

Série : **BÉTON PRÉCONTRAIT** (63)

CENTRE D'ÉTUDES SUPÉRIEURES

SÉANCE DU 1<sup>er</sup> MARS 1966

sous la présidence de M. **le Professeur TROMBE**,  
du Centre National de la Recherche Scientifique



## LE FOUR SOLAIRE DE 1 000 kW

du Centre National de la Recherche Scientifique à Odeillo-Font-Romeu

par MM. **H. VICARIