace, et notamment sur les relations entre la température et le CO₂. Ce laboratoire s'est illustré par ses analyses de la carotte glaciaire de Vostok (Antarctique).

(1) *M. Robert DELMAS est Directeur de recherche (DR1) au C.N.R.S, chargé de mission auprès de la Direction de la Recherche au Ministère de la Recherche, ancien directeur du Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement (L.G.G.E) de Grenoble ; il est l'auteur de quelque 90 publications scientifiques portant sur les carottes polaires, en relation avec le climat et la chimie atmosphérique.*

Grâce à ces travaux, **un lien entre augmentation de teneur atmosphérique en CO2 et augmentation de la température du globe a été mis en évidence**. Les grands changements climatiques du passé sont liés aux variations de paramètres astronomiques, ce qui ne semble pas être le cas du réchauffement observé actuellement, qui à relier aux émissions anthropiques de CO2.

Portant un jugement sur **les impacts climatiques régionaux**, il a indiqué que même de faibles changements du climat pouvaient induire des modifications de cultures ou encore de modes de vie, et que les prévisions à l'échelle régionale étant difficiles à établir par la modélisation, il fallait s'attendre à beaucoup de surprises. Tout au plus peut-on supposer que **les pays du nord devraient plutôt y gagner au changement climatique**, sous réserve de l'impact des phénomènes extrêmes qui reste inconnu.

D'où la nécessité de **créer des observatoires de recherche en environnement (ORE)**, 20 millions de francs supplémentaires étant demandés cette année pour cet objectif par le ministère de la Recherche.

M. Robert DELMAS s'est ensuite félicité de **la qualité de la communauté française des chercheurs en climatologie**, mais a estimé qu'**une meilleure focalisation des moyens** était souhaitable, de même qu'**une plus forte mobilisation de l'ADEME**. Il s'est déclaré aussi un peu réservé sur la priorité d'implanter de nouveaux observatoires dans **les DOM-TOM** surtout quand il en existe déjà, comme par exemple à La Réunion. Il a cependant noté que l'implantation d'un laboratoire de chimie atmosphérique serait utile en Guyane, et que ses travaux pourraient être harmonisés avec ceux menés par le Brésil, qui poursuit en Amazonie des études sur l'effet de serre. Il a souhaité que soit renforcée la très importante coopération scientifique existant déjà entre la France et le Brésil, comme c'est le cas par exemple pour l'INSERM. Ce pays voit ses crédits de recherche augmentés dans le domaine de l'environnement. Il a noté qu'en Inde et en Chine également, plus de chercheurs sont formées sur ce thème.

M. Robert DELMAS a aussi insisté sur la nécessité de développer la recherche au niveau industriel, et la technologie.

Il s'est félicité des travaux du programme de recherche du ministère de l'Environnement « **Gestion et impacts du changement climatique** » (**G.I.C.C.**) présidé par M. Jean-Claude ANDRÉ, auquel ont été allouées des enveloppes significatives de quelque 200 000 francs par projet, au lieu des 20 000 francs accordés d'habitude, le montant élevé des financements permettant une meilleure efficacité.

Il a évoqué la coopération internationale et noté que **les Allemands** apprécient la communauté scientifique française du climat, alors qu'au contraire la chimie atmosphérique est sensiblement plus développée en Allemagne qu'en France. Des normes identiques d'évaluation seraient à mettre en place, et il serait intéressant

de participer aux travaux menés avec les Allemands sur les couplages des modèles climatiques.

Le sixième PCRD pourrait être l'occasion de renforcer les coopérations internationales.

Evoquant la mission interministérielle de l'effet de serre (MIES), il a regretté que le ministère de la Recherche ait peu participé à ses activités dans le passé, alors que les représentants du ministère de l'Economie, des finances et de l'industrie, chargés respectivement des aspects économiques, financiers, industriels et budgétaires y sont actifs. **Il a déploré à cet égard les décisions prises par le gouvernement au cours de l'hiver 2000 sur la taxation des carburants, dont les modalités vont à l'encontre de ce qui est souhaitable pour ralentir l'intensification de l'effet de serre.**

Il a aussi regretté que **la prudence des scientifiques**, qui, par pure honnêteté intellectuelle, émettent souvent des jugements nuancés sur les conséquences du changement climatique, soit exploitée par d'autres pour nier l'existence même de l'effet de serre.

Il a souhaité qu'une solution soit trouvée pour soutenir efficacement les chercheurs et ingénieurs Russes qui travaillent en **Antarctique** pour poursuivre les carottages dont les équipes françaises bénéficient, cela afin de maintenir les relations efficaces établies il y a plusieurs décennies par Claude LORIUS avec les chercheurs russes. Les résultats exceptionnels obtenus en coopération -publiés en 1987- avaient permis de relancer les recherches mondiales en paléoclimatologie.

M. Robert DELMAS a précisé enfin, à propos de la **fonte des glaces**, que pour la banquise de l'Arctique, même si la calotte polaire change, il s'agit d'une modification de l'albédo sans influence directe sur le niveau des mers, alors que pour l'Antarctique, dont l'observation par satellite des glaciers est en cours de développement à Toulouse et Grenoble, il semble encore difficile de se prononcer.

ELECTRICITE DE FRANCE
(EDF)

M. BERNARD MÉCLOT,
DIRECTEUR-ADJOINT DE L'ENVIRONNEMENT

M. JEAN-YVES CANEIL,
INGÉNIEUR CHERCHEUR SENIOR

(5 décembre 2000)

M. Bernard MÉCLOT a rappelé que la Direction de l'Environnement avait été créée à EDF en 1992 et que depuis cette date **la stratégie environnementale développée par EDF** avait périodiquement fait l'objet de bilan et de mise à jour des orientations. A ce jour, elle consiste notamment à être très présent au niveau local en tant que service public, et, du fait également de l'ouverture à la concurrence, de répondre à la demande environnementale des clients. Elle est aussi marquée par la volonté d'être un industriel exemplaire.

M. Jean-Yves CANEIL a précisé qu'il travaillait dans un département d'EDF recherche et développement qui s'intéresse notamment aux **impacts environnementaux des ouvrages et activités d'EDF**, tant dans le milieu atmosphérique que dans le milieu aquatique. Depuis plusieurs années, la thématique de l'effet de serre fait l'objet d'actions de recherche et de partenariats.

M. Bernard MÉCLOT a indiqué que, de son point de vue, les préoccupations environnementales conduisaient à **analyser le cycle de vie des produits de A à Z** Il a rappelé que c'est avec le sommet de Rio, en 1992, qu'avait été lancé par la communauté internationale le concept de développement durable et que les préoccupations liées à l'effet de serre avaient fait l'objet d'un premier accord entre les Etats.

Dès 1990, EDF est entrée dans divers programmes scientifiques ; parmi ces projets figure **une recherche sur le changement climatique, menée avec Météo France et le CNRS**. Il existe également **quatre programmes européens**

impliquant des chercheurs internationaux et la présence d'EDF est très forte dans tous ces groupes.

Depuis 1995, la communauté internationale s'est aperçu de la nécessité d'engager un processus aboutissant à la négociation d'objectifs contraignants de réduction des émissions de gaz à effet de serre. C'est ce qui a conduit à l'adoption du Protocole de Kyoto, qui a retenu le principe de mécanismes de flexibilité dont l'objectif est de réduire les coûts de mise en conformité des Etats avec les objectifs environnementaux.

EDF a pris position sur la lutte contre le changement climatique dès 1997, et a joué un rôle actif dans le positionnement des électriciens européens (à travers leur association EURELECTRIC), en particulier sur les permis d'émissions négociables. Des simulations ont été organisées par EURELECTRIC en 1999, dans lesquelles EDF fut très présente parmi 16 producteurs, puis en 2000, en élargissant cet exercice à d'autres secteurs émetteurs de gaz à effet de serre.

Depuis 1992 et la création d'E-7 rassemblant 8 des plus gros producteurs d'électricité, **des actions liées aux mécanismes de projet de la Convention sur les Changements Climatiques du Protocole de Kyoto** (phase pilote de la mise en œuvre conjointe, mécanisme de développement propre), ont été engagées en vue d'aider les pays en développement à mener des projets de production d'électricité. Trois projets concernent actuellement l'Afrique, la Jordanie et l'Indonésie. Un autre devrait être lancé en Bolivie.

M. Jean-Yves CANEIL a ensuite rappelé que dans le cadre des recherches engagées dans son département, un intérêt particulier s'était porté sur **les scénarios prospectifs de long terme du changement climatique** et de leurs conséquences possibles sur le régime hydrologique et thermique des fleuves. Des résultats préliminaires (utilisant des résultats de simulations de Météo-France et de l'Institut Pierre-Simon Laplace) sur **le bassin Rhodanien** montrent par exemple qu'en cas de changement climatique significatif, la fonte des neiges pourrait être plus précoce et les étiages estivaux plus sévères. Ces études se poursuivent actuellement en collaboration avec les équipes de recherches françaises dans le cadre du programme GICC. Ces études préparatoires sont nécessaires afin d'**anticiper les risques que le climat du futur pourrait engendrer sur l'exploitation des ouvrages et le dimensionnement des projets**.

En ce qui concerne la question des extrêmes climatiques et en particulier des tempêtes, M. Jean-Yves CANEIL a noté que plusieurs études prospectives envisagent que **la fréquence des tempêtes pourrait augmenter en Europe** ; cependant il est difficile actuellement d'attribuer au changement climatique les tempêtes sévères que la France a connues à la fin de l'année 1999.

MM. MÉCLOT et CANEIL ont ensuite apporté quelques éclairages sur la part représentée par le CO₂ par rapport aux autres gaz à effet de serre. Si **pour l'ensemble des pays développés** cette part atteint environ 80 %, ils notent que **la**

proportion de CO₂ attribuée au secteur énergétique est importante et proche de 40 %. En France, cette valeur est significativement inférieure à la moyenne internationale avec un ordre de grandeur de **10 %**.

En revanche, dans tous les pays, on ne peut que constater **une hausse continue des émissions du secteur des transports** sans aucun infléchissement.

Il résulte de ces observations que **de vigoureux programmes d'actions européens et nationaux** portant sur les économies d'énergie, le développement des énergies renouvelables et de toutes les énergies peu ou pas émettrices de gaz à effet de serre **doivent permettre de stabiliser la part provenant du secteur énergétique**, mais que les émissions liées au transport risquent de continuer à croître, sauf en cas de remise en question des grands choix structurels.

La modification de politiques d'équipement et d'aménagement des **zones urbaines** à long, voire très long terme, apparaissent indispensables. EDF possède aussi un programme d'action sur les transports électriques.

M. Jean-Yves CANEIL a insisté sur le rôle des villes en tant que lieu de concentration des pollutions, notamment avec la tendance au développement des mégapoles. **Les circuits de distribution commerciale à l'intérieur des villes, actuellement très polluants, gagneraient à être assurés par de petits véhicules au gaz naturel ou électriques.** EDF s'est associée avec PEUGEOT et RENAULT pour imaginer de tels véhicules et avec BOLLORE pour l'étude des véhicules à batteries au lithium, voire celle des piles à combustible.

Au niveau de la planète il a estimé qu'il convenait, bien évidemment, de prendre en considération la question **des pays en voie de développement qui n'utilisent aujourd'hui par habitant que 0,8 tonne-équivalent-pétrole, contre 4,8 TEP pour les pays décentralisés.** Sur six milliards d'hommes vivant sur la planète aujourd'hui, plus de deux milliards n'ont pas accès à l'électricité.

A l'avenir, la consommation d'énergie augmentera et plus particulièrement celle d'électricité. C'est ainsi qu'à l'horizon 2020-2030, il faudra avoir construit autant de centrales électriques qu'il en existe aujourd'hui. Beaucoup de ces futures centrales fonctionneront au charbon, ressource naturelle largement disponible dans les pays en développement : ce mouvement, même s'il est compréhensible, ne peut qu'inciter à mettre l'accent sur le développement de toutes les sources d'énergie en commençant par les moins polluantes et les plus pérennes.

Abordant ensuite la question du **nucléaire européen**, M. Jean-Yves CANEIL a rappelé que celui-ci fournissait **30 % de l'énergie électrique** environ tandis que **20 % provenaient de l'hydraulique.** Pour faire face aux défis futurs, des recherches ont été engagées tant du côté de l'offre (moyens de production) que de la demande d'électricité.

Ainsi EDF participe au développement de **l'énergie éolienne et photovoltaï que**, notamment avec Total-Energie sur ce dernier aspect. Des recherches sur l'utilisation de **la biomasse** sont également menées.

M. Jean-Yves CANEIL a estimé que **d'ici 2010, il est probable que 20 à 25 terawatts heure proviendront de l'énergie du vent sur les 540 twh qui seront nécessaires à cet horizon** pour satisfaire la demande.

Dans l'immédiat le Ministère de l'Industrie est sur le point de publier **un décret sur le tarif d'achat du kilowatt heure éolien**. Il restera à gérer le problème de l'acceptation des sites pour concilier le développement rapide de cette énergie et son acceptabilité par la population.

Du côté de la demande, et dans le cadre d'actions d'**économies d'énergie**, il a été indiqué que **les ampoules à basse consommation** n'étaient pas à négliger, que leur prix a fortement baissé grâce à une campagne de promotion des électriciens européens, et qu'EDF encourage cet axe. En 2000, un troisième accord a été conclu avec l'ADEME et EDF, en particulier sur la thématique des économies d'énergie et de la recherche et développement.

Pour ce qui concerne **l'habitat**, notamment les locaux tertiaires, **un système de climatisation réversible avec pompe à chaleur** a été étudié ; ce dernier est très efficace. Enfin, pour **la chaîne du froid**, des systèmes à pression flottante procurent de bons résultats.

SYNDICAT DES ENERGIES RENOUVELABLES

M. Erik GUIGNARD, DÉLÉGUÉ GÉNÉRAL

(29 novembre 2000)

M. Erik GUIGNARD a rappelé que **le Syndicat des Energies Renouvelables** représente directement une cinquantaine d'entreprises provenant de l'ensemble des secteurs des énergies renouvelables mais aussi un certain nombre d'associations professionnelles. Au total, c'est plus de 1.000 entreprises de toute taille, depuis les bureaux d'études spécialisés jusqu'aux plus grandes et un chiffre d'affaires, en forte croissance, de près de 2 milliards.

Il a rappelé que **les énergies renouvelables, aux côtés des politiques d'économie d'énergie, représentent un volet très important des efforts nationaux et européens qui sont et seront nécessaires pour participer à la lutte contre les impacts négatifs des activités humaines sur le changement climatique.**

C'est dans ce but que **le livre vert de la Commission européenne** propose que **la part des Energies renouvelables** dans le bilan énergétique européen passe de 6 à **12 %** de 2000 à **2010** ce qui demandera des efforts financiers considérables et une évolution non moins importante des habitudes énergétiques des populations.

Dans le domaine de l'électricité raccordé au réseau, une directive européenne –qui sera présentée au Conseil des ministres du 5 décembre 2000 sous présidence française- devrait fixer pour **la France** l'objectif de **production de 21 % de l'électricité à partir d'énergies renouvelables en 2010** contre environ 15 % actuellement.

M. Erik GUIGNARD a indiqué que **cet objectif ne pourra pas être atteint sans un développement massif de l'énergie éolienne et un complément obtenu par la microhydraulique, voire par la biomasse.**

La petite hydraulique pourrait doubler sa performance actuelle et atteindre 2.000 mégawatts. A noter qu'aujourd'hui l'essentiel des installations, parfois très anciennes, sont de taille réduite et appartiennent à des personnes privées.

Mais, la source la plus importante d'énergie renouvelable est liée au développement de **l'énergie éolienne**. La production éolienne n'atteint que 30 mégawatts actuellement mais il faudrait atteindre une cible de 12.000 à 14.000 mégawatts ce qui constitue un programme ambitieux mais réalisable.

Par comparaison, **l'Allemagne** produit, d'ores et déjà, 5.000 mégawatts à partir de l'éolien sur des sites moyens tandis que **le Danemark assure de son côté plus de 10 % de sa consommation électrique à partir de l'éolien**, la part la plus importante étant assurée par des coopératives agricoles.

M. Erik GUIGNARD a surtout relevé que **la France possède le deuxième potentiel éolien en Europe** après le Royaume-Uni et que les évolutions technologiques permettent maintenant de considérer qu'il s'agit d'une technologie, certes en évolution, mais mature et parfaitement fiable : la puissance unitaire des éoliennes dépassent désormais largement le mégawatt pour atteindre bientôt plusieurs mégawatts ; les niveaux sonores sont maîtrisés, la qualité du courant est excellente.

En outre, **les coûts des installations**, actuellement de l'ordre de 7000 F/kW, continueront de diminuer permettant d'envisager à moyen terme une compétitivité réelle de cette filière face à toutes les installations neuves d'autres sources d'énergie que ce soit les nouvelles centrales nucléaires ou les installations à base de combustibles fossiles pour peu que l'on tienne compte des coûts externes actuellement non comptabilisés.

D'ici là, l'énergie éolienne a besoin de **tarifs** suffisants –30 à 50 centimes/kWh selon la qualité des sites- pour permettre de lever les capitaux nécessaires à son développement et de faire face à la concurrence d'installations déjà amorties ou dont les coûts externes ne sont pas encore internalisés.

M. Erik GUIGNARD a indiqué que des décrets sur **les prix de l'électricité** devaient paraître en principe à la fin de l'année 2000 ou courant 2001 et que le financement d'une réalisation du programme sur les énergies renouvelables ne coûterait pas plus d'un centime par kWh sur la facture des consommateurs qui financeraient ainsi sans coût excessif leur sécurité énergétique future.

Il a rappelé cependant que **l'énergie éolienne ne saurait être considérée comme une source pouvant remplacer, à terme, les autres** sources d'énergie ne serait-ce qu'en raison de l'intermittence des vents. On estime à l'heure actuelle qu'**un plafond de 30 % de l'ensemble de la puissance installée sur un réseau peut être assuré par l'énergie éolienne**.

L'éolien intervient donc toujours en parallèle avec d'autres sources, combustibles fossiles ou autres sources renouvelables (biomasse, géothermie), afin d'assurer la sécurité des approvisionnements.

Les économies d'énergie sont par ailleurs nécessaires dans le cadre d'une politique de développement des énergies renouvelables, des chauffe-eau solaires, de nouvelles techniques de chauffage ou de climatisation, pour diminuer, notamment, l'importance des pointes de consommation.

M. Erik GUIGNARD a ensuite insisté sur le caractère parfaitement adapté du **photovoltaïque** pour les sites isolés. Il a précisé que ce marché explosait littéralement malgré des prix atteignant 4 à 5 francs par Kwh : ces prix restent compétitifs dès que l'on s'éloigne de plus de 1 km d'un réseau. Cette source d'énergie, dont le gisement est infini, a, d'autre part le mérite de bien s'intégrer dans l'architecture des bâtiments. Des investissements importants sont consentis en faveur du photovoltaïque et les carnets de commande des entreprises sont saturés.

M. Erik GUIGNARD a ensuite traité de **l'énergie thermique** et notamment du **bois** dont l'utilisation massive bute sur un problème de rentabilité du fait du coût de la collecte et des transports. Dès lors, pourquoi ne pas créer, à l'occasion de la transposition de la directive gaz en préparation, un fonds de péréquation pour l'exploitation de la filière bois et le développement des réseaux de chaleur ?

Il a indiqué que la filière bois fonctionnait très bien en **Suède** et que les sociétés suédoises dressaient des écobilans annuels. Il a également ajouté que le rendement des inserts pour le chauffage au bois atteignait un taux de 90 %.

Il a aussi relevé que **la fiscalité** pourrait également encourager ou décourager certaines énergies ; par exemple, la TVA sur les réseaux de chaleur est actuellement de 20 % alors qu'elle n'est que de 5 % sur le gaz.

M. Erik GUIGNARD a également indiqué que, pour les transports, des **carburants renouvelables** pouvaient donner de bons résultats, en particulier le diester de colza et l'éthanol. Leur utilisation est encore confidentielle – certaines villes utilisent un mélange de 30% de diesters pour les transports urbains- et devrait être généralisée de manière à introduire un pourcentage plus élevée de carburant propre dans la consommation des voitures. Cet effort contribuera d'autre part à améliorer l'autonomie énergétique des pays de la communauté européenne.

En conclusion, M. Erik GUIGNARD a estimé qu'**une politique résolue en faveur des énergies renouvelables est indispensable pour tenir les engagements de Kyoto qui sont encore très modestes au regard de ce qui serait nécessaire pour limiter les émissions de gaz à effet de serre liées aux activités humaines.**

**FÉDÉRATION NATIONALE DES SYNDICATS
D'EXPLOITANTS AGRICOLES**

(F.N.S.E.A.)

M. JEAN SALMON

(24 novembre 1999)

Monsieur Jean SALMON a relevé que **l'environnement est devenu un des trois dossiers politiques de la FNSEA** alors qu'il n'était antérieurement qu'un dossier technique.

Il a estimé que **le changement climatique aurait des conséquences particulièrement importantes sur l'agriculture : sur la production, à travers la localisation des cultures et, aussi, sur la capacité de la planète à nourrir ses habitants.**

En retour, **l'agriculture a également un impact sur le réchauffement.** Si cet impact est faible à côté de celui de l'industrie ou de celui des transports, il n'en demeure pas moins que **l'agriculture dégage du méthane, du N₂O et du NO_x, mais elle a aussi des effets positifs au titre de la consommation de CO₂ et de la production d'oxygène.** Au total, les transports et les villes auraient en quelque sorte des comptes à rendre à la société rurale. Même une production agricole accélérée aurait des effets positifs qui, par exemple, pour 1 hectare de blé, seraient équivalents à ceux de plusieurs hectares de forêts.

Il a noté qu'en **Espagne**, les saisons sont déjà de plus en plus marquées, d'où une importance plus grande accordée à la gestion des stocks alimentaires.

Le changement climatique rend encore plus nécessaire la mise en place **d'une gestion des stocks alimentaires** pour faire face à des mauvaises récoltes. Aux années de pénurie peuvent succéder les années d'abondance avec des conséquences encore plus marquées aujourd'hui qu'hier sur l'amplitude des prix des denrées. La

nécessité d'instances de régulation de marché, de dispositifs anti-spéculation, le renforcement des organisations communes de marché apparaissent nécessaires pour assurer une durabilité des exploitations agricoles et le maintien du plus grand nombre d'agriculteurs.

Le besoin de sécurité alimentaire serait renforcé. L'intensification de l'activité agricole apparaîtrait utile. **Il faudrait gérer à moyen terme et non plus par référence aux prix mondiaux à court terme.**

M. Jean SALMON a redouté qu'à l'avenir, **les accidents climatiques** soient davantage marqués et que le problème de **l'irrigation** ne se pose avec encore plus d'acuité. A la limite, il n'y aurait plus de contrats de culture sans irrigation. Il faudra donc gérer de mieux en mieux la ressource en eau. **L'eau deviendra un facteur de l'indépendance nationale.** Donc, il sera primordial d'en **améliorer le stockage dès à présent** même si peu de responsables politiques semblent prêts à entendre ce discours.

Ainsi, **l'accès quantitatif à l'eau constituerait probablement l'enjeu du prochain siècle.** Toutefois, la régulation par le prix pénalise l'agriculture qui est obligée d'utiliser l'eau qui se renchérit. Les agences de l'eau, en effet, augmentent systématiquement leur prix actuellement. Il serait d'ailleurs peut-être opportun de faire valoir en faveur de l'agriculture une «exception culturelle», les agriculteurs captant l'eau grâce aux surfaces agricoles au lieu, comme les urbains, de la renvoyer à la mer, ce qui leur donnerait peut-être, à ce titre, un droit spécifique d'accès à l'eau.

M. Jean SALMON a ensuite estimé que **la recherche** devrait se préoccuper du développement d'espèces moins consommatrices d'eau.

Pour lui, le recours aux **biocarburants** sera nécessaire car ils sont moins polluants et donc moins créateurs d'effet de serre.

D'une façon générale, la biomasse d'origine agricole et forestière peut jouer un grand rôle dans la lutte contre les gaz à effet de serre et pour l'indépendance énergétique de la France.

De plus, d'autres facteurs seraient également à prendre en compte comme la réduction substantielle des **surfaces agricoles** du fait du réchauffement climatique.

Enfin, pour la **reforestation**, la marge d'évolution est étroite en France puisque celle-ci a déjà entrepris une politique de reforestation qui a conduit les forêts à occuper un espace équivalent à celui qu'elles occupaient au Moyen-Age.

M. Michel PETIT

**Directeur Général Adjoint
de la Recherche de l'Ecole Polytechnique,
membre du GIEC**

(21 décembre 1999)

D'un point de vue général, M. Michel PETIT a insisté sur **le grand nombre d'inconnues qui demeurent** quant à l'ampleur et à la distribution géographique du changement climatique tout en soulignant qu'encore davantage d'inconnues existaient à propos des changements de la faune et encore plus sur les réactions humaines.

En ce qui concerne **l'effet de serre**, il a rappelé que son mécanisme avait été décrit par Svante ARRHENIUS, vers 1890. Une quantification plus précise a été opérée vers les années 1970, les mesures de la teneur en CO₂ de l'atmosphère n'ayant été effectuées de manière régulière qu'à compter de 1958. Dès cette époque, l'idée d'un réchauffement de plusieurs degrés était avancée.

M. Michel PETIT a relevé qu'en général, lorsqu'un **effet de mode** rejoint ce genre de problème scientifique, cela n'aide pas à le résoudre. C'est ainsi que, par exemple, il existe un mouvement d'opinion publique américaine qui s'intéresse fortement à ce thème, notamment dans la région de New-York qui se sent concernée directement, tandis que face à cela, le lobby pétrolier critique le moindre article sur ce thème. Dans ce contexte, c'est peu à peu que le GIEC a étayé sa conviction que des **impacts du changement climatique** apparaissaient déjà. Le lien entre les hydrocarbures brûlés en grande quantité par la civilisation industrielle et l'augmentation de la concentration en gaz carbonique dans l'atmosphère est confirmé par l'analyse de la teneur isotopique de ce gaz carbonique, qui montre que le carbone additionnel est ancien et donc d'origine fossile.

Par ailleurs, dans le passé, des liens ont existé entre la variation du climat et celle de l'orbite terrestre. Toutefois, de tels changements climatiques correspondent à des évolutions lentes qui se datent en dizaines de milliers d'années, alors que les changements climatiques induits par l'homme sont datés en décennies.

Pour autant, **la prise de conscience internationale** connaît des degrés très divers, les économistes intéressés par le profit à court terme s'opposant aux écologistes davantage soucieux du long terme. Cependant a rappelé M. Michel PETIT, **l'homme n'a qu'un vaisseau spatial** à l'intérieur duquel il serait peut-être souhaitable de remplacer parfois l'énergie par du travail humain.

Evoquant des extrapolations menées pour voir ce qu'il adviendrait si les pays développés appliquaient les idées des Verts néerlandais, tandis que la Chine, l'Inde et les pays en voie de développement augmenteraient leurs émissions de carbone sans prendre de mesures particulières, M. Michel PETIT a indiqué que, dans un tel contexte, la température continuerait à augmenter, son accroissement n'étant réduit que d'environ 15 % par les politiques restrictives menées par les pays développés. Une telle projection montre que **le réchauffement climatique est inéluctable** et qu'**il est indispensable de s'y adapter, tout en cherchant à en limiter l'amplitude et le rythme**. Si on persiste à ne rien faire, une véritable prise de conscience pourrait survenir brutalement et conduire à prendre des mesures limitant sévèrement l'exploitation des réserves de combustibles fossiles dont le coût économique pourrait être considérable.

Pour M. Michel PETIT, il n'y a pas de solution miracle unique, mais de nombreuses possibilités d'action, de portée fort variable parmi lesquelles on peut citer :

- une campagne nationale en faveur **des lampes à basse consommation** ;
- une politique fiscale incitant à **habiter près de son lieu de travail** ;
- le développement du **télétravail** ;
- la réforme de la politique des **transports**, notamment en cessant de favoriser les transports routiers.

A l'inverse, il a noté que **l'urbanisation galopante contribue largement à l'effet de serre**.

En conclusion, M. Michel PETIT a rappelé la nécessité de garder à l'esprit que **l'eau deviendra de plus en plus un sujet de préoccupation dans le monde**.

CONSERVATOIRE DU LITTORAL

M. FRANÇOIS LETOURNEUX,

**PRÉSIDENT DE L'INSTITUT FRANÇAIS
DE L'ENVIRONNEMENT**

(IFEN)

(14 novembre 2000)

Abordant la question des changements climatiques sous l'angle de leurs conséquences éventuelles sur **la biodiversité**, M. François LETOURNEUX a noté que les germes d'adaptation des écosystèmes aux changements sont d'autant plus efficaces que la biodiversité est grande. A cet égard, il est à relever que **la France et l'Espagne se trouvent en tête des pays européens pour la diversité biologique**.

Les efforts sur les programmes liés au maintien de la biodiversité devraient donc être accrus.

Ont une importance particulière à cet égard les milieux qui, par leurs caractéristiques géographiques, constituent des **refuges d'espèces** correspondant à des conditions climatiques passées (espèces reliques des époques glaciaires encore présentes sur certains sites, par exemple).

Selon M. François LETOURNEUX, **la préservation de réserves significatives de biodiversité, reliées par des « corridors naturels », et constituant une trame de diversité biologique suffisante devrait faciliter l'adaptation aux changements climatiques**. A cet égard, le maillage que constituent les 800 km de rivages maritimes et lacustres du Conservatoire du littoral, soit plus de 10 % du linéaire côtier français, s'étendant sur 60 000 hectares, (métropole et DOM, mais hors TOM), est d'un particulier intérêt.

La mission confiée au Conservatoire du littoral est en effet d'abord de protéger la richesse écologique et la beauté des paysages tout en restant très ouvert au

public, et en recherchant l'efficacité sans présupposé idéologique (ainsi, le maintien d'activités agricoles adaptées est souvent le meilleur outil de gestion de la diversité biologique).

Les inventaires de faune et de flore conduits par le Conservatoire sur **la frange littoral** montrent que la biodiversité y est encore élevée, et que la trame des milieux naturels peut encore être préservée. L'objectif est donc de valoriser le plus efficacement possible les potentialités de chacun de ces milieux, en sachant que **des variations climatiques de quelques degrés peuvent avoir des conséquences très visibles** : la grande aigrette nidifie, par exemple, de plus en plus haut en latitude.

Comme l'a montré le colloque tenu en Arles au mois d'octobre 2000⁽¹⁾, ce n'est pas par la simple hausse en valeur absolue du **niveau de la mer**, risquant de submerger les parties les plus basses du littoral, que les changements climatiques auront des effets (un simple exhaussement des digues la pallierait) mais c'est par sa répercussion sur tout le bilan sédimentaire du littoral qui se trouvera affecté, et sur l'aspect des côtes qui pourrait s'en trouver sensiblement modifié.

Dans ce contexte, **les travaux de défense contre la mer** se révéleraient peu efficaces. Ils ont d'ailleurs déjà souvent des effets très discutables, car chaque construction défensive entraîne un creusement, de part et d'autre de celle-ci, donc au détriment des milieux naturels voisins.

Interrogé sur l'augmentation prévisible de la fréquence des **événements climatiques exceptionnels**, M. François LETOURNEUX s'est déclaré très préoccupé, car la population exige un niveau de sécurité de plus en plus élevé, et a perdu l'habitude de s'adapter et de réagir aux phénomènes naturels. Il lui semble donc important d'**adopter face aux forces de la nature une position mentale fondée sur une défense souple plutôt que rigide**. Les digues les plus solides élevées pour contenir la mer induisent, pour les occupants des espaces qu'elles sont censées protéger une fausse sécurité, en un phénomène comparable à celui de la ligne Maginot. Lorsque, à la suite d'une tempête exceptionnelle, la mer les franchit, elle recouvre des espaces qui ont été occupés, aménagés et cultivés comme si le risque n'existait plus, et c'est le reflux qui emporte les ouvrages, mal défendus de l'intérieur, comme l'ont illustré des exemple récents en **Charente-Maritime**, où une surcote (crue de tempête de plus de 4 mètres) dans l'estuaire de la Gironde a emporté en se retirant toutes les digues ou encore au nord de Rochefort, parce que le renforcement de la digue à la mer avait conduit les agriculteurs à négliger, voire à détruire les digues intermédiaires des casiers qui ralentissaient les crues en brisant l'énergie du flot ; la mer a tout envahi, allant jusqu'à affouiller le talus de la voie ferrée La Rochelle-Bordeaux.

(1) « Le changement climatique et les espaces côtiers. L'élévation du niveau de la mer : risques et réponses ». Colloque euro-méditerranéen proposé par la Mission interministérielle de l'effet de serre (MIES) – Arles les 12 et 13 octobre 2000.

Une solution, plus efficace et moins coûteuse, réside dans la gestion souple du littoral et des cultures. A titre de comparaison, en matière d'incendies de forêts, deux types de réaction sont possibles, soit celle de l'ingénieur qui tentera de planter une forêt qui ne brûle pas (et pourtant, malgré tous les efforts de prévention et de défense, aucune forêt ne résiste à un incendie survenant par vent très fort), soit celle du Conservatoire du littoral consistant plutôt à planter des forêts qui cicatrisent bien en cas d'incendie.

Il en va de même pour la mer : plutôt que d'essayer en vain d'éviter à tout prix des dommages irréparables, mieux vaut **admettre que la mer peut passer occasionnellement et implanter sur les zones susceptibles d'être temporairement submergées, une agriculture qui cicatrise bien, comme, par exemple, de la prairie.**

A ce sujet, M. François LETOURNEUX a évoqué, par exemple, la situation géologique particulière de la presqu'île de Giens à Hyères (Var) où l'attaque par la mer du tombolo⁽¹⁾ ouest va s'accélérer. Sa submersion occasionnelle est prévisible. La route et les réseaux qu'il supporte devraient donc être progressivement déplacés, et les anciens marais salants situés derrière le tombolo aménagés pour supporter des invasions marines occasionnelles.

Evoquant la situation des **Pays-Bas**, M. François LETOURNEUX a noté qu'après avoir développé au cours des siècles une stratégie de conquête des terres sur la mer, ils s'engagent aujourd'hui dans **de vastes programmes de dépoldérisation** en réouvrant certaines digues, ce qui étendra la superficie des espaces naturels en permettant de constituer des réservoirs de crues.

M. François LETOURNEUX a recommandé donc de se préparer à la survenue d'événements accidentels plus fréquents, et de mener des études très approfondies sur les défenses souples, notamment contre la mer. Il serait particulièrement utile de **préparer la population à ces réalités en mettant en place une information scientifique avec des relais de communication et un comportement des acteurs publics en cohérence avec cette information.** Il faudrait se garder des déclarations d'opportunité, tout en menant un large débat apaisé.

M. François LETOURNEUX a estimé que l'expérience récente a montré que l'Office National des Forêts a très bien géré **l'après-tempête de décembre 1999**, et que **son regard sur la forêt a changé**. A l'inverse, beaucoup de digues ont été reconstruites très vite à l'identique, sans tirer les leçons de cette tempête sur l'occupation de l'espace. Ce n'est qu'exceptionnellement que, par exemple, le Conservatoire du littoral s'est vu proposer de racheter des terres agricoles inondées pour éviter d'avoir à y reconstituer des protections lourdes et aléatoires

(1) *Un tombolo est une flèche littorale simple, double ou triple formant un isthme à l'intérieur duquel subsistent des lagunes*

Abordant ensuite la question du **rythme d'acquisition des terres par le Conservatoire du littoral**, M. François LETOURNEUX a noté que cette vitesse lui semblait bonne, et à maintenir, ce qui était possible grâce aux crédits prévus dans la loi de finances pour 2002. En revanche, le véritable problème réside plutôt dans la capacité du Conservatoire du littoral à intervenir. En effet, une quarantaine d'emplois budgétaires sont affectés à cette mission pour la France entière, alors que le Conservatoire négocie et signe un acte d'acquisition par jour. Or, il serait souhaitable d'administrer les biens au-delà de leur achat, et donc de disposer d'environ 150 emplois, car si la gestion des terrains relève des collectivités locales, leur administration dépend du propriétaire, à savoir le Conservatoire du littoral.

L'avenir du Conservatoire du littoral fait actuellement l'objet d'**une mission de réflexion** confiée à M. Louis LE PENSEC.

Elle devrait permettre de refonder la mission confiée au Conservatoire du Littoral en étendant son intervention sur une partie du domaine public. Elle permettra également de mieux préciser les conditions d'usage agricole, cynégétique et de loisir, des espaces.

Interrogé sur **les DOM-TOM**, M. François LETOURNEUX a indiqué que la gestion régionale du littoral est de compétence territoriale dans les TOM, tandis qu'**en Guadeloupe et en Martinique** la situation était à peu près la même qu'en métropole, si ce n'est que les populations y sont plus habituées aux phénomènes naturels (cyclones) et que la mangrove est très adaptable.

En **Guyane**, les conséquences seraient moins perceptibles, car le littoral y est encore mobile. Une attention particulière doit être apportée à certains milieux très spécifiques, comme le site de ponte des **tortues marines**.

A **La Réunion** et à **Mayotte**, un problème pourrait naître en cas de montée des eaux plus rapide que la croissance des **coraux**.

M. François LETOURNEUX a relevé que le Conservatoire du Littoral est peu représenté dans les départements d'Outre-mer, que les collectivités territoriales concernées ne sont pas toujours très réactives et que le Conservatoire du littoral n'y détient qu'un faible pourcentage de linéaire côtier. En revanche, la zone encore naturelle des 50 pas géométriques va lui être confiée et il a estimé que 15 emplois seront nécessaires pour cette seule activité.

A titre de comparaison, dans **la Somme** plus de 15 % du littoral sur 70 km sont détenus par le Conservatoire, qui espère atteindre 25 % sans aucun conflit. Il possède 30 % dans **le Nord-Pas-de-Calais**, 25 % en **Corse**, rien dans **les Alpes-Maritimes**, et 7 % dans **le Var**.

INSTITUT FRANÇAIS DE L'ENVIRONNEMENT ⁽¹⁾
(IFEN)

M. BERNARD MOREL,
DIRECTEUR DE L'IFEN

(7 décembre 1999)

M. Bernard MOREL a présenté les principales missions de l'Institut Français de l'Environnement (IFEN) : rassembler, diffuser, analyser les informations scientifiques, statistiques, géographiques sur l'environnement.

Cet institut est financé principalement par le Ministère de l'Environnement ; des compléments sont apportés par des conventions passées par exemple avec les Agences de l'eau, la Commission européenne (EUROSTAT), l'Agence européenne pour l'environnement dont l'IFEN est le correspondant officiel pour la France.

Dans d'autres pays, ces fonctions sont le plus souvent éclatées entre différents organismes : instituts nationaux de statistiques, organismes de recherche, agence pour l'environnement. **L'IFEN présente ainsi la particularité en Europe de pouvoir directement intégrer les dimensions physiques, sociales et économiques des questions environnementales.**

Le rapport « *L'environnement en France* » publié par l'IFEN fait le point sur les données et les faits concernant les principaux thèmes de l'environnement au cours des cinq dernières années. Cet ouvrage s'adresse à un public averti, à la presse spécialisée, aux enseignants et étudiants et sa périodicité est de l'ordre de trois ans.

(1) *Publications de l'IFEN :*

- « *L'environnement en France. Edition 1999* » IFEN La Découverte
- « *La sensibilité écologique des Français* » Dossier de l'IFEN, 2000
- « *Les pesticides dans les eaux* » Etudes et travaux n° 34, IFEN, 2001

L'IFEN diffuse gratuitement sur son site Internet une série de chiffres-clés de l'environnement et publie chaque mois une information de quatre pages sur un thème précis.

M. Bernard MOREL a ensuite indiqué que **l'IFEN n'avait pas travaillé sur la prospective ou la modélisation de l'impact des changements climatiques en France, mais qu'il rassemblait des informations sur ce sujet à partir de travaux réalisés par d'autres équipes.**

En revanche, l'IFEN mène **un programme pour améliorer les méthodes d'estimation des populations exposées aux risques d'inondation**, dans la perspective d'utiliser les résultats finement localisés du dernier recensement de population.

L'IFEN établit aussi régulièrement un bilan de **la présence des pesticides dans les eaux** superficielles et souterraines. Les résultats sont publiés même si leur interprétation en terme de risque encouru doit rester très prudente, faute de modèle d'exposition des populations et de relation dose-effet bien établie.

D'une façon générale, **la diffusion croissante de données sur la présence de polluants dans différents milieux (air, eau, sols...)** appelle un effort pour faire état dans le même temps des résultats de la recherche sur les relations entre environnement et santé.

En terminant, M. Bernard MOREL a indiqué que toutes les publications de l'IFEN étaient systématiquement adressées à l'OPECST, mais a souhaité que davantage d'échanges d'informations aient lieu entre les deux structures.

INSTITUT FRANÇAIS DU PÉTROLE
(IFP)

M. ANDRÉ DOUAUD, (1)

DIRECTEUR DE L'OBJECTIF MOTEURS ÉNERGIE

(14 mars 2000)

M. André DOUAUD a commencé par resituer les missions et les moyens de **l'Institut Français du Pétrole (IFP)**. Institut de droit privé créé après la guerre, et soumis aux tutelles du Ministère de l'Industrie et de celui du Budget, cet Institut a pour vocation principale de mener **des recherches à finalité industrielle** sur les nouvelles technologies concernant les hydrocarbures (pétrole et gaz) et leurs substituts. Il emploie 1.800 personnes dont 1.500 pour la recherche, celle-ci s'intéressant à tous les aspects de la chaîne des hydrocarbures : exploration, production, raffinage, pétrochimie, moteurs et carburants.

Ses travaux de recherche et développement (R&D) s'inscrivent dans une **perspective affirmée de développement durable** (sécurité de l'approvisionnement énergétique, protection de l'environnement, etc.) et sont conduits en **partenariat étroit avec l'industrie**. Leur valorisation est internationale comme l'illustre, à titre d'exemple, sa position de second bailleur de licence de procédés de raffinage et pétrochimie dans le monde avec plus de 1500 unités vendues.

Sa deuxième mission concerne **la formation supérieure** à travers l'Ecole du pétrole et des moteurs qui accueille, à un niveau Bac+5, 350 élèves (dont plus de 50 % d'étrangers) pour une ou deux années et environ 150 étudiants en thèse ou post-doctorants.

(1) *M. André DOUAUD, Ingénieur de l'Ecole Centrale de Nantes (ECN), et de l'Ecole Nationale Supérieure du Pétrole et des Moteurs (ENSPM), est Président du groupe Véhicule propre et économe, qui est un des six grands thèmes du PREDIT 2002-2006 (Programme National de Recherche et d'Innovation sur les Transports Terrestres)*

Enfin, son **centre d'information scientifique et économique**, pôle associé à la Bibliothèque de France offre une gamme de prestations documentaires à l'ensemble des acteurs oeuvrant dans le domaine des hydrocarbures et de l'automobile : pouvoirs publics, industrie, universités, etc...

Ses ressources proviennent, pour les deux tiers de la taxe sur les produits pétroliers (par exemple, 1,92 centime par litre d'essence), et le reste provient de la vente de ses prestations de recherche et de ses licences.

L'IFP conduit une importante **action industrielle** en mettant sur le marché international ses technologies, procédés, équipements et produits. Une politique active de coopération avec les PME-PMI (à laquelle il consacre 40 MF/an) lui permet également de contribuer au renforcement technologique de ces entreprises et donc au développement de l'emploi en les faisant bénéficier de ses compétences et de son savoir faire. Enfin, le réseau d'entreprises parapétrolières du groupe ISIS dont l'IFP est actionnaire majoritaire constitue un relais important pour l'industrialisation des innovations technologiques de l'IFP.

L'innovation est au cœur des travaux de R&D de l'IFP. Ainsi, l'IFP occupe, selon les années, entre le troisième et le cinquième rang des preneurs de **brevets** en France et est le deuxième ou le troisième organisme français à déposer des brevets aux Etats-Unis d'Amérique. Son portefeuille actuel se compose de 15 000 brevets.

L'IFP est organisé en quatre domaines de R&D : exploration-gisements, forage-production, raffinage-pétrochimie, moteurs-énergie.

Le domaine Moteurs-Energie conçoit sur la base d'un fort acquis de connaissances scientifiques **les moteurs et les carburants** devant répondre aux objectifs de très basses consommation, émissions de CO₂ et polluants. Le domaine consacre environ 200 millions de francs par an à ces travaux dont l'aboutissement résulte de partenariats industriels tant nationaux qu'inter-nationaux.

Abordant ensuite la question du réchauffement climatique, M. André DOUAUD a noté que la civilisation actuelle était **une civilisation de la mobilité des personnes à travers les transports**. La croissance des transports privés étant un paramètre essentiel de cette situation.

Deux enjeux dominant : la pollution locale, c'est-à-dire urbaine, et l'émission de gaz à effet de serre liée à la combustion.

M. André DOUAUD a noté que, **jusqu'en 1990 environ, personne ne se préoccupait de l'émission de gaz à effet de serre** et il a d'ailleurs souligné que **seul l'emballlement de l'effet de serre était à redouter**. Il a noté aussi que l'IFP fut le premier à parler du N₂O dégagé par les pots catalytiques, car, à travers eux, l'oxyde d'azote (NO₂) se transformait en N₂O, ce qui était catastrophique, et fut illustré par les premiers pots catalytiques aux Etats-Unis d'Amérique. Désormais le NO₂ est intégralement transformé en azote inoffensif.

La limitation du CO₂ revient à poser le problème du principe de précaution. Si le rendement des machines est amélioré, les émissions de CO₂ vont diminuer du fait des économies d'énergie à l'échéance de 10 ans, mais la pollution est globale, c'est-à-dire planétaire.

M. André DOUAUD a relevé que **le problème de la pollution urbaine est résolu à terme**. En effet, vers 1970, au début des préoccupations concernant les échappements automobiles, ceux-ci émettaient 100 g de polluants par kilomètre. En 2000, grâce à une diminution tous les quatre ans de 50 %, les échappements n'émettent plus que 1 gramme de polluant par kilomètre. En **2005**, les normes prévoient des limites de l'ordre d'une fraction de gramme et l'objectif de quelques dizaines de milligrammes par kilomètre semble possible à atteindre. On peut alors parler d'émission "quasi-zéro".

Aujourd'hui, les pics de pollution apparaissent surtout dans la mesure où le parc automobile a environ dix ans d'âge moyen. Au total, le décalage entre les résultats obtenus par les chercheurs et les produits utilisés par l'utilisateur étant d'environ une vingtaine d'années, cela revient à dire que, **même si dans dix ans, 10 % d'automobiles supplémentaires circulent, la pollution sera très inférieure à ce qu'elle est aujourd'hui**. Ce point est confirmé par toutes les parties prenantes.

Compte tenu de ces éléments, M. André DOUAUD a estimé que **les énergies alternatives auront de moins en moins d'impact sur la pollution locale**.

En effet, ne serait-ce pas absurde de comparer un bus à gaz produit en 2005 avec un bus diesel conçu il y a vingt ans et en fonction aujourd'hui ?

Par ailleurs, au niveau de la recherche, il existe une compétition entre les ressources très importantes affectées aux technologies conventionnelles et celles destinées aux technologies alternatives beaucoup plus faibles car dépendantes du chiffre d'affaires de chaque filière.

De même, pour M. André DOUAUD, **il n'y a pas de réponse universelle au choix entre les énergies**. En effet, si l'on considère les réserves mondiales de gaz, elles sont supérieures à celle de pétrole, mais le pétrole a une valeur internationale supérieure au gaz. En considérant par exemple le cas de l'Iran qui possède les deux, son choix ne peut être que d'utiliser le gaz en interne et le pétrole pour l'exportation ; c'est aussi le choix de l'Argentine.

En revanche, pour les Etats-Unis d'Amérique, l'Europe et le Japon, il n'est pas évident de choisir entre les énergies.

De même encore, **il n'y a pas a priori de carburant propre et de carburant sale. C'est en réalité la performance antipollution du couple indissociable moteur-carburant qu'il faut considérer**.

C'est ainsi que, par exemple, des véhicules à essence transformés en seconde monte pour rouler au GPL sont souvent plus polluants que les véhicules à essence plus récents.

M. André DOUAUD a tenu à rappeler que **pour les constructeurs automobiles et les pétroliers, la première priorité des années à venir consiste à réduire les émissions de CO₂.**

Cela est par exemple possible grâce à la révolution technologique consistant à injecter directement le carburant dans le cylindre des moteurs au moment de la combustion. Cela fait gagner de 30 à 40 % de consommation dans le diesel et environ 20 % dans le moteur à essence, d'où les énormes investissements consentis dans ces technologies et le fait que l'Europe se situe en tête pour le nouveau moteur diesel.

Si les Japonais ont été les premiers à utiliser l'injection directe de l'essence, Renault a été le premier constructeur à industrialiser en Europe une technologie originale.

Parallèlement, le soufre sera progressivement éliminé des carburants car il constituait une sorte de poison pour les pots catalytiques de réduction des NOx.

M. André DOUAUD a ensuite énuméré les caractéristiques respectives des différents types de carburants. Il a estimé que, concernant **le gaz naturel**, l'IFP s'est efforcé de développer les meilleurs moteurs pour cette énergie. **L'aquazole** a eu son mérite pour certains bus anciens, les gains de pollution ayant atteint 10 à 30 %, mais ce carburant n'est pas adapté aux moteurs récents.

Quant aux **esters méthyliques d'huiles végétales (EMHV)**, issus de colza (diester), de tournesol ou autres plantes oléagineuses, il a noté qu'ils ne sont pas exempts de pollution. Cependant, cette filière biocarburant présente un potentiel de CO₂ évité de l'ordre de 50 % et le mélange avec les gazoles pétroliers jusqu'à 30 % ne présente pas de difficultés d'utilisation banalisée.

Il a ensuite rappelé que **le bioéthanol alcool** est impossible à utiliser pur dans les moteurs actuels. Le Brésil a dû recourir à des moteurs spéciaux pour le consommer. **M. André DOUAUD a estimé que la filière des moteurs dédiés à l'alcool pur était sans avenir.** Seule l'utilisation en mélange semble généralisable comme c'est désormais le cas au Brésil (essence + 22% éthanol) ou aux Etats Unis d'Amérique.

Quant aux **huiles dégommees de colza** expérimentées en Autriche, elles génèrent un surcoût pour transformer l'huile végétale en gas oil, même si le coût total reste peu élevé, mais il semble que ce carburant soit utilisé davantage pour des raisons sentimentales que techniques.

Evoquant **le véhicule à moteur électrique**, M. André DOUAUD l'a considéré comme une bonne solution à condition que le citoyen change son style de vie. Or, actuellement, ses utilisateurs éprouvent l'angoisse permanente de tomber en

panne d'énergie, d'où l'échec observé. Les ventes ne dépassent pas une centaine de véhicules par an en France et restent très modestes sur toute la planète.

En revanche, **le véhicule hybride** pourrait constituer **la solution du futur** car il offre le potentiel de diviser par deux la consommation et par cinq les émissions. Tous les constructeurs automobiles mènent des recherches sur ce thème.

Il est donc probable que se développeront une multitude de modèles toutes énergies.

A propos du **débat entre le gas oil et l'essence**, M. André DOUAUD a estimé que **le moteur diesel était imbattable pour minimiser les émissions de CO₂**. C'est le développement du diesel qui permettra aux constructeurs européens d'atteindre l'engagement de 140 g CO₂/km pris pour la production automobile de 2008.

Certes, des problèmes techniques demeurent à résoudre concernant l'oxyde d'azote et les particules. Le filtre à particules répond pleinement à cet objectif, mais la réduction des NOx pose encore question.

M. André DOUAUD a rappelé qu'en 1998 le « *Challenge Bibendum* » organisé par Michelin avait permis de montrer la faisabilité de véhicules à très bas niveau de pollution ne consommant pas plus de 3 litres /100km, à l'exception des **véhicules solaires** apparus sans utilité pratique.

Une autre solution consiste à faire fonctionner les moteurs à **l'hydrogène**, carburant en apparence idéal si ce n'est pour sa fabrication, car lorsqu'il est fabriqué à partir du charbon, les émissions de CO₂ du puits à la roue sont très importantes. En revanche, le bilan CO₂ est excellent si l'hydrogène est produit à partir d'énergie sans carbone : nucléaire, hydraulique, électricité.

Dans ce domaine de recherche, les pétroliers sont les plus avancés car l'hydrogène est une des matières premières du raffinage moderne.

Au-delà de la question du type de carburant, M. André DOUAUD a insisté sur **le poids des véhicules**, paramètre essentiel de la consommation. Ford et General Motors se sont associés pour imaginer un véhicule de la taille de la 406 ou de la Safrane, à savoir une Ford Taunus diesel à motorisation hybride ne pesant pas plus d'une tonne, soit un gain de 400 kilos environ par rapport au poids moyen actuel, ce qui autorise, avec l'hybridation une consommation de 3 litres aux 100 kilomètres.

De même, Volkswagen a mis au point un modèle Lupo consommant 3 litres au 100 et s'est fixé comme objectif ultime 1 litre aux 100 kilomètres. Mais les coûts des matériaux légers sont très élevés, surtout dans leur mise en œuvre.

A propos des **transports en commun**, M. André DOUAUD a noté que la RATP possédait 53 bus au gaz naturel, 57 au GPL et 400 utilisant l'aquazole. Il a

relevé aussi que **les moteurs électriques** coûtaient plus cher que les moteurs thermiques du fait du coût des matériaux de base, notamment du cuivre.

Il a aussi déploré que soit mis en œuvre implicitement la maxime « *Liberté Egalité Mobilité* », conduisant par exemple à tolérer **les deux roues** alors même qu'ils constituent une source de pollution majeure en dégageant 10 à 15 grammes de polluants par kilomètre soit 10 fois plus qu'une automobile récente.

**INSTITUT FRANÇAIS DE RECHERCHE POUR
L'EXPLOITATION DE LA MER
(IFREMER)**

**M. JEAN-FRANÇOIS MINSTER,
PRÉSIDENT DIRECTEUR GÉNÉRAL**

(31 octobre 2000)

M. Jean-François MINSTER a tout d'abord rappelé que l'**IFREMER**, établissement public industriel et commercial, accomplissait une **mission d'océanographie opérationnelle**, consistant notamment à utiliser des observations par satellites (satellites TOPEX-POSÉIDON, ERS-1 et JASON), à effectuer des modélisations numériques (opération MERCATOR dont les premières simulations pour l'Atlantique nord paraîtront en janvier 2001) et à accomplir des observations *in situ* grâce à des outils en grand nombre et avec une longue durée de vie (expérience CORIOLIS- ARGO).

L'expérience CORIOLIS-ARGO consiste à immerger dans l'**Atlantique nord** des bouées ou balises flottantes plongeant jusqu'à 2.000 m de profondeur et remontant tous les dix jours à la surface. Ce système conçu par l'IFREMER permet de programmer la profondeur d'immersion et de **comparer les mesures obtenues par satellite avec les mesures tirées de l'océan**. La phase opérationnelle déjà commencée a pour objectif d'atteindre **3 000 bouées dans l'océan en 2003** ; les Américains, c'est-à-dire la NOAA, se chargeant de la moitié, le Japon d'un quart et l'Europe d'un autre quart, la part française comptant 300 bouées. Les données sont transmises depuis les bouées en temps réel jusqu'à MERCATOR et à la météo ; un outil permettant le largage de ces bouées par avion est en cours de développement. Reste à régler la question d'un financement pérenne, chaque bouée coûtant 100 000 francs, et possédant une durée de vie de quatre ans. Il faut y ajouter une partie du coût de fonctionnement des navires de déploiement. A raison du lancement de 80 à 100 bouées par an, il s'agit de financer plus de 8 millions de francs chaque année. Une partie pourrait être prise en charge par le ministère des transports dans la mesure où il s'agit d'un système opérationnel et non d'une recherche, et un

complément pourrait provenir de financements privés (entreprises qui bénéficieraient du service).

Grâce à ce nouveau système, **des prévisions saisonnières des climats deviendraient possibles**. De même, pourraient être imaginés des usages pour la Défense, comme la détection acoustique des sous-marins. Une utilisation pour la détection des polluants en mer, ou pour l'aide à la pêche se fait jour.

Les équipes de l'IFREMER sont très motivées par ce programme qui se traduit par le **projet CORIOLIS**.

Evoquant ensuite les satellites, M. Jean-François MINSTER a souhaité que les satellites soient pris en compte par une agence opérationnelle - en Europe, par Eumetsat, aux Etats-Unis, par la NOAA -, qui recevrait ses financements des agences nationales. Le coût annuel pourrait être de 10 millions de francs qu'il ne faudrait pas retirer à la recherche mais plutôt obtenir de contributions de ministères techniques ou des instances européennes.

Les sciences de la mer devraient être un lieu de la construction de l'effort européen de recherche.

Pour lancer MERCATOR, un groupement d'intérêt public (GIP) a été créé, dont la mise en place est prévue début 2002. Sa suite serait prise par un « centre d'océanographie opérationnelle », dont l'ambition doit être européenne.

Revenant brièvement sur **les questions budgétaires**, M. Jean-François MINSTER a souhaité communiquer certains ordres de grandeur. En sciences de la mer, **le coût d'un chercheur** peut-être estimé à environ 800 000 francs de salaire, 1 million de francs d'infrastructure et 200 000 francs de laboratoire.

Parmi les infrastructures, un poste important de la recherche océanographique est constitué par **le coût d'investissement des navires**, qui atteint, pour 2001, 70 millions de francs.

Au début des années 1990, l'IFREMER possédait 8 navires contre 4 aujourd'hui, qui sont beaucoup plus performants qu'autrefois. La durée de vie de ceux-ci étant d'environ 25 années.

M. Jean-François MINSTER a ensuite relevé que, en matière de **recherche climatique, il est vraisemblable que dans les cinq prochaines années de grands progrès soient accomplis dans la description du climat et celle de l'océan**, de vraies données étant prochainement disponibles pour contraindre les modèles numériques, ce qui permettra une description réaliste et continue, par exemple pour retracer les changements de trajectoire du Gulf Stream.

Actuellement, les marées apparaissent comme bien séparées des courants océaniques. Or, il est apparu récemment qu'elles peuvent jouer un rôle essentiel pour

le climat, le total de l'énergie des marées qui se disperse dans l'océan Atlantique équivalant à la totalité de l'énergie introduite par les vents sur les courants.

Ainsi, de la compréhension des marées peut dépendre la compréhension des courants, ce qui pourrait conduire à modifier les modèles numériques en conséquence.

En Méditerranée, un équivalent de Mercator devrait être installé, permettant une prévision à 10 jours des courants, grâce à une coopération entre diverses équipes dont une française et une équipe italienne de Bologne, le suivi de cette installation étant à la charge des Italiens.

A ce propos, un comportement inattendu de la Méditerranée a été enregistré depuis 8 ans, avec une hausse de 1 cm par an en Méditerranée orientale, ce qui pourrait s'expliquer si elle stocke énormément de chaleur. Pour comparaison, d'après les marégraphes cette hausse ne serait en moyenne planétaire que de 1,8 mm par an (+ ou - 0,5 mm) .

Evoquant **les impacts régionaux des changements climatiques**, M. Jean-François MINSTER a jugé qu'ils étaient encore mal estimés et loin d'être négligeables et il a noté que les effets régionaux dépassaient les effets moyens.

Quant aux **effets sur la biosphère**, il faut s'attendre à une adaptation difficile, et il existe de nombreuses rétroactions internes des modifications de la biosphère, ainsi que des rétroactions sur le climat.

Des modifications importantes pourraient résulter de la fonte accélérée des calottes glaciaires comme de l'arrêt du *Gulf Stream*.

Interrogé ensuite sur les **phénomènes climatiques extrêmes** (cyclones, tempêtes, *El Niño*...), M. Jean-François MINSTER a considéré qu'on ne pouvait exclure un **passage à un état différent de l'état actuel, en terme de fréquence et d'intensité de ces phénomènes**.

Invité à donner son avis sur **les marges d'erreur des modèles**, M. Jean-François MINSTER a expliqué qu'une vingtaine de laboratoires dans le monde, travaillant à partir de données et d'outils de simulation différents, réalisaient fréquemment des intercomparaisons des modèles, une fois tous les trois ans environ.

Il a indiqué aussi que **les économistes s'intéressaient de plus en plus aux prévisions climatiques** : par exemple, les cours du cacao évoluent désormais aussi en fonction des spéculations sur l'apparition du phénomène *El Niño* l'année suivante. De même, *El Niño* affaiblissant la mousson, cela a une influence sur la récolte de riz de l'année suivante. Enfin, certains fermiers américains choisissent leur date de plantation du soja en fonction des prévisions liées à *El Niño*.

A propos de ces cultures, M. Jean-François MINSTER a souligné que **la Chine** possédait des laboratoires de recherche sur le climat très opérationnels. Sans être *leader* en ce domaine, sa recherche est assez avancée.

Interrogé sur **la portée des mesures gouvernementales prises au cours de l'année 2000**, M. Jean-François MINSTER a estimé important d'agir sur le plus gros composant d'émission de gaz à effet de serre. A cet égard, il a noté que, en 2000, il y a eu un blocage des stations d'essence et que les usagers ont alors modifié leur comportement pour économiser de l'essence. Cependant, cela n'a pas été utilisé pour renforcer le discours national sur les économies d'énergie.

D'où **la nécessité de jouer sur la marge principale d'action dans la durée, à savoir le comportement social**, ce qui n'est pas nocif pour l'économie. Pour l'administration américaine du président Clinton, il était déjà admis que l'environnement n'était pas l'ennemi de l'économie. Cependant cette pédagogie progresse peu.

**INSTITUT D'ÉVALUATION DES STRATÉGIES
SUR L'ÉNERGIE ET L'ENVIRONNEMENT
EN EUROPE
(INESTENE)**

M. Antoine BONDUELLE (1)

(25 novembre 1999)

M. Antoine BONDUELLE a estimé tout d'abord que l'agriculture, comme certains milieux industriels, commençait à peine à **prendre conscience des conséquences de l'émission de gaz à effet de serre.**

Il lui a semblé très utile qu'un débat large et pluridisciplinaire s'ouvre sur ce thème, par exemple entre les diverses administrations concernées sans que celles-ci se limitent à un langage institutionnel.

Il a fortement insisté sur le rôle et les risques très importants **des forêts** dans le débat sur l'effet de serre, notamment dans la mesure où les choix affectant celles-ci étaient difficilement réversibles.

Il a ensuite souligné la place particulière du **transport aérien** dans la mesure où un litre de carburant brûlé en haute altitude équivaut à 2,7 litres de carburant pour les véhicules automobiles dans l'émission de gaz à effet de serre. Il a noté que **l'avion ne payait pas le prix de ses nuisances (pas de taxation du kérosène)**, d'autant que les chambres de commerce subventionnent largement les aéroports.

(1) M. Antoine BONDUELLE est Ingénieur à l'INESTENE SA-SCOP (Institut d'Evaluation des Stratégies sur l'Energie et l'Environnement en Europe) et fondateur du Réseau-Action Climats, qui regroupe les principales associations de défense de l'environnement dans la négociation sur les climats.

Au sujet des relations entre les élus et la population en matière d'environnement, il a estimé qu'en général, **les citoyens** étaient davantage prêts à accepter des adaptations que les élus ne le croyaient. Toujours au sujet des transports, il a remarqué que les Contrats de Plan entre l'Etat et les Régions (CPER) signés en 1999 accordent encore majoritairement leurs faveurs aux routes. Il s'agit pourtant de l'un des actes politiques majeurs influençant l'effet de serre. Par exemple, dans la région d'élection du Premier ministre, le CPER accorde environ 80 % des crédits aux routes. Cela est trop souvent le cas et traduit **une absence de concurrence dans les choix de transports collectifs**. Cela est dû notamment aux moyens importants de l'Etat (DDE, DRE) dans la préparation des projets.

Dans l'activité de conseil de l'INESTENE, celui-ci s'est beaucoup intéressé aux **économies d'énergie** et a constaté qu'il existait une législation très restrictive en matière d'innovation touchant à la consommation électrique. La vérité des coûts de connexion, en particulier en zone rurale, reste insuffisante pour montrer les surcoûts des solutions les plus économes.

L'INESTENE a également étudié l'évolution de **la demande en électricité** pour le Commissariat Général du Plan lors de l'élaboration du rapport « *Energie 2010-2020 : les chemins d'une croissance sobre* », en septembre 1998. Il a ainsi établi des courbes de charges de puissances installées par usage. Il a relevé au passage la nécessité de multiplier les lieux de débat sur ces thèmes et a déploré que le travail sur la demande reste peu présent dans les services de l'Etat par rapport à l'offre.

M. Antoine BONDUELLE a beaucoup insisté sur la nécessité de recourir à **des experts indépendants** comme ceux de l'INESTENE pour les questions environnementales et a observé que, d'après son expérience, les paris liés aux **économies d'énergie** se révélaient toujours gagnants pour les politiques.

Revenant sur le rapport établi pour le Commissariat Général du Plan, il a précisé que ce document avait été affaibli par le refus de toute polémique entre les producteurs d'énergie, très présents dans ces forums. Or, selon lui, cette recherche de « consensus mou » n'est pas souhaitable lors d'un tel débat. Cela confirme aux yeux de M. Antoine BONDUELLE, qu'il est indispensable de recourir à **une pluralité de modèles** pour lancer un vrai débat. Cela a fini par être possible également aux Etats-Unis d'Amérique lorsque des modèles de consultants extérieurs ont enfin été retenus parmi les bases de discussions.

En matière de **transports**, il a relevé que les conséquences des choix des politiques étaient encore impossibles à chiffrer.

En revanche, en matière **d'énergie**, il a regretté qu'un seul modèle, oublieux de certains paramètres, celui de la Banque Mondiale, soit donné gratuitement aux

pays du Tiers monde pour déterminer le nombre de centrales électriques à créer(1). Cela accentue encore la tendance des organismes internationaux à favoriser les solutions moins respectueuses de l'environnement.

Après avoir estimé que la **Loi Barnier** sur l'environnement représentait un progrès certain pour un débat aussi lourd que le changement climatique, M. Antoine BONDUELLE a ensuite insisté sur l'importance des techniques de **recyclage**, sur l'intérêt d'étudier la fabrication des **bio-carburants** à partir des matériaux agricoles ; les spécialistes semblant davantage prêts à s'adapter à ces nouvelles techniques que les économistes. Il a mentionné l'existence d'un rapport américain réalisé par les principaux laboratoires publics des Etats-Unis sur l'énergie(2) qui, se référant à chaque branche de l'économie, préconise l'utilisation de l'éthanol et du méthanol. Par ailleurs, il a relevé qu'aujourd'hui, même si les taillis cultivés n'existent que dans le Pas-de-Calais, il pourrait être envisagé la création d'un service public de fourniture de plaquettes de bois déchiqueté pour développer **le chauffage au bois**.

En terminant, M. Antoine BONDUELLE a indiqué qu'un rapport de la Compagnie pétrolière SHELL indiquait que **la biomasse** pourrait devenir la première énergie en 2050. Puis, il a énuméré un certain nombre d'études, dont certaines menées par l'INESTENE propres à faciliter la rédaction du rapport de l'OPECST sur le changement climatique(3).

(1) « *The capability of two computer models to address key issues in electricity planning : a comparison of Elfin and Wasp* », Rosekrans et Kirshner, *Environmental Defense(ED)*, Marnay, Lawrence Berkeley Laboratory(LBL). Cet article démontre dans le cas des Philippines que l'utilisation du modèle WASP recommandé par la Banque Mondiale dans des pays du Sud induit des investissements excessifs dans le charbon. L'excès atteint 2000 MW sur un total de 14000 MW, contrairement à une modélisation plus optimale, tenant compte de façon plus détaillée des minima de fonctionnement et des effets de taille des centrales.

(2) « *Scenarios for a clean energy future* », interlaboratory working group 2000 (Oak Ridge, Lawrence Berkeley, National Renewable.
www.ornl.gov/ORNL/Energy-Eff/CEF.htm

(3) - « *Estimation de l'avantage économique de la possession des prévisions de vent* » - National Renewable Energy Laboratory (NREL) – A national laboratory of the U.S. Department of Energy – mai 1995 ;
- « *La libéralisation du marché européen de l'électricité* » par M. Antoine BONDUELLE - LES ECHOS – novembre 1998 ;
- « *Etude sur le chauffage bois et les émissions de chauffage électrique en France* » rapport élaboré par l'INESTENE pour la MIES – octobre 1999.

**INSTITUT NATIONAL D'AGRONOMIE DE
PARIS-GRIGNON**

(INA P-G)

M. Alain PERRIER (1)

(8 octobre 2001)

Après avoir rappelé que **le cycle de l'eau et le changement climatique** étaient très liés, M. Alain PERRIER a noté que le premier facteur de l'effet de serre était la vapeur d'eau et que, dès 1860, FOURIER avait entrevu le problème que pourrait constituer l'intensification de l'effet de serre. Il a rappelé que le gaz carbonique, le méthane, le protoxyde d'azote, les chlorofluocarbones et la vapeur d'eau étaient tous des gaz à effet de serre.

Il a relevé qu'un changement climatique accompagné d'une augmentation de la température entraînait un changement du cycle de l'eau puisque la quantité d'eau en jeu variait.

M Alain PERRIER a souligné que l'intensification de l'effet de serre et le réchauffement subséquent peuvent être pronostiqués pour cinquante à cent ans au moins compte tenu des gaz déjà présents dans l'atmosphère. Certes, personne ne peut prouver que l'augmentation de la température ne vient pas de quelque chose d'inconnu autre que l'action anthropique, mais le rôle déterminant de l'homme dans ce processus de réchauffement est éminemment probable.

Au sujet de **la fonte des glaces**, M. Alain PERRIER a indiqué que se produisait actuellement la fonte des châteaux d'eau naturels alimentant beaucoup de pays nordiques et que le niveau de la mer pouvait en être modifié d'environ dix centimètres en cent ans, ce phénomène pouvant d'ailleurs s'accélérer jusqu'à atteindre 30 ou 40 cm avec des effets secondaires, ce qui est tout à fait considérable et propre à générer des risques beaucoup plus grands.

(1) *Professeur d'agronomie à l'Institut national agronomique PARIS-GRIGNON (INA P-G), ancien Directeur scientifique de l'environnement à l'INRA, enseigne la biosphère continentale à l'Université de Paris VI.*

Quoi qu'il en soit, il a estimé qu'il fallait **davantage redouter les événements accidentels que les moyennes d'évolution** et **à ce titre, la hausse du niveau de la mer peut être considérée comme le problème numéro un.**

Sur la question de **l'augmentation de la température** de deux à trois degrés, M. Alain PERRIER a jugé que cette amplitude n'était pas négligeable et qu'elle pouvait entraîner des remontées vers le nord des zones tempérées, sans exclure des risques d'accidents comme, par exemple, **des pullulations d'insectes**. De plus, même si les gelées devenaient plus rares, **des phénomènes de dessèchement** ou de mort physiologique -des échaudages- pourraient survenir, même en Beauce, et qu'il serait important de prévoir l'implantation de **variétés adaptables** et de mener **des recherches sur la désertification.**

M. Alain PERRIER a aussi estimé que **l'augmentation de la vapeur d'eau** modifiant le cycle de l'eau -une molécule d'eau dans l'atmosphère étant recyclée en douze jours après évaporation- de plus grandes quantités de vapeur d'eau seraient disponibles selon l'augmentation de température et donc plus d'eau à condenser, entraînant davantage de mouvements orageux, d'où l'apparition **d'un climat plus erratique et de pluies plutôt plus abondantes.**

De tels phénomènes ont déjà existé, par exemple, il y a 8 000 ans, pendant la période la plus chaude de l'interglaciaire, **le Sahara** était alors redevenu fertile quoique également très chaud, mais il recevait davantage de retours qu'aujourd'hui sous forme de pluies.

Au sein du GIEC, M. Alain PERRIER a relevé **deux périodes qui semblent déjà montrer l'accélération du cycle de l'eau** ; ces périodes particulièrement étudiées sont celles **de 1955 à 1975** et **de 1975 à 1995**. L'augmentation de température s'est accompagnée d'un accroissement de 5 à 10 % des précipitations, ce qui n'est pas forcément une catastrophe ; de gros orages se forment sur les continents, les nappes phréatiques sont avantagées. Mais **la gestion de l'eau devrait être plus délicate** : contraste hiver-été, moins de stockage sous forme de neige ou glace, et surtout pluies plus erratiques : les rivières plus sèches en été et des écoulements très rapides à gérer, lors des orages plutôt plus abondants.

Dans un tel contexte, **il est possible que l'agriculture s'adapte sur un délai d'une dizaine d'années** tandis que les forestiers manifestent de l'inquiétude et attachent beaucoup d'attention au choix des variétés à planter aujourd'hui pour après demain (100 ans).

Quoi qu'il en soit, M. Alain PERRIER a noté que **la France** ne deviendrait pas un désert, même si l'augmentation du CO₂ et les impacts de son effet ne seront pas ralentis de sitôt.

En effet, **un doublement -voire un triplement- des seuils de concentration actuels de gaz carbonique risque de survenir** accompagné, le cas échéant, d'un phénomène positif, souvent signalé avec l'augmentation de la concentration de gaz

carbonique, à savoir **l'accélération de la croissance des plantes (photosynthèse)**. A ce sujet, M. Alain PERRIER a souligné que, depuis un siècle, la croissance de la forêt française avait augmenté de 20 % sous l'action de plusieurs facteurs : les pluies acides, plus bénéfiques que négatives dans la mesure où elles apportent des engrais, l'augmentation de la température et une gestion plus serrée de la forêt. De plus, de manière générale, l'apport d'engrais a constitué une révolution.

Quant à **l'augmentation probable de température**, elle **concernera davantage les températures minimales** que les températures maximales, ce qui est favorable à la croissance des plantes. L'intensification de l'effet de serre empêchera donc un refroidissement excessif la nuit, l'effet de serre étant plus évident la nuit que le jour. Or, cela n'est pas pour déplaire aux plantes qui n'aiment pas les refroidissements qui est ralentie par les refroidissements nocturnes.

La photosynthèse s'accélèrera. Des rétroactions apparaîtront. L'augmentation de la vapeur d'eau accentuera les pluies. Cependant, M. Alain PERRIER a insisté sur le fait que **l'accroissement du nombre de nuages peut très vite compenser l'effet de serre**, la rétroaction négative des nuages pouvant être forte ; heureusement, les modèles déduisent plutôt le contraire (rétroaction faible), ce qui est assez logique puisque généralement la rétroaction ne peut jamais dépasser l'action.

Quant à **la régulation climatique de la température**, assurée largement par les glaces et les océans, à raison de $4/6^{\text{èmes}}$ pour les glaces et de $2/6^{\text{ème}}$ pour les océans, les modèles couplés continent-océan montrent que des rétroactions de grande ampleur se développeraient en cas de changement climatique, qu'elles seraient beaucoup plus complexes et que des processus de transferts peu connus aujourd'hui pourraient même apparaître.

M. Alain PERRIER a aussi évoqué **les changements climatiques historiques** importants survenus à la fin du **Moyen-Age** (XIème au XIIIème siècle) et durant **le petit âge glaciaire** (XVIème et XVIIème siècle) en notant que **ceux-ci n'avaient affecté probablement qu'une partie de l'Europe contrairement au réchauffement actuel qui est global**.

Dans cette évolution, il a estimé que **la plasticité des espèces devrait permettre aux écosystèmes de trouver un équilibre** malgré l'évolution des bilans hydriques des sols et du climat.

Par ailleurs, il a noté qu'**une augmentation du gaz carbonique favoriserait la prolifération du plancton**, et surtout des algues près des continents du fait des apports de nutriments par les eaux continentales.

En outre, concernant **l'aridification**, tous les phénomènes physiques semblent aller dans le même sens : si la quantité d'eau qui s'évapore vient à diminuer sur de grandes surfaces, les pluies tendent à se raréfier d'où le début d'un cycle infernal, pour les plantes et donc pour le climat local qui s'aridifie.

A propos des **forêts**, M. Alain PERRIER a estimé que celles-ci constituaient **le meilleur régulateur**, notamment le meilleur évaporateur à travers l'existence d'un très grand système racinaire comme d'un très important stock d'eau végétal. Par comparaison, un champ de blé est un espace quasiment vide qui contient seulement dix à quinze kilos d'eau et qui en évapore cinq par mètre carré et par belle journée, alors qu'un arbre en milieu sec peut encore puiser dans son tronc une partie de l'eau qui s'y trouve. De plus, les racines des arbres sur pied peuvent descendre à plusieurs mètres de profondeur et parfois à plusieurs dizaines de mètres.

Avec **la déforestation** apparaît une diminution du retour en eau régional et une aridification. Le rayonnement du soleil associé à la sécheresse de l'air, d'autant plus grande que le manque d'eau -donc d'évaporation, ne le réhumidifie pas- constituent le moteur de l'évaporation. Aussi, si le climat demande trop d'eau, et que la plante ne peut fournir assez d'eau pour l'évaporation, **il y a dessèchement de la plante**. De fait, **au-dessus d'une température de 37° à 40°**, en cas de sécheresse et de chaleur associée, les plantes supportent très mal de telles conditions et le processus de désertification qui s'amorcerait serait, dans ces conditions, difficile à modifier. C'est ainsi que, dans le sud algérien, peuvent s'observer aujourd'hui encore des auréoles de désertification autour des anciens thermes romains présents il y a 2000 ans mais qui avaient trop sollicité leur environnement.

M. Alain PERRIER a aussi insisté sur **les accidents** risquant de survenir par exemple une sécheresse comme celle de 1976, qui produit de graves dégâts sur les forêts pendant plusieurs années (déperissement). Si de telles années deviennent trop fréquentes, de même que des tempêtes ou même des excédents d'eau, de vraies difficultés apparaîtront, augmentées probablement par des phénomènes de pullulation d'insectes ou de diverses pathologies.

A propos de **la faune**, M. Alain PERRIER a indiqué que les ovins et les bovins supportaient bien le froid et même les fortes chaleurs (grâce à la transpiration, à l'accélération du rythme de la respiration) alors que **les oiseaux** ne transpirent pas du tout et ne disposent d'aucun mécanisme de régulation thermique en dehors du vol (accélération des échanges par la vitesse de vol et baisse de la température ambiante en altitude) ; en fait, au-delà de 41°, ils meurent ne pouvant assurer la dissipation de leur énergie. De leur côté, les porcs, les sangliers, les rhinocéros et les éléphants ne transpirent pas et sont donc amenés à s'humidifier pour se rafraîchir.

Au sujet de **la biodiversité, des atteintes irréversibles risquent d'y être portées si le climat change**, surtout dans la mesure où il y aurait davantage d'accidents et où le nombre d'espèces en interaction du système viendrait à diminuer. Cependant, pour M. Alain PERRIER, **la dynamique de l'évolution est tellement puissante qu'elle limitera probablement en partie ces atteintes**. Beaucoup de systèmes évoluent plus vite qu'on le pensait, par exemple, les pains de sucre de la Baie de Rio recréent leur sol tous les cinquante ans : les herbes, puis les arbres s'y insèrent grâce aux fissures, retiennent poussières, matières organiques, etc... et forment un sol et c'est leur poids qui entraîne leur chute et celle de la terre lentement accumulée où ils trouvaient de quoi se développer, ce qui n'empêche pas le

redémarrage de la formation du sol et le même phénomène de glissement de se reproduire quelques dizaines d'années plus tard. **Une préservation par les jardins botaniques, les banques de graines, des espaces écologiques riches sous protection, etc... est un point important pour le futur.**

En conclusion, M. Alain PERRIER a rappelé que l'homme avait détruit un grand nombre de milieux naturels entraînant une décroissance très sensible et rapide du nombre d'espèces mais qu'il se nourrit essentiellement (95 %) avec moins de 25 espèces végétales (2/3 du riz cultivé se fait avec une seule variété) d'où l'idée que **l'homme a peut-être davantage à redouter de lui-même que du changement climatique** dans sa progression vers le monde de demain qui peut devenir entièrement artificiel et désertique.

**INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE
AGRONOMIQUE**

(I. N. R. A.)

**M. GHISLAIN GOSSE
DIRECTEUR DE RECHERCHE**

(24 novembre 1999)

M. Ghislain GOSSE a noté que l'évaluation des flux du monde agricole était plus difficile à effectuer que celle du monde industriel, d'où **une réalité agricole encore mal cernée.**

Il a attiré l'attention sur la culture du maïs qui, en 20 ans, est remontée du midi au nord de la France, ce qui illustre **les capacités d'adaptation à des différences de température, par la voie de la génétique, du monde agricole.** Il a indiqué qu'en général, **l'absence totale des périodes de froid pouvait être préjudiciable aux espèces** comme les céréales d'hiver qui ont besoin de froid pour la réalisation de leur cycle reproducteur.

Il a estimé qu'**une augmentation de 1° ou 2° ne devrait avoir que des effets mineurs sur les plantes,** mais **des effets plus importants** pourraient être constatés **sur les pathogènes.** qui effectueraient des cycles de développement plus nombreux.

Abordant la question de **l'eau,** facteur déterminant dans le secteur agricole, M. Ghislain GOSSE a noté que dans **de nombreuses régions, l'activité agricole ne sera pas prioritaire.** C'est ainsi que la canne à sucre risque de disparaître en Andalousie faute d'irrigation car celle-ci entre en concurrence avec l'exigence d'eau liées aux activités touristiques.

Il a observé aussi que si les prévisions de température étaient de plus en plus fiables et réalistes, ce n'était pas encore le cas pour **la pluviométrie.** En agriculture, la quantité d'eau reçue et sa distribution dans le temps sont deux éléments

indissociables tant pour l'élaboration du rendement que pour les impacts sur l'environnement (pollution des nappes). Il a aussi insisté sur le caractère transitoire que devrait prendre **l'irrigation en France** car cette habitude s'oppose au développement durable.

Il a insisté ensuite sur **l'effet négatif de certaines productions**. C'est ainsi que **le lisier de porc contenant de l'ammoniac (NH_3)** -qui ne contribue certes pas à l'effet de serre- risque de transformer certaines zones agricoles ou naturelles car après une période de meilleure croissance, la fertilité se réduit du fait de l'acidification des sols. En France, l'agriculture produit 95 % des émissions d'ammoniac.

Pour évaluer l'impact de l'effet de serre, M. Ghislain GOSSE a jugé essentiel de le resituer dans un cadre général afin de ne pas provoquer des transferts de pollution. C'est ainsi que, pour réduire les nitrates, il serait tentant de prévoir des zones de dénitrification mais celles-ci auraient pour effet de transformer de l'azote du sol en oxyde nitreux qui est un puissant gaz à effet de serre. **L'analyse du cycle de vie complet d'un produit est donc nécessaire**, particulièrement dans le cas de l'épandage de boues où il convient d'éviter le transfert de pollution de l'urbain vers le rural. En réalité, **les choix entre les diverses formes de pollution sont des choix politiques** comprenant des mesures différentes selon qu'il aura été choisi de raisonner à l'échéance d'application du protocole de Kyoto, ou de 2050 ou encore de 2100.

Par exemple, à l'échelle de l'échéance de Kyoto, une **reforestation** suivant une déforestation massive donnerait un bon taux de respect des accords qui auraient simplement été tournés, d'où l'importance de l'échelle de temps.

Selon M. Ghislain GOSSE, il est probable que les grandes **zones céréalières** ne bougeront pas, mais les zones marginales d'aujourd'hui ne sont peut être pas celles de demain.

En conclusion, M. Ghislain GOSSE a estimé nécessaire d'étudier l'importance du **carbone dans le sol** dans la mesure où le sol représente un mode de séquestration du carbone mais aussi parce qu'il a des impacts positifs sur la faune et la matière organique, ce que l'agriculture durable s'efforce de prendre en compte. Les États-Unis d'Amérique commencent à mettre cela en avant pour stocker le carbone dans la Grande Prairie en liaison avec les écosystèmes naturels.

**INSTITUT NATIONAL
DE RECHERCHE AGRONOMIQUE
(INRA)**

**M. BERTRAND HERVIEU,
PRÉSIDENT,**

**M. JEAN BOIFFIN,
DIRECTEUR SCIENTIFIQUE,
ENVIRONNEMENT, FORÊT ET AGRICULTURE**

**M. PIERRE STENGEL,
DIRECTEUR SCIENTIFIQUE ADJOINT
ENVIRONNEMENT, FORÊT ET AGRICULTURE**

**M. GHISLAIN GOSSE,
DIRECTEUR DE RECHERCHE EN BIOCLIMATOLOGIE,**

**M. BERNARD SEGUIN,
CHEF DE DEPARTEMENT ADJOINT
DÉPARTEMENT ENVIRONNEMENT ET AGRONOMIE**

(20 décembre 2000)

Pour l'Institut national de recherche agronomique (INRA), **les sciences de l'environnement figurent comme la première des cinq grandes orientations scientifiques à quatre ans** qui ont été choisies pour structurer cet Institut. Environ 25 % des forces de l'INRA sont consacrées à cet objectif.

Après une présentation des moyens de l'INRA par M. Bernard SEGUIN, celui-ci a esquissé une carte des gammes de potentialité des productions agricoles en cas de changement climatique. Il a indiqué que l'INRA travaillait sur les échanges

des gaz à effet de serre en relation avec l'agriculture et la forêt (CO₂, N₂O, oxyde nitreux, CH₄ méthane), puis a rappelé que **l'évaporation de l'eau du sol et l'évapotranspiration** constituaient des thèmes de compétences de l'INRA.

M. Ghislain Gosse a précisé que, même si la vapeur d'eau est le plus important gaz à effet de serre, les bandes d'absorption de celle-ci sont déjà saturées, et donc qu'une quantité supplémentaire ne changerait rien à la situation actuelle. En revanche, **la variation de la pluviométrie, notamment ses distributions spatiales et temporelles, au cours des années à venir doit être étudiée en priorité.**

M. Pierre STENGEL a insisté sur l'importance de **la prise en compte du rôle global de l'agriculture dans le cycle de l'eau**, qui agit sur la ressource disponible et le régime des eaux, bien au-delà des 5 milliards de mètres cubes prélevés pour l'irrigation. L'équilibre forêt-agriculture, la part des prairies, la durée des cycles végétatifs affectent les quantités drainées et le ruissellement. D'autre part, il convient de considérer non seulement les variations des hauteurs pluviométriques mais aussi l'évolution possible de l'intensité des événements pluvieux et de leur distribution temporelle. Les hypothèses d'accroissement de la fréquence d'événements extrêmes et de plus grande concentration des pluies dans la période hivernale impliquent des besoins pour l'irrigation et des risques de crues catastrophiques accrues. Les deux convergent pour inciter à la réflexion sur les aménagements préventifs souhaitables.

M. Jean BOIFFIN a noté que même si les changements actuels de pluviométrie ne sont pas causés par le climat, il est utile de s'en servir pour en tirer des conclusions.

M. Pierre STENGEL a rappelé l'intérêt de connaître et représenter avec précision **le cycle de l'eau**. Ainsi, le prélèvement domestique, qui représente, lui aussi, approximativement 5 milliards de mètres cubes, est-il à différencier du prélèvement pour l'irrigation. Le premier retourne pour une large part à l'hydrosystème, nappes et cours d'eau, le deuxième est majoritairement évaporé.

Il a ensuite évoqué un autre gaz à effet de serre, le **méthane**, dégagé notamment par les ruminants. Il a souligné, à ce sujet, un élargissement du débat sur l'intensification de l'élevage. Dans ce cas, une même quantité de lait totale produite par un nombre plus faible de vaches à haute productivité aboutit à une émission réduite de méthane.

Il a enfin relevé que peu de données sont disponibles sur les émissions de méthane par **les zones humides** sur notre territoire et que **l'évaluation des puits de carbone donne lieu à des estimations très incertaines**. Les acquisitions de nouvelles données et l'amélioration des modèles sont en cours sur ce point, en particulier grâce au soutien du programme GICC (Gestion et Impact du Changement Climatique) soutenu par le Ministère de l'Aménagement du territoire et de l'environnement.

M. Jean BOIFFIN a relevé **le retard de la France en observation de l'environnement**, notamment en ce qui concerne les données nationales, alors qu'aux Etats-Unis d'Amérique et dans les pays anglo-saxons ces éléments existent, notamment des cartes des sols très détaillées. En conséquence, **lors des négociations internationales, la France manque d'outils techniques** pour contrer les chiffres produits par les Américains.

M. Ghislain GOSSE a estimé nécessaire de disposer d'outils d'évaluation de **la dynamique de stockage du carbone dans les sols**.

Au sujet des **biocarburants**, M. Ghislain GOSSE a fait observer que leurs écobilans ont été réalisés. Tous les bilans de gaz à effet de serre sont en leur faveur : les filières ester d'huiles végétales (colza notamment) sont de ce point de vue les plus performantes alors que l'émission de gaz carbonique lors de la fermentation pénalise les filières éthanol (ex. blé ou betterave).

Il a noté ensuite que **l'utilisation traditionnelle du bois est restée d'une efficacité limitée**, et que **les techniques de cogénération** (chaleur + électricité) seraient bien plus efficaces. Toutefois, en l'absence de réseaux de chaleur, l'utilisation de la chaleur dégagée reste aujourd'hui problématique. Il a rappelé ensuite l'existence du **rapport du Commissariat général du plan sur les énergies renouvelables**.

M. Jean BOIFFIN a souligné que les retournements supplémentaires de prairie liés à l'évolution des quotas laitiers avaient abouti à un déstockage involontaire mais important de carbone du sol. Cet exemple illustre l'intérêt **d'étudier l'impact des évolutions économiques, et des mesures politiques qui les orientent, sur les émissions de gaz à effet de serre**. Cela n'est fait qu'exceptionnellement.

M. Bertrand HERVIEU a indiqué qu'un **comité stratégique de l'INRA** sera constitué, pour mener une réflexion à long terme sur l'agriculture.

Il a rappelé **les différentes préoccupations des principaux organismes de recherche liés à l'agriculture**. Il existe entre eux une véritable complémentarité et un partage des compétences clair dans la majorité des domaines. L'ingénierie des équipements et aménagements relève ainsi plus spécifiquement du CEMAGREF, l'étude des systèmes techniques de production agricole et forestière de l'INRA.

Leur coopération permet d'aborder de manière intégrée **les bilans environnementaux** en tenant compte des impacts directs des cultures, tels que ceux de la fertilisation azotée, des consommations énergétiques, et de la chaîne de recyclage des effluents (traitement, épandage, ...). Il a ensuite rappelé que **la consommation de carbone fossile par l'agriculture** est limitée. Son poste principal, la consommation de carburant par les véhicules, ne dégage qu'environ 1,5 million de tonnes de carbone.

En conclusion, M. Bertrand HERVIEU a souhaité que des débats soient ouverts sur **la reconfiguration des liens entre la recherche publique et les forces économiques et sociales.**

Références :

Comptes rendus de l'Académie d'Agriculture de France, 1999 – « Bilan et gestion des gaz à effet de serre dans l'espace rural ». Colloque Académie d'Agriculture, Ministère de l'Aménagement du territoire et de l'environnement, 18-19 mars 1999, 85-6, 392 p.

J. Boiffin, P. Stengel, 1999 – « Réapprendre le sol : nouvel enjeu pour l'agriculture et l'espace rural ». DEMETER 2000, Économie et stratégies agricoles, Armand Colin éd., p 72-147.

B. Seguin, P. Stengel, - « Effet de serre et changement climatique ». A paraître INRA Mensuel, Printemps 2002.

R. Delécolle, J.F. Soussana, J.P. Legros (1999). « Impacts attendus des changements climatiques sur l'agriculture française ». C.R. Acad. Agric. Fr., 85, n°4, pp.45-51

R. Delécolle, P.A. Jayet, J.F. Soussana (1998) « Agriculture française et effet de serre : quelques éléments de réflexion ».. In « Impacts potentiels du changement climatique en France au XXIème siècle », ouvrage collectif éd. par MIES, Imprimerie Nationale Paris, pp. 77-80

G. Aussenac, J.M. Guehl (1998) « Impact sur la forêt et la sylviculture ». Ibidem, pp. 81-87.

INSTITUT PASTEUR

PROFESSEUR FRANÇOIS RODHAIN

(10 octobre 2000)

En préambule, le Professeur François RODHAIN a indiqué en réaction au libellé du sujet de l'étude de l'Office parlementaire qu'il lui semblait important de ne pas trop focaliser son attention seulement sur **la France** dans la mesure où celle-ci a **un rôle mondial à jouer dans le domaine des maladies à transmission vectorielle**.

Il a précisé ensuite que ces maladies infectieuses étaient son seul domaine de compétence.

Le Professeur François RODHAIN a souligné la très importante **recrudescence des maladies infectieuses** depuis une vingtaine d'années, ce qui s'explique à la fois par les importantes modifications économiques liées aux activités humaines, et par la croissance démographique.

La déforestation, la gestion des eaux, les nouvelles techniques d'agriculture et d'élevage, notamment l'agriculture irriguée, la multiplication des déplacements, le changement climatique, expliquent en partie cette recrudescence, liée aussi aux traitements médicaux modernes (transfusions, greffes) et au relâchement des politiques sanitaires, notamment celui des campagnes de vaccination.

Dans l'hypothèse où le réchauffement climatique serait réel, et seulement dans ce cas, **les médias** soulignant trop souvent les conclusions alarmistes d'une évolution climatique éventuelle, le Professeur François RODHAIN a regretté que les prévisions apocalyptiques reprises par les médias ne soient pas assez réfléchies. Il a rappelé que **les modèles climatiques** ne sont pas tout à fait au point dans la mesure, par exemple, où ils ne prennent pas en compte toutes les données, notamment celles qui ont trait aux comportements humains, et où ils n'ont pas vraiment la capacité de prévoir tous les changements.

Le Professeur François RODHAIN a indiqué aussi que **la répartition géographique des maladies à vecteur** était habituellement différente de celle des vecteurs eux-mêmes.

En effet, les vecteurs sont présents dans des zones plus étendues que celles des maladies qu'ils véhiculent. De plus, d'autres facteurs interviennent dans la propagation de la maladie, ce qui est illustré par le fait que l'intensité de propagation de la maladie n'est pas forcément proportionnelle à la densité du vecteur. De même, l'incidence de la maladie, comme celle du vecteur, ne sont pas proportionnelles, forcément, à l'intensité de la transmission. En outre, le nombre de morts n'est pas obligatoirement proportionnel au nombre de cas de maladie. C'est ainsi qu'en Afrique, concernant **le paludisme**, on trouve parfois cinquante fois plus de moustiques qu'il n'en faut pour assurer la transmission, ce qui incite à relativiser l'augmentation ou la diminution des vecteurs dans une région donnée.

Actuellement en France, les maladies à vecteur sont peu répandues. Le paludisme a même disparu. Le vecteur est pourtant toujours présent mais il peut y avoir anophélisme sans paludisme. De même, durant le petit âge glaciaire, au XVIII^{ème} siècle, le froid n'empêchait pas la présence du paludisme, ce qui montre que **la température n'est pas le seul facteur** lié à ce risque d'affection. On peut également supposer que si la température augmente, l'influence de cette hausse sera limitée.

A propos du **virus West-Nile en Camargue**, le Professeur François RODHAIN a souligné que des cas sont observés en automne mais non en hiver. Ce virus dont l'impact reste limité est apporté par des oiseaux migrateurs venus d'Afrique. Il ne s'agit pas d'un problème de santé publique. Il est probable qu'il n'y a d'ailleurs là aucune incidence du changement climatique.

Quant au **virus de l'encéphalite à tiques**, le climat seul n'est pas susceptible d'en modifier la propagation.

En cas d'augmentation de la température, les leishmanioses (1) pourraient s'étendre et remonter vers le nord de la France pour certaines variantes de la maladie.

Pour **les puces et les poux**, rien n'est modifié par le climat et **le typhus** continue de se manifester l'hiver.

Aux yeux du Professeur François RODHAIN, le problème actuel réside plutôt dans **l'introduction de vecteurs encore absents de France**. Tout est possible dans ce domaine puisqu'environ 5000 à 6000 cas de paludisme sont introduits par des voyageurs, ce qui provoque environ 25 morts par an, mais il s'agit de cas isolés et non de réservoirs alors qu'un phénomène plus important avait été observé au moment du retour des Français d'Algérie. Une réaction rapide et efficace avait eu lieu à cette époque.

(1) *Ces maladies frappent l'homme et les animaux. La leishmaniose viscérale, maladie essentiellement infantile peut évoluer vers la mort ; la leishmaniose cutanée est d'évolution bénigne.*

C'est maintenant **le risque de la dengue** qui pourrait devenir important. C'est **un problème de santé publique mondiale**. Avant la seconde guerre mondiale, il provoquait des épidémies dans le Bassin méditerranéen, véhiculées par l'*Aedes aegypti*. Maintenant la dengue, qui existe aux Antilles ou dans d'autres régions touristiques, est souvent rapportée par les voyageurs.

De plus, l'*Aedes Albopictus* est arrivé en Europe. Du fait du transport de vieux pneus, en partie à l'occasion d'un commerce parallèle, ce moustique d'origine asiatique a gagné les Etats-Unis d'Amérique et le Mexique, puis l'Albanie, l'Italie (Gênes), puis tout le nord de l'Italie. En octobre 1999, un foyer fut observé en Normandie et un dans le Poitou. Peu sensible au froid, ce vecteur a tendance à remonter vers le nord et a été observé notamment à Pékin.

Contre la dengue, il n'existe ni traitement, ni vaccin. L'issue en est la guérison ou la mort.

Dans ces conditions, l'apparition de cas hémorragiques en Asie, concernant notamment les enfants, montre la nécessité absolue de repérer les foyers d'infection afin d'élaborer une politique de prévention et de la mettre en œuvre en temps utile.

Les moustiques sont très faciles à identifier en France, mais il existe **une pénurie d'entomologistes médicaux** indépendamment de la simplicité de principe du problème.

Dans le Languedoc, il existe une entente interdépartementale pour la démoustication.

Abordant la situation dans **les DOM-TOM**, le Professeur François RODHAIN a rappelé qu'en **Guyane**, le paludisme est actuellement en recrudescence du fait de l'immigration clandestine avec des souches résistant au traitement. La dengue est déjà présente là-bas et également la fièvre jaune, mais assez faiblement. Au total, **même une augmentation de température de deux degrés ne changerait rien aux problèmes posés**. Il en serait de même en **Martinique** et en **Guadeloupe** où l'on trouve déjà la dengue, mais pas le paludisme, et à **La Réunion** où l'on rencontre également la dengue et des cas de paludisme importé.

Ces données ne devraient donc pas justifier une panique face à l'augmentation de la température.

En **Polynésie**, l'on rencontre la dengue et la filariose lymphatique. Des estimations locales des vecteurs sont possibles mais des phénomènes de colonisation peuvent toujours survenir, ce qui fait que les conclusions actuellement disponibles paraissent peu utilisables, mais au contraire justifient la poursuite des recherches en cours.

Le Professeur François RODHAIN a donc estimé que, plutôt que se focaliser sur la seule augmentation de la température, il conviendrait de **s'intéresser aux associations entre augmentation de la température et changement des**

précipitations, ou changement de la température et sécheresse, ce qui alors diminue la présence des vecteurs alors qu'au contraire, la hausse de la température alliée à l'accroissement de l'humidité renforce la présence des vecteurs et leur longévité.

Ainsi, en **Ouganda** où sévit le paludisme, des facteurs autres que le changement climatique sont à l'œuvre ; les mesures de lutte y perdent de leur efficacité et le paludisme est revenu dans les mêmes limites qu'autrefois. **Aucun lien ne semble observé aujourd'hui entre hautes températures et retour automatique du paludisme**. Quelquefois l'arrivée progressive de celui-ci n'est d'ailleurs qu'une arrivée provisoire.

De plus, **l'augmentation de la température doit elle-même être analysée. S'agit-il de la moyenne annuelle, de la moyenne journalière ou de la moyenne des températures minimales de la nuit** ? En fonction de l'un ou l'autre de ces critères, les zones de présence des vecteurs seront modifiées en conséquence. En outre, on peut supposer que, si le nombre de vecteurs augmente du fait d'un changement climatique, le nombre d'ennemis naturels des vecteurs augmentera parallèlement et rien n'exclut qu'un nouvel équilibre soit trouvé.

Face à de telles interrogations, le Professeur François RODHAIN a considéré qu'il est important de **raisonner en naturaliste, c'est-à-dire en prenant en compte l'ensemble du contexte**. Or, aujourd'hui, il n'y a plus de naturalistes, ce qui peut être considéré comme catastrophique, l'esprit naturaliste s'étant également perdu. Souvent, ces sciences ont été considérées comme désuètes ou inutiles. Ce manque de naturalistes est commun à l'ensemble des pays développés, même si un petit sursaut a été observé aux Etats-Unis d'Amérique.

D'une manière générale, le professeur François RODHAIN a observé que toutes les espèces s'adaptent à l'environnement, de même certains élevages, mais que l'homme a tendance à faire le contraire.

S'ajoute à cela **le rôle déformant de l'information** qui amplifie les moindres catastrophes et génère une angoisse collective. C'est ainsi qu'un article récent de l'hebdomadaire « *Le Point* », accompagné de deux photos, a donné l'alarme a propos du virus *West Nile* alors que seuls sept chevaux avaient été touchés. Il y a là un exemple de **confusion entre un problème de santé ponctuel et un problème de santé publique**. Or, les médecins ont précisément à s'interroger sur la différence entre ces deux concepts lorsque, par exemple, une campagne de vaccination est lancée et qu'elle risque de provoquer quelques cas victimes d'importantes complications. Que choisir alors ? Prendre le risque de ces quelques cas pour prévenir une maladie qui n'existe pas encore dans la zone considérée ou choisir de sauver davantage de personnes grâce à la campagne de vaccination dans l'éventualité où la maladie viendrait à se déclarer dans cette zone ?

Le Professeur François RODHAIN a déploré le nombre excessif de **publications** pas assez fouillées et aux conclusions trop peu nuancées, y compris parmi des publications scientifiques.

Il a aussi souligné **l'importance des modifications de saisonnalité dans les modifications des périodes de transmission des maladies.**

En conclusion, il a rappelé que **l'Institut Pasteur**, fondation privée, comportait deux services d'entomologie médicale regroupant environ quinze personnes et qu'une bonne liaison entre l'Institut Pasteur et l'Outre-Mer existait.

Il a insisté sur l'importance du financement de la recherche en précisant que les subventions de l'Etat à l'Institut Pasteur, qui représentent plus d'un tiers de ses ressources, étaient stagnantes, que les ressources tirées de son patrimoine comme des expertises et des redevances atteignaient environ 40 % et que les 25 % restants, provenant des dons et legs, étaient aléatoires. De plus, les revenus industriels diminuent. Enfin, la concurrence avec l'INSERM et le CNRS est réelle et aucune embauche n'est réalisée.

Sur la question particulière de **la recherche sur le climat et la santé**, même si la France n'est pas absente, peu de choses sont effectuées, par exemple, un festival international de géographie tenu récemment à Saint-Dié avait comme thème géographie et santé.

Par ailleurs, l'**IRD** (ex-ORSTOM) à Montpellier, associé avec le CIRAD, recueille beaucoup d'images satellites très utiles, mais l'Institut Pasteur est en dehors de ces observations.

Enfin, le Professeur François RODHAIN a regretté que les bourses de thèses ne soient pas développées et que des stages à l'étranger après la thèse ou traduisant un changement d'orientation ne soient pas facilités, les Français étant ainsi pénalisés par rapport aux **chercheurs** étrangers.

INSTITUT PIERRE-SIMON LAPLACE
(I. P. S. L.)

M. HERVÉ LE TREUT,
LABORATOIRE DE MÉTÉOROLOGIE

(24 avril 2001)

M. Hervé LE TREUT a tout d'abord rappelé que les modèles de simulation numériques du climat actuels étaient l'aboutissement de **plus de trente années de recherche**, ce qui correspond à la période d'apparition des ordinateurs de forte puissance. Il existe en la matière un défi à relever : **peut-on, à partir des lois de la physique, « reconstruire » la planète ?** Cet exercice est évidemment d'une grande complexité, notamment du fait des interactions entre l'océan et l'atmosphère et des oscillations de type *El Niño*. Pour M. Hervé LE TREUT, la réponse à cette question est très largement positive, car **la planète numérique peut ressembler beaucoup à la planète réelle**. Pour autant, **les modèles ne sont pas des outils magiques permettant de déduire le futur du présent**. A la limite, les modèles font apparaître davantage de certitudes pour les années 2050 et 2100 que pour 2000. En effet, point n'est besoin de diagnostic fin de la période actuelle pour appuyer les prévisions futures si celles-ci sont caractérisées par une augmentation réellement massive des gaz à effet de serre.

Les modèles de simulation des climats présentent essentiellement **trois types d'imperfections**.

Tout d'abord techniques, du fait du **maillage de la sphère**, car il est nécessaire d'opérer un mélange physique de l'échelle continentale avec des petites échelles, cette difficulté provenant de la puissance limitée des ordinateurs. Cependant, ces appareils ne cessent d'être améliorés : jusqu'en 1980 le plus puissant ordinateur appartenait au CNES et il lui fallait quarante heures de calculs pour simuler un mois de climat. Actuellement, la même simulation prend une minute.

La seconde série d'imperfections provient des modèles physiques employés qui ne saisissent pas **les aspects chimiques et biochimiques de la réalité**. L'extrapolation des modèles est en cours pour permettre cela.

La troisième série d'imperfections résulte du fait que **le climat est un système chaotique, pas entièrement prévisible**. C'est pourquoi, même si la planète numérique ressemble à la terre, **plusieurs histoires climatiques sont à tout moment possibles, à partir d'une situation donnée**.

De plus, les modèles décrivent l'atmosphère grâce à de très grandes échelles horizontales, des milliers de kilomètres, et ils fonctionnent bien sur ce schéma. Mais les modèles **résolvent mal les échelles verticales, par exemple les nuages**. Il faudrait arriver à retracer des mouvements de l'ordre de quelques dizaines de kilomètres. Peut-être que l'*Earth Simulator*, ordinateur japonais mettant en réseau plusieurs milliers de super ordinateurs et atteignant une puissance de 100 à 1000 fois supérieure à celle des ordinateurs actuels, parviendra-t-il à cela.

M. Hervé LE TREUT a insisté sur le fait que **la crédibilité de la recherche se joue en partie sur l'efficacité des modèles climatiques**, la recherche européenne devant être au même niveau que la recherche américaine ou japonaise.

Divers scénarii sont explorés. Le premier, très simple, est fondé sur **le doublement du gaz carbonique dans l'atmosphère**, seuil qui devrait être atteint vers **2050**. Cette hypothèse reste plausible. Elle implique que le gaz carbonique va augmenter de 1% par an dans l'atmosphère, étant admis pour simplifier que ce pourcentage comprend l'ensemble des gaz à effet de serre.

Quinze modèles ont tourné sur ce schéma, aboutissant tous à l'année 2050, avec des divergences quant à **l'augmentation de la température moyenne** qui pourrait être de 2° à 4° ; l'estimation basse de + 2° moyens correspondant en fait à + 4° sur les continents et à davantage de réchauffement vers les hautes latitudes. **Les précipitations**, quant à elles, devraient frapper davantage les régions équatoriales et nos latitudes. Elles seraient, à l'inverse, plus faibles dans les régions tropicales, mais les localisations précises de ces phénomènes demeurent difficiles à opérer. Une troisième conséquence se traduirait par **le ralentissement de la circulation atlantique**, du fait de la diminution de la salinité des eaux, même s'il n'est pas encore question du risque de l'arrêt du *Gulf Stream* à ce stade.

Après ces simulations idéalisées, une deuxième génération de simulations utilisant les mêmes modèles a été réalisée et servira de base au futur rapport du GIEC, mais cette deuxième génération n'est pas pleinement réalisée en France ; les laboratoires français ne sont pas formellement saisis de recherches sur ce thème. En fait, **il faudrait relier les incertitudes des scénarii économiques à celles des modèles climatiques en faisant coopérer économistes et climatologues**. Lorsque le GIEC évoque en **2100** une hausse moyenne des températures oscillant entre + 2° et + 6° , la moitié environ de cette hausse est due au scénario lui-même. Les mêmes causes d'incertitude affectent l'élévation prévue du niveau des océans de 20 à 80 cm en 2100.

La question de l'impact des rétroactions entre la physique, la chimie et la biochimie demeure centrale. Elle est étudiée dans les simulations de l'Institut

Pierre-Simon Laplace et celles du Hadley Center. Des émissions actuelles dans l'atmosphère, on peut estimer que 50 % du gaz carbonique restent dans l'atmosphère tandis que 50 % sont absorbés par les puits de carbone que sont les océans et la végétation. Mais ces deux pourcentages peuvent évoluer en cas de changement climatique. **Si le climat devient plus chaud, il est vraisemblable que les puits de carbone absorberont moins de gaz carbonique** du fait du *stress* hydrique et de la stratification de l'océan -apparition d'une couche chaude en surface. Sur ces points les modélisations ne sont pas encore très sûres. Au-delà du problème du carbone, s'ouvre un domaine de recherche très grand sur les problèmes de chimie (par exemple **interactions avec l'ozone** qui ne sont pas bien traduites dans les modèles).

L'ensemble des modélisations réalisées à l'instigation du GIEC souffrent d'une faiblesse qui consiste à arrêter les simulations en 2100. Or, les courbes, loin de s'infléchir, croissent toujours en arrivant à ce terme. Il n'est même pas exclu que les évolutions des océans comme de la calotte glaciaire puissent s'accélérer au delà de cette date. Cela renvoie aux **effets de seuils dans le climat**. C'est ainsi que dans le passé, pour l'océan, ont existé des oscillations très rapides. Si cela devait se reproduire, l'Atlantique pourrait être différent et ressembler davantage au Pacifique, donc être plus froid aux hautes latitudes. Par ailleurs **les glaciers et les calottes glaciaires sont encore mal pris en compte dans les modèles.**

Si le niveau des océans monte, il y aura d'abord une dilatation des océans et une fonte des glaciers de montagne dans un premier temps, mais par la suite, qu'advient-il de l'Antarctique dont une partie s'appuie sur un socle rocheux situé en dessous du niveau de la mer ? **Il n'est pas exclu qu'une hausse de plusieurs mètres du niveau des océans intervienne mais elle n'aura lieu qu'au-delà de 2100.** Il y a là un grand enjeu pour l'amélioration de la modélisation dans les années qui viennent.

Une difficulté réside aussi dans le passage des échelles globales aux échelles locales. Pour la vaincre, une première méthode consiste à imbriquer les modèles en forçant un modèle régional. Les Scandinaves et les Allemands essayent cette méthode. Une seconde, suivie par l'IPSL et METEO FRANCE, consiste à retenir des modèles avec des mailles variables (de 300 km pour l'ensemble de la planète et plus petites pour la France), mais à partir des mêmes équations. La troisième solution repose sur des statistiques qui sont affinées à partir de moyennes.

Aucune de ces méthodes n'est parfaite. De plus, **les simulations couplées ne sont utilisées que depuis cinq à dix ans et il n'y a pas encore assez de recul scientifique pour en tirer tous les profits.**

Pour la France, les modèles décrivent **davantage de sécheresse au sud et davantage de pluies au nord**, ce qui ne constitue qu'une tendance probable, déduite d'un système d'imbrications de probabilités. Il faudrait mener davantage d'expériences mais ce travail ne devient que très progressivement à portée des équipes actuelles.

Il est vraisemblable que **l'enneigement dans les stations de ski diminuera**. METEO FRANCE travaille sur ce thème, à partir d'une étude vallée par vallée.

Quant aux **événements extrêmes**, à petite échelle, les tempêtes, les inondations, leur occurrence serait modifiée et **ils seraient à redouter plus souvent qu'une fois par siècle**.

Pour prendre une comparaison parlante, M. Hervé LE TREUT a indiqué que **simuler le climat à venir revenait à jouer avec un dé pipé**. C'est ainsi que si, par exemple, le 6 revient plus souvent, il faudra disposer d'un recul énorme pour voir si le 6 est sorti par hasard ou si cette fréquence était liée au dé pipé (c'est-à-dire aux activités humaines). Quoi qu'il en soit, **des documents suffisants illustrant l'évolution climatique au cours du passé récent manquent**. Il est donc important de développer les recherches sur les données climatiques historiques.

Par ailleurs, **une très grande inconnue réside dans les nuages**, système très fin dont les effets énergétiques sont très difficiles à analyser. Parfois, des dispersions du simple au double dans l'élévation des températures sont presque uniquement dues aux effets des nuages ; les nuages expliquent la plus grande partie de la dispersion des résultats liée aux modèles dans les projections actuelles du GIEC. Ni les données paléoclimatiques, ni les évolutions observées au cours des dernières années, ne sont assez précises ou assez longues pour trancher ce problème. S'ajoute à l'augmentation des gaz à effet de serre, une augmentation des aérosols dont le rôle est très important : ces derniers ont sûrement contribué à un affaiblissement du réchauffement, mais **l'incertitude** demeure sur l'importance de cet affaiblissement.

C'est pourquoi, encore une fois, M. Hervé LE TREUT a souhaité insister sur le fait que **les modèles constituent des outils experts très étudiés mais seulement pour évaluer un risque et non pour fournir une prévision datée**.

Interrogé sur le niveau des **modélisateurs français** par rapport à leurs confrères internationaux, M. Hervé LE TREUT a estimé que **les Anglais** se trouvaient en tête de cette recherche, car, dès 1989, ils ont créé un centre dédié appuyé sur un système universitaire déjà performant en météorologie et différant en cela des chercheurs d'Europe continentale.

La France n'est cependant pas située très loin derrière et elle possède de bon atouts, du fait de sa large multidisciplinarité. C'est ainsi que dans les rapports du GIEC, la part de la France est importante. Mais il existe **un problème d'emploi dans les laboratoires de recherche** qui empêche de se mobiliser vite. Tel est le cas en particulier pour le travail technique périphérique.

Un atout majeur est constitué par les moyens informatiques du CNRS (IDRIS) bien à niveau.

Mais cette situation pourrait ne pas durer avec l'arrivée de super ordinateurs tel le *Earth Simulator* des Japonais.

De leur côté, **les Américains** refusent d'acheter les ordinateurs japonais et se tournent davantage vers un très gros projet américain : l'*Accelerated Climate Initiative*.

Une réponse européenne est indispensable qui exigera la fédération des centres de calculs européens. Un projet est en cours d'élaboration.

A propos des parts respectives du gaz carbonique et des autres gaz, M. Hervé LE TREUT a précisé que l'impact climatique était de nature qualitativement similaire pour les autres gaz dont la complexité de la chimie n'est pas bien prise en compte, mais l'IPSL, comme d'autres laboratoires, d'ici quelques années, devrait être en mesure de distinguer entre les différents gaz, notamment entre leurs durées de vie et impact radiatif variables. Cette différenciation est nécessaire pour établir des objectifs de réduction cohérents. Revenant sur les écarts existant entre les différents modèles de simulations climatiques, M. Hervé LE TREUT a estimé que la recherche scientifique était ouverte et coordonnée le plus souvent, ce qui produisait **des modèles tous cousins entre eux, certains modèles incorporant des parties d'autres modèles**. De plus, les programmes européens coordonnent leurs efforts.

Des rencontres fréquentes ont lieu entre l'IPSL et METEO FRANCE, mais aussi, par exemple, entre l'IPSL et l'Institut Max PLANCK. L'organisation mondiale de la Météorologie a aussi ses programmes et, de plus, un centre aux Etats-Unis d'Amérique s'attache à **évaluer tous les modèles** depuis une quinzaine d'années avec des résultats plutôt satisfaisants (le PCMDI).

Toutefois, pour valider et appliquer les modèles comme pour évaluer des dommages climatiques, **les pays en voie de développement devraient être associés à ces efforts**. C'est ainsi que, lors de la dernière réunion du groupe 1 du GIEC à Shanghai, rien n'a été formulé sur les risques de sécheresse en Europe du sud et en Afrique du nord, et ce du fait de l'absence de publications internationales sur ces thèmes, ce qui ne signifie pas que ces risques n'existent pas.

M. Hervé LE TREUT a ensuite souhaité que soit développée **une pédagogie des foules et des gouvernements**, grâce notamment à la distribution des résultats des modèles à des scientifiques autres que ceux qui les ont imaginés, ce qui permettrait des recoupements très instructifs.

A propos des **DOM-TOM**, il a précisé qu'il n'avait jamais reçu de demande d'études focalisées sur les DOM-TOM, mais qu'il serait possible de réaliser au moins une première étape qualitative en quelques mois, d'abord à partir de l'exploitation des modèles, simplement le temps nécessaire n'a pas encore été consacré à cette tâche, jusqu'à présent.

Revenant sur les équipes et les modèles français, M. Hervé LE TREUT a évoqué les moyens du **CNRS** et du **CEA** à Paris et de **Météo France** à Toulouse, ce qui représente un total d'environ **une centaine de personnes travaillant sur le climat**, bien distinctes de celles employées pour la météo. Ce niveau d'effectif est

loin d'être insignifiant à l'échelle de l'Europe, même si l'Allemagne et le Royaume-Uni comptent chacun environ 150 chercheurs spécialisés.

Jusqu'à présent, cette recherche est essentiellement financée par des **crédits publics** et cela ne pourrait évoluer que si la valorisation des résultats était développée. Peut-être la création **d'une fondation** permettrait-elle une telle valorisation, à partir des données inexploitées des centres informatiques ?

A propos de la connaissance des **climats du passé**, M. Hervé LE TREUT a estimé que les résultats des glaciologues comme des archéologues continentaux constituaient un tout, extrêmement précieux, dont l'étude doit être globale.

Enfin, à propos des analyses sur l'expertise scientifique développées par M. Philippe ROQUEPLO, M. Hervé LE TREUT s'est montré très favorable à **l'invention d'un lieu de débat scientifique nouveau.**

**INSTITUT DE RECHERCHE
POUR LE DÉVELOPPEMENT
(IRD)**

**M. JACQUES MERLE,
DIRECTEUR DE RECHERCHE
DIRECTEUR DU DÉPARTEMENT MILIEU ET
ENVIRONNEMENT**

**M. RÉMY LOUAT,
DIRECTEUR DE RECHERCHE
CHARGÉ DE MISSION POUR LES GÉOSCIENCES**

(20 décembre 2000)

L'Institut de recherche pour le développement (IRD) mène des **recherches sur les pays de la zone tropicale et les départements et territoires d'outre-mer**. Il a pour ambition de conduire une recherche susceptible d'**aider les pays en voie de développement, notamment dans leurs difficultés face aux changements climatiques**, par exemple les oscillations du phénomène *El Niño*. Des interactions existent entre le changement climatique global et les manifestations récentes de ce phénomène. L'IRD étudie, depuis environ 40 ans, le phénomène *El Niño* dans l'océan Pacifique ainsi que d'autres oscillations climatiques affectant les régions tropicales en Afrique et en Amérique du Sud notamment.

Les axes de recherche principaux de l'IRD dans le domaine de l'environnement sont **l'océanographie** et la **paléoclimatologie** qui s'applique à la fois aux continents et aux océans. Cependant l'IRD compte peu d'atmosphériciens parmi ses chercheurs et est absent de certains domaines de recherche sur l'environnement tel que le trou d'ozone.

M. Jacques MERLE a rappelé que l'IRD compte environ 1.500 personnes, chercheurs, ingénieurs, techniciens, dont environ 200 travaillent sur **le climat**. Ces chercheurs et techniciens sont répartis dans des Unités de Recherche dont certaines sont associées étroitement aux universités et au CNRS dans des Unités Mixtes de Recherche à Paris, Toulouse, Brest et Montpellier. L'IRD est ainsi membre à Paris de l'Institut Pierre-Simon LAPLACE avec le CNRS, l'Université Paris VI, l'Ecole Normale Supérieure et l'Ecole Polytechnique.

L'IRD possède des **bases d'observation du climat** sur la ceinture tropicale : en Nouvelle-Calédonie, où il étudie depuis 40 ans les échanges entre l'océan et l'atmosphère et où il a contribué à l'explication du phénomène *El Niño*, en Guyane, dans l'île de La Réunion dans l'océan Indien, en Afrique. Deux **navires** lui permettent de réaliser des observations dans l'océan Pacifique (Nouméa), et dans l'océan Atlantique (Abidjan) où il est aidé par des chercheurs ivoiriens et sénégalais. En paléoclimatologie, l'IRD est surtout présent en Amérique du Sud (Brésil, Equateur, Bolivie, Pérou, Chili), en Afrique et dans le Pacifique.

Abordant la question des **forêts**, M. Jacques MERLE a rappelé l'importance du couvert végétal dans l'environnement climatique. **La lenteur du rythme d'adaptation des forêts** est compatible avec les échelles de temps de la variabilité du climat; ainsi, après un changement climatique important, il faut environ mille ans pour qu'un nouvel équilibre forestier s'instaure.

Il a indiqué que **des changements importants des grandes forêts de la planète s'étaient manifestés au cours des derniers millénaires**. La forêt amazonienne aurait brûlé à plusieurs reprises il y a environ quatre à cinq mille ans, probablement du fait d'une variation climatique qui aurait engendré un *stress* hydrique favorable aux incendies.

Grâce à l'étendue de la zone couverte par les observatoires de l'IRD, des comparaisons intéressantes peuvent être effectuées entre l'Afrique, l'Amérique et l'Océanie, ce qui explique en partie **la dimension planétaire et l'importance des résultats obtenus par l'IRD** qui, avec un effectif de chercheurs relativement faible par rapport au CNRS, par exemple, est un contributeurs scientifique majeur et reconnu internationalement dans l'étude du climat.

M. Jacques MERLE a souligné aussi **l'importance des études paléoclimatiques** pour comprendre l'évolution possible du climat des siècles à venir. Il est utile de remonter des dizaines de milliers, voire des centaines de milliers ou des millions d'années, en arrière pour éclairer le futur. Actuellement, l'IRD étudie particulièrement les impacts des changements climatiques passés sur les zones tropicales. L'un de ceux-ci : l'élévation du niveau moyen des océans, qui résulte davantage de la dilatation thermique liée au réchauffement que du changement de volume de celui-ci par la fonte des glaciers, est particulièrement important pour de nombreux pays insulaires de la zone tropicale.

Il a particulièrement insisté sur le fait que, **dans le Pacifique, certains Etats sont menacés de disparition totale en cas de montée des eaux** qui pourrait atteindre 50 cm ou 1 mètre au cours du XXI^{ème} siècle. A cet égard, il a observé que, si le GIEC a réduit le niveau de ses prévisions relatives à l'élévation du niveau des océans, les modifications de ses prévisions successives ont fortement inquiété une quarantaine de petits pays insulaires, qui ont créé une association, au sein de l'ONU, des « victimes non coupables » du réchauffement global. L'IRD a été choisi comme expert par ce groupe d'Etats, qui sont d'autant plus menacés que leurs côtes sont déjà dégradées par la concentrations naturelle des populations dans ces zones côtières.

Ainsi, plusieurs Etats dans le Pacifique composés d'atoll très bas sur l'eau sont menacés de disparition totale d'ici à un siècle, les îles Kiribati(1), Tokelau(2), et les îles Marshall(3). Ces Etats expriment avec force leurs réactions dans les grandes conférences internationales. Les Pays-Bas, le Danemark, la Suède et la France ont apporté leur soutien à ces Etats.

Certes, le phénomène de montée des océans doit être corrigé en fonction des mouvements tectoniques des îles, mais il est aussi amplifié lorsque l'oscillation *El Niño* amène des hausses supplémentaires du niveau des océans de 40 à 60 cm pendant quelques semaines. A ces phénomènes peuvent encore s'ajouter des cyclones qui apparaissent dès que l'eau dépasse des températures de 27-28°, ce qui peut entraîner de 1 à 3 mètres d'eau en plus pendant quelques heures.

Au total, **la conjonction de l'ensemble de ces phénomènes pourrait entraîner la disparition définitive de ces îles en quelques heures au cours d'un événement météorologique extrême tel qu'un cyclone.**

Au sujet des **impacts des changements climatiques sur l'agriculture**, M. Jacques Merle a indiqué que ceux-ci pourraient être importants, les cultures étant très dépendantes des précipitations et des températures. Quant aux **zones de pêche**, elles sont elles-mêmes très liées aux changements climatiques; ainsi il se produit déjà des déplacements des zones de prise du thon au gré des fluctuations d'*El Niño*. Or, 50 % du thon pêché au monde provient du Pacifique, et les petits Etats de cette région tirent d'importantes ressources de la vente de leur droit de pêche. Il est certain que **le changement climatique aura un grand impact sur la pêche et sur l'économie des Etats qui en vivent**, sans que l'on puisse encore préciser lequel. Des modélisations numériques sont effectuées dans ce sens par les équipes de l'IRD qui travaillent dans une Unité Mixte de Recherche à Paris VI - Jussieu au sein de l'Institut Pierre -Simon Laplace.

(1) Archipel de 33 îles dispersées sur une zone maritime de 3.500.000 km² et peuplé de plus de 80.000 habitants.

(2) Atolls Atafu, Nukunonu et Fakuofu, situés au nord-ouest des îles Samoa et peuplés d'environ 1.500 habitants.

(3) 31 atolls de corail, 5 îles et 1152 îlots peuplés d'environ 60.000 habitants.

M. Jacques MERLE a précisé ensuite que l'IRD était peu présent aux **Antilles**, sauf en agronomie et en hydrologie, davantage en raison de circonstances historiques que d'un choix véritable.

Il a ensuite noté qu'à **La Réunion**, où se trouve une importante université, un projet pourrait probablement être développé en liaison avec la proposition de loi du sénateur Paul VERGÈS sur le climat ; un **observatoire du climat de la ceinture tropicale** pourrait voir le jour répondant ainsi à l'initiative du Sénateur VERGES. Il a également été envisagé de coupler le projet de modèle sur l'Océan indien développé par l'IPSL, avec des recherches menées par l'université de La Réunion. Cela pourrait permettre **une meilleure connaissance de la mousson**.

M. Rémy LOUAT a insisté sur le fait qu'**outre-mer** beaucoup de phénomènes géologiques surviennent très vite. Par exemple, les îles Loyauté se rapprochent du Vanuatu à une vitesse de 12 cm par an, et les vitesses verticales de remontée des îles peuvent atteindre 2 à 3 mm par an en moyenne sur la longue durée ; il a même été observé la remontée d'une partie d'une île du Vanuatu d'un mètre en quelques heures.

Dans ces régions, sont menées également des analyses des **coraux fossiles**, qui donnent accès, entre autre, aux données des paléotempératures qui contraignent les modèles de reconstitution des climats passés ; des études sont menées par l'IRD en particulier au Vanuatu, en Nouvelle-Calédonie et en Polynésie française.

Par ailleurs, M. Rémy LOUAT a estimé qu'**une grande synthèse de l'évolution du climat de moins 30.000 ans à nos jours** était maintenant accessible ; les données collectées par les organismes français outre-mer donnent à la recherche françaises une visibilité internationale dans ce domaine d'étude.

Il a indiqué ensuite que **les glaciologues** de l'IRD travaillent sur les glaciers tropicaux des Andes, et ces glaciers révèlent l'existence du phénomène *El Niño* dans des périodes reculées. Pour l'instant, seulement deux équipes travaillent sur ces thèmes, l'une aux Etats-Unis d'Amérique, et l'autre à l'IRD.

M. Rémy LOUAT a insisté également sur le problème que pourrait poser **la fonte des glaciers continentaux** quant à la ressource en eau ; par exemple, du fait de la fonte très rapide des glaciers andins qui disparaîtraient au cours des cinquante prochaines années.

Il s'est plu à souligner que **les recherches françaises sur les tropiques** sont reconnues internationalement, car les équipes sont affectées à ces terrains de recherche dans la durée, et, de plus, la France est présente par ces équipes dans les trois océans.

Il a estimé que **les recherches internationales sur le climat** étaient bien organisées, les Etats-Unis d'Amérique se trouvant en tête de ce mouvement, et la France y jouant un rôle plus important que prévu, notamment à travers l'étude des coraux dans le Pacifique, ou encore le **programme d'observation de l'océan**

Atlantique et de l'océan tropical avec l'immersion de bouées fixes remontées périodiquement pour envoyer des données vers les satellites. Les instruments de mesure sont américains et la maintenance est française. Il y a là un bon exemple de coopération et de compétitivité.

Il a ensuite insisté sur l'importance des **observateurs** pour la collecte de données. Ces auxiliaires indispensables sont très respectés aux Etats-Unis d'Amérique, ce qui n'est pas encore le cas en France, même si le développement de cette activité semble redevenir à la mode.

A propos des **moyens de l'IRD**, M. Rémy LOUAT a noté qu'ils étaient à peu près égaux à ceux du CNRS pour le fonctionnement, mais qu'il se manifestait actuellement une pénurie d'ingénieurs et de techniciens. Quant aux recrutements locaux, ils ont été développés dans la mesure où des intégrations massives (plus d'une centaine) ont été obtenues à la suite de recours administratifs, même si les niveaux de qualification ont pu être jugés pas toujours adaptés aux programmes scientifiques.

Revenant au **changement climatique en cours**, M. Jacques MERLE a estimé que constituaient des certitudes, à la fois le réchauffement, l'intensification de l'effet de serre, et les perturbations liées à ces modifications. Il a relevé que **le réchauffement survenu depuis le début du siècle s'est infléchi au cours des années 1930-1960**, qui étaient pourtant des années de forte activité industrielle, ce qui laisserait supposer que le réchauffement provient d'une autre cause que de l'action de l'homme.

En ce sens, il a rappelé que vers l'an 1000 le Groenland était vert, et que les causes du petit âge glaciaire demeuraient mal connues. Il a insisté sur le caractère récent de beaucoup de données. Par exemple, **ce n'est que depuis 1970 que le rôle de l'océan dans le climat est reconnu**. Auparavant, même de grands océanographes refusaient d'admettre l'impact de l'océan sur l'atmosphère.

Il a insisté sur le refroidissement momentané des côtes, qui pourrait résulter de la fonte des glaciers, tout en observant que certaines variations se feraient ressentir en une dizaine d'années, tandis que d'autres ne seraient perçues qu'à l'échelle du millénaire.

Il a estimé que, même si aujourd'hui les modélisateurs ne prennent pas en compte toute la complexité océanique, il est vraisemblable que des progrès très rapides seront constatés dans la connaissance des océans.

M. Jacques MERLE a estimé qu'il n'incombait pas aux organismes de recherche eux-mêmes de financer, chacun dans son domaine, l'équivalent d'**un grand programme national d'études dynamique sur le climat**, car cela aboutirait à une politique excessive de chacun pour soi. En réalité, un financement national devrait être trouvé pour que la France soit à la hauteur des confrontations internationales sur ce thème.

En **Europe**, l'IRD escompte se fonder dans les activités européennes prévues, ce qui n'est pas tout à fait évident du fait des DOM-TOM, victimes de certains préjugés de la part d'autres pays européens.

Au sujet des relations éventuelles entre l'IRD et **les mouvements écologistes**, il a été précisé que l'IRD ne finançait pas ces organismes.

Enfin, il a été indiqué que l'IRD s'intéressait aussi au **lien entre climat et santé**.

JEAN-MARC JANCOVICI ⁽¹⁾
INGÉNIEUR CONSULTANT

(5 octobre 2001)

Après avoir rappelé que **la concentration de gaz carbonique dans l'atmosphère** avait été bien supérieure au cours de l'ère tertiaire à ce qu'elle est aujourd'hui, M. Jean-Marc JANCOVICI a souligné que la différence entre les deux situations venait de ce que la période actuelle est caractérisée par l'existence d'une augmentation très brutale de la concentration à l'échelle des temps géologiques ou même historiques

Il a rappelé l'existence des courbes réalisées par le GIEC avec les constantes de temps des diverses **réponses à l'augmentation de l'effet de serre**. Il a rappelé aussi qu'il était nécessaire de réfléchir beaucoup plus largement à ce qu'il est envisageable de faire face à cette situation, et éventuellement à ce qu'il n'est pas possible de faire, la limite entre les deux n'ayant cependant pas de réponse dans l'absolu.

Il s'est demandé si les choix à opérer étaient bien du seul ressort des hommes politiques et s'il serait possible de stabiliser la concentration de gaz à effet de serre au double de ce qu'elle est aujourd'hui. Il a souligné que cet objectif serait particulièrement difficile à atteindre avec le schéma de pensée actuel.

Pour autant la difficulté provient aussi du fait qu'**aucun seuil de réchauffement ou de concentration de gaz à effet de serre n'a été vraiment identifié comme séparant le déclenchement d'une apocalypse d'une situation sans risques** : nul ne peut affirmer qu'une augmentation de tant de degrés en telle année constituerait le tournant décisif de l'évolution en cours.

(1) M. Jean-Marc JANCOVICI (www.jancovici.com) est co-auteur de « L'Effet de serre » - Flammarion, coll. Dominos, 2001

M. Jean-Marc JANCOVICI a communiqué quelques ordres de grandeur. **Aujourd'hui, en moyenne, chaque habitant de la planète émet une tonne d'équivalent carbone par personne et par an tandis qu'un Américain en émet sept.** En se fixant un ordre de grandeur de 500 kilos de tonne d'équivalent carbone d'émission de gaz à effet de serre par habitant et par an (cette quantité correspond à la limite à ne pas dépasser pour que la concentration atmosphérique cesse d'augmenter), cela supposerait qu'un Français divise son taux d'émission par quatre et un Allemand par six tandis qu'un Chinois ou un Indien se trouverait déjà sensiblement à ce niveau.

A travers cet exemple, M. Jean-Marc JANCOVICI a insisté sur **la difficulté de la vulgarisation scientifique sur le problème de l'intensification de l'effet de serre**. D'une manière générale, il a estimé que la presse grand public était mal armée pour effectuer de la vulgarisation scientifique et qu'il reviendrait peut-être à la puissance publique d'effectuer un effort pour que chacun se sente concerné et agisse au quotidien.

A ses yeux, il ne s'agit pas d'imposer un comportement, mais de **sensibiliser aux côtés irréversibles des phénomènes climatiques**, de commencer à appréhender les ordres de grandeur et à **entrevoir qu'un changement radical du mode de vie pourrait être une solution**.

Peut-être faudrait-il valoriser la vulgarisation au sein des laboratoires scientifiques car si le GIEC est parvenu à faire passer une grande partie de ses idées dans un cercle restreint, ses rapports risquent de sembler indigestes au grand public et il reste à trouver une manière de traduire le discours scientifique pour le plus large public. Est-ce la mission du Palais de la Découverte, de la Cité des Sciences ? Faudrait-il aller jusqu'à organiser des conférences de chercheurs dans les collèges, dans les lycées, et auprès des étudiants ? Enseigner l'histoire de l'environnement ou créer au sein de la Fondation Nicolas HULOT des bourses de recherche pour des étudiants ?

Toujours est-il que M. Jean-Marc JANCOVICI a jugé impérieux de **trouver un langage commun, y compris à destination des politiques** qui sont trop peu nombreux à se sentir concernés et généralement trop mal informés.

Il a souhaité que la classe politique en général trouve le temps de s'interroger sur le long terme, peut-être au moyen de la réhabilitation du Commissariat Général du Plan. **Il a déploré que la plupart des hommes politiques croient que l'intensification de l'effet de serre est un problème à court terme auquel pourra être trouvée une solution le moment venu. Or, c'est le contraire. Il s'agit de très long terme et d'une problématique irréversible** -ce qui est à rapprocher des décisions prises à propos du troisième aéroport parisien et de l'autoroute Bordeaux-Clermont-Ferrand, la priorité accordée à la lutte contre l'intensification de l'effet de serre supposant logiquement, par exemple, de renoncer à ces deux projets.

Par ailleurs, la question des émissions de gaz à effet de serre concerne également le parc d'habitat comme les routes qui sont des infrastructures d'une durée de vie longue, donc influant durablement sur le niveau de ces émissions.

M. Jean-Marc JANCOVICI a ensuite particulièrement insisté sur le fait que **l'agriculture constitue la première source d'émission de gaz à effet de serre**, notamment du fait des émissions de carbone liées à la production d'un gramme de viande. En effet, la production végétale est elle-même en grande partie destinée à la production de viande, notamment de bœuf, et la consommation de viande rouge par habitant a été multipliée par deux depuis le début du siècle.

Pour apprécier les émissions provenant de l'agriculture, il faut prendre en compte, non seulement les émissions de méthane, mais celles de protoxyde d'azote et de CO₂ lié à l'utilisation d'énergie (engrais, tracteurs...). En fait, à un moment donné, il faut choisir entre diverses options plutôt incompatibles.

De plus, il est également à noter que, **dans la nomenclature de l'INSEE, l'agriculture et la sylviculture sont agrégées, ce qui n'est pas pertinent quant aux émissions de gaz à effet de serre car l'agriculture est une source d'émission et la sylviculture un puits d'absorption**. Agréger les deux revient à faire bénéficier les seules activités agricoles des absorptions des forêts, ce qui n'a pas de logique en soi mais masque une réalité.

Cependant, même les agronomes ne font pas vraiment apparaître ce phénomène et il serait souhaitable que des cours sur ces questions soient prévus, par exemple, à l'Institut National d'Agronomie.

M. Jean-Marc JANCOVICI a également souligné **l'incompatibilité entre la lutte contre l'effet de serre et l'extension de la péri-urbanisation**, qui entraîne la consommation de deux à trois fois plus d'énergie que les habitats situés en ville à surface égale ; à ce sujet, il a évoqué la nécessité de recourir à des compétences transversales pour étudier ce genre de phénomène. Or, d'après lui, aucun échelon opérationnel de synthèse n'existe en France actuellement.

Quant au **rapport entre les émissions de gaz à effet de serre et le niveau des populations**, M. Jean-Marc JANCOVICI s'est demandé s'il ne fallait pas poser le problème sous l'angle des ponctions opérées sur les ressources naturelles ; ce qui conduirait à constater que, contrairement aux apparences, ce sont les pays de l'OCDE et non ceux en voie de développement qui sont surpeuplés. Cet exemple montre d'ailleurs que l'économie ne peut pas être la clé des arbitrages dans la mesure où elle ne peut répondre aux questions politiques.

Abordant la question des **émissions par secteur**, il a souligné que le tiers des émissions concerne la consommation d'énergie tertiaire (le chauffage et les consommations d'éclairage, d'eau chaude... des logements et des locaux des entreprises), que les émissions directes des industries représentaient 20 % des émissions de gaz à effet de serre, et qu'il fallait faire attention à bien regarder les

émissions globales et non seulement l'émission unitaire par produit fabriqué. Toutefois, ce chiffre de 20 % est trompeur dans la mesure où les émissions induites par l'industrie, dont les transports des produits fabriqués comme des matières premières, le chauffage, les déplacements domicile-travail et les déplacements professionnels doivent être réintégrées, auquel cas **l'industrie apparaît comme étant à l'origine de 50 % de la consommation d'énergie, et vraisemblablement d'un pourcentage pas très éloigné des émissions de gaz à effet de serre.**

A cet égard, il a indiqué qu'un décret était en préparation sur **les indicateurs environnementaux des entreprises** et qu'il faudrait inciter à un dispositif pour comptabiliser les émissions de gaz à effet de serre par les entreprises et peut-être inclure ce dispositif dans les obligations de moyens à respecter dans le cadre de la norme ISO 14000. Il a fait remarquer que cette norme ne porte pas sur le niveau de pollution du site certifié mais simplement sur l'existence d'un objectif le concernant..

M. Jean-Marc JANCOVICI a surtout insisté sur **les limites du modèle de développement actuel** qui est adapté à un monde infini mais pas au monde réel, cette remarque procédant d'un raisonnement d'ingénieur et non d'idéologue. La croissance matérielle ne peut être sans fin ; l'effort à accomplir consiste à gérer sa limite. Telle serait la prise de conscience à opérer et qui constituerait une première.

A ce sujet, il a rappelé qu'à l'encontre des idées reçues, en dépit d'informations circulant en sens contraire, **un Américain consomme quatre fois plus de charbon qu'un Chinois, et que les émissions des voitures particulières en France sont le triple des émissions des camions et des autobus.**

Abordant une question de terminologie et de méthodologie, M. Jean-Marc JANCOVICI a souhaité que **les prolongations tendanciennes cessent de se voir qualifiées de "prévisions"**, car lorsqu'on parle de prévision, l'avenir semble déjà inscrit dans le présent et échapper par là-même à l'action de l'homme. Ce qui n'est pas le cas.

Au cours des dernières années, l'industrie a presque stabilisé ses émissions, y compris celles des biens qu'elle produit, tandis que les transports continuent de se développer fortement. Il a souligné qu'il paraissait difficile de concevoir une lutte efficace contre le changement climatique en conservant la mobilité actuelle. Par ailleurs, M. Jean-Marc JANCOVICI a souhaité souligner que **le Danemark est le premier émetteur de gaz à effet de serre par habitant en Europe (et donc le plus gros pollueur d'Europe de l'environnement global)**, alors que la Suède, qui connaît des conditions climatiques voisines, est bien placée du point de vue des émissions de gaz à effet de serre grâce à son énergie hydraulique abondante et au nucléaire. Il faut donc se méfier des intentions affichées -les Danois sont réputés pour se déclarer soucieux de l'environnement- et regarder les faits et non les discours.

La Suisse, de son côté, est également très bien placée avec des centrales hydrauliques et nucléaires contribuant chacune pour moitié environ à la production d'électricité. De plus, elle offre un exemple de **conjonction entre PIB par habitant**

élevé et émissions de gaz à effet de serre par habitant faibles. Elle doit probablement cette caractéristique, aussi, à un taux important d'utilisation de modes alternatifs à la voiture et à une économie fortement tertiaisée. De surcroît, son système référendaire lui permet de consulter l'ensemble des citoyens sur des sujets pris isolément, ce qui limite les possibilités de vouloir tout et son contraire avec le même bulletin de vote.

Abordant ensuite la question des **alternatives énergétiques**, M. Jean-Marc JANCOVICI a indiqué que la première option consistait prioritairement à **consommer moins d'énergie**. Il a noté que la division par deux ou par trois de l'énergie consommée par Français n'imposait pas de revenir à l'âge de pierre, mais simplement au niveau de consommation énergétique, des années 60. De plus, il a estimé que **la sobriété énergétique** impose l'amélioration de la technologie, ce qui ne saurait être mauvais pour l'économie, même si cela n'est pas obligatoirement bénéfique pour les acteurs actuellement dominants dans le domaine économique. Il a reconnu que **les remises en cause sont d'autant plus difficiles à opérer que les acteurs raisonnent uniquement à partir de l'équilibre actuel alors que toute mutation entraîne des gagnants et des perdants**. Mais, à ses yeux, le but poursuivi, à savoir permettre à l'homme de continuer à vivre en tant qu'espèce dominante sur la planète vaut bien quelques changements dans "l'économie" de tel ou tel pays.

A ce propos, il a critiqué les évaluations présentées dans différents cercles concernant **le coût économique de la lutte contre l'effet de serre**, les calculs effectués étant souvent dénués de sens sans rappels des hypothèses et n'ayant, en tout état de cause, aucune valeur normative.

Interrogé par ailleurs sur les récentes difficultés du transport aérien, notamment celles de la Compagnie aérienne SWISSAIR dans la mesure où ce secteur n'est pas sans influence sur l'effet de serre, M. Jean-Marc JANCOVICI a estimé qu'il s'agissait là d'un épiphénomène dans la mesure où l'activité de cette compagnie serait reprise par d'autres et que ces difficultés ne traduisent en fait aucune remise en cause du bien absolu que semble constituer, aux yeux de la plupart des contemporains, **la croissance du transport aérien**.

Revenant sur les énergies alternatives, il a précisé qu'aucune solution ne se dégagerait si les Français ne changeaient rien à leurs habitudes et que **la solution ne consistait sûrement pas à voir l'ensemble de la planète vivre comme des Européens d'aujourd'hui** ; un tel scénario ne pouvant qu'engendrer des catastrophes bien supérieures à celles évoquées dans les plus sombres prévisions du GIEC. A l'inverse, il a estimé que **si les pays développés donnaient l'exemple des économies d'énergie, cela serait de nature à convaincre les autres pays de ne pas imiter l'exemple du gaspillage**. L'économie toute entière pourrait se mettre au service du « moins d'énergie », le nucléaire et le solaire devant être développés en priorité.

Au passage, M. Jean-Marc JANCOVICI a considéré que **l'énergie éolienne** n'offrait aucune marge de manœuvre significative, que le Danemark qui avait mis l'accent sur celle-ci n'en tirait que 2 % de sa consommation, que cette énergie

présentait le défaut majeur d'être irrégulière et donc ne constituait qu'une solution très limitée. De plus, **le développement de l'éolien oblige concomitamment à posséder davantage de centrales à combustibles fossiles** (ou des barrages, mais le potentiel est réduit pour ces derniers) pour régulariser le flux d'énergie intermittent provenant de l'éolien. En somme, l'installation de quelques éoliennes ici ou là donne bonne conscience à peu de frais aux pays concernés. Toutefois, ces éoliennes pourraient peut-être servir à fabriquer de l'hydrogène en des endroits reculés (Kerguelen...), sous réserve que les rendements de filière (non étudiés) soient acceptables.

A l'inverse, **l'énergie solaire pourrait être très intéressante** dans de nombreux pays car l'énergie solaire thermique est dès aujourd'hui rentable pour la collectivité ; elle a, de plus, le mérite de créer des emplois dans le pays où elle est utilisée alors que l'énergie tirée du pétrole ou du gaz crée des emplois en Arabie, en Algérie ou en Norvège mais peu en France. En outre, il serait possible de développer au plan individuel le recours à des panneaux solaires thermiques. Leur installation pourrait créer des emplois dans le secteur de la plomberie, même si cela doit se faire au détriment des emplois des grandes firmes pétrolières.

Pour l'instant, le solaire nécessite un gros investissement au départ avant de devenir un vrai projet industriel. Cette énergie solaire thermique intéressant aussi les pays nordiques est possible à stocker. Il faudrait encourager son développement par des incitations fiscales ou des primes à distribuer, ce qui serait justifié, M. Jean-Marc JANCOVICI estimant à 15 % les économies d'énergie qui pourraient en résulter pour la France.

Après avoir souligné une nouvelle fois que les économies d'énergie devraient constituer la première priorité d'action, M. Jean-Marc JANCOVICI a considéré que **le nucléaire est une énergie très intéressante** et supposant de passer dès que possible au stade de **la surgénération**. Il a noté au passage qu'il serait peut-être judicieux de stocker de l'uranium dès aujourd'hui avant un nouveau choc pétrolier et que l'extension du nucléaire à l'échelle mondiale demeure impossible sur le long terme en l'absence de surgénération.

A propos **des dangers de l'énergie nucléaire**, il a cité l'Organisation Mondiale de la Santé et les Nations Unies, qui établissent toutes deux le bilan de Tchernobyl à 50 morts environ tout en relevant que l'un des effets décelables de la catastrophe fut de causer environ 2.000 cancers de la thyroïde qui, heureusement, se soignent très bien.

Il a relevé que l'énergie nucléaire a été diabolisée ce qui se comprenait dans un certain contexte historique, mais aujourd'hui, alors que la diminution des émissions de gaz à effet de serre est recherchée, le nucléaire demeure une bonne solution pour la France.

Enfin, à propos de **la biomasse brute**, M. Jean-Marc JANCOVICI a jugé que celle-ci pouvait être utilisée utilement pour un chauffage local, mais moins pour une utilisation loin de son lieu de production, le bois étant fort coûteux à transporter.

En tant que source de carburant, la biomasse ne présente aucun intérêt puisque dans 1 litre de biocarburant, il y a environ 90 cl (voire plus d'un litre !) de pétrole.

Le rendement net des biocarburants est donc d'environ 10 % de l'énergie brute produite. Leurs sous-produits sont difficiles à valoriser et pour aider la réflexion, l'ordre de grandeur suivant peut être évoqué : si le pétrole était remplacé par de l'éthanol, il faudrait, pour obtenir la même quantité d'énergie que celle actuellement fournie par le pétrole, mettre en culture pour la production de biocarburants environ quatre fois le territoire métropolitain...

Quant à **l'urbanisme, concilier sobriété énergétique et mégapole apparaît impossible**. Il faudrait, certes, des villes nombreuses et denses, mais très réparties sur le territoire.

Au sujet de **l'automobile**, M. Jean-Marc JANCOVICI a jugé impossible de conserver un parc de 30 millions d'automobiles en France à l'échéance de quelques décennies. Il a ensuite critiqué le recours aux gaz fluorés dans **la climatisation des véhicules** car ce sont de très puissants gaz à effet de serre. De plus, la mise en marche de la climatisation entraîne la consommation de 20 à 30 % de carburant supplémentaire. Là aussi un ordre de grandeur est évocateur. La transformation de l'ensemble du parc automobile en **voitures électriques** supposerait de multiplier par deux, environ, la consommation électrique française (en fait il ne faudrait pas tout à fait doubler le parc de centrales, parce que celles-ci ne tournent pas à plein régime actuellement. Il y a donc une vraie marge de manœuvre à développer un peu le véhicule électrique pour récupérer l'électricité des heures creuses ou permettant de faire tourner les centrales nucléaires à plein régime).

Au sujet de **la filière hydrogène**, la question d'un procédé permettant d'en produire sans recourir aux combustibles fossiles demeure posée. En partant de combustibles fossiles, obtenir **une tonne d'équivalent pétrole d'hydrogène produit davantage de gaz à effet de serre que brûler directement une tonne de pétrole (ou d'essence)**. En conséquence, l'utilisation de l'hydrogène produit de cette manière serait pire pour les émissions de gaz à effet de serre que la consommation d'essence par les voitures, malgré les rendements un peu meilleurs des piles par rapport au moteur à explosion.

M. Jean-Marc JANCOVICI a considéré que **dans le monde de demain, l'énergie primaire devrait être très largement électrique**, que le nucléaire d'avenir utiliserait plutôt du thorium que de l'uranium et les techniques de surgénération. En effet, le nucléaire sans surgénération n'est pas une énergie durable mais bien une énergie fossile comme les autres alors que la surgénération permet de multiplier les ressources par plusieurs centaines.

A cet égard, il a rappelé les critiques souvent adressées **aux coûts de la recherche nucléaire**, en relevant qu'il importe de comparer ceux-ci au budget exploration des compagnies pétrolières qui représente deux fois le budget de recherche du nucléaire civil à consommation comparable. En fait, le nucléaire est une brique indispensable de l'approvisionnement énergétique de demain, ce qui n'est pas antagoniste avec le développement très significatif de certaines énergies renouvelables (mais toutes ne sont pas équivalentes) et surtout d'ambitieuses économies d'énergie. Une partie de la réponse qui a suivi le premier choc pétrolier (nucléaire et économies d'énergie) n'a pas cessé d'être d'actualité.

En fin d'entretien, M. Jean-Marc JANCOVICI a considéré que **la société de loisirs demeurerait une société de mobilité aussi longtemps que l'énergie serait abondante et les conséquences de son utilisation massive peu visibles**. Il a estimé que cette société vivait trop dans l'instant, dans l'impatience, chacun voulant obtenir tout, tout de suite, et que cela n'aide pas à préparer l'avenir.

MME CORINNE LEPAGE

ANCIEN MINISTRE DE L'ENVIRONNEMENT

(11 octobre 2000)

En préambule, Mme Corinne LEPAGE a évoqué **la prochaine Conférence internationale sur le climat, organisée à La Haye**, et a jugé très improbable l'émergence d'un compromis tant les positions de pays comme les Etats-Unis d'Amérique, l'Inde, ou encore la Russie, se trouvent en divergence.

C'est ainsi que les Etats-Unis d'Amérique arrivent à cette Conférence avec plusieurs points de blocage, que l'Inde refuse le mécanisme de développement propre, préférant généraliser la technique solaire ou le nucléaire, tandis que la Russie pourrait se retrouver avec beaucoup de permis d'émissions à vendre.

Mme Corinne LEPAGE a également indiqué que ces négociations se déroulant par groupe d'Etats, il en résultait une très grande rigidité pour les négociateurs.

Or, a-t-elle estimé, **cette situation n'est pas du tout favorable aux industriels** qui ont besoin de signaux clairs pour investir et ne peuvent se permettre d'attendre ces signaux plusieurs années. Pour l'instant, cette communauté est très favorable aux **permis négociables**, d'autant que la taxe générale sur les émissions de carbone approcherait un prix de base de 35 dollars la tonne alors que le prix actuel des échanges se situe plutôt autour de 20 dollars. Il est vrai que le taux de la taxe est fixé en fonction des besoins résultant de la législation sur les 35 heures hebdomadaires de travail et non issu de l'analyse du marché.

Mme Corinne LEPAGE a craint que l'échec de la Conférence de La Haye fasse prendre dix années de retard, ce qui risquerait de décourager les entreprises, d'autant que le chef d'entreprise moyen est déjà très ignorant sur ce sujet. Il souffre, comme la plupart de la population, y compris les politiques, d'une **mauvaise information sur le thème de l'effet de serre**. A l'inverse, les entreprises multinationales ont compris les enjeux et l'intérêt qu'elles peuvent tirer de ce nouveau système.

C'est pourquoi une mise en place graduelle a paru envisageable pour les seules entreprises privées. Déjà, BP-AMOCO a organisé un système interne d'échange de permis à l'intérieur de son groupe, ce système ayant été mis sur Internet. Les opérations « *Gas one* » puis « *Gas two* » ont permis à quatorze entreprises sur seize d'atteindre leurs objectifs grâce à des investissements et non par des recours aux permis.

Des marchés privés d'échanges négociant à la tonne de carbone autour de 10 dollars sont apparus à Londres comme à New-York, les pouvoirs publics n'étant pas associés à cette initiative.

Abordant les perspectives de la France, Mme Corinne LEPAGE a déploré que **le plan JOSPIN de février 2000** risque de pénaliser le pays vers 2004 ou **2005**. En effet, si les 8 % de réduction moyenne d'émission de gaz carbonique ne sont pas atteints pour l'Europe, chaque pays devra être à même de faire lui-même un effort de réduction de 8 %. Or, la France n'est tenue qu'à 0 % pour l'instant...

Mme Corinne LEPAGE a considéré que **des mesures sur les transports étaient indispensables**, mais difficiles à mettre en œuvre, d'où l'intérêt des permis. Elle a jugé également que **la Russie** pouvait être aidée sans passer par les permis négociables et qu'il fallait **éviter de parler de droits à polluer au lieu de permis négociable**, sous peine d'être incompris et de provoquer un problème de communication.

Elle a estimé aussi que **le protocole de Kyoto** avait été mal négocié et que l'impréparation de Kyoto avait privé la DG XI d'une position de repli en cas de rejet des permis négociables ; les Etats-Unis d'Amérique s'étaient contentés d'accepter quant à eux l'effort de réduction des émissions de gaz carbonique à la condition que des permis négociables soient mis en œuvre, et la Russie n'ayant accepté qu'à condition d'avoir son propre objectif de réduction fixé à 0. Dans la négociation, **l'Europe a dû accepter à la fois les permis et le taux 0, ce qui est contradictoire puisque la vente d'air chaud (« hot air ») est incompatible avec l'existence de permis négociables. Il aurait fallu pouvoir fixer des règles de comptabilité des émissions de carbone et des sanctions**, mais le vice-président américain AL GORE ne voulait pas négocier le niveau de vie américain.

A la suite de **la Conférence de Buenos Aires**, les Etats-Unis d'Amérique ont obtenu que certains pays du Sud, comme l'Argentine, entrent dans le jeu, et qu'il n'y ait pas de limitation au recours à des permis négociables. **L'Europe n'a rien obtenu.**

Aujourd'hui, les Etats-Unis d'Amérique ambitionnent de créer un vaste marché de permis, ce qui n'est pas incompatible avec une réglementation. Dans ce cadre, il serait possible d'organiser une baisse progressive des plafonds, puis de laisser jouer la concurrence.

Mme Corinne LEPAGE a rappelé que **le ministre de l'environnement, Mme Dominique VOYNET, n'était pas favorable aux permis négociables à l'origine**. C'est elle qui va négocier au nom de l'Europe à La Haye, mais le manque de spécialistes autour d'elle risque de handicaper la présentation de ces arguments, étant précisé que la définition d'une position commune dans une Conférence internationale demande au préalable une véritable tournée des capitales européennes pour harmoniser les points de vue.

Quant aux **changements climatiques**, même si les opinions scientifiques divergent parfois, il semble bien qu'ils soient véritablement en cours, ce qui induit un certain pessimisme par rapport à la situation d'il y a encore cinq ans, d'autant que **le protocole de Kyoto semble de plus en plus n'offrir aucune chance d'atteindre les engagements modestes qui y sont inscrits**.

Néanmoins, que se passera-t-il si les problèmes de l'Afrique remontent vers le Maghreb ? Qu'advient-il des épidémies de dengue ou de malaria ? Qu'advient-il de la culture de la vigne ?

Citant **le rapport de la mission interministérielle de l'effet de serre**¹, qu'elle avait commandé à la fin de l'année 1995, Mme Corinne LEPAGE a déploré la sorte de fin de non-recevoir que le monde scientifique a opposé d'abord à cette idée, sur laquelle même le ministère de l'Environnement s'était montré réservé.

Au-delà d'une étude comparative menée sur ce sujet et sur les réactions des opinions publiques en Allemagne, en France et en Belgique, elle a noté qu'en **Allemagne** en 1990, une commission mi-publique, mi-privée a travaillé sur ce thème. Son travail a été largement diffusé auprès des chambres de commerce, des municipalités et a suscité **un immense débat national**, aboutissant à la première position nationale officielle en 1994. Un débat a également eu lieu en **Belgique**.

Mme Corinne LEPAGE a déploré qu'en **France, la question est apparue comme confisquée par les ingénieurs des mines** et il a été difficile pour le ministère de l'Environnement de s'emparer du sujet. Or, pour les ingénieurs des mines, le nucléaire ne dégageant pas de CO₂, il n'y a pas véritablement d'effort de réduction de l'effet de serre à fournir pour la France. Mais, cette position est difficilement tenable sur le plan international, d'autant que même si la France émet moins de gaz à effet de serre qu'elle ne le ferait avec des combustibles fossiles brûlés en plus grande quantité, **le changement climatique ne peut manquer de concerner la France**.

Cette approche renvoie au problème de gestion des conflits d'intérêt dans la société française et amène à considérer qu'**il serait souhaitable d'écarter du débat tous ceux qui possèdent un intérêt dans les prises de décision**. Si l'Administration confisque le débat, les efforts à faire risquent de ne pas apparaître car tous les bouleversements considérables exigeant des actions de long terme supposent

(1) « Impacts potentiels du changement climatique en France au XXIème siècle » (Décembre 1998).

d'impliquer les Français individuellement dans la lutte contre le changement climatique. Il serait souhaitable de créer des réflexes, quitte à les susciter par des incitations financières.

Dans cet esprit, Mme Corinne LEPAGE s'est donc déclarée tout à fait favorable à l'idée de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques de produire **un CD-rom sur le changement climatique.**

Elle a ensuite évoqué quelques **moyens de lutte contre l'effet de serre** en notant, par exemple, que si le transport et l'habitat représentent 50 % des émissions, **la collecte des déchets organiques** pourrait constituer un réservoir de biomasse producteur d'électricité.

Une autre piste consisterait à **inverser les priorités dans l'investissement rail-route.** La SNCF de son côté devrait faire autant d'effort pour le fret que pour les voyageurs.

Quant au transport fluvial, il reste à relancer, notamment à travers **le canal Seine -nord**, mais non le canal Rhin-Rhône.

Au travers de ces actions, il conviendrait d'agir, sans punir comme trop souvent c'est le cas, pour que le maintien de l'environnement devienne une sorte de tirelire fiscale. **Il s'agit de responsabiliser et de modifier les comportements.**

Interrogée ensuite sur l'écho recueilli par **le rapport de la Mission Interministérielle de l'Effet de Serre (MIES)**, Mme Corinne LEPAGE a regretté **que celui-ci soit resté trop confidentiel et que les schémas directeurs d'aménagement du territoire ne soient pas établis en liaison avec ce travail.**

Elle s'est interrogée sur l'utilité de dresser aujourd'hui **un atlas des zones inondables** à situation constante alors que c'est précisément l'évolution de cette situation qui motive l'élaboration de cet atlas. Elle a estimé souhaitable d'aller plus loin et de **préciser les conclusions du rapport de la MIES par région ou par secteur d'activité.** Il faudrait surtout **proposer une série de mesures simples montrant à chacun qu'il a une marge de manœuvre et ne pas sombrer dans le catastrophisme ou les mesures imposées.** Au contraire, l'information et l'explication doivent être développées inlassablement.

Mme Corinne LEPAGE a indiqué également que **de grandes différences dans la prise de conscience actuelle du changement climatique apparaissent.** Avant 1995, tout le nord de l'Europe se sentait très concerné et un rapport avait même paru au Royaume-Uni dès 1994. En Espagne, un conseil informel s'est tenu à Séville en 1995 afin d'étudier notamment les conséquences d'une sécheresse extrême. A cette époque, l'eau fut coupée à Séville deux à trois heures par jour. Malgré tout cela, il est regrettable de noter qu'**aucun article de presse n'est jamais totalement exact sur ces questions.**

A propos des **énergies renouvelables**, Mme Corinne LEPAGE a estimé qu'elles constituaient une solution d'avenir, résidant davantage dans **le solaire** que dans l'éolien, notamment dans **les DOM-TOM** où, par exemple en Guadeloupe, 25 % de l'électricité peuvent résulter de l'énergie solaire, donc d'une énergie renouvelable. Dans l'île de la Désirade, seules les énergies renouvelables sont utilisées ; de même à Camopi, en Guyane. Mais **EDF freine cette évolution alors que les entreprises françaises ont un vrai savoir-faire en énergie solaire**. Toujours est-il que l'objectif serait d'atteindre 10 % de la consommation d'énergie grâce aux énergies renouvelables ; il s'agit là d'un objectif très optimiste d'autant qu'il restera encore 90 % provenant d'autres sources d'énergie.

Mme Corinne LEPAGE a insisté ensuite sur l'intérêt du **plan présenté par M. Yves COCHET**, mais s'est interrogée sur les possibilités de financement de ce programme.

Abordant la question des **véhicules automobiles**, Mme Corinne LEPAGE a noté que **la voiture à hydrogène** semblait à certains un objectif réaliste dans une dizaine d'années, que **le moteur bi-mode** conçu par Volvo et qui avait suscité des réticences de Renault et de Peugeot a été finalement fabriqué par Toyota. Elle a insisté aussi sur l'intérêt de **la voiture électrique** agréable à conduire, apaisante, atteignant une vitesse d'environ 70 km/heure, mais nécessitant huit heures de recharge et atteignant un coût assez élevé et qui est d'ailleurs relativement dangereuse du fait de son silence. Pour l'ensemble de ces raisons, les constructeurs apparaissent assez réticents à développer la construction de tels modèles.

Quant à **l'énergie nucléaire**, Mme Corinne LEPAGE a jugé son utilisation encore **indispensable pour au moins une trentaine d'années**. Elle a noté par ailleurs que même s'il était **difficile de découpler la croissance économique de la croissance énergétique**, les Etats-Unis d'Amérique venaient d'y parvenir pour la première fois cette année. Des secteurs industriels ont aussi fait des efforts en ce sens. Par exemple, les verriers et les cimentiers français ont signé des accords de réduction de la consommation d'énergie qu'ils ont tenus.

Après avoir rappelé que **la récupération du méthane** offrait des gisements d'économie d'énergie, Mme Corinne LEPAGE a souligné que pour **l'habitat**, des incitations fiscales seraient à développer même si elles suscitent d'emblée l'hostilité du ministère des Finances.

Elle a déploré ensuite qu'une disposition de la loi sur l'air prévoyant d'indiquer **les consommations d'énergie d'un local** au moment de la prise de possession de celui-ci ne soit pas appliquée. Elle a aussi fait observer que **la climatisation** demeurerait un système très coûteux.

Quant à **l'urbanisme**, elle a noté que les villes étaient adaptées à la voiture, donc en général plutôt mal faites, et ne traduisant aucune expression politique. Elle a regretté qu'aucun ordre entre les schémas directeurs et les POS ne soit véritablement instauré.

Questionnée sur **le retour des taxes perçues sur l'environnement à l'environnement**, Mme Corinne LEPAGE a souhaité que ce retour soit systématique et noté que cela constituait d'ailleurs une des conditions de l'acceptabilité des nouvelles taxations.

Enfin, au sujet du **transport aérien**, Mme Corinne LEPAGE a préconisé **la taxation du kérosène** et déploré la multiplication des vols accompagnés de taux de remplissage des appareils en diminution. Elle a souligné que souvent les trains à grande vitesse étaient plus intéressants que l'avion et qu'**il faudrait admettre que le développement du transport aérien se devait d'être compatible avec le développement de l'ensemble de la société**, étant rappelé que chaque passager aérien entraîne la consommation de quatre à cinq litres de kérosène. Toute évolution de cette situation dépendrait d'une décision mondiale.

METEO FRANCE

M. Daniel CARIOLLE, Directeur de la recherche

(21 décembre 1999)

M. Daniel CARIOLLE a indiqué que les **interactions santé-climat** constituaient des problèmes trop peu étudiés. C'est ainsi qu'en Afrique ou dans la zone équatoriale, le nombre des épidémies pourrait augmenter du fait du réchauffement climatique touchant ainsi les humains ou encore davantage les animaux. Il a donc insisté sur l'importance des maladies tropicales et leur étude dans le cadre de l'évolution des climats.

A propos des **changements climatiques** en général, il a estimé que les problèmes les plus difficiles concernaient l'évolution du cycle hydrologique, avec de possibles répercussions sur la gestion de l'eau qu'il faudrait étudier sur une base régionale. Aux latitudes moyennes une élévation de température de quelques degrés ne devrait pas s'accompagner de grands bouleversements mais que ceux-ci existaient tout de même, comme par exemple en Sibérie où le climat deviendrait plus clément. En revanche plus au sud de l'Europe, en Espagne, voire sur le sud de la France, l'impact pourrait être plus fort.

Quant aux **DOM-TOM**, l'élévation de température et l'évolution du régime des précipitations seront notables avec de possibles répercussions sur l'érosion des sols, mais les dernières études montrent qu'il n'est pas certain que le changement climatique y provoque davantage de cyclones.

Abordant la question des **modèles de changements climatiques**, M. Daniel CARIOLLE a rappelé l'existence en France de modèles couplés, océan-atmosphère-biosphère, qui reproduisent de manière satisfaisante les grands traits du climat, notamment les circulations générales de l'atmosphère et de l'océan. Il a estimé que ces modèles étaient d'ores et déjà aptes à fournir des scénarios climatiques valables, mais que les modules relatifs à la végétation, à l'hydrologie de surface et à la chimie de l'atmosphère incluant les aérosols étaient encore à perfectionner.

Il a signalé que Météo France travaillait ainsi, au sein du programme international GEWEX, sur **un modèle relatif aux débits du Rhône** qui permet une reconstitution de la variabilité de ces débits en fonction des fluctuations climatiques et de la pression anthropique comme l'irrigation et l'impact des barrages.

Bien que l'ensemble des modèles utilisés soient en constante amélioration, M. Daniel CARIOLLE a mis en garde sur la difficulté de reproduire l'ensemble des interactions qui existent dans la nature. Il pourrait notamment **exister des effets de seuils dans l'évolution climatique (fonte d'une partie des calottes polaires, des glaciers, instabilité dans la circulation océanique,) qui ne seraient pas à l'heure actuelle complètement pris en compte par les modèles.**

Il a ensuite signalé l'importance du **programme du GICC** financé par le Ministère de l'Environnement et la Mission Interministérielle de l'Effet de Serre (MIES) pour l'étude des impacts liés aux changements climatiques, et a noté que certaines projets soutenus dans ce cadre avaient pour objet d'étudier le lien entre l'hydrologie et la température.

Au sujet de **la Mission Interministérielle de l'Effet de Serre**, il a relevé que celle-ci effectuait la synthèse des travaux scientifiques menés en dehors d'elle et notamment ceux du GIEC (IPCC) au niveau international. En outre, cette mission anime les équipes de négociateurs français au niveau international. Ces équipes n'ont cependant pas un caractère pluridisciplinaire marqué, les juristes et les économistes étant bien représentés alors que la contribution des physiciens de l'atmosphère est encore trop faible. C'est pourquoi Météo-France a mis à disposition à la MIES deux ingénieurs de la météorologie.

Dans le débat sur l'effet de serre, il est souvent argué que le lobby dominant est celui des scientifiques, ce que M. Daniel CARIOLLE a contesté en notant que ceux-ci n'ont jusqu'à présent pas obtenu beaucoup de crédits ni de postes supplémentaires pour effectuer leurs recherches. Cet état de fait conduit plutôt à une faible représentation des scientifiques auprès de la MIES, à une difficulté pour mobiliser les scientifiques peu nombreux sur les travaux du GIEC, et en définitive à affaiblir la position française dans les négociations internationales.

Prenant position sur plusieurs autres points, M. Daniel CARIOLLE a indiqué que, pour lui, **les changements climatiques étaient inexorables**, notamment dans la mesure où 50 années au moins seraient nécessaires pour pouvoir commencer à diminuer le CO₂ dans l'atmosphère si un arrêt total des émissions était opéré dès à présent (scénario utopique), et que la même diminution ne pourrait être observée que dans plusieurs siècles pour les océans. En conséquence il faut donc d'une part prendre des mesures d'adaptation au changement climatique, et d'autre part réduire au maximum les émissions en lançant notamment de vigoureux programmes de R&D dans le domaine des énergies alternatives aux combustions fossiles. Toutefois, il a aussi ajouté que **le nucléaire dans sa forme actuelle ne pouvait constituer une solution généralisable au monde entier pour des questions évidentes de sécurité.**

A propos du **trafic aérien**, il a relevé son **impact direct sur la chimie de l'atmosphère** –même si son effet sur l'ozone est considéré comme faible et si des études sont en cours sur ce point-, et son **impact sur l'effet de serre** également, dans la mesure où en addition à la consommation directe de fuel des avions, des particules carbonées et de la vapeur d'eau sont rejetées à 10 ou 15 km d'altitude qui accroissent l'effet de serre.

M. Daniel CARIOLLE s'est demandé s'il convenait d'augmenter la taille des avions, ce qui pourrait entraîner certaines économies de fuel mais peut-être pas diminuer la fréquence des nuages d'altitude. Il s'est interrogé également sur la hausse du trafic aérien, sur les problèmes de gestion au sol de celui-ci et sur l'impact exact des supersoniques.

Au sujet des **aérosols**, il a indiqué qu'une campagne de mesures avait été menée au large de l'Inde (INDOEX), et dans l'Océan Pacifique et que **la pollution soufrée diminuait en Europe tandis que les suies augmentaient**. Il a insisté sur les effets directs et indirects des aérosols à travers leur rôle dans la formation des nuages et sur les incertitudes qui y sont associées. Il a estimé qu'au total les aérosols **étaient plutôt à l'origine d'un refroidissement qui masque donc une partie du réchauffement relatif au gaz carbonique**, mais que l'on ne sait pas très bien si pour le futur l'effet des aérosols sera important vis à vis de celui du aux gaz à effet de serre.

M. Daniel CARIOLLE a estimé très vraisemblable l'évaluation faite par le GIEC d'un réchauffement global de $+ 1^{\circ}$ à $+ 4^{\circ}$ en 70 ans. En particulier aucun modèle climatique ne prévoit de refroidissement général, même si certaines simulations montrent des refroidissements locaux, par exemple, en cas de ralentissement du **Gulf Stream**.

Certains modèles permettent également d'extrapoler les calculs globaux au niveau régional. Il a donc souligné **la difficulté de se limiter, dans une étude, aux impacts sur la France**, qui constitue une entité géographique de faible étendue par rapport aux échelles étudiées.

M. Daniel CARIOLLE a également évoqué l'influence que pourrait avoir le développement des épidémies sur **l'industrie pharmaceutique**, celle de **la Politique Agricole Commune** sur l'effet de serre (mise en friche ou reboisement) et celle du réchauffement sur un changement important du **bilan hydrique, des ressources et de la qualité des eaux**.

Il s'est interrogé sur les impacts des pratiques régionales ou locales, comme **la déforestation en Amazonie**, dont il n'est pas évident qu'elle perturbe le climat au delà de la zone concernée, puis a déploré **l'arrosage systématique** opéré pour l'agriculture dans le Midi de la France qui semble souvent dépasser les limites de la rationalité (arrosage lorsque l'évaporation est maximale). Il a aussi rappelé qu'il faudrait maintenant **toujours se demander quelle quantité d'eau était nécessaire à la production d'un kilo de matière sèche**.

Quelles que soient les évolutions climatiques, **la connaissance des rétro-actions entre les différents éléments du système climatique demeure encore partielle**. Par exemple, quelle sera la réaction des plantes à un changement de climat ? (plus de carbone disponible, température plus élevée et selon les régions plus ou moins d'eau disponible). Si l'étude des climats anciens permet en partie de répondre à cette question, ce n'est pas parce que l'Afrique a été verte, à l'époque où y régnait un certain niveau de température qu'elle le redeviendra du fait du réchauffement. En l'espèce les sols ne peuvent pas être reconstitués sur des échéances aussi courtes que la centaine d'années.

Quoi qu'il en soit, il a souhaité que soient **améliorés tous les systèmes d'observation**, par exemple grâce à la cohérence des programmes spatiaux entre les pays. Ce point est vital si l'on veut pouvoir détecter le plus tôt possible les changements climatiques. L'observation du climat nécessite en particulier une très bonne stabilité des mesures qui ne peut être obtenue que par des séries récurrentes et concomitantes de satellites, et par le maintien de réseaux in-situ de qualité pour la météorologie et les autres variables du climat.

Puis, M. Daniel CARIOLLE a indiqué que pour les données relatives aux profondeurs des **océans**, les principaux organismes en charge de l'observation de l'océan (CNES, CNRS/INSU, IFREMER, IRD, Météo-France, SHOM) poursuivent la mise en place du projet MERCATOR en liaison avec le satellite TOPEX qui mesure la hauteur de l'océan et étudie les courants. Il s'agit là des premiers pas vers la constitution d'une météorologie pour l'océan qui nécessitera des moyens importants : satellites ; modèles numériques et moyens à la mer permettant de déployer bouées et sondes pour l'acquisition des données in-situ.

Aux Etats-Unis d'Amérique, **la National Oceanographic and Atmospheric Administration (NOAA)** mène également des projets sur ces thèmes qui dépassent le strict cadre de l'observation du climat. Les militaires sont en particulier, comme en France, très intéressés par les résultats relatifs aux courants marins.

**MISSION INTERMINISTERIELLE DE L'EFFET DE SERRE
(M.I.E.S.) (1)**

M. MICHEL MOUSEL, PRÉSIDENT

M. MARC GILLET, CONSEILLER

(21 décembre 1999)

M. Michel MOUSEL a annoncé que **le rapport de la MIES sur « les Impacts potentiels du changement climatique en France au XXIème siècle »** paraîtrait sous la forme d'une seconde édition, actualisée, au cours de l'année 2000. Il a précisé que la mission travaillait en aval des milieux scientifiques pour **dégager des actions** à mettre en œuvre et pour **développer des contacts internationaux**. Il a noté qu'il était difficile de passer de l'information scientifique à l'information du public et a précisé que la MIES s'intéressait par priorité à la France métropolitaine, aux DOM-TOM et aux zones de coopération.

La MIES est également chargée d'organiser des manifestations sur le territoire en liaison avec des comités scientifiques pour **attirer l'attention du public sur le changement climatique**. Deux manifestations se dérouleront, l'une dans les Alpes, dans la Vallée blanche, en juillet 2000, et l'autre en Camargue pour étudier les zones d'estuaire, en liaison avec les Hollandais et les Egyptiens, en octobre 2000.

(1) *Ouvrages publiés par la MIES :*

- « *Programme national de lutte contre le changement climatique* »
- « *Memento des décideurs* »
- « *Impacts potentiels du changement climatique en France au XXIème siècle* »
- « *Les changements climatiques et leurs incidences sur le milieu montagnard* »
- « *Le changement climatique et les espaces côtiers* »

Interrogé sur l'idée de **la parution du rapport de l'Office sur CD-rom**, M. Michel MOUSEL l'a jugée excellente et propre à favoriser la prise de conscience de l'opinion publique.

Il a ensuite indiqué que **le programme d'action 2000-2010** allait être adopté par le Gouvernement au cours du mois de janvier 2000 et qu'il servirait de base à la ratification du protocole de Kyoto.

Il a aussi attiré l'attention sur l'existence d'**un mémento des décideurs** élaboré par la MIES qui se présente sous la forme de fiches d'actions mises à la disposition des collectivités territoriales qui doivent disposer d'un tel instrument pour expliquer l'effet de serre à leurs concitoyens. A cet égard, il a précisé que les futurs contrats d'agglomération constitueraient un bon cadre pour prendre en compte les actions anti-effet de serre sur lesquelles l'Etat s'est engagé au niveau international.

Il a également rappelé qu'il existait sur ce thème un programme du Ministère de l'Environnement, **le G.I.C.C. (1)**, présidé par M. Jean-Claude ANDRÉ.

Evoquant ensuite **l'avenir des pays insulaires**, M. Michel MOUSEL a insisté sur le fait que des problèmes apparaissent maintenant dans la réalité et non plus seulement dans des études diverses. C'est ainsi qu'une recrudescence du paludisme a pu être observée dans certains d'entre eux.

Il a aussi rappelé que de nombreux organismes menaient des **recherches sur les changements climatiques**. Parmi ceux-ci, il a particulièrement cité Météo France associé au Laboratoire de Météorologie Dynamique de l'Ecole Polytechnique, le Max Planck Institut en Allemagne, et le Met Office au Royaume-Uni.

M. Michel MOUSEL est ensuite revenu sur l'importance de **la fonction de communication remplie par la MIES** qui répond à un vrai besoin puisque le protocole de Kyoto demeure une décision unique en son genre en s'opposant aux émissions de gaz à effet de serre au niveau mondial, mais la question de rendre contraignants les objectifs de ce protocole reste encore en suspens jusqu'à la conférence de La Haye qui doit se tenir à la fin de l'année 2000.

En fait, pour faire passer les véritables signaux d'alarme dans l'opinion, il serait nécessaire de **préparer de véritables émissions de télévision**.

De leur côté, **les industriels** commencent à envisager des actions, même s'ils ne sont pas encore d'accord sur les moyens à employer. Cette évolution, pas encore évidente il y a encore cinq ans, s'est poursuivie avec les pétroliers eux-mêmes qui ont évolué en activant des recherches sur les énergies renouvelables.

Une telle évolution des mentalités s'accomplit encore plus difficilement aux Etats-Unis d'Amérique.

(1) *Programme Gestion et Impacts du Changement Climatique.*

Après avoir évoqué la bonne **collaboration nouée entre la MIES et les divers cabinets ministériels ou ministères** dans leur ensemble, qu'il s'agisse de l'Economie et des finances, de l'Equipement et des transports, et naturellement de l'Aménagement du territoire et de l'environnement, M. Michel MOUSEL a insisté sur l'articulation essentielle qui devait exister avec **l'Europe**. Il a noté aussitôt la difficulté pour réunir l'indispensable unanimité sur un thème. A cette fin, pour préparer les réunions du Conseil de l'environnement, un groupe ad hoc climat se réunit tous les quinze jours, M. Michel MOUSEL étant le chef de la délégation française.

Dans le même but, **à l'étranger**, des structures analogues à celles de la France existent ou sont en voie de création. Parfois, des cellules chargées du climat sont présentes dans plusieurs ministères –c'est le cas en Allemagne- et, dans quelques pays, les ministères des Affaires étrangères pilotent ces structures. Aux Etats-Unis d'Amérique, l'information part du Ministère de l'Environnement, va au Sous-secrétariat d'Etat chargé du commerce extérieur, puis au niveau en-dessous, à l'interlocuteur de la Cellule climat de la Maison blanche puis au Département de l'énergie et, enfin, à l'Agence de l'environnement.

M. Michel MOUSEL a ensuite mentionné l'existence d'**opposants aux instructions découlant du protocole de Kyoto** avec, en tout premier lieu, les sidérurgistes et les cimentiers. Toutefois, comme ces industriels savent qu'ils devront se plier aux règles adoptées, certains comme Lafarge commencent à investir à l'étranger dans des équipements moins polluants, même si, en l'occurrence, c'est toujours le même exemple de réalisation, en République Tchèque, qui est cité.

Les évolutions seront sans doute encore plus difficiles dans la moyenne et la petite industrie. A cet égard, M. Michel MOUSEL a rappelé l'importance du rôle joué par **l'ADEME** qui peut aider les petites et moyennes entreprises à gérer des plans qui leur rapporteront.

Pour ces actions, il sera important de **mobiliser le secteur bancaire**, les assureurs s'étant déjà intéressés à la question, notamment les grands réassureurs suisses et hollandais, parfois français, encouragés par la MIES.

Evoquant pour terminer les particularités des **DOM-TOM**, M. Michel MOUSEL a estimé que le principal problème des Antilles résidait dans l'importance de sa population, que la région Guadeloupe serait représentée en tant que telle à la Conférence de Bonn sur le changement climatique et que la Charte de développement durable de Basse-Terre pouvait s'inscrire dans la perspective d'un tel changement climatique.

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE
DIRECTION DE L'ESPACE RURAL ET DE LA
FORÊT

M. CHRISTIAN BARTHOD⁽¹⁾,
SOUS-DIRECTEUR DE LA FORÊT

(5 avril 2000)

M. Christian BARTHOD, sous-directeur de la forêt, s'est plus particulièrement intéressé aux **interactions entre les changements climatiques escomptés et la politique forestière** à partir de 1991, dans le cadre de la négociation du projet de convention sur les changements climatiques. Son implication précédente dans la gestion du dossier des « pluies acides en forêt » l'a conduit à insister sur la nécessité de **bien distinguer le « certain », le « probable »**, les hypothèses scientifiques encore soumises à révision et débat scientifique, et les incertitudes dans les modélisations et calculs afférents, en soulignant le besoin de **bien préciser l'échelle géographique** pertinente pour raisonner dans chaque cas de figure. Il a rappelé à quel point il est facile et dangereux de procéder à des amalgames et de tenir alors des discours irresponsables en mélangeant ces différents niveaux de connaissance et d'analyse.

Il a rappelé que les arbres doivent pouvoir supporter une grande gamme d'événements climatiques durant leur longue vie, et que la forte variabilité génétique des populations d'arbres indigènes permet une assez bonne capacité d'adaptation aux évolutions climatiques, dès lors qu'elles se font à une vitesse compatible avec leur cycle de reproduction. Néanmoins, compte tenu de l'ampleur des changements climatiques envisagés par les experts, un certain nombre de peuplements forestiers aux limites de leur aire naturelle de répartition pourrait connaître des processus de dépérissement. Par ailleurs, **la rapidité des changements climatiques envisagés n'est pas compatible avec la vitesse naturelle de migration géographique des**

(1) M. Christian BARTHOD est ingénieur en chef du G.R.E.F.

espèces forestières. C'est pourquoi il est de la responsabilité de la politique forestière d'intégrer ces hypothèses dans le choix des essences à privilégier lors des plantations ou des régénérations naturelles.

Pour lui, **trois nécessités** se dégagent aujourd'hui : celle de veiller avec une grande rigueur à **l'adaptation des essences à leur environnement**, celle de **détecter** le plus précocement possible **les dysfonctionnements** éventuels des écosystèmes forestiers, et celle de **dynamiser la sylviculture**, pour limiter notamment les *stress* hydriques.

Il a ensuite relevé les interrogations des météorologues sur l'accroissement ou non du **risque de tempête en Europe occidentale**, compte tenu de séries chronologiques limitées à 150 ans environ, des difficultés à mesurer les vitesses extrêmes du vent, et de l'ensemble des facteurs qui peuvent expliquer l'existence de grands cycles sur près d'un siècle. Il a fait état des séries statistiques disponibles, montrant, depuis 1868, une fréquence relativement plus forte en Europe centrale qu'en Europe occidentale des très grandes tempêtes et des grands dégâts forestiers afférents.

Il a rappelé que l'intensité des dégâts causés en France par **les deux tempêtes de décembre 1999** n'a pas de précédent dans la mémoire forestière, ce qui ne permet pas néanmoins de trancher la question de la récurrence de tels événements météorologiques extrêmes. En effet, il y a quelques siècles, l'importance des dégâts était probablement limitée par la moindre surface forestière, par l'importance des taillis et taillis sous-futaies, et par une hauteur moyenne des arbres inférieure à ce qu'elle est aujourd'hui.

Depuis le premier plan de lutte contre l'effet de serre adopté en 1993, **le boisement des terres agricoles** est identifié comme un outil possible de cette lutte, même s'il ne faut pas considérer qu'il pourrait neutraliser plus de quelques pour-cent des émissions nationales de gaz carbonique. Néanmoins les importantes réserves des organisations professionnelles agricoles vis-à-vis de cette option, ainsi que plus généralement les conflits locaux sur l'occupation du sol, ont conduit à ce que cette politique n'a jamais atteint en France le niveau constaté en Irlande ou au Royaume-Uni, pays en moyenne faiblement boisés. Par ailleurs, les situations sont assez différentes d'une région à l'autre, et en règle générale **les zones faiblement boisées continuent à se déboiser** lentement alors que **les zones déjà fortement boisées continuent à se reboiser**, posant ainsi d'importants problèmes d'aménagement du territoire. **La zone privilégiée pour une politique de boisement serait le grand Ouest de la France**, où un taux de boisement plus élevé serait compatible avec la recherche d'une plus grande qualité environnementale et avec une maîtrise plus forte de la qualité de l'eau.

Les rédactions restrictives du protocole de KYOTO, ainsi que la lecture encore plus restrictive qui en est faite, posent un réel problème pour la prise en compte de toutes les contributions possibles du secteur forestier à la lutte contre l'accroissement de l'effet de serre. En effet, une approche limitée à la seule prise en

compte du carbone des très jeunes plantations peut être comprise comme **une volonté implicite de refuser la prise en compte globale des stocks de carbone en forêt** (1), alors même que le rythme de croissance des arbres est déjà fortement stimulé sur toute l'Europe par l'augmentation de la concentration du gaz carbonique dans l'atmosphère, sans doute en synergie avec l'impact des dépôts atmosphériques azotés et l'augmentation de température.

Dans le cas particulier de la France, une telle option prive de la possibilité de valoriser pleinement l'effort important de boisement, de reboisement et de conversion des anciens taillis sous-futaies, mené depuis 1946, notamment grâce au compte spécial du Trésor «Fonds forestier national ». Il est exact que les plantations des cinquante dernières années ont privilégié les essences résineuses, mais il faut parallèlement constater la tendance lourde, durant la même période, à la réduction des marchés des bois feuillus de qualité moyenne et l'augmentation constante du marché des bois résineux. Par ailleurs, les résineux font souvent partie des peuplements pionniers naturels lors de la colonisation par la forêt de nouveaux terrains.

Revenant à la question du cycle du carbone, M. Christian BARTHOD a indiqué que **la forêt européenne** présente l'originalité, à l'échelle mondiale, d'être en pleine expansion, avec **un stock de carbone en forte augmentation**. Dans le débat sur les stratégies de lutte contre l'effet de serre, il est par ailleurs trop souvent oublié **que l'emploi du bois dans la construction constitue un stockage de carbone**, et que **l'utilisation énergétique du bois** (à la condition d'avoir une chaudière bien réglée) n'augmente pas la quantité de carbone en circulation, et permet d'éviter de relâcher dans l'atmosphère du carbone fossile actuellement séquestré (2).

Du point de vue environnemental, il a insisté sur la nécessité de **comparer méthodiquement les différents matériaux entre eux**, en prenant en compte toutes les énergies fossiles nécessaires à leur mobilisation et à leur mise en œuvre, et cela sur l'intégralité de leur cycle de vie. Dans ce domaine les débats sont passionnés, et les données présentées ne sont pas toujours indemnes de restrictions mentales, compte tenu de l'enjeu d'un positionnement de tous les matériaux sous l'angle environnemental.

(1) *Total du stock de carbone en forêt : 1 820 millions de tonnes en France, selon une estimation de l'Inventaire forestier national de 1999. La capitalisation annuelle moyenne de la biomasse aérienne et souterraine des arbres forestiers est estimée à 10 millions de tonnes de carbone.*

(2) *Stock de carbone dans le bois d'œuvre en France : environ 60 millions de tonnes de carbone (Source : Serge Lochu, étude pour la MIES) ; économies annuelles françaises d'énergies fossiles par l'utilisation énergétique actuelle du bois : environ 4,5 millions de tonnes de carbone par an (Source : calcul à partir d'une estimation de MM. G.A. Morin et P. Laufer, de 1992).*

Interrogé sur la situation dans **les D.O.M. et les T.O.M.**, M. Christian BARTHOD a rappelé le très faible niveau de la récolte de bois en Guadeloupe et en Martinique, et l'existence d'une ressource potentielle de bois commercialisable à la Réunion, avec les plantations anciennes de *Cryptomeria japonica*. En Guyane, la récolte de bois est significativement plus importante, mais le développement de la filière bois est confronté aux handicaps liés à la relativement faible fertilité de la plupart des sols forestiers guyanais et aux coûts de la main d'œuvre, par rapport à des pays tropicaux voisins. Enfin, il a déclaré ne pas disposer d'informations sur la Nouvelle Calédonie.

Monsieur Christian BARTHOD a ensuite mis en perspective les atouts de **la forêt tempérée** européenne par rapport à la forêt boréale et à la forêt tropicale et intertropicale. Néanmoins, des zones de plus en plus importantes de **forêts boréales**, jusqu'à présent très peu exploitées, pourraient devenir de plus en plus attractives pour la récolte de bois, notamment au Canada et en Sibérie, dans la mesure où l'augmentation des températures pourrait permettre des cycles plus intensifs.

La forêt tropicale et intertropicale est en régression constante depuis près de cinquante ans. En Afrique, les zones très forestières se sont fortement rétrécies et sont désormais concentrées autour du bassin du Congo et de l'Ogoué. En Asie du Sud-Est, des stratégies délibérées d'exploitation intensive pour financer le développement économique du pays ont été suivies, notamment en Malaisie et Indonésie. En Amazonie, l'implantation de nouvelles populations et de grandes exploitations agricoles a eu un impact sévère sur la réduction des surfaces forestières. De façon globale, sans exclure des cas particuliers choquants, la réduction des surfaces forestières provient davantage des besoins énergétiques locaux, du besoin de terres agricoles et des plantations industrielles que d'une exploitation commerciale motivée par la seule exportation.

Le suivi de la déforestation n'est pas facile à mener au niveau mondial, car les outils statistiques manquent souvent dans les pays les plus concernés. Les inventaires de la F.A.O. restent la principale référence. Le suivi satellitaire n'est pas une panacée, comme l'ont montré les discussions du début des années 1990 sur le suivi de la déforestation en Amazonie. Par ailleurs, le ralentissement du rythme de déforestation peut n'être que temporaire, comme l'a également montré le cas amazonien.

Au sujet des puits de carbone et des **plantations effectuées par le groupe P.S.A. au Brésil**, M. Christian BARTHOD estime que dans le contexte actuellement encore mouvant d'un éventuel marché des «droits à polluer», il existe un intérêt certain à expérimenter la faisabilité des cahiers des charges et le poids des contraintes rencontrées lors de grands projets de boisement réalisés dans la zone tropicale ou intertropicale par des entreprises européennes ou nord-américaines. Les problèmes rencontrés par l'O.N.F. sur ce dossier illustrent les difficultés que peuvent rencontrer des opérateurs très qualifiés dans un environnement social et politique qu'ils ne maîtrisent pas parfaitement. Par ailleurs, il se pose la question difficile de savoir s'il n'est pas possible de proposer aux entreprises susceptibles d'être concernées par un

marché des « droits à polluer » des mécanismes permettant à la forêt européenne de profiter d'une telle opportunité.

A propos de la rédaction du **protocole de KYOTO**, M. Christian BARTHOD évoque les craintes répandues dans certains milieux environnementaux vis à vis de la contribution que la forêt et le bois pourraient apporter à la lutte contre l'effet de serre. En effet, **les contributions forestières sont parfois présentées, bien à tort, comme une alternative au besoin de réduire les émissions polluantes**. Une telle présentation ne sert pas les intérêts forestiers et conduit certains négociateurs à vouloir limiter la contribution forestière en fixant des conditions extrêmement limitatives à une telle prise en compte. Il est un fait que **les experts forestiers n'ont pu que très peu contribuer à la rédaction du compromis final de la conférence de KYOTO, et que la délégation française ne comptait pas d'experts dans ce domaine**. Par ailleurs, **les pays tropicaux n'ont pas non plus intérêt à donner un avantage compétitif aux pays européens en prenant vraiment en compte les forêts**.

Il ressort de toutes ces considérations que **les grilles d'analyse proposées par les différentes parties prenantes ne sont pas neutres, et qu'il peut s'opérer autour des négociations sur les changements climatiques des alliances a priori surprenantes, par exemple entre des défenseurs de l'environnement légitimement attachés aux réductions d'émissions polluantes et des pays tropicaux tolérant ou favorisant la déforestation à grande échelle**.

Le projet de loi d'orientation sur la forêt fait référence à la contribution du secteur de la forêt et du bois à la lutte contre l'effet de serre. Néanmoins il n'a pas été identifié de mesures législatives particulières nécessaires pour remédier à des blocages actuellement constatés en matière de boisement d'anciennes terres abandonnées par l'agriculture.

Interrogé sur **l'insuffisante association de spécialistes français au sein du G.I.E.C.**, M. Christian BARTHOD a observé que les conditions de travail au sein de ce réseau d'experts n'étaient pas très favorables à la participation de scientifiques forestiers francophones, par ailleurs très peu nombreux à investir dans cette thématique de recherche. Au nom de la M.I.E.S., M. Arthur RIEDACKER, mis à disposition par le ministère de l'agriculture et de la pêche, participe à ces négociations. Il est à noter que beaucoup de pays mobilisent des scientifiques en fin de carrière, alors que la plupart des scientifiques français ne sont pas attirés par ce type de valorisation de leur expérience. Or, **pour compter, il faut être partout, marteler le même discours, posséder une certaine capacité de nuisance pour prétendre pouvoir bloquer un compromis, et enfin être à même d'accéder aux comités de rédaction où se fait le vrai travail**.

Ayant été en charge des **négociations internationales touchant à la forêt** de 1989 à 1995, M. Christian BARTHOD a signalé que son expérience le conduisait à souligner l'originalité de ce genre de négociations qui mêlent inextricablement une dimension scientifique dans un secteur où les connaissances ne sont pas stabilisées, à

des aspects diplomatiques plus classiques. Dès lors, l'enjeu est de **savoir mêler les genres, tout en instaurant des procédures d'arbitrage qui garantissent le respect des intérêts nationaux**. Il s'agit d'un défi particulièrement difficile à relever.

Au sein du **Comité permanent forestier de l'Union européenne**, à l'initiative conjointe de la France et de la Finlande, un groupe d'experts animé par ces deux pays a été mis en place. De fait, l'expertise finlandaise s'est révélée particulièrement dynamique et seule à même d'animer un groupe d'experts. Cela s'explique probablement par les enjeux économiques et politiques de la forêt en Finlande.

Enfin, à propos de **l'écotaxe**, M. Christian BARTHOD a rappelé qu'en 1991 la France était parmi les pays qui avaient lancé ce débat, dans un contexte où son bilan d'émissions de gaz carbonique lui laissait penser qu'elle pouvait en retirer un avantage compétitif. Les discussions ultérieures, reposant sur les émissions de carbone mais aussi sur la consommation d'énergie, ont modifié beaucoup d'analyses. **Le secteur de la forêt et du bois**, dans la plupart des pays vraiment forestiers, **estime qu'un tel mécanisme fiscal et financier pourrait lui bénéficier en partie**, compte tenu des contributions qu'il peut apporter à la lutte contre l'accroissement de l'effet de serre.

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE

M. Guy LANDMANN, (1)

CHEF DU DÉPARTEMENT DE LA SANTÉ DES FORÊTS

DIRECTION DE L'ESPACE RURAL ET DE LA FORÊT

(16 mars 2000)

Après avoir indiqué que **le département de la santé des forêts** était en premier lieu chargé de la **surveillance phytosanitaire** (champignons pathogènes, insectes ravageurs,...), il a précisé que les effets de la pollution atmosphérique diffuse et du réchauffement climatique étaient également pris en compte indirectement par le biais des réseaux d'observation. Le chef du département est aussi chargé du **suivi des conventions internationales**.

Au sujet de la question des **pluies acides**, M. Guy LANDMANN a souligné le fait que **20 % des sols forestiers du territoire français sont très acides**. Ce problème concerne les Vosges et les Ardennes, ainsi qu'une partie du Massif central et de l'ensemble Bretagne-Normandie. D'où l'octroi, à partir de l'année 2000, de subventions du Ministère de l'Agriculture pour que les forestiers restaurent les sols grâce à des engrais calco-magnésiens.

Les Allemands, confrontés à un problème de même nature mais plus étendu en surface, ont restauré 1,5 million d'hectares en dix ans. On estime qu'**il serait souhaitable de restaurer 1 million d'hectares en France**, les sols acides y ayant atteint une acidité très marquée (pH compris entre 3 et 4) et étant très faiblement pourvus en cations basiques. Ainsi, sur les sols les plus appauvris les épicéas jaunissent du fait d'une carence en magnésium.

L'origine de cette acidification résulte tant d'une utilisation historique de type minier des sols forestiers que des pluies acides, mais **la restauration est mise**

(1) M. Guy LANDMANN est ingénieur du génie rural, des eaux et des forêts.

en œuvre par le Ministère de l'Agriculture et non par les pollueurs, qui sont nombreux et ne peuvent être aisément localisés en raison des transports à longue distance des polluants.

M. Guy LANDMANN a rappelé que la restauration ne devait pas être effectuée de manière brutale, pour ne pas bouleverser les écosystèmes. Ainsi, deux tonnes d'engrais par hectare peuvent produire des effets étalés sur une vingtaine d'années. Le bilan de tous les dispositifs mis en œuvre depuis quinze ans a donc été établi précisément.

Elargissant son propos, M. Guy LANDMANN a signalé qu'**il serait important de développer la vulgarisation des connaissances**. L'Office National des Forêts (ONF) et le Ministère de l'Agriculture ont ainsi décidé le financement d'une étude en vue d'élaborer un outil de vulgarisation. En effet, les données demeurent aujourd'hui trop abstraites, même si les chiffres sont connus et s'il existe des ruisseaux chargés de quantités d'aluminium telles qu'ils ne permettent plus la vie.

Face au problème de la pollution atmosphérique, **un règlement européen de protection des forêts** a été élaboré en **1987**. Il bénéficie de 6 à 7 millions d'euros par an, ce qui est relativement modeste mais indispensable pour maintenir la recherche dans ce secteur.

Des dispositifs de surveillance permanents ont été mis en place dans la forêt française. Ainsi, depuis 1987-1990 des observations sont réalisées sur 540 points fixes d'observation (20 arbres par site) à l'échelle de la métropole. Des observatoires plus intensifs, au nombre d'une centaine, ont en outre été installés pour les grandes essences : il s'agit du réseau RENECOFOR.

Cet outil polyvalent doit prendre en compte aussi bien les pluies acides que l'équilibre des écosystèmes, et M. Guy LANDMANN a jugé souhaitable d'**étendre sa fonction aux changements climatiques**, afin de pouvoir observer les liens entre ceux-ci et la pollution. Pour l'instant, il n'est cependant pas certain que les instances bruxelloises aient pris la mesure de l'intérêt de cette observation.

Abordant ensuite la question du **réchauffement climatique**, M. Guy LANDMANN a indiqué que dans un premier temps, il était possible d'estimer que le réchauffement serait favorable pour le cycle de végétation des arbres. Ainsi **en France, sur dix ans, une hausse de 0,9 degré de température en été et de 1 degré en hiver a entraîné l'apparition de 12 jours de végétation supplémentaires sur la période avril-septembre**.

En revanche, il a noté que **l'action du réchauffement sur les insectes et les champignons** n'était pas très bien connue pour l'instant. Quelques données existent cependant. Ainsi **la chenille processionnaire du pin** est remontée d'environ la moitié d'un département le long d'une ligne allant de Bordeaux à Lyon, tandis que le

chancre du châtaignier, en provenance du sud et présent depuis une quarantaine d'années en France, a gagné la Bretagne, l'Alsace et la Région Parisienne.

M. Guy LANDMANN a rappelé l'intéressant **colloque qui s'est tenu à Nancy en 1999** sur les causes et les conséquences de l'accélération de **la croissance des arbres en Europe**. L'une des conclusions en a été que **la pollution pouvait être « bonne » pour la forêt**. C'est ainsi que le CO₂ ou les dépôts azotés, ou l'augmentation de la température, peuvent conduire à une amélioration de la croissance des arbres. Mais ils peuvent aussi **entraîner une rupture d'équilibre, notamment de la nutrition minérale**.

En l'état actuel des connaissances, M. Guy LANDMANN a estimé qu'il demeurerait difficile de mener une réflexion intégrant toutes les variables, et situant les enjeux économiques et écologiques du réchauffement climatique sur la forêt. Même si l'INRA, la MIES ou le GICC ont pris de bonnes initiatives sur ces questions, ils n'en sont encore qu'au stade préliminaire.

Abordant la question de **la forêt tropicale**, M. Guy LANDMANN a précisé que **peu d'études** existaient, car les changements importants se produisent surtout aux latitudes élevées.

Quant au développement des **modèles numériques**, M. Guy LANDMANN a déploré que leur incertitude reste trop grande tant que des études sur le terrain ne sont pas menées.

Par ailleurs, il a rappelé que le **programme Gestion et Impact des Changements Climatiques (GICC)** géré par le Ministère de l'Environnement concerne tous les milieux, mais que la forêt n'a pas encore trouvé sa place dans cet appel d'offres, peut-être du fait de la difficulté des forestiers à présenter un discours suffisamment compréhensible ou à dégager des axes de réflexion. Il a souhaité que le Groupement d'Intérêt Public (GIP) ECOFOR, parvienne à mener à bien six ou huit programmes, dont un concerne la forêt et les modifications de l'environnement, et qu'il prenne donc en compte les changements climatiques, la pollution atmosphérique, etc....

Evoquant **les journées scientifiques et techniques qui se sont tenues en juin 1999 à Nancy** et qui étaient organisées par l'INRA, M. Guy LANDMANN a rappelé qu'elles avaient trait à l'impact de l'effet de serre sur la forêt.

Il a estimé que l'évolution de l'aire des forêts en altitude et dans certaines zones géographiques suite aux changements climatiques, le dépérissement de massifs composés de certaines essences du fait de la sécheresse, et la modification de l'aire de répartition et des niveaux de population des insectes ravageurs et des champignons pathogènes (certains étant amenés à se développer et d'autres à régresser sans que l'on puisse dire à l'avance lesquels) montraient la nécessité d'un renforcement du suivi de ces modifications.

De ces études pourraient naître des réponses sur la nécessité de planter certaines essences dans certaines zones pour tenir compte des changements observés. C'est ainsi que le rapport de la MIES a noté qu'il serait intéressant de planter des pins plus résistants, ou de coupler le chêne et le hêtre par exemple en Normandie, le hêtre étant davantage menacé par la sécheresse, mais le chêne étant plus cher et poussant moins vite. La réponse à certaines questions permettrait de pouvoir **décider si l'anticipation du changement climatique doit être lancée dès maintenant, et de motiver en ce cas des replantations en conséquence.**

Concernant **la recherche sur les évolutions de la forêt par rapport au climat**, M. Guy LANDMANN a indiqué que les Anglo-saxons disposaient de modélisations rustiques mais utilisables, tandis que les Français travaillaient sur des modélisations plus ambitieuses mais encore inutilisables. Un équilibre reste à trouver entre ces deux approches, de même qu'une enceinte appropriée pour les débats sur ce thème.

M. YVES COCHET
MINISTRE DE L'AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE ET
DE L'ENVIRONNEMENT

(6 décembre 2001)

M. Yves COCHET a rappelé que, depuis sa nomination au Gouvernement, il avait participé à deux **conférences internationales** relatives au climat, à **Bonn** et à **Marrakech**, et qu'il considérait que ces deux conférences avaient constitué **des succès**. En effet, elles avaient permis de préciser les méthodes pour la mise en œuvre du protocole de Kyoto dans quatre domaines : les puits de carbone, l'aide aux pays du Sud, l'observance et les mécanismes de flexibilité. Il s'est donc réjoui du texte adopté à Marrakech.

Il a rappelé que tous les pays participants, à l'exception des États-Unis d'Amérique, s'étaient engagés à **ratifier, le plus vite possible, le protocole de Kyoto** afin de pouvoir présenter des avancées substantielles pour la conférence de Johannesburg prévue pour septembre 2002.

M. Yves COCHET a rappelé que **les objectifs 2008-2012** risquaient de ne pas être atteints par certains pays, même si la Russie et le Japon ont été beaucoup aidés pour y parvenir. Il a estimé que la France réussirait, et même dépasserait ses objectifs, de même que l'Europe.

Interrogé sur la représentation technique de la France parmi les experts climatiques et économiques au sein du **GIEC** ou des négociations internationales, M. Yves COCHET a considéré que la qualité des rapports du GIEC et l'augmentation de leur fréquence, comme de leur précision, constituaient autant de signes encourageants.

Quant à la tenue même des **négociations internationales**, il a jugé que les intérêts de la France y étaient techniquement bien pris en charge, et, encore une fois, que la France pouvait faire mieux que stabiliser ses émissions à 0 %, surtout si les

préconisations du rapport COCHET sur l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables étaient suivies.

Le ministre a aussi évoqué le récent rapport du sénateur Serge LEPELTIER relatif aux nuisances de **l'automobile**(1); il l'a estimé très intéressant quoique traduisant une fascination un peu excessive pour les progrès des techniques automobiles dont, selon le ministre, il faudrait plutôt réduire l'usage, en donnant, par exemple, davantage de moyens aux transports collectifs, comme le préconise le plan national de lutte contre le changement climatique.

A propos des **transports en commun à Paris**, M. Yves COCHET a considéré que la priorité consistait à promouvoir une offre attractive de transports en commun, c'est-à-dire des transports qui soient rapides, confortables, sûrs et fréquents. En effet, seule une bonne alternative aux transports individuels pourrait faire évoluer de manière sensible la situation.

Par ailleurs, il a souhaité qu'une lutte contre les nuisances résultant de la croissance des transports routiers soit menée afin de développer **le fret ferroviaire**. Un immense effort devrait être, selon lui, accompli dans ce domaine, afin de parvenir à doubler en dix ans ce mode de transport, étant observé que ce doublement reviendrait seulement à maintenir la part actuelle du fret et non à l'augmenter. Il a aussi relevé le rôle néfaste des **embouteillages**, qui constituent d'immenses gaspillages, et a souhaité que les usagers fassent davantage preuve d'autodiscipline.

M. Yves COCHET a ensuite rappelé l'intérêt du **rapport Zedillo-Delors**, publié en juin 2001, qui prône l'instauration d'**une taxe mondiale sur le carbone**, et s'est demandé aussi si les périodes électorales étaient bien propres à favoriser de nouvelles mesures restrictives sur l'énergie. Il a souhaité que des campagnes de publicité enseignant **les gestes qui économisent l'énergie** soient développées.

A propos de **la forêt**, il a noté que beaucoup d'incertitudes existent quant aux émissions de certaines forêts du monde, et a rappelé que les pays du « groupe de l'ombrelle » ont obtenu au cours des récentes négociations internationales une prise en compte bien plus importante de leurs puits de carbone, même si ces puits peuvent être considérés comme davantage politiques que scientifiques. Pour la France, de bonnes bases scientifiques existent pour estimer son puits de carbone, mais elle n'a obtenu que peu de quota de puits. Dans le même temps, le Canada, qui est plutôt émetteur de carbone, obtenait une prise en compte plus importante de ses forêts.

Ce rapprochement montre que **les pays de l'Union européenne ont plutôt misé sur la stratégie consistant à montrer l'exemple en s'imposant des efforts domestiques réels.**

(1) « Nuisances environnementales de l'automobile : quels vrais enjeux ? » par M. Serge LEPELTIER, Délégation pour la planification, Collection « Les rapports du Sénat » n° 113, 2001-2002, 219 pages.

Interrogé sur la réalité de **la priorité nationale constituée par la lutte contre l'intensification de l'effet de serre** résultant de la loi votée au printemps 2000, M. Yves COCHET a précisé que le décret d'application nécessaire à la création de l'Observatoire de l'effet de serre était en cours de rédaction et devrait conduire à la création de cet Observatoire vers le printemps 2002, et qu'il veillait personnellement à l'application de toutes les dispositions de la loi votée.

Quant au rapport entre **le ministère de l'Environnement et la MIES**, le ministre a précisé que le ministère de l'environnement se comportait comme un chef de file face à la MIES et à l'ADEME, et qu'il ne serait pas absurde d'intégrer la MIES au ministère, qui ne possède pas pour l'instant de direction de l'énergie.

Par ailleurs, est à l'étude **la création d'un corps de fonctionnaires de catégorie A, et même A+**, dont la compétence transversale trouverait particulièrement son emploi **au ministère de l'environnement**. Une spécialisation environnement à la sortie des **grandes écoles** pourrait être envisagée, et bien avant cela, dans **l'enseignement secondaire**, une sensibilisation à l'environnement et même un corpus d'enseignement axé sur le développement durable ou l'effet de serre pourrait être envisagé. Le ministre de l'Education nationale est assez favorable à une telle approche initiée par le ministère de l'Environnement.

A un autre échelon, le ministère s'interroge sur la place et l'organisation de l'activité environnement des **Directions régionales de l'industrie, de la recherche et de l'environnement (DRIRE)**. Il se demande s'il faudrait créer des directions départementales de l'environnement. Toute une réflexion sans *a priori* est lancée sur ces thèmes.

Questionné sur **la mise en œuvre des permis d'émissions négociables**, M. Yves COCHET a rappelé que les industriels étaient prêts à conclure des engagements volontaires, mais que le ministère était réservé face à ces généralisations. Il a souligné qu'une directive était actuellement en préparation à Bruxelles sur les échanges de permis négociables.

Cependant, pour M. Yves COCHET, le vrai problème demeure de réduire les émissions de l'industrie, et il considère qu'il faut **commencer par réduire de manière substantielle les émissions de gaz à effet de serre dans son propre pays** avant de conclure des accords internationaux sur les permis négociables.

Quant au **transport aérien**, qui bénéficie d'une absence de taxation du kérosène, il a estimé évident que cette situation fiscale ne peut perdurer même s'il est plus facile de réaliser cette évolution, dans un premier temps, par les vols intraeuropéens.

Il a souhaité que le transport aérien soit inclus dans les secteurs du protocole de Kyoto émettant du gaz à effet de serre, même si les émissions sont difficiles à imputer à tel ou tel pays dans la mesure où la plupart des vols sont internationaux, mais, quels que soient les moyens techniques envisagés, **une meilleure prise en compte des émissions des transports aériens demeure indispensable**.

Au sujet des **véhicules à deux roues**, qui ne représentent qu'un faible pourcentage des gaz à effet de serre (environ 2 %), le ministre a reconnu que leur coût par kilomètre et par passager était très élevé, d'autant que ces engins sont souvent surdimensionnés en puissance. Au sujet de leur pollution sonore, le ministre a souligné avec force que celle-ci atteignait un niveau excessif, et que si la réglementation sur le niveau sonore des dispositifs d'échappement interdisait déjà les plus bruyants de ceux-ci, ces accessoires demeuraient en vente libre permettant la transformation ultérieure de l'engin. Il a trouvé anormal que la législation puisse être ainsi tournée et a souhaité que, au-delà de la verbalisation, ce problème soit traité à la source chez les vendeurs d'accessoires. Il a prôné une grande vigilance à ce sujet.

Abordant ensuite la question de **l'habitat**, M. Yves COCHET a souhaité que soit d'abord réhabilité l'habitat ancien, comme le prône d'ailleurs M. Jean-Yves LE DÉAUT, dans son rapport sur les énergies renouvelables⁽¹⁾ présenté récemment à l'OPECST. M. Yves COCHET a souhaité que l'État donne l'exemple en matière de réhabilitation.

Le ministre a ensuite rappelé que s'étaient tenues récemment **les Assises de la haute qualité environnementale**, qui devrait être promue d'abord dans l'habitat social, mais il a déploré l'absence assez répandue de formation et d'information chez les professionnels de la construction, qu'il s'agisse des architectes, ou encore des plombiers...

Il a estimé qu'une forte aide de l'ADEME serait nécessaire pour faire évoluer les choses, et que **la nécessité de former de bons thermiciens** constituait une évidence. Il a relevé que, là encore, une modification des programmes d'enseignement semblait s'imposer.

Abordant le point particulier des **ventilations mécaniques**, M. Yves COCHET a jugé que le renouvellement d'un volume par heure de l'air d'un local était excessif, et que ce procédé pourrait souvent être considéré comme non indispensable.

Par ailleurs, il a souhaité que soit abandonnée l'installation d'**ascenseurs** sans contrepoids.

Enfin, il a estimé facile à gagner le combat pour **l'économie d'éclairage et de chauffage**, grâce auquel il serait possible d'épargner assez aisément environ 40 % de l'énergie actuellement utilisée.

(1) « L'état actuel et les perspectives techniques des énergies renouvelables » par MM. Claude BIRRAUX et Jean-Yves LE DEAUT, députés, Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (OPECST), n° 3415 - Assemblée nationale, n° 94 - Sénat - Novembre 2001, 347 pages.

**MINISTÈRE DE L'AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE ET
DE L'ENVIRONNEMENT**

DIRECTION DE L'EAU

M. Noël GODARD

SOUS-DIRECTEUR DE LA PROTECTION ET DE LA GESTION DES EAUX

(14 décembre 2000)

A la suite de la présentation des attributions de la Direction de l'Eau qui recouvrent aussi bien la prévention des **inondations** que la lutte contre les **pollutions** ou la **sécheresse**, M. Noël GODARD a rappelé que la lutte contre les inondations est conduite en partenariat avec le ministère de l'Intérieur qui se charge de l'organisation des secours et de l'instruction des dossiers relatifs à l'indemnisation des victimes, tandis que l'aspect prévention qui concerne notamment l'occupation des sols et l'élaboration des plans de prévention des risques créés en 1995 (loi Barnier), et dont les moyens viennent d'être augmentés, relève du ministère chargé de l'environnement.

Il a indiqué que le cadre géographique de base de la Direction de l'Eau est constituée par de grands tronçons de rivières et qu'**un atlas des zones inondables** par les rivières était actuellement en cours de réalisation (50 %). L'objectif est d'améliorer la diffusion de ces atlas, notamment par Internet, l'Ile-de-France constitue une région pionnière en la matière.

M. Noël GODARD a insisté sur la réalité du **risque d'inondations en France** puisqu'il concerne **une commune sur trois**. La priorité de l'action est donnée aux grandes vallées alluviales, où les Directions départementales de l'Equipeement sont chargées de l'élaboration des plans de prévention des risques d'inondation.

L'annonce des crues constitue un second volet de la politique de prévention de l'Etat. Cette mission s'est développée au siècle dernier, donnant l'alerte par télégraphe ; aujourd'hui, des stations automatiques de mesures existent, et également des réseaux de radars (Ar amis, de Météo France).

Le troisième type d'actions, est constitué par **les travaux de protection** et l'octroi d'aides financières pour les mener à bien.

La construction de **grands réservoirs** compte parmi les travaux possibles ; c'est ainsi que la Seine bénéficie de quatre grands réservoirs à l'amont de Paris.

Même si le milieu du XIX^{ème} siècle a connu de très grandes crues, **la multiplication des phénomènes extrêmes** au cours de ces dix dernières années fait apparaître une évolution qui **pourrait rendre nécessaire le renforcement des mesures de prévention vis-à-vis des risques liés aux inondations.**

C'est à l'échelle mondiale que la multiplication des risques apparaît plus évidente, qu'il s'agisse de la Pologne, de l'Allemagne, de la République tchèque, de l'Italie avec la plaine du Pô, ou encore, pour la France, de l'Aude et du Finistère en décembre 2000.

M. Noël GODARD a noté que **davantage de recherche et d'observations seraient nécessaires** et qu'il faudrait peut-être renforcer les liens de Météo France avec le ministère chargé de l'environnement, multiplier les surveillances localisées, les mailles du réseau de Météo France apparaissant trop lâches. Certaines zones, comme le sud est, sont bien couvertes par les radars, mais en Haute-Normandie, où trop d'écoulements boueux surviennent, des améliorations devraient être apportées.

Il reste à **améliorer la sécurité des grands ouvrages**, comme les barrages hydrauliques, dans la mesure où l'importance des crues et leur fréquence risquent d'augmenter.

Cette difficulté est bien apparue lors des inondations qui ont atteint la centrale nucléaire du Blayet en décembre 1999 (1), la révision à la hausse de certaines normes de sécurité devrait en découler.

Bien entendu, les services de la recherche du ministère de l'Aménagement du territoire et de l'environnement travaillent sur ces risques d'inondations.

Abordant ensuite la question de **la ressource en eau**, dans l'hypothèse où les sécheresses viendraient à augmenter, M. Noël GODARD a noté que les phénomènes actuellement observés dans le sud de l'Europe, notamment en Espagne et en Afrique subsaharienne, pourraient peut-être apparaître dans le sud de la France dans quelques

(1) *L'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques a élaboré un rapport sur les incidents résultant de la tempête du 27 décembre 1999, afin d'en tirer des enseignements sur les risques des installations nucléaires (Rapport de M. Claude BIRRAUX, député, n° 2331 Assemblée nationale, et n° 316 Sénat, avril 2000).*

dizaines d'années. Il a rappelé toutefois l'importance du stockage dans les aquifères souterrains, qui représente 2.000 milliards de mètres cubes pour les aquifères naturels. Il a insisté sur les prévisions alarmistes concernant les glaciers, dans les Alpes, et le stock neigeux dans les Pyrénées. Il a indiqué qu'il était **difficile de stocker davantage d'eau qu'actuellement**, d'autant qu'un mètre cube d'eau stocké artificiellement coûte environ un franc par mètre cube et par an, ce qui apparaît cher pour l'usage agricole.

Une **gestion plus économe de la ressource en eau** doit être recherchée. Par exemple dans le bassin de Adour-Garonne, des plans de gestion des étiages sont élaborés et une meilleure utilisation des réservoirs existants a pu être mise en œuvre en liaison avec EdF pour les barrages alimentant la Garonne.

Des efforts ont été accomplis concernant le **comptage de l'eau** pour les usages de l'agriculture. Les 2/3 de la consommation nette d'eau sont utilisés par l'agriculture, l'eau consommée par la plante représentant d'ailleurs 90 % de l'eau fournie.

A propos du comptage de l'eau, M. Noël GODARD a rappelé que les agences de l'eau subventionnaient les installations de comptage. L'obligation de comptage ne peut toutefois s'appliquer à l'irrigation gravitaire à fonction agricole, comme dans le sud-est avec la Durance, ou encore à une irrigation environnementale et paysagère, comme pour la nappe de la Crau.

Si la consommation d'eau dans le secteur agricole a beaucoup cru depuis 20 ans, il peut être relevé que l'industrie prélève en revanche moins d'eau.

Cette meilleure gestion de la ressource peut être organisée à travers **les plans de gestion des étiages**, et d'une façon plus générale dans le cadre **des schémas d'aménagement et de gestion des eaux**. Elle passe par la nécessité de mener **une concertation avec les agriculteurs** pour être moins désarmé lorsqu'une année sèche survient, comme en 1990 par exemple.

Ces préoccupations renvoient à **une meilleure estimation des coûts comme celui du stockage**, ou celui de l'eau à usage agricole. Des redevances qui retournent au cycle de l'eau favorisent des estimations exactes.

M. Noël GODARD a souligné **l'avance de la France** grâce aux agences de bassins en matière de gestion de l'eau par bassin versant. Il a indiqué également que plusieurs coopérations internationales par bassin versant fonctionnaient bien, notamment sur le Rhin, avec la commission des eaux du Rhin, sur la Meuse et sur l'Escaut, sur le Rhône avec la Suisse, et sur la Garonne et la Bidassoa, avec l'Espagne.

A propos de **la déviation de l'eau du Rhône vers l'Espagne** pour alimenter celle-ci en eau potable, il a indiqué que le client catalan apparaît un peu en pointillé, dans la mesure où le pouvoir central espagnol est circonspect. Le plan national hydrologique espagnol qui vient de paraître préconise plutôt une meilleure gestion

des eaux. Le prix du mètre cube d'eau est actuellement d'environ 4 francs à Barcelone, et serait beaucoup plus onéreux si l'eau du Rhône était acheminée jusqu'en Catalogne.

A propos des **concessions hydroélectriques** gérées aujourd'hui par **EdF** et l'environnement, M. Noël GODARD a précisé que la très grande durée des concessions (75 ans) constituait un facteur de rigidité de la gestion de la ressource en eau rendant difficile l'adaptation de l'exploitation de ces ouvrages à l'évolution des besoins des autres usagers et des exigences environnementales de ces trente dernières années.

En général, en cas de modification des règles de police de l'eau, EdF souhaite être indemnisée du manque à gagner qu'elle peut subir. De plus, la juxtaposition de concessions au long du même fleuve, même si les parties sont toujours l'Etat et EdF, complique les choses, en particulier si, comme c'est le cas pour le Rhône, le milieu naturel n'a pas été pris en compte lors de l'octroi de la concession.

Abordant ensuite la question des **DOM-TOM**, M. Noël GODARD a noté que, depuis 1992, ceux-ci étaient dotés de comités de bassins, mais pas d'agences de l'eau, d'où un certain retard dans le domaine de la gestion de celle-ci.

Dans les DOM-TOM, **l'ensemble des eaux est domanial**. En Guadeloupe, on a vu apparaître certaines zones de pénurie et des problèmes relatifs à l'eau potable, envahie par les pesticides des périodes passées. A La Réunion, un fort contraste existe entre l'est et l'ouest de l'île.

Le fonds national de solidarité sur l'eau créé en 2000 permettra d'améliorer la solidarité dans le domaine de l'eau entre les DOM-TOM et la métropole.

Interrogé sur **les bassins miniers**, M. Noël GODARD a répondu que les problèmes d'instabilité du sous-sol qui s'y posent sont encore mal maîtrisés, par exemple pour les mines de charbon, il est observé un tassement du sol et des effondrements réguliers, qui peuvent générer des problèmes d'inondation. Les carrières de calcaire, dans Paris, ont été, elles, à l'origine d'effondrements brutaux. Pour les mines de fer, les difficultés proviennent du fait que le code minier n'avait pas prévu toutes les conséquences de la fermeture des mines. Pour les potasses d'Alsace, se posent les problèmes des rejets de sel dans les eaux du Rhin, ce qui rend difficile pour les Hollandais l'obtention d'eau potable, un problème identique se posant sur la Moselle.

Mais il existe des zones où les problèmes sont encore plus aigus, comme d'abord **le Finistère**, où les grandes crues se multiplient, l'avant-dernière s'étant produite en 1995, et la dernière en 2000, ce qui reflète la multiplication de celles-ci depuis les années 1950, et pose la question de la responsabilité partielle du remembrement dans ces événements.

Une autre zone difficile est constituée par la **vallée de la Seine** et de ses affluents en région parisienne où une crue importante risquerait d'entraîner un coût d'environ 50 milliards de francs. Peu de parades existent face à cela, surtout pour la protection des dernières constructions édifiées, ce qui explique la hausse de la prime d'assurance « catastrophes naturelles » passée rapidement de 8 % à 12 %.

Dans d'autres régions de France, des crues produiraient également des conséquences lourdes. Ainsi les cours d'eau méditerranéens pourraient menacer des sites urbains.

La rationalisation provenant des **schémas d'aménagement de gestion des eaux** a beaucoup de mal à voir le jour. Par ailleurs, comme la création des commissions locales de l'eau ne s'est pas accompagnée de moyens réels, en hommes ou en crédits, celles-ci ne fonctionnent bien que si elles sont soutenues par un syndicat intercommunal.

Dans chaque grand bassin, un préfet coordonnateur, assisté par l'agence de l'eau et la direction régionale de l'environnement, placé auprès de lui (structure créée seulement en 1992), a la responsabilité des schémas directeurs.

En conclusion, M. Noël GODARD a évoqué **le projet de loi sur l'eau**, qui devrait venir bientôt en discussion devant le Parlement. Il tendrait notamment à améliorer les délégations de services publics en rendant possible la renégociation plus fréquente des contrats, le maintien des réserves financières consacrées à l'eau par les grandes sociétés travaillant dans ce domaine. Il a noté aussi que les régies étaient moins coûteuses que la gestion déléguée.

Il a regretté que le secteur public n'effectue pas suffisamment de **recherches**, et que ses techniciens soient dispersés dans trop d'organismes.

**MINISTÈRE DE L'AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE
ET DE L'ENVIRONNEMENT**

M. JEAN-CLAUDE ANDRÉ,

**PRÉSIDENT DU COMITÉ SCIENTIFIQUE DU PROGRAMME SUR
LA « GESTION ET IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE » (GICC)**

(2 mai 2001)

M. Jean-Claude ANDRÉ a tout d'abord présenté le programme GICC dont il préside le Comité scientifique, programme, doté de 6 à 7 millions de francs par an de crédits de recherche, hors salaires. Il a indiqué que c'est au début de l'année **1999** que furent lancés les **appels à proposition de recherches** et que les premiers travaux ont débuté vers la fin de l'année 1999. Des appels ultérieurs ont été lancés au cours de l'année 2000, dont les propositions sont attendues en 2001. Le ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement a obtenu que ces crédits soient imputés sur le budget civil de recherche et de développement (BCRD).

Il a insisté sur le fait que, **jusqu'à une date récente, les recherches sur les impacts du changement climatique étaient embryonnaires en France**. Elles se limitaient à la régionalisation du changement climatique et à l'étude, par des macro-économistes, de la naissance du marché des permis d'émissions négociables liés à la Convention de Kyoto.

En réalité, d'autres recherches restent nécessaires, notamment sur les températures, les précipitations, les événements extrêmes et surtout sur des approches conjointes entre les questions climatiques, leurs impacts et l'économie, qui constituent le cœur du problème. Or, non seulement **économistes, juristes et physiciens sont peu habitués à travailler ensemble, mais beaucoup d'incertitudes scientifiques subsistent. Toutes ces recherches n'en sont qu'à leur début et leurs résultats demeurent encore très fragmentaires.**

Abordant **les aspects climatiques**, M. Jean-Claude ANDRÉ a précisé que la plupart des recherches portaient sur l'horizon où la concentration de gaz carbonique dans l'air aurait doublé, quelle que soit la date de cet événement. Dans cette

perspective, la variation de la pluviométrie est particulièrement étudiée ; en général il y a accord sur le constat suivant : **le nord de l'Europe recevrait davantage de pluies tandis que le sud serait moins arrosé**. Tous les modèles climatiques font apparaître dans chacun de ces cas une variation d'une amplitude de 10 %, sans être à même de quantifier plus précisément l'évolution. Ces simulations posent la question de **savoir si la France⁽¹⁾ est ou non traversée par la ligne de partage entre le nord et le sud de l'Europe**. Malgré les travaux de grande qualité de Météo France et du CNRS, personne n'est en mesure de répondre à cette question, d'où une recherche active sur ce thème. Il est toutefois possible de noter que Météo France a relevé davantage de précipitations au cours des trente dernières années, mais que cette variation reste de faible amplitude.

M. Jean-Claude ANDRÉ a noté, à propos de **la végétation** et de **l'agriculture**, que **l'accélération de la croissance** due à l'augmentation de gaz carbonique dépendait aussi d'autres nutriments que ce gaz, à savoir ceux présents dans les sols, et l'eau. Il est admis qu'un ou deux degrés de plus augmenteraient la productivité, mais que cela dépendait des pratiques elles-mêmes. Dans certains domaines, comme celui de **l'exploitation forestière**, il existe déjà des choix opérés à des horizons de trente ou de cinquante ans, ainsi en est-il du choix des essences à planter. Il est attendu une amélioration de la croissance des forêts avec le changement climatique. Toutefois, **passé un certain seuil des difficultés seraient à attendre pour la végétation aux alentours de 2100**, ce qui se traduirait par une décroissance des rendements.

Une fois constaté que le changement climatique est en marche, l'année **2100** constituerait au mieux le paroxysme de la courbe de concentration du CO₂, voire même simplement un point sur une courbe en croissance continue au-delà de 2100. Ce n'est que vers **2025** que les éléments du changement climatique deviendraient réellement tangibles ; la température moyenne de la France ayant peut-être augmenté de 1°, et si le gaz carbonique doublait vers **2070**, la température moyenne augmenterait alors approximativement de 2° degrés en France. Une grande question demeure : aura-t-on anticipé ces changements ? Les économies se seront-elles adaptées aux alentours de **2050** ?

Pour l'agriculture, il peut être retenu de façon simplifiée qu'en descendant par étape de 150 km vers le sud de la France actuellement, cela revient à rencontrer une température moyenne s'élevant de 1° à chaque étape. Cette grille de lecture simple permet d'imaginer les changements climatiques qui pourraient survenir : une augmentation de 2° reviendrait à un déplacement des cultures possibles de 300 km, entraînant d'assez forts bouleversements et posant la question de la disponibilité en

(1) L'ouvrage collectif publié en 2000 par la MIES et le Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement « *Impacts potentiels du changement climatique en France au XXIème siècle* » dresse un état des connaissances concernant la France.

eau. S'il est admis que le sud de l'Europe devrait faire face à une situation de sécheresse, qu'en sera-t-il du sud de la France ?

D'autres conséquences du changement climatique apparaîtraient en **montagne**, notamment avec la diminution de l'enneigement en moyenne montagne (1 500 mètres), les Pyrénées étant d'abord touchées, puis les Alpes.

Quant à la question la plus délicate concernant **les rétroactions entre l'économie et les changements climatiques**, notamment les mesures de régulation à adopter, la Convention de Kyoto devrait-elle déboucher sur des taxes ou sur des permis d'émissions de gaz à effet de serre ? Peu d'économistes travaillent sur ce sujet. Même si les travaux de MM. Jean-Charles HOURCADE et Patrick CRIQUI ont esquissé des pistes, ils ont du mal à prendre en compte les incertitudes climatiques, notamment du fait de la difficulté à identifier des seuils au-delà desquels les conséquences de tel ou tel phénomène seraient bouleversées.

A propos de **la montée des eaux**, qui ne se produirait sans doute pas de façon trop importante avant 2100, et qui surviendra même si l'accélération de la concentration de CO₂ devait s'arrêter, compte tenu de l'inertie des masses en cause, il est probable que **le niveau des océans augmentera de 50 cm à 1 m à l'horizon 2100**. Rien n'est indiqué au-delà dans la mesure où aucun modèle de simulation ne dépasse cette période. Toutefois, la répartition de la hausse du niveau des océans n'étant pas uniforme, **l'évolution du trait de côte, selon les régions françaises, est impossible à déterminer**. Il peut seulement être indiqué qu'il y aura sans doute **davantage de tempêtes** et que la conjonction entre les tempêtes et la montée des eaux ne pourra manquer de générer plus souvent des problèmes.

Interrogé sur la situation des **îlots** dont la submersion peut être redoutée, M. Jean-Claude ANDRÉ a évoqué le sérieux de ce risque pour les **Iles Maldives**, ainsi que pour **les atolls polynésiens français** les moins peuplés.

Evoquant l'exposé de M. Jean-Charles HOURCADE devant l'Académie des Sciences le 23 avril 2001, M. Jean-Claude ANDRÉ a rappelé que souvent il ne servait à rien d'agir trop tôt, sous peine de gaspillage mais qu'il fallait être en mesure d'agir à bon escient, donc d'arriver à déterminer le moment auquel débiter l'action. Cela implique de ne pas attendre le dernier moment pour freiner. Une action de prévention est efficace si elle se garde de tout excès et prend en compte tous les secteurs économiques.

M. Jean-Claude ANDRÉ s'est plu à souligner la qualité des travaux du chercheur cité.

A propos du **niveau relatif des recherches sur les impacts du changement climatique dans les différents pays d'Europe**, il a été précisé que la France était en retard sur **le Royaume-Uni** car, depuis longtemps, des mécanismes y ont été mis en place pour associer des spécialistes d'origines diverses. C'est ainsi qu'une

publication britannique datant déjà de quelques années a décrit de manière très précise ce que serait la situation de la Grande-Bretagne au milieu du XXI^{ème} siècle.

Quant aux **Allemands**, ils sont très avancés dans les travaux de modélisation physique du climat, mais significativement moins dans ceux relatifs aux impacts des changements climatiques.

La France est peut-être un peu en retard dans les recherches climatologiques par rapport à l'Allemagne et au Royaume-Uni, mais elle se situe bien dans ses travaux sur les impacts, sauf par rapport à la Grande-Bretagne.

Quant aux **pays du sud**, ils ont peu mobilisé leurs chercheurs sur ces thèmes. Pour autant, des échanges sont poursuivis avec les pays du pourtour méditerranéen, guidés notamment par le souci de l'érosion et de la sécheresse.

M. Jean-Claude ANDRÉ a ensuite évoqué l'existence d'un ouvrage émanant du ministère de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement, publié en 1995, sur **la régionalisation des changements climatiques**. Limitée à l'Europe de l'ouest et à la Méditerranée, cette publication, rééditée en 2000, donne une bonne photographie de la recherche vers 1995. Peu de choses seraient à changer aujourd'hui par rapport à cet ouvrage. Il y est notamment indiqué que **les modèles distinguent entre le nord et le sud de la France, mais pas plus**, et qu'il est, pour l'instant, impossible d'aller au-delà de ce degré de précision.

Le degré de résolution des modèles ne semble pas pouvoir excéder celui des modèles météorologiques opérationnels actuels, c'est-à-dire la distinction au mieux d'une demi-douzaine de zones pour la France, en notant l'impossibilité d'aller au-delà, **le climat n'étant que la juxtaposition de l'état météorologique jour après jour**. Or, la météo ne raisonne encore que sur **des zones de taille de l'ordre de 100 à 200 km**. Il est probable que d'ici 5 à 10 ans les puissances de calcul et d'analyse se seront améliorées, permettant de prévoir le climat pour des inter-régions (Sud-ouest, Midi, Nord - Pas-de-Calais - Somme).

S'agissant des **événements extrêmes**, les moyens de calcul ne peuvent suffire à les décrire, les analyses sont à approfondir et ce thème de recherche à accélérer de façon très volontariste. Une seule certitude émerge : **ces événements vont se multiplier**, comme l'affirmait déjà la note de la communauté scientifique française rédigée à la suite des tempêtes du 26 décembre 1999 qui énonçait qu'il était **impossible d'affirmer l'existence d'un lien entre les changements climatiques et un de ces événements extrêmes particulier, mais que ceux-ci seraient plus nombreux en climat modifié**.

Là encore, il serait souhaitable de faire travailler ensemble, par exemple, des forestiers, des agronomes et des modélisateurs du climat. Tout en rendant hommage aux travaux menés par MM. Jean-Charles HOURCADE et Patrick CRIQUI, M. Jean-Claude ANDRÉ a reconnu qu'il serait difficile de faire travailler ensemble des macroéconomistes et des modélisateurs.

Interrogé sur l'**impact des changements climatiques sur la santé**, M. Jean-Claude ANDRÉ a estimé que ces impacts seraient **faibles en France**, la surmortalité en été étant compensée par une mortalité moindre en hiver. Il a évoqué une étude en cours sur deux régions tests. Il a signalé l'existence possible de deux effets majeurs, à savoir la multiplication des **maladies à vecteurs** qui remonteraient vers le nord, de même que des risques d'augmentation des phénomènes de **malnutrition** dans le sud de l'Europe, qui s'en inquiète. Il a rappelé l'existence auprès de l'Académie des Sciences d'un Comité de l'environnement, présidé par le Professeur Maurice TUBIANA, tout en notant qu'à l'heure actuelle, ce comité n'avait pas encore abordé le thème « Changement climatique et santé ».

S'agissant du **partage des ressources en eau** M. Jean-Claude ANDRÉ a regretté le nombre limité des travaux sur ce thème, alors même qu'en **Espagne** la ressource est déjà sollicitée au-delà de son renouvellement annuel. Des problèmes récents sont apparus à propos de l'Ebre. Il a aussi noté qu'un transfert d'eau vers l'Espagne était envisagé, mais sans pouvoir apporter une grande précision sur l'état d'avancée de ce projet.

Par ailleurs, une étude sur le **Bassin du Rhône** est en cours, examinant son évolution en fonction du changement climatique, le Rhône ayant été choisi comme un bon exemple du fait de son lien avec des montagnes et l'existence de son estuaire. La méthodologie mise en œuvre dans cette étude pourrait par la suite être étendue à d'autres fleuves.

Interrogé ensuite sur le recours à telle ou telle forme d'**énergie**, M. Jean-Claude ANDRÉ a indiqué qu'en Europe il était envisagé que **12 % de l'énergie proviendraient des énergies renouvelables vers 2010** et que les prévisions les plus optimistes font état d'un seuil de **20 % vers 2050**. Dans les conditions économiques actuelles, **les énergies renouvelables ne constituent donc pas une solution alternative**, d'autant que les citoyens n'ont pas intégré ce problème. Le recours à l'énergie nucléaire constitue actuellement encore un tabou. Le stockage des déchets ne semble pourtant pas constituer un problème insurmontable, dans la mesure où la loi dite BATAILLE a prévu un entreposage et que des solutions sur le siècle semblent fiables, avec de possibles reconfigurations des colis au-delà, jusqu'à ce que la radioactivité ait baissé suffisamment. Toutefois, sur ce thème, même EDF ne communique plus. En fait, il faudra prendre des décisions vers 2010, ce qui correspondra à la fois au moment de renouvellement du parc des centrales nucléaires et suivra de près les décisions prévues dans la loi dite BATAILLE et à la prise de conscience par l'opinion publique.

M. Jean-Claude ANDRÉ a rappelé que le **Groupe Intergouvernemental d'experts sur l'Evolution du Climat (GIEC)** était **affirmatif depuis l'an dernier, après avoir été plus nuancé, et qu'il considérait maintenant le changement climatique comme étant en marche et inéluctable**. Dans cette perspective, les années 2005 et **2006** seront des années clés, après encore deux ou trois années d'un univers décisionnel un peu mou. Alors, l'activité économique sera peut être fondée sur **l'énergie nucléaire augmentée de l'énergie éolienne**, qui constitue la première

énergie renouvelable crédible, même si elle n'est pas exempte de problèmes. En Europe du nord et au Danemark, des exemples d'implantation d'éoliennes off-shore ont été réalisés, ce qui confirme d'ailleurs l'existence d'un problème de bruit pour de telles installations.

S'agissant des **transports**, M. Jean-Claude ANDRÉ a estimé que le discours des **constructeurs d'automobiles** manquait de clarté dans la mesure où, s'il souligne bien que les émissions unitaires par véhicule diminuent, il néglige d'insister sur l'augmentation des ventes et les évolutions de véhicules mis en service, par exemple des monospaces ou des véhicules tout terrain 4 x 4 plus lourds. Le raisonnement de ces constructeurs revenant un peu à affirmer : « *On augmentera moins que si on avait augmenté plus* ». Sur ce thème, les **solutions semblent à attendre du côté du public, grâce à la limitation du transport individuel et du transport aérien**. A ce sujet, il a été noté que la hausse du **prix de l'essence** était tout à la fois difficile à mettre en œuvre politiquement et que, d'un point de vue économique, son efficacité était incertaine. Une étude est actuellement menée sur la crise de l'essence en France en septembre 2000. En revanche, aucune étude particulière n'est en cours sur le transport aérien.

Revenant sur les caractéristiques du **programme « Gestion et Impacts du Changement Climatique » (GICC)**, M. Jean-Claude ANDRÉ a noté qu'après l'éparpillement du début, une dynamique commençait à prendre, l'effet de levier généré par cette action étant encore difficile à estimer.

Dix projets sont financés chaque année, impliquant chacun au moins 5 à 10 personnes, soit un total **dépassant 100 personnes**, tous ministères et organismes de recherche confondus.

Les projets sont menés pour des périodes de deux à trois ans au minimum, cette durée constituant parfois seulement une étape du projet. Il a rappelé que ceux-ci n'ayant débuté qu'à la fin de 1999, **peu de résultats étaient encore obtenus**. L'étude la plus avancée concerne la régionalisation des impacts des changements climatiques et le cheminement pour les prises de décision, réalisée par des économistes.

Il s'est étonné que le parti politique des **Verts** soit très peu mobilisé sur le changement climatique, alors qu'il l'est tellement sur l'antinucléaire.

Interrogé sur les relations entre le GICC et la **Mission Interministérielle de l'Effet de Serre (MIES)**, M. Jean-Claude ANDRÉ a pu indiquer que les modèles établis par M. Patrick CRIQUI étaient transmis aux négociateurs de la MIES pour qu'ils les utilisent eux-mêmes, après avoir reçu une formation au cours de séminaires d'appropriation de ces outils, suivis de séminaires de restitution, ce qui permet une bonne articulation entre négociateurs et chercheurs.

Concernant les **négociations internationales**, il a été indiqué que la MIES essayait de remédier au peu de présence de chercheurs français à ce niveau, mais que

ces négociations étaient de toute façon menées au niveau européen et non français. A titre d'exemple, M. Jean-Charles HOURCADE était présent lors de la Conférence de La Haye.

Interrogé enfin sur **la date optimale de sortie du rapport de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques**, par rapport à l'actualité des recherches sur les changements climatiques, M. Jean-Claude ANDRÉ a précisé que, après l'importante journée organisée par le ministère de la recherche en mai, le colloque à Sophia Antipolis et les journées au Palais de la Découverte qui constitueraient des temps forts, les gens informés n'attendraient pas grand chose du rapport du GIEC qui devrait paraître à la fin du mois de septembre 2001. En revanche, **le grand public pourrait apprécier une présentation plus lisible de ce rapport du GIEC paraissant peu de temps après celui-ci et s'intéressant davantage aux aspects français et quotidiens des changements climatiques.**

Il a conclu en indiquant qu'en février ou mars **2002**, aurait lieu un **premier colloque de restitution des travaux du GICC.**

**MINISTÈRE DE L'AMÉNAGEMENT DU
TERRITOIRE ET DE L'ENVIRONNEMENT**

M. BENOÎT LESAFFRE *(1)*,
CHEF DU SERVICE DE LA RECHERCHE ET DES AFFAIRES ÉCONOMIQUES

M. JEAN-MARC SALMON

M. MAURICE MULLER

(30 mars 2000)

M. Benoît LESAFFRE a décrit les principales activités du service de la recherche et des affaires économiques, dont les travaux viennent en appui de la politique de l'environnement.

Il a attiré l'attention sur l'existence, au niveau international, du **Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC)** qui a pour but d'établir des synthèses scientifiques sur la planète Terre, la variabilité du climat, les effets du changement climatique sur les milieux et les activités, et les stratégies de réponse possibles.

Il a rappelé l'intéressant **rapport KOURILSKY** relatif au principe de précaution ; ce principe doit permettre de conduire à une décision même lorsqu'il y a doute, mais à condition que cette décision demeure réversible.

Il a indiqué que, dès 1997, la **Grande-Bretagne** se préoccupait déjà des impacts supposés des changements climatiques alors que rien n'existait en France sur

(1) M. Benoît LESAFFRE est ingénieur en chef du GREF

ce sujet, d'où l'idée de l'élaboration du **rapport de la Mission Interministérielle de l'Effet de Serre (MIES) et du Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement (MATE)** (1), qui se devait d'être compréhensible même pour les non scientifiques. Il s'agissait de dresser un état des lieux des connaissances existantes et de celles qui manquaient.

Le MATE finance le **programme de recherche GICC (Gestion et impacts du changement climatique)**, dont le conseil scientifique est présidé par M. Jean-Claude ANDRÉ. Dans le cadre de ce programme, un premier appel à propositions de recherche (APR) a été lancé en 1999 selon quatre grands axes :

- quels instruments utiliser sur la scène internationale ?
- quelle stratégie de réduction des émissions de gaz à effet de serre faudrait-il mettre en œuvre dans un contexte européen ?
- comment évaluer les impacts et élaborer des stratégies d'adaptation, à la fois dans les domaines physique, biologique et économique ?
- comment diffuser les résultats de manière compréhensible ? (2)

M. Benoît LESAFFRE a aussi déploré **la faiblesse de la science économique appliquée en France**, et **le nombre excessivement restreint d'experts européens face aux américains**.

Il a estimé essentiel d'identifier **des observatoires de l'environnement** qui permettraient de surmonter les problèmes liés aux difficultés des comparaisons internationales.

Une autre action importante pourrait consister à **valoriser les programmes antérieurs**, comme l'important colloque de l'Académie d'Agriculture de France(3),

(1) « *Impacts potentiels du changement climatique en France au XXIème siècle* » - MIES – MATE (seconde édition 2000)

(2) Un deuxième appel d'offres, lancé en 2001, a repris les mêmes axes de recherche en y introduisant des préoccupations nouvelles liées surtout à l'échec de la Conférence de La Haye (novembre 2000). Les instances du programme GICC préparent actuellement un nouvel APR (lancement prévu en 2002) ciblé sur les conséquences possibles de l'accord de Bonn (juillet 2001) en ce qui concerne la première période d'engagement du protocole de Kyoto (2008-2012) et les périodes suivantes.

(3) Colloque « **Bilan et gestion des gaz à effet de serre dans l'espace rural** », Actes du colloque AGRIGES – MATE – Académie d'Agriculture de France, 18 et 19 mai 1999, Paris (Comptes rendus de l'Académie d'Agriculture de France – Volume 85 n° 6 – 1999).

qui montrait que les émissions rurales de gaz à effet de serre atteignaient environ 15 % du total des émissions de ces gaz, et qui tentait de déterminer les fonctions des divers puits de carbone.

M. Benoît LESAFFRE a ensuite indiqué le rôle important joué par **la Commission européenne** dans ce domaine, en particulier par la direction de la recherche, et par la direction de l'environnement, et il a souhaité que les résultats des programmes-cadres de recherche et développement soient valorisés.

M. Jean-Marc SALMON a rappelé que six **gaz à effet de serre** avaient été retenus dans le protocole de Kyoto et que le CO₂ représentait environ les trois quarts des émissions, contre un quart pour les autres.

Il a souligné que, d'après des chercheurs hollandais, **l'agriculture** pouvait, à moindre coût, réduire les émissions de CH₄ et de N₂O.

Il a relevé que dans le 5^{ème} programme-cadre, l'action clé sur les changements climatiques avait mis les autres gaz sur le même plan que le carbone ; il a aussi rappelé que les Etats-Unis d'Amérique insistaient beaucoup sur le rôle des rizières dans les émissions de méthane.

Il a noté qu'en matière d'élevage, le recours à moins de protéines était à la fois meilleur pour les animaux et pour l'environnement.

Il a également indiqué que le ministère de l'environnement et celui de la recherche souhaitaient que soient développées dans les universités des **filières d'économie de l'environnement**, dans la mesure où, à l'occasion des appels d'offres, trop peu de réponses de scientifiques, voire de sociologues, étaient recueillies.

Il a noté aussi que la part du ministère en charge de l'environnement dans le budget civil de recherche et de développement s'élevait à 70 millions de francs, et qu'une nouvelle direction allait être créée très prochainement au ministère, pour y jouer le rôle de pôle d'expertise (1).

M. Jean-Marc SALMON a enfin regretté que l'IRD, ex ORSTOM, soit peu présent dans le débat, car il possède des compétences relatives aux DOM-TOM, et dispose d'un milliard de francs du budget civil de recherche et de développement. Il serait donc souhaitable que celui-ci puisse participer largement au programme du GICC lancé en janvier 1999.

M. Benoît LESAFFRE a alors dressé un tableau des différents organismes compétents dans **le domaine de l'eau**, non sans regretter qu'après la disparition d'HYDROSYSTEME en février 2000, rien ne fédère plus ce secteur aujourd'hui.

(1) Cette direction appelée *Direction des études économiques et de l'évaluation environnementale*, dite « D4E », a été créée en mai 2001.

Si le CNRS est très présent dans ce secteur, le CEMAGREF y étudie les eaux de surface, le BRGM les eaux souterraines, et l'IFREMER les eaux maritimes, à travers notamment le programme national de recherche hydraulique (PNRH).

Actuellement, le MATE pilote un programme de recherche sur la gestion du littoral (LITEAU) portant notamment sur **l'étude des estuaires et des littoraux sensibles**.

Deux grands projets sur **les hydrosystèmes continentaux** existent aussi dans le cadre du GICC, au travers desquels sont étudiées les perturbations possibles sur l'hydrologie du bassin versant du Rhône, et sur les biocénoses aquatiques.

M. Benoît LESAFFRE a également insisté sur l'immense gisement d'économies d'eau que recèlent les pratiques actuelles d'**irrigation**. Il a relevé la nécessité de mieux connaître les aléas climatiques, notamment les tempêtes, et a salué l'efficacité des systèmes d'alerte existant à La Réunion.

D'un point de vue plus général, M. Benoît LESAFFRE a noté qu'**une culture du risque était sans doute à retrouver**. Il a signalé l'existence d'un programme de recherche du MATE intitulé « *Evaluation et prise en compte du risque* » et des travaux menés avec le Palais de la découverte, concernant les moyens de **mieux toucher le public**, notamment grâce à une exposition itinérante.

A propos des **relations entre climat et santé**, M. Maurice MULLER a signalé l'existence des travaux du Professeur Jean-Pierre BESANCENOT, qui a approfondi pour le programme GICC l'état des connaissances qu'il a dressé dans le rapport MIES-MATE.

Il a en particulier évoqué **le cas de la dengue** qui sévit notamment au Sri Lanka, où un programme national sur la dengue a été lancé, cette maladie étant généralement trop méconnue, alors qu'elle peut avoir des conséquences sur les politiques de développement et de migrations.

Au sujet des transports individuels, M. Maurice MULLER a souligné la difficulté d'en mesurer les émissions de gaz à effet de serre. Ce sont les émissions les moins maîtrisées, mais toute intervention dans ce secteur est difficile à faire admettre par les intéressés. Il a rappelé que l'article 19 de la loi sur l'air avait insisté sur le rôle des politiques locales dans le domaine de la santé publique. Il a estimé qu'il serait souhaitable de mettre en place **une politique de transport intégrée à une politique générale**, par exemple bien articulée avec celle de l'urbanisme.

M. Jean-Marc SALMON a noté que le prix de l'essence incluait déjà 75 % de taxes, et que cela n'était pas sans influence sur les transports urbains. Il a estimé que si l'exemple des tramways à Strasbourg avait paru si convaincant, c'est en partie grâce à la proximité de l'exemple allemand.

Il a ensuite estimé que les coûts indirects générés par les transports à Paris étaient deux à trois fois supérieurs à ceux des autres grandes villes d'Europe.

Interrogé sur **l'irrigation en Israël**, M. Benoît LESAFFRE a relevé que celle-ci était en avance même sur les autres pays développés, et reposait sur une gestion collective de l'eau.

A propos de l'exemple turc, spécialement en Anatolie, il a rappelé que le Pakistan et l'Inde gèrent en commun l'Indus depuis 1947, en dépit des guerres qui ont souvent opposé ces Etats.

Il a indiqué que lors de la conférence internationale sur l'eau tenue à La Haye au début de l'année 2000, il avait été dressé **une carte des pays insuffisants en eau à l'horizon 2050**.

Pour la **sensibilisation du public**, il a estimé que des expositions comme celle qui avait actuellement lieu à la Cité des Sciences de la Villette sur l'eau (Aquaexpo) avaient un rôle essentiel à jouer.

En amont de cette sensibilisation, il a souhaité que **des observatoires des sols** regroupant par exemple l'INRA avec l'IFEN et le ministère de l'environnement soient mis en place, afin d'observer les dégradations invisibles mais irréversibles qui surviennent et qui sont à considérer au **coeur** de l'ensemble comprenant aussi l'état de l'air ou de l'eau (1).

(1) Cet observatoire des sols a été mis en place en 2001.

**MINISTÈRE DE L'ÉQUIPEMENT, DES
TRANSPORTS ET DU LOGEMENT**
**DIRECTION DES AFFAIRES ECONOMIQUES ET
INTERNATIONALES**

M. THIERRY VEXIAU,
CHARGÉ DE MISSION ENVIRONNEMENT

(5 octobre 2000)

Débutant sur une note optimiste, M. Thierry VEXIAU a estimé que, en matière de **pollution**, il était encore possible, d'ici à 2010, de gagner un facteur de l'ordre de 2 à 30 par rapport à 1990 pour améliorer la situation, comme cela a déjà été fait dans le passé.

Mais il a aussi noté immédiatement que le problème posé par l'intensification de l'effet de serre était d'un ordre tout différent. En effet, en matière de consommation des véhicules, il n'y aurait au mieux qu'un facteur 2 à gagner d'ici quelques décennies et d'autres objectifs pèsent sur cette évolution, comme par exemple celui de la sécurité.

Dès le début de l'année 2000, le Ministère des Transports a entrepris la première étape de la partie « transports » du **programme national de lutte contre le changement climatique** ; il s'agit pour l'instant de mettre en place ce programme qui devrait parvenir, entre les années 2010-2020, à stabiliser les émissions incriminées. Bien entendu, d'importants facteurs exogènes, comme la croissance économique ou le prix du pétrole, peuvent aussi intervenir dans cette évolution.

Un des outils à mettre en place concerne le suivi du programme pour aboutir à une analyse fine, année par année ; à cette fin, les variables exogènes -comme les résultats des mesures prises- doivent être isolées pour permettre de poursuivre efficacement au-delà la politique entreprise au-delà du terme prévu.

Pour l'heure, il apparaît que **les mesures déjà décidées pourraient être insuffisantes pour respecter le protocole de Kyoto**. Si la croissance augmentait de 3 % par an au cours des années à venir, il y aurait une explosion des émissions de gaz à effet de serre en 2010. Cela rappelle la nécessité de comparer, à chaque instant, les mesures prises aux effets attendus. Les mesures de renforcement du fret ferroviaire conduiront-elles à une baisse substantielle du fret routier ?

M. Thierry VEXIAU a ensuite estimé, à propos de **l'amélioration technologique des véhicules**, qu'il était probablement possible de pouvoir faire mieux que l'accord européen à l'horizon 2010. Il a noté que, pour l'instant, le parc automobile français était plus économe que le parc européen, d'environ 5 %, car les véhicules achetés étaient plus petits que la moyenne européenne et qu'il convenait de maintenir cet avantage.

M. Thierry VEXIAU a indiqué quelques pistes de progrès comme l'ouverture d'un dialogue plus poussé au niveau international, l'élaboration d'une synthèse des plans de déplacements urbains, des actions tarifaires, comme l'inclusion de la taxe carbone dans la TIPP, même si l'effet de cette mesure est généralement surévalué. L'impact de la variation des prix du carburant sur les trafics n'étant sans doute pas si évident, surtout dans un contexte d'activité économique dynamique.

Il a rappelé que l'objectif du Ministère est d'atteindre, en 2010, 100 millions de tonnes/kilomètre pour **le fret ferroviaire** au lieu de 52 millions de tonnes en 1999, que le cabotage maritime intra-européen qui représente 40 % des tonnes échangées soit également développé et que des actions concrètes d'amélioration des déplacements urbains soient définies à la suite de la loi Gayssot.

M. Thierry VEXIAU a rappelé qu'il y aura d'autres **échéances après 2012**. Il faudrait sans doute des réductions de plus en plus importantes des niveaux d'émission pour parvenir, en quelque sorte, à « tordre la branche par petits coups pour ne pas la casser ».

Un autre domaine exige la même approche : **le transport fluvial** où peu de substitutions route-fluvial sont à attendre même si le niveau de tonnage est très bas à l'heure actuelle.

M. Thierry VEXIAU a ensuite insisté sur les améliorations à apporter au **transport de marchandises en ville** et sur la consommation unitaire disproportionnée des petits poids lourds dits utilitaires légers. Mais il a rappelé que toute amélioration dans ce domaine se heurte à un obstacle : la mauvaise connaissance, même statistique, de ce secteur. De nombreuses études sur ce thème ont été engagées dans le PREDIT et il convient d'en faire le bilan.

Quant aux **gros poids lourds**, peu de marges de manœuvre existent, même s'il est encore possible d'améliorer un peu leur taux de remplissage afin de diminuer les taux de transport à vide. De plus, un certain nombre de poids lourds sont pleins sans avoir atteint leur gabarit en tonnes du fait du volume des marchandises

transportées. Certaines données statistiques existent dans ce domaine qui montrent que le taux de remplissage est déjà relativement bon.

Dans le domaine du **transport aérien**, la Convention Climat a élaboré un rapport sur l'aviation et l'effet de serre. Ce document montre que les avions émettent des gaz à effet de serre, mais également que les traces produites sont elles-mêmes à l'origine d'un effet de serre considérable du fait des cristaux de glace qu'elles forment et qui peuvent disparaître aussitôt. Or, **le trafic aérien français augmente**, notamment à travers les échanges avec les DOM, tandis que le trafic métropolitain ne se développe plus vraiment en terme de consommation, même si, de 1990 à 1994, la tendance a été celle du remplacement d'un gros porteur par deux petits.

Revenant à des données générales sur les émissions de gaz à effet de serre, M. Thierry VEXIAU a noté qu'il n'existait pas de grande différence entre les divers carburants utilisés par les transports routiers. Par ailleurs, il signale qu'une pollution très locale imputable au **transport ferroviaire** était liée à l'emploi de moteurs diesel autour des gares du Nord et de l'Est à Paris (1).

A cet égard, il faut noter aussi que tout développement du fret ferroviaire risque d'entraîner un accroissement de la sollicitation de l'électricité thermique, donc, de l'émission de gaz à effet de serre, mais moindre que celle du trafic routier équivalent.

Un autre secteur est encore plus émetteur de gaz à effet de serre que les transports : il s'agit de **l'habitat et du tertiaire** dont il faudrait soutenir le renouvellement et l'amélioration. Mais l'évolution en ce domaine ne pourra être que très lente. Des efforts importants devraient être engagés pour améliorer le parc existant. En ce domaine, le chauffage au bois, qui constitue une énergie renouvelable, neutre en terme d'effet de serre, devrait être accru pour respecter le programme de lutte contre l'effet de serre. Il rappelle que les consommations d'énergie du chauffage au bois sont du même ordre de grandeur que celles du gaz.

Pour **les transports urbains**, au-delà de l'élaboration des plans de déplacement urbain, de grands investissements pourraient être réalisés dans les transports collectifs sans obtenir toujours des résultats à la hauteur des espérances.

(1) Postérieurement à l'audition de M. Thierry VEXIAU, deux propositions de résolution tendant à la création d'une commission d'enquête sur « **la pollution atmosphérique générée en zone urbaine par les motrices diesels de la SNCF** » ont été déposées à l'Assemblée nationale (n° 2820, 29 décembre 2000 par M. Laurent Dominati et n° 2852, 18 janvier 2001 par M. Yves Cochet).

La commission de la production, sur le rapport de M. Jean-Jacques FILLEUL, n° 2988, 25 avril 2001, a rejeté ces deux propositions de résolution dans la mesure où les données du problème sont connues et où « un débat démocratique doit s'instaurer entre pouvoirs publics, SNCF, riverains et usagers, mais qu'une commission d'enquête n'est pas l'enceinte la plus appropriée ».

Cela rouvre la controverse sur le péri-urbain et sur la multiplicité des petits déplacements qui consomment peu, mais là également, le manque d'outils statistiques fait craindre une surestimation de l'intérêt d'une action.

M. Thierry VEXIAU a ensuite observé que **le télétravail** incitant à s'installer en très grande périphérie pouvait avoir pour conséquence d'augmenter tous les trajets à effectuer, sauf celui domicile-travail qui ne représente déjà plus qu'un tiers des trajets. Par ailleurs, **les transports de week-end** en automobile ou autre augmentent, ainsi que **les transports de tourisme**.

De même, **les loisirs nouveaux** entraînent de nouveaux usages de l'automobile, comme c'est le cas avec les multiplex de cinéma situés à proximité des rocades routières.

Pour avoir une vue d'ensemble de la situation et mettre en œuvre une politique, M. Thierry VEXIAU a estimé souhaitable de **développer les liens entre le Ministère de l'Aménagement du territoire et le Ministère des Transports**, ne serait-ce que pour se mettre d'accord sur la situation existante. Cela devrait être complété par des **études prospectives** et des **contacts avec les autres pays**. Or, au niveau européen, une certaine déception ne peut que se manifester dans la mesure où ce débat intéresse peu. Pourtant, **de 1990 à 2000, le trafic des poids lourds étrangers a augmenté deux fois plus vite que celui des poids lourds français**.

A propos des réformes envisageables, M. Thierry VEXIAU a relevé que toute modification de **la fiscalité**, par exemple, la TIPP applicable aux transports routiers, appelle un très gros travail de communication sur la politique des transports ainsi que sur le programme de lutte contre l'effet de serre, le tout étant compliqué d'abord par le fait que les prix actuels moyens de l'essence en France sont déjà supérieurs aux prévisions qui avaient été faites dans le cadre du PNLCC(1), ensuite par la constatation que l'effet dissuasif que jouait **la vignette** sur l'achat de véhicules puissants pourrait avoir été gommé, enfin que **le véhicule électrique** à batterie apparaît déjà périmé, **le véhicule hybride** -par exemple le « *Toyota Prius* »- ou **le véhicule à pile à combustible** supplantant probablement le véhicule à batterie électrique.

Par ailleurs, **le bus hybride** semble promis à un bel avenir alors qu'au départ, les recherches sur ce nouveau véhicule sont nées de la recherche d'un plancher situé à un niveau bas afin de faciliter l'accès des voyageurs.

Dans les autres pays d'Europe, on s'interroge sur l'intérêt du développement du véhicule électrique à batterie, dans la mesure où l'énergie électrique y est souvent d'origine thermique.

Ces exemples montrent qu'une bonne **veille technologique** est indispensable de la part des principaux ministères concernés (transports, recherche) et qu'elle leur incombe beaucoup plus qu'au Ministère de l'Industrie.

(1) *Programme National de Lutte contre le Changement Climatique.*

M. Thierry VEXIAU s'est déclaré sceptique quant à la prise de nouvelles mesures dans l'année qui vient . En revanche, il a souligné que des études menées au niveau européen avaient montré qu'**une conduite économique des véhicules automobiles** pouvait dégager 15 % d'économie de carburant par rapport à une conduite classique. Enfin, il a rappelé que **la climatisation** utilisait des gaz frigorigènes à effet de serre et que le gaz carbonique était étudié comme substitut à ceux-ci.

A la question de savoir si la climatisation provoque une surconsommation de carburant par les véhicules, il a noté que cette question était controversée. En effet, rouler sans climatisation, mais avec les vitres ouvertes, entraîne également une augmentation de la consommation.

Quant aux **transports en commun**, des efforts importants sont opérés, mais les résultats sont timides, l'essentiel demeurant d'attirer la clientèle. **Dans tous les domaines du transport, il reste à inventer des actions concrètes** à mettre en place avec des effets garantis.

M. PATRICE MIRAN (1)

(30 novembre 2000)

M. Patrice MIRAN a rappelé l'intérêt de l'étude **des perspectives de l'utilisation de l'eau par le secteur agricole autour de la Méditerranée** afin de mieux cerner la disponibilité de la ressource en eau dans les milieux semi-arides ou méditerranéens, ce qui est un problème plus préoccupant que le niveau même des océans.

Dans ce cadre, la question de **l'évapotranspiration à l'échelle locale** doit être étudiée par priorité sur celle de la pluviométrie, par exemple en Tunisie et en Catalogne.

M. Patrice MIRAN a aussi observé que si la température moyenne augmentait de 1,5°, l'évapotranspiration croissait de 15 %, d'où la nécessité d'augmenter l'approvisionnement en eau. Il s'agit là de vrais problèmes concrets, dont les termes du débat ont en partie été évoqués lors d'un colloque récent tenu en Arles.

Face à **la montée des eaux**, M. Patrice MIRAN a indiqué que des solutions légères étaient envisageables, mais qu'il fallait les poser en termes de choix politiques. C'est ainsi que, dans la **baie de Somme**, 4 000 hectares sont protégés par **une digue** reconstruite récemment, ce qui a supposé d'y consacrer huit cent millions de francs de travaux inscrits à cet effet dans le contrat de plan.

En Camargue, les scientifiques prônent plutôt l'adaptation, c'est-à-dire le recul, car des ouvrages lourds ont déjà montré qu'ils pouvaient aggraver le mal qu'ils comptaient combattre. Cependant, face à cela, **les hommes politiques prônent la résistance**.

(1) Ancien expert sur les changements climatiques auprès de l'OCDE, ex-membre des groupes du GIEC sur l'impact des changements climatiques.

L'attitude des pays méditerranéens face à la montée du niveau des eaux est diverse : tandis que Chypre et Malte tentent d'obtenir de gros crédits internationaux tout en acceptant de beaucoup financer par eux-mêmes, d'autres pays comptent seulement sur des aides éventuelles pour résister à la mer.

Pour l'avenir, M. Patrice MIRAN a rappelé que les récifs coralliens étaient menacés, et que **beaucoup de transferts d'eau de pays à pays seront nécessaires à l'avenir** pour éviter les pompages dans les nappes phréatiques, là où les ressources sont faibles, même si, en complément, il est également envisagé de dessaler l'eau de mer en grande quantité.

Interrogé sur l'ampleur des dégâts causés en France par des **événements climatiques violents**, M. Patrice MIRAN a noté que **les outils législatifs existent**, mais qu'ils sont **peu appliqués**. Il est certes possible d'établir des plans de prévention des risques et d'élaborer des outils de prévision pour les crues centennales, mais il est évident que lorsque le prix du mètre carré constructible atteint, par exemple, 29 000 Francs, comme sur certains emplacements de la Côte d'Azur, **la priorité n'est pas toujours donnée à une implantation de constructions ou d'équipements raisonnable par rapport aux aléas climatiques**.

C'est ainsi qu'au bord de l'aéroport de Nice le fleuve Var a constitué une zone de limon très riche. Jusqu'en 1950 cette zone, protégée par la ville de Nice, servait à la culture des fleurs, et jusqu'en 1960 il s'agissait d'une zone agricole déclarée, mais, petit à petit, les familles agricoles ont voulu vendre **le terrain pour bâtir** et au même prix que sur les collines avoisinantes. En 1994, une importante crue du fleuve, dont le débit fut subitement multiplié par 9, a causé 600 millions de francs de dégâts, et il reste étonnant de constater que la préfecture elle-même a été construite dans la zone inondable.

Dans la vallée du Var, le plan de protection contre les risques (PPR) a été élaboré à la fin de 1999. Malgré cela, **la RN 202 bis** va être doublée en pleine zone inondable, ce que le ministère chargé de l'environnement lui-même a d'ailleurs approuvé.

Dernier exemple dans la même région : le maire de Nice a autorisé l'implantation d'**une salle de spectacle** de 4 000 places dans une zone inondable. Cette salle pourra même accueillir environ 8 000 personnes dans certaines conditions alors même qu'elle est difficile d'accès, et que les petites navettes utilisées pour s'y rendre ne pourraient permettre d'évacuer 8 000 personnes en une heure.

Concevoir la possibilité d'implanter une telle construction ne fut rendu possible que grâce à **la sous-estimation volontaire de la crue centennale** et à la recommandation de surélever la construction sur des pilotis. Il aurait fallu faire de ce projet un projet d'intérêt général.

En conclusion, M. Patrice MIRAN a considéré que l'arsenal législatif existant était suffisant mais qu'**une recommandation novatrice consisterait à recommander d'appliquer les textes en vigueur.**

MUSÉUM NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE

M. DENIS COUVET⁽¹⁾,
CENTRE DE RECHERCHES
SUR LA BIOLOGIE DES POPULATIONS D'OISEAUX
(CRBPO)

(24 novembre 1999)

M. Denis COUVET a relevé que les prédictions sur l'évolution constituaient un exercice classique, mais que, dans le cadre de l'étude du changement climatique, il s'agissait de travailler en grandeur réelle avec peu de données sur ce qui allait se passer, les faits recueillis étant très épars.

Il a noté que pour **l'étude des papillons et des oiseaux migrants** -qui passent l'hiver en Afrique ou en Amérique du sud- les Anglo-saxons (Grande-Bretagne, Etats-Unis d'Amérique) étaient très en avance et qu'il avait été observé que **sur 20 ans, les périodes de migrations avaient varié de 10 jours environ**.

Ces phénomènes de variation des périodes migratoires doivent intégrer trois échelles de temps :

1) Certaines migrations s'effectuent en fonction de la durée du jour ou de la température ; l'étude de leur variation suppose des années de vérification difficile.

(1) M. Denis COUVET enseigne l'écologie et la génétique des populations au Museum national d'histoire naturelle et à l'Ecole polytechnique.

Références :

- BRADLEY N.L. et al. 1999. Phenological changes reflect climate change in Wisconsin. PNAS 96, pp. 9701-9704
- McCLEERY R.H. and PERRINS C.M. 1998. Temperature and egg-laying trends. Nature 391, pp. 30-31
- HARRINGTON R. et al. 1999. Climate change and trophic interactions. TREE 14, pp. 146-150.

2) Les ajustements des périodes de migrations fluctuent en fonction des espèces avec interactions des espèces les unes sur les autres.

3) A l'échelle évolutive, **l'adaptation des espèces au changement de milieu requièrent un effectif des populations suffisant** -une étude américaine récente fait état de variations expérimentales. Des variations entre les espèces peuvent exister et les données disponibles sont limitées.

Le CRBPO a mis en place un programme sur la distribution des espèces faisant apparaître de brusques changements dans l'implantation de celles-ci, exigeant parfois 10 à 20 années de réadaptation.

Abordant quelques considérations générales concernant la biodiversité, M. Denis COUVET a indiqué que **c'est dans les départements et territoires d'Outre-mer que de nombreuses espèces disparaissent** du fait en partie de l'inapplication des lois en vigueur comme le montre l'étude de M. Philippe BOUCHET.

Des invasions biologiques peuvent aussi se produire et entraîner l'extinction d'espèces locales. A **Tahiti** et à **Hawaï**, les mêmes problèmes se sont manifestés. Mais les Américains ont réagi à Hawaï bien avant que les Français ne le fassent à Tahiti.

La pluviométrie peut avoir une grande influence sur ces phénomènes, mais il est difficile de l'évaluer.

De son côté, **la pollution** pourrait exercer des effets positifs comme cela s'est vu en **Autriche** où elle aurait apporté un surcroît d'insectes bénéfiques pour certains oiseaux insectivores.

Par ailleurs, si la biodiversité est généralement bonne, ce n'est pas toujours le cas. C'est ainsi que le virus de la variole n'est pas nécessairement une espèce à sauvegarder.

Du point de vue de la biologie de la conservation des espèces, M. Denis COUVET s'est demandé ce qu'il adviendrait si une espèce devenait très peu fréquente. Ce genre de phénomène induit généralement des réactions en chaîne, voire des extinctions. En effet, une espèce se nourrissant d'une espèce en voie de disparition est à son tour menacée. **En eux-mêmes, les changements climatiques ne sont pas nécessairement une cause d'extinction d'espèce, mais le changement climatique peut constituer la dernière atteinte portée à l'espèce.**

Dans l'inventaire des espèces disparues, M. Denis COUVET a cité le pigeon ramier américain éteint vers 1925, la petite baleine du Golfe de Gascogne et l'auroch. La cause d'une disparition reste difficile à isoler. Est-ce seulement le dernier phénomène d'agression qui peut être dénoncé comme la cause ? Depuis 1920, le baguage des oiseaux a permis d'obtenir davantage d'informations sur ces espèces plutôt que sur d'autres, les pays anglo-saxons étant plus performants dans ces observations.

A propos de **la propagation des maladies à vecteurs par les moustiques**, M. Denis COUVET a noté que des traitements de destruction des moustiques avaient déjà été effectués et qu'un laboratoire du CNRS à Montpellier étudiait la résistance des moustiques aux insecticides.

M. Denis COUVET a décrit ensuite les méthodes actuellement employées pour étudier **les réponses des espèces aux changements climatiques**. Elles consistent à :

1) répertorier ce que l'on sait -ce qui est évidemment fragmentaire,

2) se demander ce que l'on peut prédire, en définissant un cadre de réflexion plutôt qu'en annonçant tel ou tel événement, tout en s'interrogeant également sur la nature de l'information à diffuser. En effet, **la biodiversité est une notion floue dont on ne sait pas encore exactement comment mesurer le devenir, ni même si elle est souhaitable et jusqu'à quel point.**

M. Denis COUVET a insisté sur la nécessaire mise en valeur de **la dépendance de l'homme par rapport aux autres espèces**. C'est ainsi que beaucoup d'espèces sont nécessaires pour qu'un hectare de blé pousse. **La nécessaire conservation de la biodiversité malgré le changement climatique est plus importante que le changement climatique en tant que tel.**

Au sujet des **zones humides**, M. Denis COUVET a relevé leur **très grande importance en matière de biodiversité** et la nécessité de ne pas construire sur des zones qui promettaient de devenir humides.

A l'inverse, on pourrait spéculer que **les faces nord des zones montagneuses risquent d'être des lieux de disparition d'espèces**, tandis que les faces sud enregistreront un appauvrissement et une invasion. Il sera nécessaire de créer des observatoires de ces phénomènes qui pourraient être reliés au réseau Natura 2000.

M. Denis COUVET a rappelé l'existence de **l'Agence européenne de l'environnement** qui comprend des centres thématiques sur le sol, l'eau et la nature - au Museum National d'Histoire Naturelle qui recense des données sur **la biodiversité** depuis 1994. La France est du reste en avance sur l'informatisation de ces questions. Il est dommage que la communauté scientifique ne soit pas encore vraiment parvenue à **obtenir que les jeunes soient sensibilisés à ces thèmes dans leur parcours scolaire.**

**OFFICE NATIONAL DES FORÊTS
(O.N.F.)**

**M. BERNARD GOURY,
DIRECTEUR GÉNÉRAL**

**M. CYRIL LOISEL,
CHARGÉ DE MISSION « EFFET DE SERRE »**

(5 octobre 2001)

Face à une idée courante selon laquelle la forêt rejette autant de carbone qu'elle en absorbe, **l'Office National des Forêts (ONF) rappelle que la forêt absorbe davantage de carbone qu'elle n'en rejette au niveau français, européen et mondial.** De plus, on n'a pas suffisamment osé dire que la reforestation pouvait contribuer à compenser la pollution et ce point fut même longtemps évacué des négociations internationales sur le changement climatique.

Tout en ne souhaitant pas apparaître en première ligne, l'ONF a mené des recherches sur la fixation de carbone par la forêt. Certes, une forêt à maturité et à l'état de nature n'absorbe pas ou peu de carbone, mais **une forêt entretenue et en période de croissance fixe du carbone.** M. Bernard GOURY a signalé que l'ONF menait actuellement une expérience de reforestation avec PSA Peugeot-Citroën en forêt amazonienne.

M. Bernard GOURY a estimé qu'à l'occasion des conférences des Parties tenues **à Kyoto comme à Bonn, des résultats assez satisfaisants, quoique tardifs, avaient été obtenus dans le sens d'une reconnaissance du rôle de la forêt.**

Il a rappelé que **la France est le troisième pays forestier d'Europe** avec une gestion forestière datant de plusieurs siècles, ce qui confère à notre pays **une reconnaissance internationale** en la matière.

L'activité internationale de l'ONF s'étend d'ailleurs aussi bien au Brésil, en Afrique, en Amérique centrale et latine, que bientôt en Asie.

Evoquant **les tempêtes de décembre 1999** qui ont touché tout le territoire, sauf la région Provence-Alpes-Côte d'Azur et une petite partie du Nord, M. Bernard GOURY a estimé qu'il s'agissait d'**événements d'ampleur jamais vue**, même si le lien avec l'effet de serre de ces tempêtes ne peut être prouvé et si des tempêtes antérieures ont laissé des traces importantes.

M. Bernard GOURY a souligné que ces tempêtes posaient **un problème financier** à l'ONF qui perd de ce fait 300 millions de francs par an sur un chiffre d'affaires de 3,5 milliards de francs, d'où la difficulté d'équilibrer les résultats prévus dans le contrat de plan entre l'État et l'ONF.

Le gouvernement s'est engagé dans le cadre du Plan National de Lutte contre le Changement Climatique à développer **des actions de reforestation**. Au départ, cette opération devait concerner 30.000 hectares par an, mais cet objectif a été ramené à 20.000 hectares par an suite aux tempêtes, les moyens financiers étant redirigés sur la réhabilitation des forêts existantes après les tempêtes. Cet objectif de 20.000 hectares reste lui-même très ambitieux, quand on sait que la tendance actuelle est inférieure à **10.000 hectares par an**. Le problème du financement se pose donc avec acuité, ce qui conduit à s'interroger sur la mise en place d'**un levier de financement associant le secteur public et le secteur privé** comme par exemple dans l'opération menée avec PSA Peugeot-Citroën en Amazonie. Peut-être faudrait-il axer cela sur l'idée du développement durable et obtenir un relais des élus pour que ce ne soit pas toujours l'État qui soit sollicité.

M. Bernard GOURY a insisté sur **l'importance de la filière bois** comme source d'indépendance nationale. Outre le fait qu'elle représente 500.000 emplois, cette filière pourrait trouver de nouveaux débouchés dans **le bâtiment** à travers l'utilisation de davantage de bois, comme dans les autres grands pays forestiers d'Europe du Nord et d'Amérique du Nord.

Il a ensuite insisté sur le fait que **la gestion forestière** était un secteur peu rentable avec des rendements de l'ordre de 1,5 à 2 % par an. Une certaine compétitivité de ce secteur d'activité pourrait être retrouvée avec la création de **bons de dépollution**, ce qui inciterait à utiliser le bois pour la construction et l'ameublement et à avoir recours à la biomasse en tant qu'énergie renouvelable. Cela permettrait d'investir dans la forêt.

M. Bernard GOURY a indiqué que **l'ONF gère 2.200.000 hectares de forêts domaniales et 2.300.000 hectares de forêts communales**. En France, les deux tiers des forêts sont des forêts privées, le tiers restant des forêts publiques. Il a précisé qu'à la suite des tempêtes de 1999, certaines forêts avaient été pour ainsi dire rasées.

Il a regretté que les communes forestières ne soient pas davantage structurées en dépit de l'action efficace du sénateur Jacques-Richard DELONG. En effet, sur 11.000 communes forestières, peu adhèrent à la Fédération française des communes forestières.

Par ailleurs, de très bonnes liaisons existent entre les communes forestières et l'ONF qui met à leur disposition 12.000 personnes, dont 7.000 fonctionnaires (600 cadres supérieurs, comprenant 150 ingénieurs issus de l'Ecole polytechnique, de l'Institut National d'Agronomie et de l'ENGREF) et 5.000 ouvriers forestiers.

En fait, les communes attendent surtout une aide administrative, notamment les centaines de communes qui ont été très touchées par les tempêtes, mais pour lesquelles un mécanisme intercommunal d'intervention reste à trouver. Il faudrait plutôt raisonner en termes de bassin forestier plutôt qu'en termes de parcelle communale.

M. Bernard GOURY a insisté sur le fait que **la forêt est d'une certaine manière le monument le plus visité de France**. Ainsi, le nombre de visiteurs de la forêt de Fontainebleau est estimé à 17 millions par an. Ça et là, quelques produits touristiques commencent à être mis en place en faisant payer les visiteurs de la forêt. C'est le cas pour les campings en bordure de forêt lorsqu'ils offrent des services écotouristiques.

M. Bernard GOURY a rappelé que la forêt française bénéficiait de plus de trois siècles de gestion et que des règles précises d'intervention avaient été mises au point à travers le code forestier depuis 1827.

D'une manière générale, le territoire agricole recule, permettant **un regain de la forêt**, et à 50.000 hectares de déprise par an répondent 10.000 hectares de replantation, parfois limité à 6.000 ou 7.000 hectares selon les années, ce qui donne une progression pour les buissons d'au moins 30.000 hectares par an, d'où l'objectif gouvernemental de replanter 20.000 hectares supplémentaires de forêt chaque année.

Quoiqu'il en soit, la superficie forestière française est actuellement supérieure à ce qu'elle était sous Louis XI.

Dans ces conditions, M. Bernard GOURY a insisté vigoureusement sur **la nécessité de replanter plus vite la forêt afin de parvenir réellement à un rythme de 30.000 hectares de reboisement par an** alors que seul le tiers est réalisé actuellement. Et, même si l'argent public manque pour atteindre un tel objectif, il n'est pas exclu que soient imaginées, derrière la fiscalité ou la création d'un marché du carbone, des pistes pour trouver de l'argent privé.

Peut-être **un système à l'australienne** comme le «landcare» pourrait-il inspirer une nouvelle politique ? En effet, en Australie, sur un pays de 22 millions d'habitants, 2 millions adhèrent à l'Association Landcare financée à hauteur de 10 % par la Région, les 90 restants provenant des adhérents. Cet outil de gestion remarquable reçoit un financement abondant des grandes sociétés. **Un marché du**

carbone est déjà créé, le recours aux bons de dépollution étant chose courante actuellement.

En France, l'enjeu d'une telle politique forestière ne semble pas encore avoir été compris.

Citant un autre exemple, celui du Costa Rica, M. Bernard GOURY a indiqué que ce pays finance sa forêt au moyen d'une écotaxe depuis trois ou quatre ans.

Dans la mesure où **le coût du reboisement d'un hectare en France** oscille entre 15.000 F et 20.000 F, le développement d'une politique de reboisement semble accessible, même si la République délaisse un peu ses domaines, ce que ne faisait pas la Royauté, et alors même que le public souhaiterait une politique plus active.

Par **comparaison avec les pays étrangers**, notamment d'après les descriptions figurant dans le rapport de M. Jean-Louis BIANCO, et dans le rapport du sénateur Philippe FRANCOIS fait au nom de la Commission des Affaires économiques et du plan, la France serait le dernier pays d'Europe à se préoccuper de ses forêts, **l'Allemagne** dépensant bien davantage, les Allemands ayant reçu, par exemple, six fois plus de crédits que les Français pour replanter leurs forêts après les tempêtes de 1999, **les Suisses** et **les Autrichiens**, quant à eux, étant toujours demeurés très attentifs à leurs forêts.

M. Bernard GOURY a estimé que **le bois** était **un matériau moderne** et que le Centre Technique du Bois et de l'Ameublement avait mené des analyses très poussées pour développer l'usage de ce matériau qui, de plus, est moins cher que le béton, mais il a regretté que les architectes semblent souvent excessivement influencés, voire soutenus, par le groupe de pression du béton.

A ce propos, M. Bernard GOURY a indiqué que pour 2001, l'industrie de la transformation du bois effectuait très peu d'achat de bois, dans la mesure où elle dispose d'un an de stock suite aux tempêtes. Par ailleurs, souvent, c'est le bois exotique qui est utilisé de préférence, comme le bois africain pour la reconstruction de la passerelle d'Orsay sur la Seine à Paris.

En outre, il serait nécessaire de moderniser **le système de vente de bois**, aujourd'hui incompréhensible pour les étrangers ; le bois devrait être commercialisé déjà coupé pour en favoriser l'exportation.

M. Bernard GOURY a souhaité que **l'action de l'ONF** à l'étranger soit mieux acceptée afin de **la comptabiliser dans les réductions de pollution**. Il a noté à cet égard que **la forêt amazonienne ne peut être considérée comme le poumon de la planète** car elle est à maturité et non entretenue, ce qui devrait inciter à mieux entretenir la forêt de Guyane.

Abordant la question du **bois énergie**, et après avoir rappelé que **la Suède** possédait une forêt très homogène permettant une exploitation très mécanisée à travers de grandes étendues plates, M. Bernard GOURY a noté que ces conditions

favorables s'accompagnaient d'une fiscalité et de l'existence de subventions très intéressantes, ce qui produit une bonne rentabilité permettant au total de produire des plaquettes forestières à un coût deux fois moins élevé que le coût français et, en plus, de mener beaucoup de recherches sur cette source d'énergie qui démarre à peine en France.

De plus, **en France**, du fait du caractère plus ou moins inaccessible de certains secteurs, **30 % du bois restent en forêt où il finissent par se décomposer, dégageant du gaz carbonique**.

Interrogé sur **la collaboration entre l'ONF et la MIES ou encore l'ONF et l'ADEME**, M. Bernard GOURY a précisé que M. Cyril LOISEL, chargé de mission effet de serre à l'ONF accompagne toujours M. Michel MOUSEL, président de la MIES, lors des négociations internationales et que, par ailleurs, une très bonne collaboration existe entre l'ADEME et l'ONF.

Abordant ensuite diverses questions intéressant la forêt, il a rappelé que **les haies** étaient de plus en plus replantées en France, et que **la prise en compte de l'eau** était un travail important pour le forestier. Il a précisé que **l'épisode des pluies acides** avait mis en évidence que les problèmes survenus en Allemagne provenaient plutôt de sols inadaptés aux sapins de Bohême et que, par conséquent, ces arbres n'avaient pas été détruits par les pluies acides, mais par la conjugaison d'un sol inadapté, avec le gel et la sécheresse. Le lien entre l'acidité des sols et l'acidité des pluies a, du reste, été bien analysé par l'étude RENECOFOR.

Enfin, il a indiqué que d'autres problèmes avaient atteint la forêt, comme **la maladie du hêtre** qui vient de Belgique, qui desséché le hêtre et s'étend selon des modes de transmission inconnus à ce jour. Il a également mentionné le problème causé par **les insectes xylophages**, qui pullulent à la suite des tempêtes de 1999, tout traitement étant impossible à part l'isolement des massifs, car le phénomène se répand extrêmement rapidement, notamment dans le nord-est, l'Alsace et les Vosges.

PALAIS DE LA DÉCOUVERTE

M. Jean AUDOUZE, Directeur

(25 avril 2001)

Pour M. Jean AUDOUZE, **le changement climatique semble, hélas, inéluctable** et seules demeurent des interrogations sur l'étendue et les conséquences de celui-ci.

L'intensification de l'effet de serre, à l'origine du changement climatique, a été provoquée par l'ère industrielle et, notamment, par les émissions de gaz à effet de serre dues aux transports.

M. Jean AUDOUZE a précisé qu'il s'est intéressé à ces problèmes à l'échelle internationale dans le cadre de l'UNESCO et du point de vue des préoccupations à caractère éthique qu'ils suscitent. C'est ainsi que l'on est amené à constater que **chaque forme d'énergie (énergies fossiles, nucléaires et « renouvelables ») présente à la fois des avantages et des inconvénients.**

En effet, les énergies fossiles, qui sont les plus faciles à mettre en œuvre, dégagent des gaz à effet de serre. Par ailleurs, leurs gisements viendront à se raréfier, voire se tarir, à l'horizon de 40-50 ans. Le nucléaire ne dégage pas de dioxyde de carbone mais pose le problème de son acceptabilité et du sort des déchets ultimes. Quant aux énergies renouvelables, elles ne dégagent pas non plus de dioxyde de carbone, mais elles sont coûteuses et dégradent souvent, elles aussi, l'environnement (par exemple le bruit des éoliennes ou les atteintes portées aux paysages par celles-ci ou les barrages hydro-électriques).

Dès lors, la question consiste à se demander comment l'homme doit faire face à cette situation.

On peut tenter d'y répondre de quatre façons. La première consiste à exploiter **les économies d'énergie** en cherchant, par exemple, à diminuer la consommation des véhicules automobiles ou en isolant les bâtiments. La seconde revient à faire davantage référence au concept d'**efficacité énergétique** (c'est-à-dire

la recherche et la promotion des techniques à meilleur rendement) que pour l'instant les États-Unis d'Amérique et l'Europe envisagent de façon très insuffisante. La troisième piste impose de **porter l'effort de recherche scientifique à la hauteur du problème posé** et la quatrième revient à s'interroger sur **les échelles de temps et les évolutions nécessaires**. Par exemple, les réserves de pétrole seront épuisées d'ici une quarantaine d'années. Il faut prendre conscience dès maintenant du caractère très proche de cette échéance.

Evoquant **les phénomènes extrêmes et les catastrophes**, M. Jean AUDOUZE a relevé que, depuis quelques années, les inondations se multiplient, ce qui n'est pas sans lien avec les changements climatiques. Cela conduit à se demander si la situation n'est pas déjà devenue irréversible. A ce propos, il s'est interrogé sur **la perturbation éventuelle du Gulf Stream** qui aurait comme effet paradoxal d'entraîner un refroidissement du climat en France alors que l'ensemble du globe subirait un réchauffement général. Il estime, de plus, qu'il convient de réaliser que c'est la stabilité du climat actuel qui est remise en cause et que, selon l'expression de M. Claude ALLEGRE, **l'homme est devenu un agent géologique**.

Dans ce contexte, le parti politique des Verts demeure paradoxalement très silencieux sur **les économies d'énergie** alors que des outils pour les promouvoir sont à la disposition de notre pays, comme l'existence et les activités de l'ADEME. Par ailleurs, des mesures fiscales et de tarification peuvent créer les conditions d'une évolution favorable. D'autant que, même si de nouvelles découvertes permettent de poursuivre l'exploitation de combustibles fossiles pendant 300 ans au lieu de 40, l'arrêt de leur exploitation posera un problème aussi grave quelle que soit l'échéance.

D'un point de vue général, M. Jean AUDOUZE a donc regretté que le principe de précaution puisse parfois servir d'alibi à l'inaction. Il a noté par ailleurs qu'il était difficile d'inciter à la généralisation des transports en commun dont la continuité est régulièrement mise à mal par les grèves à répétition, et que la société d'aujourd'hui subissait encore le coût colossal des erreurs d'urbanisation commises dans les années 1960.

M. Jean AUDOUZE a estimé que beaucoup de recherches doivent être entreprises concernant **les énergies renouvelables** et que des incitations seraient bienvenues pour y parvenir, même si, pour l'instant les promoteurs des énergies renouvelables avaient du mal à se faire entendre.

A propos du véhicule électrique, il a déploré que trop peu d'innovations soient déployées quant aux **moyens de transport**. La plupart des véhicules ne sont-ils pas immobilisés après n'avoir roulé qu'une demi-heure par jour ou effectué des trajets très modestes ?

Questionné sur le succès des **expositions présentées au Palais de la Découverte**, M. Jean AUDOUZE a rappelé que celles-ci accueillaient environ 600.000 visiteurs par an, dont un quart est constitué par des écoles et le reste par des visites en famille. Il a noté qu'une bonne exposition attirait près de 200.000 visiteurs

sur Paris et qu'au Palais de la Découverte, l'âge de 40 % des visiteurs oscillait entre 8 et 15 ans. En conclusion, il souhaite une augmentation substantielle des **moyens du Palais de la Découverte** qui demeurent en deçà de ses très grands besoins.

CONSEIL GÉNÉRAL DES PONTS ET CHAUSSEES

M. JEAN-PIERRE GIBLIN, (1)

**PRÉSIDENT DE LA TROISIÈME SECTION
(AFFAIRES SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES)**

(5 octobre 2001)

Après avoir fait observer que depuis les chocs pétroliers l'attention portée au thème des **économies d'énergie** s'était relâchée ainsi que les programmes de l'ADEME, M. Jean-Pierre GIBLIN a noté que l'épuisement des ressources fossiles est déjà évoqué depuis longtemps, et qu'une action dans la durée pour promouvoir les autres sources d'énergie est indispensable. C'est ainsi que l'eau sanitaire pourrait provenir davantage du **chauffage solaire**. Sur ce point la France est en retard, notamment du fait de l'absence d'homogénéité des compétences au niveau des artisans.

A propos des secteurs dont le Ministère de l'équipement, des transports et du logement (MELT) a la charge, M. Jean-Pierre GIBLIN a présenté une observation d'ordre statistique : **la segmentation traditionnelle des consommations d'énergie entre industrie, bâtiments et transport est de moins en moins pertinente** avec l'évolution économique ; le secteur tertiaire croît au détriment du secteur secondaire et une part importante de l'énergie consommée dans les transports résulte directement de l'évolution des méthodes de production et de distribution. S'agissant des **transports, gros consommateurs d'énergie fossile**, il a ensuite relevé que **la croissance de la mobilité** concernait pour le tiers des trajets de distance inférieure à 25 km et parcourus en automobile (étude du CREDOC sur la période 1982-1994) et que un tiers des trajets nouveaux était supérieur à 500 km. Ces données reflètent bien

(1) *Polytechnicien, ingénieur général des ponts-et-chaussées, ancien directeur de la recherche et des affaires scientifiques et techniques au ministère de l'Équipement, des transports et du logement. Il préside le comité des directeurs pour l'énergie créé par le ministre en novembre 2000.*

à la fois la civilisation des loisirs et les déplacements d'affaires liés à la mondialisation et à la multiplication des échanges.

En fait, la plus grande rapidité des véhicules individuels motive le recours à leur usage, de préférence à celui du transport collectif. Par ailleurs, l'usage du TGV ne consommant pas d'énergie fossile et pour un coût de kwh marginal, est souvent compensé par le transport aérien dont l'usage s'accroît.

M. Jean-Pierre GIBLIN s'est demandé comment **agir sur les causes de la mobilité**. Il a relevé **l'impact limité des plans de déplacements urbains (PDU)**, la **nécessité de modifier les formes urbaines** et le fait que les personnes possédant les plus faibles revenus habitent de plus en plus loin de leur lieu de travail et deviennent les plus captifs de la voiture et de leur budget énergie, d'où une certaine ségrégation sociale (comme les études de M. Orfeuil sur ce sujet le montrent).

A l'avenir, il a souhaité qu'une plus grande attention soit portée à la localisation des activités, tout en notant que **le nombre croissant de personnes inactives s'accompagne d'une mobilité accélérée de celles-ci**.

Il s'est ensuite inquiété de **la localisation des centres commerciaux**, trop souvent éloignés des moyens de transport collectifs. En **Allemagne**, les surfaces commerciales sont en général plus réduites que les surfaces françaises. Evoquant l'exemple des **Pays-Bas**, il a signalé que trois zones (A, B, C) avaient été définies, et qu'il y avait obligation de situer les activités dans les zones les plus accessibles.

Il a rappelé que **la taxe professionnelle communale** pouvait jouer un rôle néfaste, chaque commune ne voyant que son propre intérêt, alors qu'une mutualisation de cette taxe à l'intérieur des communautés de communes prévue par la loi Chevènement permettrait de concevoir des aménagements mieux coordonnés.

M. Jean-Pierre GIBLIN a aussi évoqué les souhaits des Français en matière de **localisation de l'habitat**, qui aujourd'hui préfèrent habiter soit le centre ville, soit la lointaine périphérie, mais pas la banlieue qui souffre d'un discrédit.

M. Jean-Pierre GIBLIN a rappelé que la reconquête des premières couronnes des villes était entamée, qu'elle avait déjà touché d'anciens grands ensembles, mais que ce genre d'évolution ne pouvait qu'être très lente, de l'ordre du demi-siècle.

Abordant ensuite **les caractéristiques des différents moyens de transport**, M. Jean-Pierre GIBLIN a indiqué qu'**à court terme une action sur les véhicules était envisageable et très efficace**. C'est ainsi que, pour les automobiles, un accord européen des constructeurs a fixé des objectifs pour 2008, et qu'il est sans doute possible de faire encore mieux, en atteignant par exemple 75 grammes par kilomètre pour des petits véhicules. Il a souhaité que cette contrainte puisse être étendue aux véhicules utilitaires et a indiqué qu'un petit moteur thermique alimentant les batteries d'un moteur électrique complémentaire (véhicule hybride) pourrait constituer une solution technique intéressante à moyen terme (cas de la Toyota Prius). D'autres pistes d'amélioration pourraient résulter de la meilleure utilisation de l'alternateur et

du démarreur. **La piste des véhicules hybrides, et à plus long terme, celle du recours à la pile à combustible, paraissent plus prometteuses que celle du véhicule électrique.**

Quant à la **vitesse des véhicules**, M. Jean-Pierre GIBLIN a relevé que le bridage des moteurs risque d'être difficile à obtenir à court terme mais qu'il serait tout de même essentiel de respecter et d'abaisser la limitation de vitesse. Sur ce point, la déléguée à la sécurité routière, Mme Isabelle MASSIN, est favorable au **contrôle automatique de la vitesse**, qui pourrait être positif en termes de sécurité et de consommation d'énergie. En ville, sur les voies rapides, ce contrôle automatique semble particulièrement praticable.

Par ailleurs, la généralisation des **boîtes automatiques** permettrait une conduite apaisée, d'autant que la consommation est plutôt liée aux arrêts et démarrages qu'à la vitesse elle-même.

Quant aux **avions**, M. Jean-Pierre GIBLIN a noté qu'on ne pouvait s'attendre à des ruptures technologiques. Pour **le train**, il lui a semblé difficile de mener le TGV au-delà de 320 km/h, la consommation d'énergie croissant très vite au-delà de cette vitesse.

Pour le transport de marchandises, il a estimé que la solution du **ferROUTAGE** se heurte à l'absence de qualité de l'offre du ferroviaire, cette situation étant d'ailleurs encore moins bonne à l'étranger, les problèmes de coopération entre réseaux aggravant encore les choses -certaines incompatibilités techniques se trouvant peut-être entretenues volontairement.

Au sujet de **l'habitat**, M. Jean-Pierre GIBLIN a insisté sur l'effort à mener dans la construction neuve, mais qui ne représente annuellement que 1 % du parc existant, à travers le respect d'une **nouvelle réglementation thermique**. Pour l'instant, la consommation énergétique de l'habitat s'accroît malgré les économies d'énergie réalisées. En effet, le nombre de foyers augmente, avec des surfaces d'habitation plus étendues, et les résidences secondaires se multiplient. Le problème de l'action sur l'existant plus complexe que l'action sur le neuf est donc un enjeu important.

M. Jean-Pierre GIBLIN a ensuite mentionné l'existence d'une discussion sur une directive européenne concernant l'énergie dans l'habitat, pour informer les acquéreurs d'un bien immobilier lors d'une mutation. **Mieux faire apparaître le coût des dépenses énergétiques** grâce, par exemple, à des compteurs individuels et à une action sur les gestionnaires d'immeubles.

Il a constaté que dans le contexte actuel, même si les dépenses de chauffage sont stabilisées, celles d'eau chaude augmentent –alors qu'un effort pourrait être fait vers le solaire ou le bois– tandis que la consommation des appareillages électriques connaît elle aussi une très forte hausse.

Compte tenu de ces éléments, il serait nécessaire de mener **des études sur les réactions du public face aux variations des prix de l'énergie (élasticité)**.

M. Jean-Pierre GIBLIN a souhaité également la mise en place d'un **dispositif de suivi précis du programme national de lutte contre le changement climatique et la responsabilisation des acteurs** à tous les niveaux sur ce thème car il s'agit d'un programme global, c'est-à-dire à la fois relatif à la planète et touchant tous les secteurs.

Dans la mesure où il a estimé ensuite que l'intensification de l'effet de serre était inévitable, M. Jean-Pierre GIBLIN a jugé indispensable **un examen plus strict des permis de construire** dans les zones inconstructibles ou inondables. De plus, si les tempêtes devenaient plus fréquentes, certaines **règles de construction** devraient être modifiées, comme celles relatives aux toitures ou celles touchant les calculs de résistance au vent. A cet égard, M. Jean-Pierre GIBLIN a signalé l'intéressante initiative de **Météo France** qui, depuis le 1^{er} octobre 2001, met à disposition, sur son site, **une carte de vigilance**.

Evoquant pour terminer la question de l'implantation du **troisième aéroport en Ile-de-France**, M. Jean-Pierre GIBLIN a comparé ce problème à celui des tunnels sous les Alpes, et a reconnu qu'il s'agissait pour beaucoup de partager les nuisances de Roissy, qui pourrait sans cela accueillir davantage de passagers. Il a relevé que **la consommation de combustible fossile par le transport aérien** était peu maîtrisable, et a noté qu'un voyage aux Antilles consommait autant de carburant par passager que l'essence d'une Clio sur 20.000 km.

Evoquant brièvement **les deux-roues**, M. Jean-Pierre GIBLIN a déploré que leur sécurité soit insuffisante, même si l'usage du vélo est bon pour la santé et si les scooters électriques peuvent être intéressants. Cependant, le recours plus important aux deux-roues dépend aussi du caractère distendu, ou non, des agglomérations.

PSA PEUGEOT-CITROËN

**M. BRUNO COSTES,
DÉLÉGUÉ AUX AFFAIRES TECHNIQUES
À LA DIRECTION DE LA STRATÉGIE**

**M. HERVÉ PICHON,
DÉLÉGUÉ POUR LES RELATIONS AVEC LE PARLEMENT FRANÇAIS
ET LE PARLEMENT EUROPÉEN**

(16 mars 2000)

Après avoir réaffirmé que **la limitation de l'effet de serre constitue une des priorités de PSA Peugeot Citroën**, M. Bruno COSTES a précisé que l'effet de serre distinct de la pollution devait être plus particulièrement pris en compte par les fabricants d'automobiles.

Il a rappelé que les émissions de polluants étaient réglementées mais que celles de CO₂ ne l'étaient point. De cette réglementation a résulté une diminution des émissions de polluants qui devrait encore permettre de diminuer de 70 % ceux-ci d'ici 2005. Quant aux **émissions de CO₂ par l'automobile**, elles sont proportionnelles à la circulation et à la consommation des véhicules.

M. Bruno COSTES a souligné qu'il s'agit avant tout de faire des efforts techniques car il paraît difficile de diminuer la mobilité.

Pour les fabricants automobiles, le souci de réduction de la consommation de carburant correspond à l'attente des clients. En revanche, **le client est assez indifférent à l'objectif de réduction de l'émission de polluants**. Il n'est, en particulier, pas prêt à payer davantage, même au profit d'une préoccupation générale.

Le groupe PSA produit beaucoup de véhicules **diesels** qui consomment environ 15 à 25 % de moins que les véhicules à essence, et beaucoup de petits véhicules, un peu comme Volkswagen. PSA est le *leader* mondial dans le secteur des diesels et son objectif est d'en produire davantage encore. **La traditionnelle image du diesel engendrant des fumées noires et des particules est révolue**. Les fumées

noires ont disparu et l'objectif d'annulation de l'émission de particules peut être atteint grâce au filtre à particules. Avec la production de la 607 en mai 2000, la possibilité de cette suppression a été démontrée à condition d'avoir recours à l'injection directe. Par la suite, tous les véhicules seront progressivement équipés d'un tel filtre.

M. Bruno COSTES a rappelé que deux indicateurs donnent une idée de la pollution urbaine: en hiver, le NOx et, en été, l'ozone.

Des solutions techniques existent comme **le moteur HDI** diesel qui, grâce à une injection à haute pression, pollue moins. Ce moteur HDI, qui produit 20 % de moins de CO₂ que le diesel, va voir ses particules éliminées, étant noté que le diesel est meilleur en émission de monoxyde de carbone.

Dans un tel contexte, M. Bruno COSTES a estimé que **tous les constructeurs évoluent vers une offre diesel**. BMW commence et, en Espagne, le diesel représente 60 % des ventes.

Analysé sous l'angle du coût du carburant en Europe, le diesel a un avantage moyen de 90 centimes et il n'y a qu'en Grande-Bretagne où il est plus coûteux.

Par ailleurs, des carburants sans soufre pourraient être produits ; des améliorations très ambitieuses étant attendues dans ce secteur.

Pour les moteurs à essence, la technique actuelle d'injection directe en mélange pauvre devrait être encore améliorée. Un gain de 15 % pourrait être obtenu.

Au total, l'écart actuel de 30 % existant entre l'essence et le diesel devrait pouvoir se réduire à 20 % à l'avenir.

A propos de la boîte automatique, M. Bruno COSTES a observé que cette technique attirait peu de consommateurs, même si celle-ci consommait de moins en moins et si aucun problème technique n'en bloque l'évolution. PSA poursuit un projet commun avec Renault, mais pour l'instant, il n'y a que **5 % de boîtes automatiques en Europe**.

Quant à la **climatisation des véhicules**, qui concerne 50 % du parc et ne cesse de progresser, elle entraîne **une surconsommation d'environ 10 %**, mais ce chiffre doit être relativisé dans la mesure où une voiture sans climatisation qui roulerait toutes vitres ouvertes consommerait encore davantage.

De plus, a estimé M. Bruno COSTES, des améliorations peuvent encore être attendues dans ce domaine où il serait possible de produire directement de l'air à la température souhaitée au lieu de mélanger, comme actuellement, de l'air froid à de l'air chaud. Les équipementiers ont de nombreux programmes de développement en cours sur ce sujet.

Les gaz employés pour la climatisation ne sont plus des HFC, mais des **CHFC** qui, du fait d'inévitables petites fuites sur les circuits, sont libérés dans l'atmosphère. Il faudrait en consommer moins et les remplacer par du CO₂. Les améliorations à court terme sont en place : les fuites sont de plus en plus faibles. A long terme, il s'agit de remplacer les produits actuels par du CO₂.

M. Bruno COSTES a ensuite déploré que dans le contexte politique actuel, les Etats-Unis d'Amérique ne jouent aucun rôle moteur dans la mesure où ils ne s'intéressent pas au niveau de la consommation de carburants par les automobiles.

Pour le consommateur, le raisonnement s'effectue à budget constant ; ainsi, une hausse du prix du carburant ou un enrichissement de la technologie peut entraîner un ralentissement du renouvellement du parc automobile. Or, **les véhicules de plus de dix ans sont à l'origine de 60 % de la pollution**, même si les véhicules anciens roulent moins.

Au cours des dernières années, la pollution d'origine automobile a été réduite d'environ 70 %, malgré l'augmentation du nombre de voitures et l'augmentation de la distance parcourue par chacune d'elle.

Pour **les poids lourds**, il a été noté que le filtre à particules et les catalyseurs deviendront plus fréquents vers 2005 et que le carburant représente le deuxième coût du transport routier après les salaires.

A propos de **la circulation automobile à Paris et dans sa banlieue**, M. Bruno COSTES a indiqué que ce problème était plus important en dehors de Paris qu'à Paris où le nombre de véhicules particuliers y circulant diminuait, mais qu'un problème réel existait de banlieue à banlieue et entre les banlieues et Paris.

Il a ensuite rappelé, au sujet **du véhicule électrique**, que la question des batteries et donc de leur autonomie demeure, le client n'acceptant pas une autonomie restreinte à environ 150 kilomètres. Ce sont donc plutôt les flottes commerciales qui sont concernées par ce type de véhicules, avec le garage de recharge qui peut accompagner ces flottes, les véhicules utilitaires étant les premiers visés. Mais globalement, le marché est faible.

Un marché n'apparaît pas non plus pour **les véhicules roulant au GPL** qui possèdent un niveau de pollution analogue aux véhicules à essence ou aux véhicules diesel, mais qui présentent un danger supplémentaire. Actuellement, une gamme complète de véhicules est offerte par PSA avec ce carburant.

Quant au **GNV** (méthane, CH₄), il doit être utilisé à une pression de 200 atmosphères, donc dans des réservoirs blindés, lourds et qui occupent tout un coffre, ce qui est bien essentiellement pour **les autobus** ou **les véhicules utilitaires**.

De plus, la distribution de ce carburant est dangereuse, ce qui exclut une utilisation grand public.

Un marché existe en Argentine où circulent 100.000 véhicules de ce type, ainsi qu'en Russie. Mais, en France, il est probable que le parc existant actuellement ne sera pas sensiblement modifié au cours des années à venir.

Au sujet des **véhicules hybrides**, M. Bruno COSTES a rappelé que le moteur thermique plus petit pourrait être utilisé, combiné à des moteurs électriques lorsque le véhicule est davantage sollicité. Cette technique pourrait être développée mais présente un coût important.

Concernant les **piles à combustible**, un projet a été développé par PSA en liaison avec Renault, le CEA et l'Air liquide ; toutefois, **il demeure dangereux de stocker de l'hydrogène et coûteux d'en fabriquer**. De plus, à partir de carburants liquides très propres avec un réformeur, il est possible de fabriquer de l'hydrogène directement dans le véhicule. L'objectif devrait être de réduire les coûts et les volumes par 10, ce qui n'a rien d'évident. En fait, **ce moteur est aujourd'hui plus adapté aux sous-marins et aux bateaux qu'aux véhicules automobiles**. Les progrès en cours diront si son avenir est aussi dans l'automobile

Evoquant les **ressources naturelles de pétrole**, M. Bruno COSTES a noté que celles-ci étaient plus importantes qu'en 1970.

Quant aux **bio-carburants**, en particulier le diester de colza, des réductions de 20 à 40 % des particules ont été obtenus dans le diesel. Des flottes internes de PSA ont été équipées avec ce carburant. Ce carburant peut être considéré comme intéressant.

M. Bruno COSTES a ensuite présenté quelques **objectifs de l'industrie automobile européenne** et notamment l'engagement pris par celle-ci de ne pas excéder **140 grammes de CO₂ au kilomètre en 2008** (ce taux était de 182 grammes par kilomètre en 1995). Il s'agit là d'un accord conclu au sein de l'ACEA qui regroupe tous les constructeurs européens.

Evoquant le développement du marché du véhicule automobile à l'étranger, M. Bruno COSTES a relevé que le développement de l'activité économique et des transports dans des pays tels que **la Chine** ou **l'Inde** va poser des problèmes d'émissions de CO₂ et de pollution urbaine qui ont déjà conduit les autorités chinoises à s'intéresser à la réglementation européenne.

Aux **Etats-Unis d'Amérique**, le budget de recherche alloué à la conception d'un petit véhicule est égal à cent fois le budget de la recherche européenne.

En **Europe**, la position technologique est très favorable et tant le diesel que l'injection directe devraient constituer de très bonnes armes face à la concurrence.

En **Allemagne**, le Ministère de l'Environnement allemand constate que le diesel muni du filtre à particules est le meilleur moyen de lutte contre l'effet de serre.

Evoquant pour terminer **le développement des véhicules monospace ou des breaks**, c'est-à-dire des véhicules plus lourds que la moyenne, M. Bruno COSTES a indiqué que cela allait à contre-courant des économies de consommation souhaitables, mais que, heureusement, ce marché comprenait 80 % de véhicules diesels, ce qui en réduisait la consommation et donc les émissions de CO₂.

**MME FLORENCE MEHL,
SECRÉTAIRE GÉNÉRAL DU PRIX EPIDAURE DE LA
RECHERCHE EN MÉDECINE ET ÉCOLOGIE**

(31 octobre 2000)

Mme Florence MEHL a rappelé que le **prix EPIDAURE** (1) a été créé par le Quotidien du Médecin pour encourager la recherche en médecine et en écologie. Ce prix, parrainé par la Fondation pour la Recherche Médicale, a pour objet de promouvoir des travaux sur **les liens entre altérations du milieu et les pathologies ou menaces pour la santé**.

Ce prix ambitionne de **faire émerger des données solides scientifiquement établies, susceptibles d'être diffusées auprès de l'opinion publique et des pouvoirs politiques** pour que ceux-ci puissent s'y référer dans l'exercice de leurs responsabilités. Chaque année, ce prix récompense quatre catégories de recherches :

- la recherche en médecine praticienne (observations de terrain en matière de **relations entre l'environnement et la santé**),
- la recherche fondamentale clinique et épidémiologique (mises en évidence des relations entre facteurs d'environnement et santé),
- la recherche technologique et/ou industrielle (réalisation permettant de minimiser les facteurs environnementaux néfastes à la santé),
- la recherche en communication et en promotion (mise en valeur des liens existant entre environnement et santé à travers un article, un reportage, un film ou une campagne de communication destinée au grand public)

A titre d'illustration des liens entre ces recherches et le changement climatique, Mme Florence MEHL a rappelé que le prix EPIDAURE 1998 a été accordé à des chercheurs appartenant souvent à l'INSERM, au CNRS ou à d'autres grands organismes de recherche pour des travaux sur « *Connaissances et Pratiques*

(1) C'est à Epidaure que se trouve le temple d'Esculape, dieu de la médecine.

des médecins face à la pollution atmosphérique» et à « Dans l'ombre du tiroir : Echo-épidémiologie de la maladie de Chagas » et que, en 1999, il a couronné l'étude « Relations entre pollution atmosphérique et symptômes cliniques » et, en 2000, « Analyse et la modélisation des risques environnementaux ».

C'est dire que les préoccupations du prix EPIDAURE rejoignent en partie celles de l'OPECST.

RAC-FRANCE
(RÉSEAU ACTION CLIMAT - FRANCE)

M. PHILIPPE QUIRION (1), PRÉSIDENT,
ET MLE RAPHAËLLE GAUTHIER (2), CHARGÉE DE MISSION

(24 avril 2001)

Après avoir rappelé que RAC-France est un collectif rassemblant toutes les associations impliquées dans le changement climatique, M. Philippe QUIRION, président du Réseau, s'est déclaré déçu du **grand décalage existant en ce domaine entre les déclarations gouvernementales et les actions**. C'est ainsi que, malgré les grandes déclarations du Président de la République à la Conférence de La Haye ou celles du Premier ministre au Parlement, ou encore du vote d'une proposition de loi relative à l'effet de serre, il n'est pas paru de lois, de règlements ou de décrets directement liés à cet objectif. De même, très peu de mesures du programme national de lutte contre le changement climatique (PNLCC) de janvier 2000 sont entrées en vigueur. En revanche, la mesure centrale de ce programme, à savoir la taxation de l'énergie, serait à remettre à l'ordre du jour après les péripéties de l'automne 2000.

M. Philippe QUIRION a également déclaré que RAC-France ne faisait pas confiance **aux accords volontaires conclus entre industriels et relatifs aux émissions de carbone** car ce système avait déjà été tenté dans le passé et ne s'était traduit que par des effets très faibles. De plus, les gains passés avaient d'autres objectifs que la réduction de l'effet de serre.

(1) M. Philippe QUIRION, docteur en économie, est chercheur au Centre International de Recherche sur l'Environnement et le Développement (CIRED).

(2) Melle Raphaëlle GAUTHIER est juriste (droit international et européen de l'environnement).

Il a souhaité ensuite que **les tarifs de reprise de l'énergie éolienne** soient fixés à 55 centimes malgré un actuel blocage du ministère de l'Industrie ; faute de cela, il n'y aura pas de lancement de cette filière énergétique.

Mlle Raphaëlle GAUTHIER a insisté sur l'importance de mesures françaises en la matière pour que notre pays possède une crédibilité au niveau international.

M. Philippe QUIRION a rappelé que de nombreux **effets d'annonces** étaient utilisés à répétition. C'est ainsi que les normes d'isolation thermique des bâtiments nouveaux ont été annoncées pour la première fois par M. Michel BARNIER en 1995. Plusieurs fois réannoncées depuis, et, enfin, en vigueur depuis peu de temps.

Il a également évoqué une autre difficulté résidant dans **les prises de position contradictoires des différents acteurs**. Ainsi, à propos de la taxation générale des activités polluantes, il a noté que les personnes mêmes qui ont demandé des exemptions ont critiqué ensuite un texte devenu trop complexe. Puis, la saisine du Conseil constitutionnel par l'opposition a également fait perdre du temps à la France dans ce combat. De même, les blocages existant au niveau du ministère de l'Economie et des finances face à l'action des Verts au Gouvernement ne facilite pas les choses. D'une manière générale, il a estimé que le problème de perte de compétitivité de l'économie française du fait de cette taxation a été surévalué.

A cet égard, Mlle Raphaëlle GAUTHIER a insisté sur **l'importance des campagnes de sensibilisation du public menées par RAC-France** (telles que le « *Pari contre l'effet de serre* », ou « *SOS climat* »), qui a constaté que les problèmes de l'effet de serre étaient mal connus, et souvent confondus avec celui du trou dans la couche d'ozone. La vulgarisation des enjeux et des effets du changement climatique est primordiale pour permettre au public de comprendre l'importance et les aboutissants des mesures nationales qui seraient prises par les pouvoirs publics en la matière.

M. Philippe QUIRION s'est déclaré satisfait de **l'absence de réactions négatives du public face aux mesures préconisées par RAC-France** et a estimé que le niveau de la taxe générale sur les activités polluantes pourrait inciter à changer les comportements des industriels mais pas ceux des particuliers, qui payent déjà de facto une taxation de cet ordre et qui ne manifesteront donc aucun rejet face à la nouvelle taxe.

Il a déclaré mettre beaucoup d'espoir dans **le logo « Energie Plus »** apposé sur les appareils ménagers économes en énergie, dans le développement **d'une politique de transport en commun**, dans la multiplication de l'usage du vélo, dans **le rééquilibrage des financements du fret entre le rail et la route** -annoncé mais dénué de réalité, les routes demeurant trop subventionnées.

A propos du **transport aérien**, M. Philippe QUIRION a vivement déploré que le kérosène soit exempté de toute taxe, et il a rappelé qu'un rapport spécial du GIEC sur l'aviation avait relevé que **l'avion était le mode de transport le plus**

émetteur de gaz à effet de serre. Il lui apparaît donc important de revoir l'ensemble des conditions de transport aérien ; toutefois, si une seule mesure devait être prise, il faudrait qu'elle porte sur la taxation de l'énergie.

Il a ensuite rappelé que **les coûts pour l'économie de l'atteinte des objectifs fixés à Kyoto** étaient estimés entre 0,2 % et 2 % du PIB, et il a relevé que l'écobénéfice devait être aussi pris en compte, par exemple la réduction de la pollution locale, qui améliorera la qualité de la vie.

Il a souhaité aussi que **des techniques plus intensives en main d'œuvre et plus économes en énergie** soient préférées. Par exemple, par kilomètre/voyageur, les transports individuels nécessitent deux fois plus d'énergie et requièrent deux fois moins d'emplois que les transports en commun.

M. Philippe QUIRION et Mlle Raphaëlle GAUTHIER ont également souligné que **les pays pauvres seraient les principales victimes du réchauffement.** Par ailleurs, en Europe, **l'étude Acacia** menée pour la Commission européenne a montré que **l'Espagne** allait particulièrement souffrir du changement climatique et que les stations de ski de basse altitude seraient vulnérables.

A n'en pas douter, si un tel changement survient, **les assureurs** réajusteront les primes affectées par exemple à l'assurance habitation. Ils ont commencé à anticiper cette démarche.

En fait, M. Philippe QUIRION souhaiterait que soient préconisées **des économies d'énergie**, notamment en évitant des gaspillages, en donnant par exemple la priorité à l'équipement au moyen de lampes fluo compactes à basse consommation remplaçant les ampoules à filament et les halogènes, notamment dans les bâtiments publics, suivant en cela l'exemple de la mairie de Grenoble. Les pouvoirs publics devraient également montrer l'exemple en évitant d'installer des lampes à halogène.

Abordant ensuite le thème des accidents de la route, qui causent 8 000 morts par an, M. Philippe QUIRION a souhaité que **la puissance des véhicules automobiles** soit bridée. Il a insisté sur la désinformation provenant du message relatif à la diminution de **la consommation unitaire des véhicules** (une récente annonce de Volkswagen fait état d'un véhicule futur consommant 1 litre aux 100 km), alors que parallèlement les constructeurs développent des véhicules tout terrain dits « 4 x 4 » et des monospaces. Il a souhaité que soit imposé à chaque constructeur automobile un seuil maximal d'émission unitaire de gaz polluants, à défaut de quoi le constructeur devrait acheter des droits à d'autres constructeurs plus performants.

M. Philippe QUIRION a proposé d'autres solutions, comme la limitation de l'accès à certains quartiers en ville pour les transports individuels, à condition que soient développés **les transports en commun**, et qu'une vraie réflexion soit menée sur **les véhicules hybrides**.

Il a souligné qu'en l'état actuel d'absence de solution au problème des déchets nucléaires, la filière nucléaire ne pouvait être considérée comme une

« technologie d'avenir ». En revanche, il a souhaité que soient vraiment favorisée l'émergence et le développement des **énergies renouvelables**. Cela pourrait passer par un tarif de rachat garanti qui favoriserait les agriculteurs, par une sélection entre les divers biocarburants en prenant garde au fait que leur écobilan actuellement discutable prenne bien en compte l'énergie ayant servi à produire leurs intrants et également les rejets dans la nappe phréatique. Il s'est déclaré favorable aux chaufferies à bois, à condition que les arbres brûlés soient replantés, étant entendu que cette filière ne dégage pas de CO₂ si l'on raisonne dans le seul cadre de celle-ci.

Mlle Raphaëlle GAUTHIER a insisté sur le fait que le charbon et le nucléaire étaient actuellement directement ou indirectement subventionnés, et le fuel lourd peu taxé. En conséquence, ce type de subventions fausse la donne, et ne permet pas de rendre compte du réel prix de l'énergie.

Abordant ensuite la question du « **mécanisme pour un développement propre** » **prévu par le protocole de Kyoto**, les personnes entendues ont estimé que l'effet pourrait être positif pour les pays en voie de développement et incitatif pour les pays industrialisés, même si ce mécanisme ne suscitera sans doute pas autant d'intérêt que prévu, mais se ramènera davantage à des transferts de technologies, les pays en voie de développement ayant un droit à accomplir celui-ci.

Il a ensuite été rappelé par M. Philippe QUIRION, à propos de l'attitude des **Etats-Unis d'Amérique**, que si le président BUSH père avait signé la convention de Rio, en 1992, le Président BUSH fils était revenu sur les engagements américains contractés à Kyoto.

Contrairement à ce que prétend G.W. BUSH, il a été relevé que les émissions de CO₂ des **pays du Sud** dans l'excédent d'émissions constaté demeuraient stables de 1995 à 1999, que celles de la Chine ont baissé, même si le risque d'une forte augmentation demeure du fait de son fort potentiel charbonnier.

Il semblerait donc souhaitable de découpler les pays qui payent de ceux qui accueillent le développement, par exemple en améliorant les normes thermiques des bâtiments.

Pour RAC-France, les pays en voie de développement ont raison de ne pas s'engager, pour l'instant, dans la lutte contre l'effet de serre mais d'attendre que, en **2005**, les pays développés soient à même de montrer des résultats probants dans ce domaine. En effet, les pays en développement n'ont pas de responsabilité historique dans la progression de l'émission de gaz à effet de serre.

Mlle Raphaëlle GAUTHIER a indiqué que les pays en développement seront très dépendants de leurs besoins énergétiques et qu'il serait essentiel de leur fournir les meilleures technologies dans ce domaine.

Des progrès restent à faire sur ce point, à en juger par le parallèle avec l'actuel cas d'un dirigeant de centrale nucléaire au Japon, jugé pour irradiation d'employés par l'énergie nucléaire, ce qui illustre encore une fois, que dans le débat

nucléaire, il faut bien distinguer **le recours au nucléaire en France** du recours au nucléaire étendu à l'ensemble du monde.

Une étude de l'INESTENE (1), intitulée « *Sortir du nucléaire en 25 ans* » apporte des éclairages sur ce thème. M. Philippe QUIRION a précisé qu'actuellement la consommation de l'ensemble des appareils en veille à l'échelle de la France représentait l'équivalent de la production électrique d'un réacteur nucléaire. Le Comité de Liaison des Energies Renouvelables (CLER) et de l'ADEME ont mis en valeur d'autres comparaisons de cet ordre.

A propos de cette agence, M. Philippe QUIRION a noté qu'elle se trouvait en sous-effectif par rapport aux moyens qui lui sont alloués, ce qui l'empêche de se consacrer suffisamment au soutien et au suivi des dossiers, d'où une insatisfaction des particuliers malgré le fait que l'ADEME est en général peu connue.

Il s'est réjoui de noter le soutien de l'ADEME au chauffe-eau solaire, mais a regretté que beaucoup d'argent de l'ADEME soit allé à des incinérateurs de déchets néfastes pour l'environnement.

D'une manière générale, il serait souhaitable que l'ADEME puisse également financer les frais de fonctionnement des installations qu'elle subventionne au-delà des crédits d'investissement. Cela lui permettrait, par exemple, d'être moins favorable aux incinérateurs par rapport aux centres de tri. Cela profiterait également à l'environnement et à l'emploi.

Enfin, M. Philippe QUIRION a noté qu'il y aurait avantage à augmenter le nombre de **inspecteurs des installations classées**.

Apportant ensuite un éclairage sur **la mission interministérielle de l'effet de serre** (M.I.E.S.), M. Philippe QUIRION a estimé que sa création était nécessaire, d'autant que, dans la pratique, l'environnement n'intéresse que le ministère de l'Environnement, d'où une difficulté pour attirer dans ce type de structure interministérielle des personnels qui ne peuvent en attendre des gratifications de carrière. Cela se traduit par des effectifs insuffisants à la MIES et par le fait qu'il y faudrait parfois des personnes ayant une compétence technique supérieure.

Quoiqu'il en soit, les travaux effectués par la MIES commencent à être pris en considération, mais seulement en fonction de **la prise de conscience du public**, qui ne date que d'il y a six mois, voire une année. De plus, le memento établi à l'usage des décideurs locaux est sous-utilisé.

M. Philippe QUIRION a regretté que le programme national de lutte contre l'effet de serre soit un peu insuffisant quant à **l'agriculture**. Il aurait souhaité une prise de position beaucoup plus nette en faveur de la réduction des engrais azotés.

(1) *Institut d'Evaluation des Stratégies sur l'Energie et l'Environnement en Europe.*

Il a ensuite estimé que **les négociations internationales** ne nécessitaient pas forcément la présence de climatologues, mais plutôt celle de juristes et d'économistes connaissant cette problématique, ce qui devrait permettre au ministère des finances de réagir plus efficacement sur les options présentées.

En conclusion, M. Philippe QUIRION a estimé que la **création du Groupe Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (G.I.E.C.)** avait été la meilleure idée, jusqu'à présent, sur le changement climatique, car ses travaux de recherche sont très lisibles. L'existence de cet organisme dans lequel collaborent des chercheurs de toutes nationalités, permet d'éviter le syndrome, courant dans d'autres secteurs, où ce qui n'est pas inventé sur place est l'objet de défiance. Il a enfin loué l'efficacité du résumé établi à l'intention des décideurs, présenté en début de chaque rapport.

M. PHILIPPE ROQUEPLO (1)

(14 novembre 2000)

M. Philippe ROQUEPLO a exposé le résultat de ses recherches et réflexions concernant **la possibilité et les limites de l'expertise scientifique sur une question d'ordre international.**

Dans le domaine du climat, la première question à se poser concerne, selon lui, **le degré de confiance qu'il convient d'accorder ici aux scientifiques.** Cette question est souvent mise en avant, car l'expertise officielle est effectuée par un ensemble de scientifiques ("*International Panel on Climate Change*" ou G.I.E.C.) qui se sont regroupés par cooptation, certaines personnes s'en étant trouvées écartées. Une autre question concerne **les modèles numériques** utilisés par les scientifiques pour effectuer leurs recherches: la convergence des résultats de ces modèles n'est pas (ou plutôt n'était pas) si évidente qu'elle puisse entraîner une conviction absolue. Enfin et surtout **le sujet est d'une fantastique complexité.** Tout cela conduit certains (de moins en moins nombreux) à émettre des doutes sur la fiabilité de l'expertise en un tel domaine.

Certes, tout le monde s'accorde sur le fait que la présence de certains gaz -en particulier le CO₂- dans l'atmosphère perturbe son équilibre thermique et, de prime abord, provoque un réchauffement ; mais le problème se complique aussitôt : ainsi ce réchauffement provoque l'évaporation de l'eau ; or la vapeur d'eau constitue elle-même un gaz à effet de serre très puissant ; son évaporation, en accroissant sa présence dans l'atmosphère, devrait donc accélérer l'échauffement et la "machine climatique" devrait s'emballer. S'il n'en est pas ainsi, c'est que le phénomène engendre des effets qui le contrarient - ce que l'on appelle des rétroactions négatives dont le bilan thermique est très difficile à effectuer. Ainsi en va-t-il, par exemple, des conséquences thermiques de la formation des nuages : leurs faces supérieures constituent un miroir qui renvoie l'énergie vers le haut (donc rafraîchit l'atmosphère), mais toute la machinerie turbulente qui s'y développe doit être prise en compte (que l'on pense aux orages!). Or, si les nuages réchauffent et refroidissent simultanément

(1) Ancien Directeur de Recherche au CNRS.
Auteur de « *Climats sous surveillance : limites et conditions de l'expertise scientifique* » - Economica- 1993 et de « *Entre savoir et décision : l'expertise scientifique* – INRA Editions - 1997

l'atmosphère, il y a là -parmi bien d'autres- un défi considérable lancé à la recherche scientifique.

Pour M. Philippe ROQUEPLO, un événement étonnant et fort heureux s'est produit depuis une trentaine d'années : le surgissement, au sein même du monde scientifique, d'une communauté capable de se saisir de ces problèmes et de relever de tels défis : celle des **météorologues**.

Ce surgissement résulte de trois causes principales :

1/ les besoins de l'aviation en matière de prévision météorologique ont donné naissance à une communauté internationale quotidiennement opérationnelle ;

2/ les progrès des l'informatique ont mis à la disposition de ce réseau météorologique des outils de calcul d'une puissance fantastique en sorte que les prévisions sont devenues de plus en plus crédibles et que la communauté des météorologues a, en quelque sorte, manifesté aux yeux de tous (dont les siens!) la confiance qu'il est raisonnable de lui faire ;

3/ à partir de là, les météorologues se sont sentis en mesure de "simuler" le climat.

La prévision météorologique exige **une simulation de l'évolution atmosphérique** (de 10 minutes en 10 minutes) sur une portée d'environ quinze jours (ce qui exige de l'ordre de 2000 "itérations" pour chaque prévision) ; tandis que la recherche climatique, exige, d'une part, qu'une telle "expérience numérique" soit effectuée sur un horizon de 20 à 100 ans (soit de l'ordre de 2 à 10 millions d'itérations!) et, d'autre part, que pour chaque instant simulé soient intégrées, en une seule et même "simulation climatique", les "simulations météo" de milliers de points de la Terre. Même avec les plus grosses machines du monde, cela exige des jours et des jours de calcul ininterrompu. C'est pourquoi la recherche a d'abord commencé en faisant des simplifications considérables, et elle se complexifie elle-même chaque jour au fur et à mesure que son travail avance.

Sans s'étendre davantage sur la description du travail des scientifiques, M. Philippe ROQUEPLO a souligné que, lorsqu'il a entrepris d'en étudier les modalités, il a été effrayé de toutes les simplifications qu'elles comportaient et a eu de sérieux doutes sur **la fiabilité des résultats** qu'elles obtenaient. Il s'est d'ailleurs aperçu que les chercheurs eux-mêmes se posaient maintes questions à ce sujet. Mais c'était au tout début des années 90. Les années passant, les résultats se sont accumulés, les chercheurs sont devenus à la fois plus modestes et plus confiants dans la valeur de leurs résultats ; c'est pourquoi M. Philippe ROQUEPLO a estimé que ce serait aujourd'hui une témérité irresponsable que de ne pas leur faire confiance et, quoiqu'il en soit des doutes que, dans un tel domaine, on peut toujours se plaire à susciter et à entretenir, **il est évident que les modèles climatiques actuels sont devenus crédibles** et qu'aucune voix ne se fait entendre à leur encontre, si ce n'est quelques rares exceptions visiblement liées à certains groupes de pression, en particulier aux

lobbies du pétrole ; c'est manifestement actuellement le cas aux Etats-Unis d'Amérique.

Au sujet de **l'analyse des carottes glaciaires**, M. Philippe ROQUEPLO a rappelé qu'elle a montré, depuis les années 1993-95, que de très importants changements climatiques pouvaient survenir dans des temps très courts, de l'ordre de 50 ans ; cette fragilité climatique provient d'ailleurs plutôt des océans que de l'atmosphère. En effet, un réchauffement de la calotte glaciaire peut faire fondre d'énormes quantités de glace et produire une masse d'eau non salée qui modifie la densité de masses considérables d'eau de mer, ce qui peut entraîner une modification brutale des trajets de certains courants marins ; ainsi le Gulf Stream pourrait être détourné de son cours actuel et ne plus venir réchauffer l'Europe. D'aucuns parlent même d'un éventuel refroidissement de celle-ci.

Interrogé sur la possibilité de parvenir à **des prévisions régionales**, M. Philippe ROQUEPLO a répondu qu'on ne pouvait pas actuellement faire des prévisions climatiques fiables sur des zones précises. On sait néanmoins que **certains lieux sont moins menacés que d'autres**. Si, par exemple, le climat de Paris devenait analogue au climat actuel d'une région située à 100 km au nord ou au sud, cela ne constituerait pas une grande menace parce que Paris est au milieu d'une large zone climatique. Il n'en irait pas de même pour Alger pour qui le climat se rapprocherait alors de celui du Sahara.

Quant au fameux "déplacement des forêts" il faut bien s'entendre sur ce que l'on veut dire en utilisant une telle expression, car les arbres ne se déplacent pas : ce qui se déplace, ce sont les conditions qui déterminent leur existence. Or, le climat constitue ici une condition primordiale. **Des scénarios et des études d'impact s'imposent donc, dans toutes les régions du monde**, pour déterminer ce qui risque de s'y passer (pour la végétation, pour le tourisme, ou, tout simplement, pour la possibilité de vivre) si tel ou tel scénario climatique se produisait. Mais, M. Philippe ROQUEPLO a insisté sur la nécessité d'envisager, pour une région donnée, l'ensemble des scénarios climatiques considérés comme possibles et d'esquisser les diverses "politiques adaptatives" correspondantes. Quoi qu'il en soit des difficultés à prévoir ce qui se produira, ce travail devrait être d'ores et déjà entrepris de façon concrète en tenant compte de la vulnérabilité spécifique de chaque région ainsi que de l'ensemble des ressources potentielles et du "gisement d'économies d'énergie" dont elle dispose. Il est d'ailleurs possible de trouver des informations riches d'enseignement en analysant maintes situations climatiques ayant été déjà historiquement rencontrées, ici ou là.

A propos des prévisions régionales, M. Philippe ROQUEPLO dit avoir observé (du moins lorsqu'il était engagé dans sa propre recherche) une sorte de refus général à s'engager dans ce genre de recherches. En effet, de telles recherches peuvent mettre en évidence le fait que, dans cette affaire de climat, **il peut y avoir des pays perdants mais aussi des pays gagnants** : ainsi **la Sibérie**, comme d'autres régions du monde, pourrait-elle devenir une zone fertile. Il est dès lors évident que ces éventuels gagnants ne seraient guère enthousiastes pour prendre les mesures

onéreuses nécessaires afin de lutter contre l'intensification globale de l'effet de serre et une élévation correspondante de la température moyenne de la Terre.

Il est d'ailleurs **très difficile de déterminer cette "température moyenne" de la Terre** car les points où les données sont recueillies sont très inégalement répartis et beaucoup des mesures effectuées sont biaisées par des phénomènes locaux comme, par exemple, la proximité des villes, en quel cas ces mesures ne peuvent être prises en compte qu'après de subtiles corrections. **Il n'est donc pas certain que la "signature" d'un changement climatique dû à l'accroissement de l'effet de serre puisse être l'élévation de la température moyenne de la Terre.** Dès lors quelle sera cette "signature" rendant le phénomène évident et faisant de la mobilisation de tous une urgence indiscutable? Certes les scientifiques disent aujourd'hui que la température moyenne de la Terre s'est élevée d'environ 0,6°C depuis le début de l'ère industrielle. Mais, pour M. Philippe ROQUEPLO, il s'agit là d'un "pseudo-événement" tellement cette notion de température moyenne de la Terre semble une notion éloignée de toute perception directe.

Il a ensuite insisté sur cette notion de "signature" à travers **l'affaire des pluies acides en Europe** en rappelant qu'aux environs de 1985, une bourrasque politique a secoué l'Allemagne parce que, à la suite d'une campagne médiatique, **les Allemands ont vu de leurs propres yeux que leurs arbres étaient malades** et parce que les scientifiques attribuaient cette maladie à l'oxyde de soufre contenu dans les fumées émises par d'innombrables usines. La mobilisation de la population allemande a été telle qu'elle a contraint le gouvernement de la RFA à prendre des mesures énergiques.

M. Philippe ROQUEPLO a estimé peu envisageable qu'il puisse en aller de même en matière climatique, et cela pour deux raisons majeures :

1) Il faudrait pour cela une "signature" claire susceptible de **mobiliser les populations**, comme ce fut le cas en Allemagne à propos des forêts. Certes, les scientifiques sont unanimes pour déclarer que si les émissions de gaz à effet de serre ne diminuent pas drastiquement, un changement climatique grave se produira ; mais ce changement ne se produira pas en un jour et sa "signature" n'aura pas l'évidence qu'elle eut en Allemagne dans le cas du "Waldsterben" dans les années 80. Il est donc très peu vraisemblable qu'une mobilisation populaire se produise jamais, susceptible de contraindre les gouvernements à agir.

2) D'ailleurs, même **si, ici ou là, un gouvernement était véritablement convaincu de la nécessité d'agir, il est probable que, nulle part, il ne parviendrait à imposer aux populations les décisions que la situation exigerait.** C'est ainsi que le directeur adjoint de *l'Environment Protection Agency*, interrogé un jour sur cette question, déclarait considérer comme totalement inenvisageable que les Américains acceptent jamais de restreindre leur consommation d'essence pour cause de protection du climat. Or, M. Philippe ROQUEPLO juge qu'il faudra bien en arriver là et pour cela **augmenter probablement de façon importante le coût des**

carburants et, plus généralement, celui de l'énergie afin d'en diminuer la consommation.

Il a noté que la hausse des prix de l'énergie ne déclencherait pas de catastrophe mondiale, mais qu'en provoquant une moindre consommation, elle permettrait de **protéger le long terme**, c'est-à-dire en l'occurrence **les conditions de vie de nos enfants et petits-enfants**, ce qui ne signifie d'ailleurs nullement que le changement climatique constitue la seule menace écologique qui mette en péril leurs conditions de vie. Avant que ne se produisent de graves changements climatiques avec leurs conséquences, il est - par exemple- probable qu'en maints endroits de la Terre **le manque d'eau et sa détérioration** irréversible auront provoqué des désastres.

Néanmoins, sur la question de l'effet de serre, M. Philippe ROQUEPLO estime que la première priorité est de parvenir par tous les moyens à **économiser l'énergie**, le gisement primordial d'économie consistant peut être dans l'innovation technologique : des ampoules électriques plus économes, des frigidaires mieux isolés, des voitures consommant moins de 4 litres/100 km, des machines industrielles mieux conçues... tout cela n'étant évidemment réalisable que si l'énergie elle-même est considérablement plus chère.

Bien entendu, il a posé à ce stade **la question du nucléaire** qui ne produit pas de gaz à effet de serre et paraît donc la solution miracle tant attendue. Le malheur est qu'il comporte d'autres risques qui interdisent son utilisation généralisée à la planète entière et limitent la part d'énergie nucléaire par rapport à l'ensemble des énergies produites sur la planète à un maximum de l'ordre de 15 %. Ce serait être fort peu responsable que de proposer le nucléaire comme "la solution" pour stopper l'évolution prévisible du climat du fait des émissions de CO₂. Au yeux de M. Philippe ROQUEPLO, ceux qui formulent de telles propositions le font sur la base d'une sorte d'idéologie techniciste qui leur permet d'évacuer mythiquement les énormes difficultés économiques, sociales et politiques que profile devant nous la question climatique. D'ailleurs, il est très significatif de constater que ceux qui proposent un recours mondial massif au nucléaire sont essentiellement les fabricants de centrales, ce qui a pour conséquences que le problème du nucléaire n'est jamais pensé dans sa globalité, incluant la prise en compte de tous ses aspects, y compris les conditions d'une gestion suffisamment sûre mondialement pour exclure, par exemple, la répétition de nouveaux Tchernobyl, etc...

Vient alors **la question des négociations internationales** sur les décisions à prendre face au défi climatique mondial.

A propos du recours aux **permis négociables**, étudié par de nombreux économistes, M. Philippe ROQUEPLO a relevé qu'il s'agit là d'un concept adapté à la gestion de problèmes régionaux (comme c'est le cas actuel aux Etats-Unis d'Amérique) : cela peut marcher au niveau d'un marché local pour négocier des contraintes imposées par une autorité politique supérieure. Cependant il est aberrant d'étendre cela au niveau mondial : cela reviendrait, en effet, par l'intermédiaire du

"marché des permis négociables" à créer cette **nouvelle marchandise** que serait le permis de polluer jusqu'à un certain niveau, et cela alors qu'aucune autorité mondiale (surtout pas l'OMC!) n'est en mesure de déterminer les contraintes globales susceptibles de fixer le niveau d'émission mondialement tolérable, pas plus que la "valeur négative" des flux globaux de CO₂ d'ores et déjà accumulés dans l'atmosphère.

Il a estimé qu'il ne suffit pas, en effet, dans une telle perspective de "négoce généralisé", de parler d'un permis de contribuer au flux des pollutions qui viennent jour après jour encrasser l'atmosphère. Il faut aussi **prendre en compte l'encrassement de l'atmosphère d'ores et déjà effectué** et qui constitue la cause principale des modifications climatiques pendant les années à venir et qui rendra le changement climatique quasi-irréversible.

Quant au problème des "**puits**" **qui absorbent le gaz carbonique**, principal gaz à effet de serre ; en gros, sur trois tonnes de CO₂ émises, deux demeurent dans l'atmosphère et une se trouve rapidement absorbée, en particulier par **les océans**. Ne raisonner que sur la partie qui s'accumule dans l'atmosphère sans tenir compte de celle qui est absorbée par les océans est-il juste ? Car enfin, le pouvoir d'absorption est proportionnel à la surface absorbante. Or, à qui appartient la surface des océans du point de vue de sa capacité d'absorption ? Pour M. Philippe ROQUEPLO, ne pas tenir compte de ce point dans les négociations internationales revient à dire que celui qui émet 300 000 tonnes de CO₂ s'approprie par le fait même une surface absorbante de l'océan mille fois plus grande que celui qui n'en émet que 300 tonnes. Le fait d'émettre des émissions constitue donc ainsi un véritable droit de propriété sur l'océan au profit des pays industrialisés ! Ce qui est difficile à admettre et devrait être pris en compte à propos de la dette des pays en voie de développement.

En conclusion, M. Philippe ROQUEPLO a estimé peu probable qu'on assiste jamais à **une mobilisation de toutes les populations du monde pour combattre le changement climatique** qui menace ce monde. Il serait donc à la fois urgent et politiquement (voire moralement) juste que les principaux pays industrialisés ne tirent pas un trait sur le passé qui se trouve (en ce domaine comme en bien d'autres) être la cause du présent qui menace l'ensemble des hommes ; il serait urgent et juste que les pays industrialisés enclenchent eux-mêmes -en prenant les décisions qui leur incombent- un vigoureux mouvement susceptible à la fois de pallier la menace et d'entraîner progressivement les autres à participer à cette lutte.

DÉLÉGATION À LA SÉCURITÉ ROUTIÈRE

M. YVES ROBICHON,
DIRECTEUR-ADJOINT DE LA SÉCURITÉ
ET DE LA CIRCULATION ROUTIÈRES

M. BERNARD GAUVIN,
SOUS-DIRECTEUR DE LA RÉGLEMENTATION TECHNIQUE
DES VÉHICULES,

(31 octobre 2000)

M. Bernard GAUVIN a considéré qu'il n'existait pas de prévisions précises sur **l'évolution des climats** pour les proches années à venir, mais que la combustion très rapide des combustibles fossiles pouvait cependant interférer sur les climats. Il a rappelé que les périodes glaciaires n'avaient pas été provoquées par l'homme, et que celui-ci n'avait sans doute pas la capacité de modifier les climats, mais possédait tout de même le pouvoir d'influer sur ceux-ci.

Evoquant **les transports**, M. Bernard GAUVIN a souhaité qu'ils s'insèrent à la fois dans un objectif de développement durable et de satisfaction des usagers, tout en économisant de l'énergie, et en limitant les émissions de CO₂, un tel objectif étant particulièrement difficile à atteindre, puisque seule une toute petite partie de la circulation terrestre pourrait être basculée sur un autre mode de transport.

M. Yves ROBICHON a souligné que la diminution du parc d'automobiles ferait baisser les émissions de CO₂ tout en augmentant **la sécurité routière**. Il a rappelé que les plans de prévention des risques routiers dans les entreprises avaient montré que 50 % des accidents du travail étaient des accidents de trajet, et spécialement des accidents de la route.

Améliorer la sécurité routière constitue donc un enjeu humain et économique exigeant de réfléchir à la manière de déplacer les personnes tout autant que les marchandises. Des simplifications obtenues résulteront des baisses de pollution, étant

précisé que **la réduction de trafic peut s'effectuer sans diminuer l'activité économique.**

De même, **les plans de déplacement urbains** prévus par la loi sur l'air devraient permettre des améliorations et de nouvelles réflexions sur l'optimisation des transports.

M. Bernard GAUVIN a noté une corrélation entre l'augmentation de **la vitesse** et celle du nombre des accidents. Il a observé qu'au-delà de 70 km/heure, **la consommation de carburant** augmentait vite et qu'en-dessous d'environ 70 km/h la consommation n'était plus liée à la vitesse du fait de l'usage non optimal des boîtes de vitesse, tandis que les boîtes de vitesse automatiques assurent une gestion optimale des régimes intermédiaires. Cependant, il n'existe que 3,5 % de véhicules équipés de boîtes automatiques en France et aucune étude n'est menée sur la généralisation de celles-ci malgré l'intérêt d'un comportement plus apaisé des conducteurs avec ce type de boîte.

Il a ensuite relevé que la vitesse avait baissé de 20 % sur les autoroutes françaises lors de la récente pénurie de carburant à l'automne et que cette période avait également suscité des articles de presse sur la réduction de la consommation.

Depuis le 1^{er} janvier 1993, des économies de carburant ont été réalisées grâce à la généralisation de l'injection pilotée, conséquence des réglementations européennes sur la pollution automobile dont la conséquence la plus médiatisée a été la généralisation du catalyseur sur les voitures à essence.

Cependant, le remplacement du parc est progressif et même si tout le monde a le droit de circuler, **il serait souhaitable, du point de vue de la pollution, de supprimer les voitures les plus anciennes.**

Il a rappelé que l'analyse du parc automobile français montre que celui-ci est économe en carburant par rapport à ceux de nos voisins européens et des principaux pays économiquement développés (Etats-Unis d'Amérique et Japon notamment), ce qui provient largement d'une fiscalité élevée frappant les carburants et d'une vignette chère, liée à la puissance fiscale (1). De même, la taxation de véhicules de sociétés, au-delà d'une certaine puissance, joue dans le même sens.

M. Bernard GAUVIN a rappelé que la loi du 4 juillet 1998 prévoyant le calcul d'une nouvelle **puissance fiscale** comme élément majeur de choix d'une nouvelle automobile n'avait soulevé aucune critique, deux paramètres seulement permettant le calcul de cette taxe : la puissance du moteur et les émissions de CO₂. Les critiques ont porté sur les sauts brutaux de passage d'une tranche à l'autre.

Abordant ensuite la question des **poids-lourds**, il a été noté par M. Bernard GAUVIN que le poste carburant était très important pour ceux-ci. Il s'agit en effet du second poste après les salaires. Sur ce point, M. Yves ROBICHON a insisté sur **les**

(1) ce second caractère ayant disparu à la fin de l'année 2000

limites de l'intermodalité, la route assurant actuellement 70 % à 80 % des transports de marchandises contre 12 % pour le rail. De plus, en cas de développement des transports, le chemin de fer n'aurait pas la capacité d'absorber le surcroît d'activité. Pourtant, des situations absurdes existent (exemple : Volvo adresse des pièces d'automobiles de Suède au Portugal par la route surchargeant ainsi l'un des corridors sensibles, les Pyrénées, l'autre étant les Alpes). Il a également relevé que **50 % des poids lourds roulent sur des distances inférieures à 50 km.** Or, ce seuil est non rentable pour le rail, d'où l'idée de trains de camions rassemblant une dizaine de camions mis bout à bout en vue d'économie d'énergie et de place.

Il a regretté que **le « tout camion » ne résulte pas d'une volonté politique mais d'un arbitrage du marché.**

M. Bernard GAUVIN a aussi noté des modifications des **poids autorisés à l'essieu** résultant des normes européennes (13 T pour les vieux véhicules auparavant et maintenant 11,5 T sur l'essieu moteur et 10 T sur l'autre). Il a relevé le caractère réel mais limité des **économies réalisables** : par exemple celles résultant des **pneumatiques** (le pneu Michelin « énergie » économise jusqu'à 5 % de carburant) ou de certains **revêtements**, grâce à l'amélioration de l'adhérence ou à l'emploi d'enrobé drainant, ce qui diminue donc la consommation, améliore le confort, mais pas forcément la sécurité, car ce qui est gagné en visibilité est perdu en adhérence.

Il a souligné que les revêtements français sont considérés comme les meilleurs du monde du fait d'une recherche poussée, y compris dans les entreprises, notamment chez Shell et Esso France ; de plus, il existe une large gamme de produits français comparés à ceux existant dans les autres Etats membres de la Communauté européenne.

M. Yves ROBICHON a aussi souligné que **les modifications des véhicules ou des infrastructures pouvaient induire des effets pervers sur les conducteurs.** Ainsi, la bande blanche latérale provoque une sorte d'effet d'hypnose, le conducteur ayant tendance à se fixer sur le niveau le plus basique, par exemple le paysage, plutôt que les signaux.

Il a insisté sur l'importance de la communication à développer concernant la faiblesse des gains de temps réalisés en roulant vite tandis que le surcoût en carburant est garanti. Il a relevé aussi le caractère trompeur des messages publicitaires relatifs à la sécurité, les véhicules étant conçus pour assurer une bonne protection aux alentours de 60 km/heure en cas de choc, mais au-delà, l'efficacité de la protection est loin d'être évidente. Du bon résultat de ce message, devrait résulter **une auto-limitation de vitesse** bien plus crédible qu'une mesure coercitive.

M. Yves ROBICHON a rappelé qu'un accord existait entre les industriels et le Gouvernement allemands pour qu'aucun véhicule ne dépasse 250 km/heure alors que les voitures italiennes et japonaises peuvent aller au-delà et que plus de 80 types de pneus sont fabriqués pour des véhicules dépassant les 250 km/heure.

D'où la question du **bridage des véhicules fabriqués en Europe**, cette mesure n'étant actuellement appliquée dans aucun pays. Une progression en ce sens pourrait résulter dans un premier temps de la limitation de la vitesse sur les autoroutes allemandes accompagnée d'**une limitation de la vitesse dans la Communauté européenne**. A un second stade, les véhicules pourraient être bridés à la vitesse limite adoptée. Cela n'est pas inenvisageable, d'autant que cela existe déjà pour les camions (90 km/heure pour les plus de 12 tonnes).

Le consensus européen fut d'ailleurs assez facile à obtenir pour les camions, mais nombre de *leaders* d'opinions possédant des voitures puissantes, il est à craindre que de nouvelles mesures tardent à être adoptées.

Par ailleurs, des signaux spéciaux pourraient être prévus pour **les véhicules lents** comme pour les véhicules prioritaires (feux bleus).

Au total, M. Yves ROBICHON a estimé important d'obtenir **un consensus relatif à la sécurité** concernant aussi bien l'absorption d'alcool que la vitesse ou le port de la ceinture ; le point de désaccord subsistant actuellement demeurant la vitesse. A cet égard, un bon apprentissage pourrait peut-être résulter d'un limiteur de vitesse monté en série sur les véhicules neufs et piloté par le conducteur.

**SOCIÉTÉ NATIONALE DES CHEMINS DE FER
FRANÇAIS (S.N.C.F.)**

M. FRANCIS ROL-TANGUY, DIRECTEUR DU FRET

ET

**T.L.F.(FÉDÉRATION DES ENTREPRISES DE
TRANSPORT & LOGISTIQUE DE FRANCE)**

M. ALEXIS BORDET, DÉLÉGUÉ GÉNÉRAL ADJOINT

CHARGÉ DES ACTIVITÉS ROUTIÈRES

(15 novembre 2000)

AUDITION-DÉBAT

M. Francis ROL-TANGUY a d'abord évoqué **les perspectives de la SNCF pour les années 2002 à 2010**. Il a comparé les transports ferroviaires européens à leurs homologues américains en notant qu'aux Etats-Unis d'Amérique, le fret ferroviaire Diesel est plus développé qu'en Europe, avec des trains très longs et très lourds. Il a relevé qu'entre la France et la Belgique existaient de très bons échanges ferroviaires, que le marché italien constituait le premier marché international de la SNCF, mais qu'au-delà les échanges européens étaient assez faibles, la juxtaposition de différentes échelles nationales n'ayant pas permis de s'inspirer du modèle américain même si **l'extension des activités à l'échelle européenne repose toujours la question de l'organisation des transports ferroviaires**.

Il a estimé qu'une amélioration de celle-ci reposerait d'abord sur **l'interopérabilité** - indispensable dans la mesure où il n'existe pas de normes européennes, par exemple pour les panneaux de signalisation, ou même pour les voies, comme c'est le cas entre la France et l'Espagne. Malgré cela, un projet de TGV allant de Perpignan jusqu'au cœur du port de Barcelone est à l'étude, des problèmes concernant l'écartement des voies, les voltages et les fréquences restant à résoudre.

Déjà en France, il existe deux courants possibles : le 25 000 Volts et le 15 000 Volts. Cette différence entre le nord et le midi impose des motrices bi-courant ; pour aller en Italie, il faut même des motrices tri-courant ; ce qui a une incidence sur les coûts, puisqu'une locomotive coûte environ douze millions de francs, mais la moitié en plus si elle est bi-courant.

En conséquence, **l'interopérabilité totale ne semble pas envisageable avant plusieurs dizaines d'années.**

Si l'on estime que le réseau européen s'étendra sur 30 000 km à l'horizon 2100, il serait envisageable de **dédier un réseau aux transports de fret**. Des débats renaissent à ce sujet, d'autant que le Gouvernement a annoncé comme objectif le doublement du fret ferroviaire d'ici à 2010. **Actuellement, la part du marché de la SNCF oscille entre 20 et 22 % et devrait s'établir en 2010 entre 22 et 25 %** ; en tout cas, elle devrait cesser de décroître.

M. Francis ROL-TANGUY a estimé que si la croissance SNCF était de 3 %, la croissance du fret pourrait être, elle, de 6 %, et contrairement à ce qui est souvent avancé, **la Net économie ne va pas diminuer les déplacements, bien au contraire**. Il est probable qu'il y aura des livraisons multipliées entre les lieux d'achat et les domiciles des particuliers.

Un grand projet est régulièrement annoncé, à savoir la mise des camions sur des trains, appelé souvent « **route roulante** ».

A l'avenir, **le système Modalhor** serait développé, chaque wagon se chargeant et non plus le train, ce qui est beaucoup plus rapide, et permet par exemple d'isoler un wagon défectueux. De plus, ce système ne reviendrait pas plus cher à la collectivité, bien moins que les routes roulantes suisses.

La mise en œuvre de ces innovations exigera d'améliorer les gabarits dans les tunnels existants; par exemple, le tunnel sous Fréjus est adapté aujourd'hui aux seuls wagons-citernes, mais l'agrandissement prévu de son gabarit d'ici 4 à 5 ans permettra d'y faire passer d'autres types de véhicules routiers sur wagons.

Partout **le problème majeur réside dans le contournement des grandes agglomérations.**

Une comparaison entre les pays européens montre que la Suisse et l'Autriche sont en avance, que l'Allemagne évolue vite, et que le Royaume-Uni dispose de lignes fermées à récupérer pour le fret, par exemple à la sortie du tunnel sous la Manche, jusqu'à Manchester, surtout dans la mesure où les camions sont déjà sur le train dans le tunnel.

Si l'on resitue le programme de développement ferroviaire par rapport aux autres modes de transport, on constate d'abord que **le programme autoroutier français** de la période 1960-2000 est un peu épuisé.

Quant au **transport aérien**, son essor peut être illustré par le cas de l'aéroport d'Atlanta. Il est actuellement envisagé d'y raser 30 000 pavillons pour construire 8 pistes, ce qui en ferait le premier aéroport du monde.

A propos du choix entre les différents modes de transports, M. Francis ROL-TANGUY a estimé que pour que le train complète la route, il faut que le trajet dure un certain temps.

En fait, il lui est apparu souhaitable de **développer le réseau fret comme le réseau TGV** en s'assurant de la cohérence de chaque tronçon sans attendre la fin du programme ; mais il reste difficile de réfléchir à l'avenir tant que le quotidien ne fonctionne pas bien, ce qui est le cas.

Par exemple , il n'y a pas eu de locomotive Diesel neuve acquise par la SNCF depuis 1975. Il s'agit donc d'un parc polluant. Récemment, la décision de réinvestir dans le Diesel a été prise, le tout électrique étant jugé un peu dépassé. Toutefois, **même équipé en Diesel, le rail demeure moins polluant que la route** ; c'est pourquoi le choix Diesel a été relancé pour le transport de voyageurs dans les régions. En réalité, le coût de l'électrification étant très important il faut, comme en matière de choix énergétique, **diversifier et développer des itinéraires alternatifs**.

En conclusion, M. Francis ROL-TANGUY a observé que le démantèlement de l'opérateur national historique n'était plus à l'ordre du jour, notamment du fait des problèmes de sécurité rencontrés au Royaume-Uni. Il a exclu que le système implose et a noté que le débat sur ce thème était en réalité très idéologique.

M. Alexis BORDET, de TLF, a tout d'abord insisté sur le fait que les professionnels du transport avaient du mal à se projeter à l'horizon 2100, qui est celui du rapport sur les changements climatiques.

Citant Saint-Exupéry, il a affirmé *« qu'on n'hérite pas de la terre de nos parents, mais qu'on l'emprunte à nos enfants »*.

Il a insisté sur le fait qu'**en matière de transport tous les modes pouvaient être utilisés, y compris le cabotage**, ce qui a conduit TLF à regrouper tous les professionnels, quel que soit le mode de leur activité ; le point de vue à adopter pour optimiser leurs activités devant être celui de l'utilisateur. Il a renvoyé aux comptes de la Nation relatifs aux transports en ce qui concerne les climats et le transport terrestre. Il a ensuite insisté sur la conscience professionnelle forte des transporteurs routiers, en déplorant que souvent le ministre de l'Environnement soit en quelque sorte joué contre le ministre des Transports.

Evoquant le prix du carburant, il a souhaité **une nouvelle répartition de la fiscalité**, mais sans augmentation de celle-ci, et a souligné que le moteur à explosion produit des effets, même s'il n'est pas mis au service des transports routiers.

En écho aux remarques de M. Francis ROL-TANGUY sur la Net économie, il a estimé que mieux vaut un camion de livraison que 50 véhicules particuliers pour accomplir les mêmes achats.

Actuellement, **le rapport entre la route et le rail s'établit selon un rapport 80-20**, soit 80 camions par tonnes/kilomètre, pour 20 trains par tonnes/kilomètre, car il y a des contraintes d'évolution lourdes, et **80 % des transports routiers s'effectuent sur des distances inférieures à 150 km**. Changer ce système aboutirait à des ruptures de charge trop fortes. Des investissements très lourds seraient nécessaires, pour opérer sur de faibles pourcentages une substitution. Malgré cela, **les limites semblent atteintes à tous égards aujourd'hui dans le transport routier**. Des modes alternatifs seraient à promouvoir, mais en considérant que le parc de wagons appartenant en propre à la SNCF a diminué de 72 % entre 1980 et 1999, le lancement d'une campagne de promotion serait difficile. Pour **le fret ferroviaire**, cette diminution a atteint 55 % en 20 ans, et **la saturation actuelle interdit toute publicité**.

Les transporteurs raisonnant en rapport qualité-prix, **les déplacements de fret d'un mode à l'autre ne peuvent survenir que sur des longues distances**. Or, les voies ferrées françaises n'ont pas été développées en même temps que les autoroutes, de 1960 à 2000.

Dans le même temps, le budget de fret ferroviaire en **Suisse** et en **Autriche** était considérable. Aujourd'hui, ce fret représente 40 à 45 % de l'ensemble du fret. Il est vrai que **des taxes très fortes ont été appliquées aux transports routiers pour favoriser l'investissement dans le ferroviaire**. Malgré cela, les tunnels ferroviaires ne sont pas encore suffisants.

Pour favoriser le transport ferroviaire, il serait aussi **indispensable d'améliorer l'identification à chaque instant des wagons et des trains en circulation**.

Par ailleurs, **l'opacité des coûts** ne favorise pas une action sur la répartition modale à l'échelle européenne, qui nécessiterait l'internalisation des coûts externes. C'est ainsi que 320 milliards de francs sont produits par la fiscalité autoroutière, tandis que le rail reçoit 70 milliards de francs de subventions...

M. Alexis BORDET a estimé plus que jamais nécessaire **de donner les vrais chiffres plutôt que d'opposer les modes de transport entre eux**.

Depuis 5 ans, il y a eu au moins **10 rapports sur le transport**, dont « *le transport face à l'environnement* », « *le transport de marchandises* », « *effet de serre et transports* », dans Faits et Chiffres, de l'Union routière de France, qui montrent que **sur la période des 5 à 10 prochaines années, il est impossible de déplacer plus de 5 % de marchandises d'un mode de transport à l'autre. De plus, aucun choix de société n'a été effectué en France sur ce point**.

M. Francis ROL-TANGUY a noté que parvenir à 25 % de la part de l'ensemble de transport pour le ferroviaire en 2010 constituerait un bel exploit.

Il est revenu sur **la réforme de la SNCF** intervenue en 1997 qui a permis de bien distinguer le financement des infrastructures des autres aides, ce qui a permis de monter que **la SNCF ne reçoit pas davantage de subventions que le transport privé** – diverses concessions de transport privé étant subventionnées en province. De plus, le rapport actifs-retraités s'améliore à la SNCF. En outre, les 500 millions de francs liés aux transports combinés sont à comparer aux 40 milliards de francs de recettes commerciales provenant du fret et du trafic voyageurs grandes lignes.

Quant au **prix des transports** facturé aux clients, il a augmenté de 5 à 6 % en 2000 pour la route, et de 0 % pour la SNCF, malgré un prix à la pompe au carburant équivalent, en francs constants, à celui des années 1974-75.

Le rapport qualité-salaire des transports routiers s'étant amélioré, la hausse des prix aux clients ne peut que continuer.

D'un point de vue général, **il n'y a plus de combat entre la route et le rail**, d'autant que la SNCF a comme filiale la première entreprise de logistique française (GEODIS) et que, depuis une directive européenne de 1991, augmentée du compromis de décembre 1999, la libéralisation du réseau transeuropéen de transport ferroviaire s'est ajoutée à la **possibilité, pour les routiers, d'investir dans le transport ferroviaire**.

M. Alexis BORDET a estimé ensuite que la mobilité des marchandises allait encore prendre davantage de valeur. Si les 100 premières entreprises de transport routier ont décidé, il y a 5 ans, de ne pas augmenter leur parc, à l'inverse, **le cabotage maritime devrait apparaître comme une véritable solution** sur des segments particuliers (« *Short sea shipping* »), par exemple au Sud de l'Angleterre, de la France ou de l'Espagne, ou encore entre Toulon et Gênes, entre Sète et Palma de Majorque, ce qui évite 620 km d'autoroute, entre Toulon, Savone, et Libourne, qui va rouvrir. Mais il est difficile d'innover en la matière, comme l'exemple de la ligne Sète-Palma l'a montré, en dépit de la publicité de TLF, de l'intérêt indéniable des transporteurs et des promesses d'investissements de la Chambre de commerce et d'industrie de Sète ; les subventions ayant tardé, la ligne a dû fermer.

M. Francis ROL-TANGUY a insisté, lui aussi, sur la place que le cabotage maritime pourrait retrouver en France.

A propos du **transport fluvial**, il a observé que les péniches de grand gabarit étaient limitées par le réseau, qu'actuellement les voies d'eau étaient proches de la saturation des moyens existants, qu'une augmentation du trafic avait été notée depuis deux ans. En fait, **un nouvel élan de ce mode de transport ne pourrait résulter que d'une connexion au réseau européen (grâce à Seine-Nord et à Seine-Est)**.

Interrogé sur **les conséquences pour la S.N.C.F. des tempêtes de vent de décembre 1999**, M. Francis ROL-TANGUY a indiqué qu'il avait fallu trois semaines à la SNCF pour repartir, ce qui était beaucoup même si un événement de cette importance ne survenait que tous les dix ans, mais que cela ne constituait pas une remise en cause

fondamentale des moyens actuels, d'autant que, depuis 15 ans, les matériels avaient été peu renouvelés.

M. Alexis BORDET a rappelé que le transport routier avait connu un pic d'activité en janvier 2000, notamment du fait du transport des bois, mais aussi de celui d'autres pondéreux, la SNCF étant inactivée du fait des tempêtes.

Encore à ce jour, des dérogations existent pour les transports des bois, notamment concernant le samedi et le dimanche, et même les horaires, pour éviter que les bois ne pourrissent en forêt.

Il a enfin souligné l'intérêt des expérimentations menées en Suisse sur les **tunnels à palettes**, et a conclu en notant qu'en 2001 **Euro 3** entrerait en application, ce qui devrait permettre de diminuer la pollution.

M. LE PROFESSEUR PIERRE ROGNON (1)

(8 octobre 2001)

Le Professeur Pierre ROGNON a axé son intervention sur **l'impact de la désertification du Nord de l'Afrique sur l'avenir de l'Europe au XXIème siècle et sur les moyens d'y remédier.**

En préambule, le Professeur Pierre ROGNON a estimé **qu'une réflexion sur l'avenir de l'Europe au XXIème siècle ne peut pas faire abstraction de l'existence d'un des foyers de désertification les plus importants de la Planète au Sud de la Méditerranée.** Beaucoup de régions autour du **Sahara (Maghreb, Sahel)**, semi-arides à l'origine, se transforment progressivement en paysages analogues à ceux d'un désert : dénudation, puis érosion des sols, salinisation, ensablement etc ...

Pour le Professeur Pierre Rognon, toutes les causes de désertification y sont aujourd'hui réunies et même portées à leur paroxysme.

1) **L'évolution du climat y est particulièrement préoccupante** avec la sécheresse persistante qui a duré près de vingt ans au Sahel (1968-1988) et entraîné une véritable catastrophe écologique , tandis qu'au Maghreb les sécheresses brèves (3-4 ans) et espacées (vers 1914 , puis vers 1945) jusque vers 1980, sont devenues plus fréquentes et plus longues depuis. Or les prévisions du GIEC (rapport 2001) **pour 2050**, indiquent que **les sécheresses vont s'accroître**, comme dans toutes les régions sub-tropicales du Globe, avec une diminution des précipitations de l'ordre de 180 mm/an. Comme, parallèlement, les températures devraient s'élever de près de 4° sur le Nord de l'Afrique, l'évaporation au Maghreb devrait entraîner une perte d'eau supplémentaire au sol qui pourrait être de près de 250 mm/an, entraînant une extension importante du désert.

2) **La mauvaise gestion d'un environnement fragile** est la cause d'un **déboisement intensif**, du **surpâturage** et d'une **érosion** accélérée de sols dénudés sous l'effet des pluies torrentielles qui caractérisent le climat du Maghreb ; étant

(1) Professeur de Géodynamique des milieux continentaux à l'Université Pierre et Marie Curie – Paris VI.

donné la lenteur de la régénération des végétaux et des sols, leur disparition risque de devenir un phénomène irréversible.

3) Surtout, **la croissance de la population**, passée au Maghreb, de 50 millions d'habitants en 1984 à **75 millions en 2000** devrait atteindre entre 110 et **120 millions en 2025** (dans les années 1960-1970, la population de l'Algérie doublait en 20 ans), ce qui provoque **un déséquilibre considérable entre ressources et consommation** et accélère la dégradation des milieux. Même si les taux d'accroissement annuel diminuent aujourd'hui, cette forte croissance au Maghreb va se poursuivre encore sur plusieurs décennies. Elle sera relayée au XXI^{ème} siècle par celle du Sahel (passée de 25 millions en 1950 à 70 millions en 1990) qui, d'après les prévisions, suit celle du Maghreb avec un décalage d'une trentaine d'années et va donc encore s'accroître au cours du présent siècle. Comme le Sahel renferme moins de ressources que le Maghreb, la croissance de sa population alimente déjà un courant d'émigration vers l'Europe qui va se renforcer.

4) Enfin, **la croissance de la population urbaine** au Maghreb est beaucoup plus rapide qu'en Europe méditerranéenne et passera de 20 à **78 millions** entre 1984 et **2025**. Casablanca compte aujourd'hui 3 millions d'habitants, Alger entre 3 et 4 millions selon les limites administratives retenues et Dakar 2 millions. Même en régions désertiques où les ressources en eau sont rares et surtout d'origine fossile, on constate **un fort accroissement de la population citadine** avec quelques villes de 100.000 à 225.000 habitants. Pour leur consommation en eau, **des villes comme Alger, Oran ou Casablanca détournent de plus en plus d'eau des barrages et des nappes phréatiques** dans un rayon de 100 à 150 km **au détriment des cultures irriguées** et, malgré les efforts déployés, des villes comme Alger connaissent de fréquentes coupures d'eau (actuellement 2 jours sur 3 durant l'été 2001). Par ailleurs, l'extension de ces villes englobe aussi de nombreuses terres cultivées au détriment de l'agriculture.

D'où une question : **comment satisfaire à la fois la soif et la faim de ces populations ?**

Le Professeur Pierre Rognon a souligné combien est dramatique ce problème des **pénuries d'eau** pour l'ensemble des pays de la Méditerranée méridionale et aussi orientale. Si l'on considère **les seuils de consommation** admis officiellement (en tenant compte des seules ressources renouvelables), ils se situent au dessus de 1700 m³/an/habitant en situation d'abondance. Au-dessous de 1700 m³ surviennent des crises périodiques ; au-dessous de 1000 m³, les pénuries deviennent chroniques et, au dessous de 500m³, il s'agit de pénurie absolue. Or, **en 2025, cinq Etats au Sud et à l'Est de la Méditerranée devraient connaître une telle pénurie et ce nombre devrait atteindre huit Etats en 2050**. Il faudra donc, d'ici là, trouver d'autres ressources en eau : dessalinisation, traitement des eaux usées etc...

Dans ces conditions, le Professeur Pierre ROGNON a estimé que **le déséquilibre préoccupant entre ressources et population ne permet pas d'espérer un développement durable au XXI^{ème} siècle au Sud de la Méditerranée** mais

plutôt de prévoir une crise économique (avec une forte émigration, plus ou moins clandestine, vers l'Europe faute de perspectives industrielles) et écologique (déboisement très important, ruine des sols, etc..) sans parler de l'augmentation de la dette, en particulier dans les pays du Sahel.

En définitive, **l'écart va se creuser avec les pays du Nord de la Méditerranée**, aboutissant à l'une des plus grandes fractures, économique, démographique et politique à l'échelle du Globe. Cette coupure serait bien plus grave que celle que l'on trouve, aux mêmes latitudes, en Amérique où il existe également des régions fortement concernées par la désertification (Mexique, Caraïbes, Andes) et par une très forte croissance démographique. Mais, ces régions occupent des superficies moindres et, surtout, elles sont entourées par l'Amazonie ou par l'océan, ce qui limite les effets de la désertification, alors que le Maghreb et le Sahel sont en bordure du plus grand désert de la Planète, qui est un obstacle majeur au développement et à l'unification économique. Enfin, l'intégration du Mexique dans l'ALENA apporte un début de solution, tandis que, pour l'instant, en Europe, la priorité est accordée à l'intégration de l'Europe centrale et orientale et peu d'attention est prêtée au Sud de la Méditerranée.

Le Professeur Pierre Rognon a passé ensuite en revue **les organismes qui pourraient contribuer à résoudre les problèmes posés par une telle situation.**

Sur le plan français, les organismes de recherches/développement (IRD, CIRAD, etc...) sont surtout orientés vers le développement de pays plus humides et plus productifs. L'IRD, longtemps engagé au Sahel, s'en est progressivement détourné et ne soutient plus que quelques actions éparpillées et sans réelle coordination. Le CNRS, organisme de recherches fondamentales, n'a aucun programme concernant les régions sèches.

A l'échelle européenne, le programme MEDA a pour rôle principal de préparer une zone de libre-échange en Méditerranée et n'intervient pas dans des actions concrètes de lutte contre la désertification. Celles-ci ont été financées, pendant quelques années, par la DG XII pour la partie nord de la Méditerranée.

Au niveau de la Convention internationale sur la désertification, le Comité de la Science et de la Technologie préconise, depuis sa création, d'observer les effets de la désertification (télédétection ou stations au sol) ou de recenser les « savoirs traditionnels » (difficiles à transposer hors de leur cadre d'origine) mais il n'a jamais mis sur pied de programmes recourant à l'innovation et à la recherche scientifique.

Or dans les pays tropicaux humides, des recherches importantes en agronomie ont permis, par exemple, le succès peu contesté de la « révolution verte ». Des solutions tout aussi efficaces pourraient être mises au point pour les régions sèches à partir des acquis récents de la science dans de nombreuses disciplines, mais il faudrait **créer un organisme efficace pour coordonner la réflexion et définir des programmes de recherches adaptés à ces pays** (à la

différence des techniques très coûteuses, comme la dessalinisation, mises au point pour les pays riches). Ces solutions seraient ensuite diffusées à l'ensemble des pays concernés, ce qui n'est pas possible dans le cas des savoirs traditionnels.

Le Professeur Pierre Rognon s'est interrogé sur **les solutions** à envisager, dans l'avenir, pour faire face à cette situation ; la plupart des solutions ayant été envisagées jusqu'alors dans le cadre de l'aide au développement. Par exemple, pour diminuer les pénuries d'eau, les organismes officiels préconisent soit **la modernisation des canaux d'irrigation ou des conduites urbaines** (les pertes peuvent y atteindre plus de 40 % de l'eau distribuée) soit **la construction d'usines de dessalinisation** (comme dans les pays du Golfe) **ou de traitement des eaux usées** (qui impliquent de gros investissements pour l'installation de réseaux d'égouts dans des villes en croissance très rapide).

Pour le Professeur Pierre Rognon ces dépenses relèveraient plutôt de la responsabilité des Etats ou de sociétés privées que de l'aide internationale qui devrait, de préférence, être utilisée pour la mise au point de **solutions innovantes**, incorporant les acquis récents de la recherche scientifique et profitables à l'ensemble des pays concernés.

Ainsi, en ce qui concerne **l'accroissement des volumes d'eau disponibles, objectif prioritaire pour accroître les ressources sur place et éviter l'émigration vers l'Europe, il pourrait être envisagé quatre types de solutions.**

1) diminuer l'évaporation sur les lacs des barrages-réservoirs ou sur les lacs collinaires

L'évaporation est, en effet, responsable de pertes de l'ordre de 20 % de l'eau stockée dans le Sud-marocain ou d'environ le 1/10ème du débit du Nil sur le lac Nasser en Egypte (dont la superficie est égale à quinze fois celle du lac Léman). Dans les années 1950 et 1960, lors de la construction des premiers grands barrages, les Américains et les Australiens ont eu l'idée d'utiliser **les surfactants**, famille de molécules capables de s'étaler à la surface de l'eau jusqu'à ce que leur épaisseur soit réduite à une molécule (environ 20 Angströms) de sorte que ces « films monomoléculaires » s'opposent à l'évaporation, sans modifier cependant les autres échanges gazeux entre l'eau et l'atmosphère. Etant donné le faible volume nécessaire (2 à 3 grammes pour 10 000 m²), ils apparaissaient comme une solution adaptée même aux très grands lacs. Pendant près de quinze ans, les nombreuses variétés de surfactants connues à l'époque ont été testées en laboratoire, puis en vraie grandeur sur des lacs, mais il apparut très vite que le film était déchiré par le vent ou les vagues, et les recherches furent abandonnées.

Or, depuis les années 1960, les conditions ont bien changé et de **nouvelles molécules** ont été mises au point avec des liaisons renforcées entre elles (covalence, réticulation, double polymérisation). Ces nouvelles molécules semblent avoir une meilleure efficacité vis-à-vis de l'évaporation et une plus grande résistance aux déchirures qu'il serait possible de tester en leur appliquant les tests déjà mis au point

antérieurement ; il faudrait aussi préciser le coût réel d'utilisation de cette technique. Cette recherche permettrait d'éviter d'importants gaspillages sur les lacs réservoirs existants, mais aussi en projet ou en construction, notamment sur le Tigre et l'Euphrate.

2) accroître le rendement en eau précipitée à partir des nuages

Il s'agit de reprendre les techniques de la « **pluie provoquée** », expérimentées, elles aussi, dans les années 1950 à 1970. Le principe consiste à ensemercer la base des nuages avec de l'iodure d'argent ou de la neige carbonique pour accroître le nombre de noyaux de glace agissant sur la formation des gouttes de pluie. Mais, là aussi, cette technique a été progressivement abandonnée car, en régions tempérées, elle provoquait souvent la formation de grêle plutôt que de pluie.

Aujourd'hui, on utilise **de nouvelles molécules, dites « hygroscopiques »**, qui absorbent beaucoup d'humidité au cours de leur ascension dans les nuages convectifs (les plus fréquents en régions tropicales) et retombent sous forme de pluie, souvent à proximité de la zone d'ensemencement. Entre temps, d'autres recherches ont permis de **perfectionner les techniques de transport de ces molécules vers les nuages** (à l'aide de petits avions ou, bientôt, de drones, à la place des fusées tirées du sol), de leur diffusion (grâce à des torches pyrotechniques) mais aussi de détection des parties du nuage les plus favorables, grâce au perfectionnement continu des radars météorologiques et au recours à la modélisation.

Aujourd'hui, ces techniques pour accroître la production de pluie à partir des nuages pourraient encore être perfectionnées. Or jusqu'ici, les seules recherches innovantes sur ce thème sont dues à des initiatives de pays du Sud avec l'appui technique des Etats-Unis d'Amérique :

- au **Mexique** et en **Afrique du Sud**, l'utilisation de molécules hygroscopiques a permis d'améliorer la technique et de constater un accroissement notable de la pluie, de l'ordre, de 20 à 30 % ;

- au **Maroc**, la méthode à l'iodure d'argent est utilisée dans le Moyen-Atlas pour augmenter le débit des oueds qui alimentent les barrages en arrière de Casablanca et de Rabat. En montagne, il est permis d'espérer de favoriser davantage la production de neige en vue de permettre la régénération de la forêt et une plus grande régularité du débit des oueds.

Le Professeur Pierre Rognon a conclu qu'étant donné l'importance de ces recherches pour résoudre les problèmes de pénurie d'eau, en particulier dans les grandes villes du Maghreb, mais aussi du Sahel, **il serait nécessaire de démarrer rapidement un programme international**, sous le contrôle de l'Organisation Météorologique Mondiale, et avec le soutien efficace de l'Europe.

3) adapter aux régions du Sud les techniques de recharge artificielle des nappes aquifères mises au point en régions tempérées

Ces techniques consistent à **stocker dans des nappes phréatiques, l'eau des rivières en hiver** lorsque la pollution est minime, pour l'utiliser en été, par pompage, pour l'irrigation ou la consommation urbaine. Ces techniques sont parfaitement au point, par exemple en **Hollande**, en **Californie** ou en **Floride**. Un transfert de technologie permettrait de les appliquer dans les régions sèches où un tel stockage à l'abri de l'évaporation pourrait être une solution alternative au stockage derrière des barrages, une réponse à la demande croissante des villes (consommation continue sur l'année alors que les ressources sont saisonnières ou aléatoires) et enfin, **un complément indispensable à la technique de la pluie provoquée** : en effet, celle-ci risque d'engendrer des écoulements considérables au moment où les nuages sont présents et il faut immédiatement mettre cette eau en réserve pour une consommation différée.

Or, pour appliquer cette méthode dans les régions sèches, le Professeur **Pierre ROGNON** a observé qu'il faut faire un certain nombre de recherches pour l'adapter à :

- des cours d'eau saisonniers ou intermittents dont il faut stocker les crues rapidement dans des alluvions proches ou des cônes alluviaux,
- des réservoirs spécifiques, comme les massifs dunaires, qui présentent jusqu'à plus de 40 % de vides et constituent d'excellents réservoirs,
- des contraintes spécifiques, comme la siltation (les eaux de crue, très chargées en limons, imperméabilisent les alluvions en bouchant les vides entre les sables ou les galets) ou la salinisation (les eaux de ces régions sont toujours plus ou moins chargées en sels).

L'un des pays du Sud les plus avancés dans ce domaine est **le Maroc** où différents types d'ouvrages (pour freiner les crues ou pour les dériver) ont été expérimentés .Mais beaucoup de recherches seront encore nécessaires pour adapter cette méthode aux régions sèches .

4) favoriser les transports maritimes d'eau douce pour assurer une alimentation permanente en eau potable des villes du Sud de la Méditerranée

En 2000, la consommation en eau des grandes villes du Maghreb a atteint près de 3 milliards de m³ et les pénuries d'eau, déjà sensibles, vont s'aggraver d'ici 2025, nécessitant de faire appel, puisque toutes ces villes se trouvent sur le littoral, soit à la dessalinisation (qui reste très coûteuse), soit à l'importation. Or, les techniques de transport d'eau douce commencent à peine à se développer en Mer du Nord ou aux Etats-Unis d'Amérique et s'orientent vers la conception d'**engins strictement adaptés au transport d'eau**, sous la forme d'énormes boudruches cylindriques, qu'on appelle des **hydroliers** qui seraient tractées par de puissants remorqueurs.

Pour desservir les villes du Maghreb, il faudrait prévoir des engins de 150 000 m³ ou plus qui traverseraient la Méditerranée à partir du Rhône qui, avec son

débit assez régulier et abondant (de l'ordre de 1700 m³/seconde) serait la seule source possible pour alimenter ces villes. **Un tel projet pourrait contribuer à rapprocher les Etats du Nord et du Sud de la Méditerranée** par la mise en place d'échanges réguliers, un peu comme le charbon et l'acier ont été l'élément originel de la CECA en Europe. Mais il implique d'entreprendre des recherches pour la conception de ces grands hydroliers et des terminaux de chargement et de déchargement et aussi de prévoir des accords entre les différents Etats. Comme ce projet nécessitera plus de vingt années de recherches et d'expérimentation, le Professeur Pierre Rognon pense qu'il faudrait dès maintenant en envisager la phase préparatoire.

Le Professeur Pierre Rognon a indiqué ensuite que **d'autres recherches pourraient contribuer aussi au développement de ces pays, comme, par exemple :**

1) Le recours aux hydrorétenteurs fertilisants pour accroître les rendements agricoles

Puisque l'eau devra de plus en plus être réservée aux citadins et aux touristes, il faut concevoir **une agriculture encore plus adaptée à l'extrême pénurie en eau**. Les techniques successives d'aspersion, de goutte à goutte etc... ont permis de restreindre les quantités d'eau nécessaires aux plantes, en apportant directement l'eau au niveau des racines et en supprimant les gaspillages. On peut aller plus loin dans cette voie en utilisant comme hydrorétenteurs **des polymères à très fort pouvoir absorbant** (utilisés pour les couches pour bébés) que l'on place directement au niveau des racines. Ils absorbent l'eau disponible, la retiennent dans leurs tissus et la restituent très lentement à la plante, sans perte par évaporation ou par infiltration. Cette méthode permet une économie d'eau maxima ; elle maintient en permanence de l'humidité autour des racines (évitant les *stress* hydriques) et assure ainsi un cycle végétatif régulier, donc de meilleurs rendements ; enfin, elle ne nécessite **pas d'installations coûteuses** (à la différence des autres méthodes). Ainsi, elle convient aussi bien pour des cultures intensives (maraîchage) qu'à la culture non mécanisée avec arrosage manuel, qui est encore pratiquée dans beaucoup de régions en particulier au Sahel.

Comme les sols sont, en général, très pauvres, on ajoute **des fertilisants, encapsulés dans le polymère**, qui sont restitués progressivement à la plante, permettant de donner un élan décisif pour son démarrage. Enfin, ces polymères, à l'état humide, forment un enduit collant autour des racines et s'allongent avec elles en les protégeant contre les parasites du sol.

Les hydrorétenteurs fertilisants pourraient transformer les conditions de mise en valeur des régions en voie de désertification, à condition d'y consacrer les moyens de recherches nécessaires (un peu comme pour la révolution verte dans les pays tropicaux humides). Or, actuellement, seules quelques sociétés privées, souvent peu scrupuleuses, s'intéressent à cette technique.

Le Professeur Pierre Rognon a suggéré que ces recherches soient prises en charge par un organisme officiel pour définir, parmi tous les hydorrétenteurs, celui qui présente le plus d'avantages pour le moindre coût. Cette technique pourrait ensuite être proposée aussi bien pour développer les cultures maraîchères autour des villes en rapide expansion que pour améliorer le rendement des cultures « pluviales » (sans irrigation), encore pratiquées dans la plupart des régions sahéliennes (en allongeant la période où le sol reste humide après la décrue ou la fin des ruissellements locaux). Or, c'est dans ces zones de culture pluviale que se situent les principaux îlots de grande pauvreté.

*2) La mise au point d'une stratégie de **lutte contre l'ensablement** en tenant compte des acquis récents de la recherche*

La plupart des pays soumis à la désertification sont concernés par l'ensablement et de plus en plus par la progression des dunes qui menacent toutes les installations humaines, en particulier en **Mauritanie**. Jusqu'ici, les organismes des Nations Unies ou de coopération bilatérale ont utilisé et perfectionné des techniques existant depuis des siècles (haies de branchages disposées en ligne, en casiers etc...), bien adaptées à des mouvements de sables peu importants (chasse-sables), mais inopérantes vis-à-vis des dunes mobiles qui submergent tous ces dispositifs. Or, avec les progrès de la désertification et l'impact des longues sécheresses, **les risques d'ensablement par les dunes se multiplient autour des zones d'activités humaines** et concernent même la ville de Nouakchott, capitale de la Mauritanie.

Pour briser la progression des dunes, il faut s'adresser à de nouvelles techniques en cours d'expérimentation par l'ONG Bofix en Mauritanie. Elles font appel à différentes sortes de toiles plastiques, utilisées comme brise-vents pour modifier à volonté les effets du vent. Là où l'on veut obliger le vent à enlever le sable déposé, on utilise des toiles opaques qui provoquent des turbulences et détruisent certaines parties de la dune. Là où l'on veut accumuler le sable et le fixer, on utilise des toiles plus ou moins perméables au vent qui le contraignent à déposer sa charge. On parvient ainsi à maîtriser parfaitement l'action du vent pour **créer des dunes artificielles**, bien plus volumineuses que les dunes naturelles et parfaitement fixées, **dans lesquelles peut se constituer une réserve d'humidité**, grâce à l'extrême perméabilité des sables dunaires. Il devient alors possible de planter des arbres (en lignes espacées), même avec moins de 100 mm de pluie par an. Ces arbres protégeront ensuite ces dunes artificielles.

En conclusion, le Professeur Pierre Rognon a reconnu que d'autres propositions de recherche pourraient être citées, en particulier dans les domaines de la mise en valeur des sols salés (si fréquents dans ces régions) ou des biotechnologies. Mais, à travers les exemples cités par lui, il a souhaité montrer qu'**il existe une alternative au pessimisme si répandu au sujet de l'avenir des régions de l'Afrique de l'Ouest. Elle consiste à favoriser l'innovation scientifique**, rendue possible grâce aux progrès très importants de la recherche au cours des trente ou quarante dernières années.

La mise en œuvre de ces projets permettrait de lutter plus efficacement contre la désertification et ses conséquences prévisibles :

- le flux migratoire vers l'Europe de populations provenant du Maghreb, relayées progressivement par celles du Sahel ;
- l'endettement persistant d'Etats de plus en plus dépendants de l'étranger, peut être même pour leurs ressources en eau ;
- la ruine écologique résultant d'une exploitation excessive de ressources naturelles rendues fragiles par les dégradations humaines et par l'évolution prévisible du climat au XXIème siècle.

Pour le Professeur Pierre ROGNON, toutes ces conséquences doivent être prises en compte dans les prévisions sur l'avenir de l'Europe dès **2025**. Mais il est très difficile d'envisager l'évolution vers **2050**, étant donné le grand nombre de facteurs intervenant sur la désertification et, pour **2100**, aucune prévision sérieuse ne peut être avancée.

M. PAUL VERGÈS,
SÉNATEUR DE LA RÉUNION⁽¹⁾
PRÉSIDENT DU CONSEIL RÉGIONAL

(5 avril 2000)

M. Paul VERGÈS a rappelé que **l'île de la Réunion** se trouvait en zone cyclonique, et risquait d'être exposée à davantage de **cyclones**, et d'une violence et d'une fréquence plus grande si le réchauffement climatique intervenait. Il s'est plu à rappeler l'unanimité du constat scientifique concernant ce point et l'intérêt que l'opinion portait à cette question.

Il a relevé que jusqu'à présent, l'IFREMER, l'INRA, Météo France s'occupaient de ces questions à la Réunion, mais chacun d'une manière séparée.

Il a évoqué **la mort des coraux** et l'inquiétude concernant la barrière de corail qui protège les plages de la Réunion, qui se trouveraient donc directement menacées de disparition si la barrière venait à se dégrader.

Il a noté que la veille même de son audition était intervenu, à Madagascar, le cyclone le plus violent du siècle, et qu'un autre y avait déjà sévi un mois plus tôt.

Ce rappel de phénomènes observés a donc conduit M. Paul VERGÈS à souhaiter que **les relations entre les différentes disciplines scientifiques** soient mieux étudiées et qu'une meilleure coordination intervienne. Il a observé que les tempêtes intervenues en métropole soulignaient le risque d'événements de même type à la Réunion, mais, là, avec une fréquence annuelle. Or, jusqu'à présent, la Réunion n'était touchée par un cyclone que tous les quatre ans.

(1) *M. Paul Vergès a été entendu en sa qualité de sénateur de la Réunion et en tant qu'auteur de la proposition de loi qui a fait de la lutte contre l'intensification de l'effet de serre **une priorité nationale**. Cette proposition a été adoptée par le Sénat le 6 avril 2000, la majorité des groupes politiques ayant voté pour, tandis que le groupe centriste s'est abstenu (loi n° 2001-380 du 3 mai 2001 – J.O. Lois et Décrets n° 104 du 5 mai 2001).*

Pour lui, en faisant de la lutte contre l'effet de serre une priorité nationale, l'opinion devrait davantage s'intéresser à ce problème majeur, d'autant que **la croissance démographique** intervient en même temps que les changements climatiques. A Madagascar par exemple, le nombre d'habitants s'élevait à quatre millions en 1947, il atteint seize millions aujourd'hui, et devrait approcher trente millions en 2025.

Au service de cette nouvelle priorité nationale, M. Paul VERGÈS a imaginé qu'**un observatoire** rassemblerait toutes les données climatiques pour les confronter, sans toutefois créer une structure de plus à côté des structures actuelles.

En fait, **il a estimé souhaitable de disposer d'observatoires dans l'océan Indien, dans les Caraïbes, et dans le Pacifique**. Ces observatoires, postes avancés de l'observation, pourraient de par leur situation jouer un rôle de vigies de la planète et permettraient le rayonnement planétaire de la recherche française dans ce domaine. La Réunion étant située à l'est des Comores, des Seychelles, de la Tanzanie, de l'Afrique du sud, du Mozambique et de Madagascar, elle pourrait développer son observatoire en coopération avec ces Etats.

M. Paul VERGÈS a indiqué qu'avant de déposer sa proposition de loi, il avait rencontré la mission interministérielle de l'effet de serre, le cabinet du Premier ministre, le cabinet du ministre de l'environnement ainsi que diverses institutions, et qu'il avait obtenu l'accord du Gouvernement à condition de ne pas faire concurrence à la MIES, **les observatoires prévus dans la proposition de loi devant se limiter à la collecte de données et à la diffusion de travaux et d'études**.

M. Paul VERGÈS a ensuite évoqué divers problèmes liés aux changements climatiques, les cyclones menaçant, par exemple les constructions situées sur le littoral et accueillant le tourisme en cas de montée des eaux. Par ailleurs, l'accélération des ruissellements compromettrait, elle, l'état des routes en montagne, et l'adaptation exigerait la modification des normes de construction, non plus pour faire face à des vents de 200 à 250 km/heure, mais même à des vents atteignant 300 km/heure, comme lors du dernier cyclone survenu à Madagascar. La protection des lagons ne serait pas sans poser aussi des problèmes.

Bien plus, **les îles des environs risqueraient toutes d'être, en partie ou en totalité, submergées**, qu'il s'agisse des 92 îles des Seychelles ou des îles françaises éparses dans cette région.

M. Paul VERGÈS a également évoqué les difficultés créées par **le calcul des zones économiques** si les territoires eux-mêmes venaient à disparaître, ce qui est à craindre aussi pour les Maldives et pour Tuvalu, qui a obtenu de la Nouvelle-Zélande une concession pour que, le cas échéant, sa population vienne y chercher refuge.

D'autres difficultés seraient liées à la **modification des ressources halieutiques**, en particulier aux Seychelles, où les ressources en thon migreraient en fonction de la chaleur, rendant inutiles les investissements opérés, de même que la

pérennité des crevettes ou des langoustes à Madagascar pourrait être remise en cause, en cas de disparition de la mangrove.

M. Paul VERGÈS a rappelé que pour mener des recherches dans ce domaine, la France était en position favorable et qu'il y avait là un champ considérable de coopération avec les pays situés dans l'environnement géographique de la Réunion.

Il a également rappelé les difficultés que pourraient connaître **les terres australes françaises** (îles Kerguelen, Saint-Paul et Amsterdam), dont l'administration est assurée depuis la Réunion.

Il s'est aussi inquiété du braconnage qui pourrait se développer autour des poissons des grandes profondeurs.

Par ailleurs, il a particulièrement insisté sur **les dangers causés par l'érosion**, qui connaît déjà un niveau alarmant puisque, à chaque cyclone, la terre végétale part à la mer, les constructions comme les voies de communication accentuant ce phénomène.

En conclusion, il est revenu sur le fait que **la démographie pourrait aggraver la situation**, notamment si la population de la Réunion, qui était de 600 000 habitants en 1990, passait à un million en 2025. Pour mieux ressentir l'impact d'un tel phénomène, il l'a comparé à ce que serait la croissance de la population française, si elle passait de 60 millions à 100 millions d'habitants, entre 1990 et 2025.

VIVENDI ENVIRONNEMENT

M. JEAN-PIERRE TARDIEU,

CONSEILLER DU PRÉSIDENT

M. MICHEL DUTANG,

DIRECTEUR DE LA RECHERCHE ET DU DÉVELOPPEMENT,

MME MARIE-THÉRÈSE SUART-FIORAVANTE,

CONSEILLER AUPRÈS DE LA DIRECTION GÉNÉRALE,

RESPONSABLE DES RELATIONS INSTITUTIONNELLES

(24 avril 2001)

Après avoir rappelé que Vivendi compte environ 250.000 salariés, dont 40 % en France, et ce dans plusieurs domaines d'activité, M. Jean-Pierre TARDIEU a noté que le changement climatique semblait être établi, et il s'est demandé l'étendue que pourrait avoir l'action de Vivendi sur les impacts de ce changement, qui est souvent décrit comme devant produire davantage de pluies sur le nord de la France et davantage de sécheresse au sud, entraînant donc la raréfaction des ressources en eau au sud du pays. Un tel scénario rendrait d'autant plus nécessaire la mise en œuvre de procédures visant à **assurer le meilleur usage de l'eau entre ses différentes formes d'utilisation**. Actuellement, celle-ci est utilisée pour l'alimentation humaine, pour l'agriculture et pour l'industrie, à raison d'environ un tiers du volume global pour chaque usage.

Pour Vivendi, il s'agira d'améliorer le rendement des réseaux, de perfectionner les techniques de dessalement dont l'intérêt va croître, notamment au

Moyen-Orient, où il existe déjà des techniques assez compétitives, réaliser de grandes adductions, par exemple au bénéfice de la Catalogne et de nouvelles rétentions d'eau, et lutter contre les inondations pour édifier davantage d'ouvrages de régulation, des chaussées poreuses pour limiter les effets de l'imperméabilisation des sols dans les zones urbaines, même si ce procédé technique est coûteux en entretien.

A propos du **dessalement**, l'abaissement rapide du coût des procédés offre à de nombreuses régions, insuffisamment pourvues en ressource d'eau douce, une perspective pour résoudre leurs problèmes d'approvisionnement en eau. Sur le plan énergétique, les techniques d'évaporation ont vu leur rendement s'améliorer fortement, mais demeurent encore assez fortes consommatrices d'énergie (donc potentiellement génératrices de gaz à effet de serre, en fonction des sources de génération utilisées), à la différence des techniques d'osmose inverse.

Enfin dans le domaine de l'eau usée, la préoccupation la plus notable par rapport au changement climatique concerne **les boues produites dans les usines d'épuration**, dont la quantité s'accroît à mesure de l'amélioration de la dépollution des eaux. Les difficultés croissantes vis-à-vis de l'épandage agricole de ces boues conduisent en effet à privilégier de plus en plus des solutions comme l'incinération.

Evoquant d'autres aspects, M. Jean-Pierre TARDIEU a indiqué que **la cogénération** constituait une bonne piste, et que **les réseaux de chaleur** étaient à développer, notamment en Europe centrale où Vivendi Environnement réhabilite des réseaux à l'origine souvent en mauvais état, assurant ainsi une forte amélioration des rendements énergétiques et une diminution corrélative de la production de gaz à effet de serre.

Au sujet des **carburants**, M. Michel DUTANG a indiqué que de fortes taxations peuvent entraîner des progrès. La comparaison entre la France et les Etats-Unis d'Amérique illustre ce fait. Les biocarburants seront à développer, d'autant qu'une couverture végétale d'hiver protège le sol, mais les coûts de main d'œuvre rendent ces cultures peu rentables et devraient confiner l'usage de ces carburants à un rôle marginal, du moins tant que le prix du pétrole demeure proche de son niveau actuel.

En revanche, **l'aquazole** (procédé consistant à ajouter une certaine quantité d'eau au gazole), coexpérimenté avec Elf, procure un gain de 2 à 3 % de la consommation pour un coût négligeable, et une température de moteur plus basse émettant moins de Nox, ce carburant étant aussi utilisable pour la flotte ancienne de véhicules.

L'ensemble des innovations dans le domaine des carburants serait aidé par une harmonisation de **la fiscalité**, notamment de la TVA, concernant le gaz, l'électricité et les réseaux de chaleur.

Abordant la question des **transports collectifs**, M. Jean Pierre TARDIEU a présenté les activités de Vivendi Environnement dans ce secteur qui consistent en

particulier à améliorer la qualité des services proposés à la clientèle. Ainsi, dans les réseaux ferroviaires qu'il gère hors de France, Vivendi Environnement obtient souvent, après quelques années, une hausse de fréquentation de l'ordre de 30 % de ses trains ou métros, réduisant ainsi de manière notable, le recours aux déplacements individuels davantage générateurs de gaz à effet de serre.

Il a évoqué également l'opération engagée par Vivendi Environnement en matière de **transport combiné de marchandises** entre Paris et Milan.

Quant à l'activité **déchets** de Vivendi, M. Michel DUTANG a indiqué qu'elle a permis d'**améliorer la valorisation de l'énergie liée à ceux-ci**, soit pour produire de l'électricité, soit pour alimenter des réseaux de chaleur.

Il a regretté que **les législateurs européens** aient tendance à **valoriser davantage la matière que l'énergie**, alors pourtant que le bilan de la valorisation de la matière n'est pas évident ; par exemple, le transport de bouteilles en plastique pour fabriquer des pulls dits « polaires » est très coûteux. Parallèlement, **l'incinération est trop souvent présentée de manière caricaturale**.

La mise en décharge peut constituer souvent une solution acceptable, à condition que ces décharges soient étanches et bien conçues, ce qui permet de récupérer du méthane de manière peu coûteuse, et de limiter ainsi l'émission d'un gaz à effet de serre 21 fois plus actif que le CO₂. Il est d'ailleurs facile de contrôler l'étanchéité des décharges en repérant les fuites de méthane grâce à des photos infra-rouges.

Ainsi, dans la région parisienne, deux décharges ont été complètement équipées par Vivendi Environnement pour, non seulement la récupération du méthane, mais aussi l'utilisation de celui-ci pour produire de l'électricité (11 mégawatts). De telles opérations sont prévues à l'étranger, à Caracas au Venezuela notamment : elles devraient être éligibles à un des mécanismes d'échange prévus par le protocole de Kyoto..

M. Jean-Pierre TARDIEU a évoqué **les principaux instruments économiques de politique environnementale** – fiscalité, réglementation, engagements volontaires des entreprises et mécanismes de flexibilité (échange de permis). Il est très probable que les dispositions qui seront adoptées combineront plusieurs de ces instruments. Il a exprimé le souhait que d'éventuelles mesures fiscales ou réglementaires soient plutôt prises à l'échelon international (au moins européen) que national pour éviter des distorsions de concurrence et des risques de délocalisations industrielles

Puis M. Michel DUTANG a insisté sur le dynamisme de **la recherche de Vivendi Environnement** dont il a présenté les grands axes.

Il a évoqué la question d'actualité que constitue l'énergie qui pourrait être produite à partir de **l'incinération des farines animales** à condition de mettre au point des farines facilement incinérables.

De même, les lisiers et les huiles usagées de restauration pourraient être récupérés et brûlés.

M. Jean-Pierre TARDIEU a souligné l'intérêt des partenariats établis par Vivendi Environnement avec d'autres pays, notamment pour les réseaux de chaleur en République tchèque, en Slovaquie, en Hongrie, en Pologne et en Roumanie, **les mécanismes de Kyoto rendant particulièrement intéressantes de telles actions.**

VOIES NAVIGABLES DE FRANCE

M. FRANÇOIS BORDRY, PRÉSIDENT

(9 mai 2000)

M. François BORDRY a tout d'abord noté l'impact que ne manquerait pas d'avoir une sécheresse accrue sur les voies navigables. Il a cité le cas du canal du Midi, surtout utilisé pour le tourisme, le poids du fret y étant inexistant. Les rivières navigables, comme la Seine, en revanche, sont régulées par des barrages : même avec peu d'eau, le niveau est constant et le trafic y est toujours possible en été. Seul le Rhin, de la frontière allemande jusqu'à son embouchure, est un fleuve à courant libre, où le niveau est donc variable, avec des risques pour la navigation, à l'étiage.

Bien plus que la sécheresse, c'est le problème des crues qui doit être pris en compte, car leur impact sur la navigation est très fort.

Des études récentes mettent en évidence le fait qu'un convoi de 4.400 tonnes sur la Seine bénéficie d'une **efficacité énergétique** de plus de 5 fois supérieure à celle d'un camion sur l'autoroute. Ce dernier, en effet, produit 50,7 Tkm (tonne kilomètre) pour un Kep (kilo équivalent pétrole) consommé contre 275 pour le convoi.

A titre d'information complémentaire, un automoteur de 2.000 tonnes autorise un rendement de 175 Tkm pour un kep et un train complet 128 Tkm par kep.

Une autre étude, émanant de la SNCF, a mis en valeur le fait que les coûts externes du fluvial étaient certes un peu supérieurs à ceux du train, mais, de très loin inférieurs à ceux de la route. Il serait donc souhaitable que les coûts externes soient comptabilisés dans le calcul du taux de rentabilité des nouvelles infrastructures.

M. François BORDRY a fait observer que **le transport fluvial pouvait être multiplié par 4 ou 5 sur la Seine**, sans qu'il y ait besoin de doubler les écluses existantes. Quand la liaison Seine-Nord sera réalisée, la gestion de la Seine sera grandement facilitée : en effet, la flotte adaptée au gabarit de la Seine est actuellement prisonnière de son bassin ; l'ouverture de la liaison Seine-Nord permettra notamment aux matériels de venir sur la Seine ou de quitter le bassin selon

la conjoncture locale du marché du transport. Cela permettra donc une meilleure gestion du bassin. En outre, les tarifs pratiqués sur la Seine, actuellement trois fois supérieurs à ceux du Rhin, auront tendance à baisser. **Le port du Havre** semble ne pas avoir encore complètement adhéré à cette logique, contrairement aux ports du Nord de l'Europe, qui ont compris que, pour se développer, ils devaient offrir à la marchandise le plus de services possibles et tous les choix possibles d'acheminement jusqu'à destination. Loin de craindre la concurrence, pourtant très vive entre eux, **les ports d'Anvers et de Rotterdam** sont allés jusqu'à creuser entre eux un canal, ce qui a bénéficié aux deux ports.

A l'inverse, Le Havre voit 85% de son trafic emprunter la route et a du mal à comprendre que son intérêt serait d'étendre le recours à la voie d'eau. Enfin, comme sur l'ensemble des ports maritimes, les bateaux fluviaux (assimilés à des navires maritimes) sont obligés d'avoir recours à la main d'œuvre des dockers, ce qui entraîne, au détriment du fleuve, un traitement discriminant par rapport aux wagons et aux camions.

M. François BORDRY a insisté sur **la part croissante des crédits contractualisés dans le cadre des contrats de plan**: de 800 millions de francs contractualisés au XIème Plan, les budgets consacrés aux voies d'eau, dans le cadre du XIIème Plan, dépassent 4 milliards de francs. Grâce à cette augmentation, les parties les plus actives du réseau, tant pour le tourisme que pour le transport, pourront ainsi être modernisées, en 7, 10 ou 15 ans. **La Seine**, à l'aval de Paris, verra, quant à elle, sa modernisation achevée à la fin du XIIème Plan.

Des travaux importants seront aussi entrepris sur **les canaux du Nord** et sur **la Moselle**, par exemple.

Grâce à l'augmentation des crédits consacrés à la modernisation du réseau, il faut s'attendre à la fin du déclin du transport fluvial, ce qui constitue une véritable inversion de tendance.

En ce qui concerne **le transport combiné**, les comparaisons entre le combiné fluvial et le combiné ferroviaire ne sont pas faciles à faire : en effet, le transport sur voie d'eau est effectué par des artisans ou des armateurs privés, qui ne peuvent pas se permettre un déficit durable, ce qui n'est pas le cas du transport ferroviaire de marchandises assuré par la SNCF. Cela entraîne parfois une concurrence difficile entre le fer et la voie d'eau, le fer étant parfois accusé de *dumping* quand il est en concurrence directe avec une voie d'eau.

Le canal Rhin-Rhône a été abandonné notamment à cause du déclin, à l'époque, du transport fluvial sur le Rhône. **Depuis que VNF a réalisé, en 1994, le « Plan Rhône », le trafic sur ce fleuve a augmenté de plus de 80 %** et un nouveau doublement de ce trafic est prévu à échéance de quelques années seulement. Les ports de Châlon, Mâcon et Lyon sont par ailleurs accessibles aux navires fluvio-maritimes, leur ouvrant l'accès direct, sans escale à Marseille, à tous les ports de la Méditerranée.

Depuis l'arrêt du projet Rhin-Rhône, l'intérêt de nombreux partisans de ce canal s'est reporté sur le **projet Saône-Moselle**, sous l'influence notamment de M. André ROSSINOT, Maire de Nancy. En effet, sur **la Moselle**, les 10 millions de tonnes transportées chaque année pourraient être doublées, sans qu'il soit nécessaire de doubler les écluses sur la partie française de la rivière (le doublement des écluses, en Allemagne, va bientôt commencer).

Cependant, le mode de calcul des nouvelles infrastructures n'est pas favorable à la voie d'eau puisque ces taux ont été fixés surtout pour les infrastructures concernant les transports de voyageurs. **Il serait utile de corriger le mode de calcul des taux de rentabilité utilisés en France, en donnant une priorité aux transports de marchandises.** C'est en effet en diminuant les transports de marchandises sur la route que l'on évitera la saturation des principaux axes pour les voitures particulières... Evoquant les **prévisions à long terme** élaborées par le ministère, M. François BORDRY a souhaité qu'elles soient revues dans le cadre de la préparation des schémas collectifs de transport de marchandises. En effet, alors que certaines prévisions tablaient sur une augmentation de 10% seulement à l'horizon 2010, la réalité a montré que **le transport fluvial a augmenté de 21% en deux ans (1998 et 1999), ce qui illustre l'importance de la volonté dans ce domaine.**

Pour terminer, M. François BORDRY a souhaité que se développe **la prise de conscience des atouts de la voie d'eau.** Il a rappelé en particulier que le déclin du transport fluvial entre 1970 et 1994 avait essentiellement touché **le petit gabarit**, sur lequel le tourisme fluvial a pris largement le relais du transport. En revanche, sur **le grand gabarit**, les évolutions n'ont pas été du tout de même nature et **la création de VNF**, mais aussi **la modernisation des professions** (avec la suppression du tour de rôle prévue pour le 31 décembre 2000), sont des éléments porteurs de développement.

Enfin, il a fait savoir que, selon les informations à sa disposition, le ministre de l'équipement avait l'intention de continuer à faire avancer le dossier du projet de **canal Seine-Nord**, notamment en annonçant le choix du tracé retenu.

FONDS MONDIAL POUR LA NATURE

(W.W.F.) (1)

M. JEAN-STÉPHANE DEVISSE

(24 novembre 1999)

La mission du Fonds mondial pour la nature (W.W.F.) consistant notamment à donner l'alerte face à certaines menaces concernant la nature, **le changement climatique préoccupe W.W.F.**

M. Jean-Stéphane DEVISSE a indiqué que W.W.F travaillait en **partenariat avec la MIES**, notamment à travers les contrats de plan Etat-Régions et qu'il était apparu que la nature subissait un lent réchauffement au rythme de + 0,6° en un siècle avec, dans le même temps, une montée de 25 cm du niveau des océans. Météo France a confirmé cette tendance dans un rapport remis au Premier ministre qui évoque une augmentation de la température de + 3,5° vers 2060-2100, et une élévation moyenne du niveau des océans de 46 cm en 2100.

Dans la mesure où les modèles du GIEC prévoient une augmentation de la température, et où certains estiment que la durée de vie du CO₂ dans l'atmosphère est d'environ 150 ans, un infléchissement de la tendance n'est pas près d'être observé.

Par ailleurs, il n'est pas évident de mesurer l'impact réel des changements climatiques, notamment sur les courants marins, du fait des **limites de la**

(1) *Le Fonds Mondial pour la Nature, créé en 1966, est une association de la loi 1901 qui comprend 28 millions d'adhérents dans le monde, 100.000 adhérents donateurs en France, 13.000 adhérents actifs. Il compte 50 permanents en France et 250 aux Etats-Unis d'Amérique. Son budget atteint 25 milliards de dollars consacrés à des projets locaux d'environnement.*

Cette association s'adresse aussi aux entreprises et compte, par exemple, dans ses adhérents « Nature et Découvertes », « les 3 Suisses » « Séphora » ... A l'heure actuelle, une certaine stagnation des adhérents est constatée.

connaissance scientifique. Toutefois, en cas de réchauffement brusque, une modification de la circulation thermohaline des océans surviendrait.

Rien ne permet à l'heure actuelle d'affirmer que le **Gulf Stream** -qui est à l'origine du climat tempéré de la France- serait réellement affecté par le réchauffement climatique. Mais la seule évocation de cette probabilité interdit de rester passif.

Dans l'hypothèse d'un réchauffement oscillant entre + 1° et + 2,5° en moyenne, l'élévation de la température constatée dans le Midi de la France serait sans doute de 3 ou 4° autour du Golfe du Lion. La limite de **l'aridité** (150 mm de précipitations par an) remonterait d'environ 35 km et la culture de l'olivier pourrait être pratiquée jusqu'à la latitude de Tournus.

La modification du régime des précipitations accompagnerait le réchauffement. Celles-ci seraient plus abondantes en hiver et moins en été, surtout dans le Sud, et ce, dans des proportions oscillant dans les deux cas, entre 10 et 20 %. Pour les cours d'eau, cela se traduirait par des crues hivernales plus importantes et un tarissement estival. Le bilan hydrique du sol serait modifié. La culture du maïs dans le Sud-ouest nécessiterait une irrigation accrue.

Tant les études du GIEC que de Météo France insistent sur le fait que **la variabilité climatique va encore augmenter** avec, comme conséquences, une érosion accrue des sols et des côtes notamment de la côte Atlantique, une amplification des crues et des tempêtes plus fréquentes.

Dans ce nouveau contexte, il serait permis de s'inquiéter sur les effets de cyclones violents aux Antilles ou en Guyane.

Approfondissant la question des impacts mêmes de cette variabilité climatique, M. Jean-Stéphane DEVISSE a noté qu'il était prévu que **les montagnes** recueillent davantage de neige à leurs sommets, d'où, peut-être, un surcroît d'avalanches et que l'érosion serait plus vive. En 2050, dans les Pyrénées, il y aurait probablement deux mois d'enneigement de moins sur l'ensemble de la saison et les glaciers reculeraient, ce qui est déjà patent si l'on observe, dans les Alpes, le glacier des Bossons. Les glissements de terrains et les éboulements pourraient aussi se multiplier tandis que les torrents se tariraient l'été.

A propos des **rivages**, M. Jean-Stéphane DEVISSE a rappelé que la côte Aquitaine reculait déjà de près d'un mètre par an contre 0,3 m en Normandie et en Picardie. En revanche, le changement climatique pourrait apporter une solution à l'ensemble de la baie du Mont St-Michel.

M. Jean-Stéphane DEVISSE a ensuite observé que, dans la zone fragile du delta du Rhône, la mer risquait d'annexer les étangs les plus proches de la côte, provoquant une salinisation accrue sans que de nouveaux espaces humides soient créés.

Quant au Languedoc-Roussillon où le cordon littoral est très étroit, il s'est demandé ce qu'il adviendrait du tourisme dans la mesure où beaucoup d'équipements touristiques sont posés sur le lido.

M. Jean-Stéphane DEVISSE a estimé qu'une salinisation éventuelle des **estuaires** de la Loire et de la Gironde était à craindre.

Dans **les DOM-TOM**, aux Antilles et en Guyane essentiellement, des cyclones très violents risqueraient de survenir. En Guyane, il y aurait davantage de sédiments venant de l'Amazonie et une invasion de la mangrove. Il ne devrait pas y avoir de problème concernant l'urbanisation côtière.

Beaucoup de **réefs coralliens** continueraient de blanchir et de mourir. Les atolls les plus bas seraient submergés, notamment en Polynésie.

L'impact sur **les forêts** pourrait d'abord concerner les Landes dont les pins sont très sensibles à l'augmentation d'un *stress* végétal. Quant aux forêts de la Méditerranée, les incendies s'y multiplieraient.

Les **animaux** seraient également concernés, notamment à travers la mort des coraux qui constituent des milieux naturels pour de nombreuses espèces et pour les poissons. La pêche côtière serait touchée aux Antilles. Les tortues luth qui se reproduisent sur 3 km de côtes en Guyane et constituent 40 à 50 % de la population de l'espèce mondiale seraient menacées. **Les insectes ravageurs et les moustiques** augmenteraient, surtout dans les DOM-TOM ce qui risquerait d'entraîner **une recrudescence du paludisme et de la dengue**.

Toutefois, l'arrivée du paludisme au Mexique et aux États-Unis d'Amérique favoriserait probablement la recherche sur les vaccins contre cette maladie.

Selon M. Jean-Stéphane DEVISSE, **les coûts directs du changement climatique** pourraient donc se résumer notamment au coût général de la lutte contre l'érosion des plages et des côtes, au coût des assurances contre les phénomènes météorologiques, au coût du recul de l'enneigement, à celui du recul des plages en Languedoc et à celui de la ressource piscicole dans les réefs coralliens. **Les coûts indirects**, quant à eux, concerneraient **la santé publique** -les conséquences des vagues de chaleur à Chicago permettent d'avoir une idée de ce phénomène. **La pollution** due à l'ozone augmenterait provoquant des accidents vasculaires. La sécheresse sur tout le pourtour de la Méditerranée risquerait d'augmenter **la pression de l'émigration** vers l'Europe.

Abordant **les mesures à prendre** face à ces perspectives, M. Jean-Stéphane DEVISSE a posé d'abord la question du **coût du respect des accords de Kyoto**. De même, il s'est demandé comment la France se limiterait à une stagnation de ces émissions actuelles jusqu'en 2008 alors que **les émissions de CO₂ dues aux transports** passeraient de 21 % à 39 % dans les émissions nationales totales, soit une augmentation de 85 % de la tendance. Certes, l'efficacité des moteurs serait encore améliorée, la substitution des carburants et des technologies permettrait d'atténuer la

pollution et, par exemple, de limiter les nuisances du diesel mais l'accroissement des transports risquerait quand même d'être supérieur à celui de la croissance avec un allongement de la longueur des transports et une multiplication des transports inutiles (déjà 30 % des camions qui circulent le font à vide alors que, par exemple, un dispositif informatique embarqué permettrait de mieux remplir ces camions ; cette amélioration entraînerait alors la nécessité d'une reconversion des transporteurs mis au chômage, ce qui montre qu'il est toujours nécessaire de réfléchir aux conséquences des conséquences).

Sur la question de **l'habitat**, M. Jean-Stéphane DEVISSE a noté que l'isolation thermique des bâtiments pouvait aussi être assurée grâce à des verres qui se filtrent progressivement en proportion de la lumière reçue et qu'il serait souhaitable de généraliser ce procédé, ce qui ne supprimerait pas d'emplois.

Il a jugé efficace d'**économiser l'énergie** surtout aux États-Unis d'Amérique (automobiles, électroménager...). Il a cité un autre exemple d'économie donné par l'action de l'ADEME en Palestine où l'Agence a offert de nouveaux réfrigérateurs pour économiser l'électricité gaspillée par des réfrigérateurs obsolètes.

Il a ensuite insisté sur le luxe que représentait **la climatisation des bâtiments et des véhicules** dont elle augmente de 15 % la consommation, tout en notant que la climatisation était indispensable sous certains climats (par exemple en Guyane où il serait selon lui judicieux d'implanter une unité de fabrication de climatiseurs qui aurait tout le Brésil comme marché potentiel).

En conclusion, M. Jean-Stéphane DEVISSE a rappelé que WWF était accueillie comme observateur dans **les conférences internationales** et notamment au sein du Réseau Action Climat (R.A.C.) (1) et qu'elle possédait un petit **journal** pour rendre compte de ses actions.

(1) *Le Réseau Action Climat est un réseau mondial mobilisé dans la lutte contre l'effet de serre.*

Index alphabétique des noms des personnes entendues

• ANDRÉ Jean-Claude (Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement – GICC)	227
• ARNOULD Jacques (Centre National d'Etudes Spatiales)	63
• AUDOUZE Jean (Palais de la Découverte)	261
• AUTIER Denis (BNP PARIBAS)	37
• BARTHOD Christian (Ministère de l'Agriculture – Direction de l'espace rural et de la forêt)	207
• BESANCENOT Jean-Pierre (Centre National de la Recherche Scientifique – Laboratoire Climat et Santé – Faculté de Médecine de Dijon)	69
• BOIFFIN Jean (Institut National de la Recherche Agronomique – INRA)	163
• BONDUELLE Antoine (Institut d'Evaluation des Stratégies sur l'Energie et l'Environnement en Europe – INESTENE)	151
• BORDET Alexis (Fédération des entreprises de Transports et Logistique de France – TLF)	293
• BORDRY François (Voies Navigables de France – VNF)	317
• CANEIL Jean-Yves (Electricité de France)	123
• CARIOLLE Daniel (Météo France)	199
• CARISTAN Yves (Bureau de Recherches Géologiques et Minières)	41
• CAZENAVE Anny (Centre National d'Etudes Spatiales)	67
• COCHET Yves (Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement)	217

• COSTES Bruno (PSA – Peugeot-Citroën)	269
• COUVET Denis (Muséum national d’histoire naturelle)	251
• DEBOAISNE Emmanuel (BNP PARIBAS)	37
• DELMAS Robert	119
• DEVISSE Jean-Stéphane (WWF – Fonds Mondial pour la Nature)	321
• DOUAUD André (Institut Français du Pétrole - IFP)	141
• DUTANG Michel (Vivendi Environnement)	313
• ELBEL Michel (AIRPARIF)	27
• GAUTHIER Raphaëlle (Réseau Action-Climat France – RAC France)	277
• GAUVIN Bernard (Sécurité routière)	289
• GIBLIN Jean-Pierre (Ponts-et-Chaussées – Conseil général)	265
• GILLET Marc (Mission Interministérielle de l’Effet de Serre – MIES)	203
• GIVONE Pierrick (CEMAGREF – Institut de recherche pour l’ingénierie de l’agriculture et de l’environnement)	55
• GODARD Noël (Ministère de l’Aménagement du Territoire et de l’Environnement)	221
• GOSSE Ghislain (Institut National de la Recherche Agronomique – INRA)	161
• GOSSE Ghislain (Institut National de la Recherche Agronomique – INRA)	163
• GOURY Bernard (Office National des Forêts – O.N.F.)	255
• GUIGNARD Erik (Syndicat des énergies renouvelables)	127
• GUIGOU Jean-Louis (DATAR)	115
• HERVIEU Bertrand (Institut National de la Recherche Agronomique – INRA)	163

• JANCOVICI Jean-Marc (Ingénieur consultant – MANICORE)	185
• JOUSSAUME Sylvie (Centre National de la Recherche scientifique)	85
• KANDEL Robert (Centre National de la Recherche scientifique – Laboratoire de Météorologie Dynamique à l'Ecole Polytechnique)	75
• LABEYRIE Jacques (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie)	17
• LAMELOISE Philippe (AIRPARIF)	27
• LANDMANN Guy (Ministère de l'Agriculture – Direction de l'espace rural et de la forêt)	213
• LE Thi Mai (Association of European Airlines)	23
• LE TREUT Hervé (Institut Pierre Simon Laplace – IPSL)	173
• LEPAGE Corinne (Ancien ministre de l'environnement)	193
• LERAY René (Commission européenne)	105
• LESAFFRE Benoît (Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement)	235
• LETOURNEUX Jean-François (Institut Français de l'Environnement – Conservatoire du Littoral)	135
• LOISEL Cyril (Office National des Forêts – O.N.F.)	255
• LOUAT Rémy (Institut de Recherche pour le Développement – IRD)	179
• LUCAS Jean (Conservatoire National des Arts et Métiers)	109
• MASQUELIER Thierry (Caisse Centrale de Réassurance)	45
• MECLOT Bernard (Electricité de France)	123
• MEGIE Gérard (Centre National de la Recherche scientifique)	91
• MEHL Florence (Le Quotidien du Médecin – Prix Epidaure)	275
• MERLE Jacques (Institut de Recherche pour le Développement – IRD)	179

• MINSTER Jean-François (Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer - IFREMER)	147
• MINSTER Jean-François (Centre National de la Recherche scientifique)	79
• MIRAN Patrice	247
• MOREL Bernard (Institut Français de l'Environnement – IFEN – Conservation du Littoral)	139
• MOUSEL Michel (Mission Interministérielle de l'Effet de Serre – MIES)	203
• MULLER Maurice (Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement)	235
• PERRIER Alain (Institut National d'Agronomie de Paris-Grignon – INA P-G)	155
• PETIT Michel (Groupe Intergouvernemental d'Experts sur l'Evolution des Climats – GIEC)	133
• PICHON Hervé (PSA – Peugeot-Citroën)	269
• PIOR Jacques (Assemblée Permanente des Chambres d'Agriculture)	33
• PIRAZZOLI Paolo Antonio (Centre National de la Recherche scientifique – Laboratoire de Géographie physique)	97
• QUIRION Philippe (Réseau Action-Climat France – RAC France)	277
• RADANNE Pierre (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie)	17
• ROBICHON Yves (Sécurité routière)	289
• RODHAIN François (Institut Pasteur)	167
• ROGNON Pierre (Université Pierre et Marie Curie – Paris VI)	299
• ROL-TANGUY Francis (SNCF)	293
• ROMANA Christine (Centre National de la Recherche scientifique – Laboratoire de Géographie physique)	101

• ROQUEPLO Philippe	283
• ROTHEVAL Jean-Pierre (Centre d'Etudes sur les Réseaux, les Transports, l'Urbanisme et les constructions publiques)	59
• SALMON Jean (Fédération Nationale des Syndicats d'Exploitants Agricoles)	131
• SALMON Jean-Marc (Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement)	235
• SEGUIN Bernard (Institut National de la Recherche Agronomique – INRA)	163
• STENGEL Pierre (Institut National de la Recherche Agronomique – INRA)	163
• SUART-FIORAVANTE Marie-Thérèse (Vivendi Environnement)	313
• TARDIEU Jean-Pierre (Vivendi Environnement)	313
• TERRIBLE Jean-Noël (Assemblée Permanente des Chambres d'Agriculture)	33
• TISSOT Bernard (Académie des Sciences)	11
• TUBIANA Maurice (Académie des Sciences)	11
• TURPIN Laurent (CEA – CNRS – Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement)	49
• VASSEUR Guy (Assemblée Permanente des Chambres d'Agriculture)	33
• VERGÈS Paul (sénateur de La Réunion)	309
• VERREL Jean-Louis (CEMAGREF – Institut de recherche pour l'ingénierie de l'agriculture et de l'environnement)	55
• VEXIAU Thierry (Ministère de l'équipement, des Transports et du Logement – Direction des Affaires économiques et internationales)	241

Sans l'effet de serre naturel, la Terre serait bien moins accueillante. Mais ce phénomène bienfaisant, qui favorise la vie, se double désormais d'un effet de serre artificiel provoqué par l'homme. Depuis quelques années, la communauté scientifique délivre avec une fermeté grandissante un message inquiétant : à force d'émettre dans l'atmosphère des gaz dits « à effet de serre », résultant notamment de la combustion des énergies fossiles, l'homme ne serait-il pas devenu un agent climatique ?

Une telle mutation aurait des impacts sur les hommes, sur la biodiversité et sur les territoires. Mais comment remettre en question le recours croissant aux combustibles fossiles ou encore l'agriculture intensive au moment même où la planète va se trouver peuplée d'un nombre inégalé d'êtres humains ? N'est-ce pas saper les fondements mêmes de la civilisation industrielle ? D'autres choix sont-ils possibles ? Comment permettraient-ils d'atteindre les horizons 2025, 2050 et 2100 ?

Après avoir contribué, en un siècle et demi seulement, à dérégler la climatisation du vaisseau spatial Terre, l'homme sera-t-il à même de réparer les conséquences de ses excès passés et actuels et de réorienter son action ? En est-il encore temps ? Les relations Nord-Sud, comme le sort des générations futures, en dépendent.

Compte tenu du caractère planétaire du problème posé à chacun, l'OPECST a voulu donner au lecteur du présent rapport les moyens de se forger lui-même son opinion, en joignant à cette étude un Cd-rom sur les changements climatiques.

Outre le rapport du sénateur Marcel DENEUX, ce Cd-rom comporte une vingtaine de rapports ou d'articles connexes émanant des sources les plus autorisées (Académie des Sciences, Mission Interministérielle de l'Effet de Serre...), sans omettre d'indiquer des sites Internet permettant d'accéder à d'autres connaissances sur les changements climatiques, l'effet de serre et l'avenir de la Planète Bleue.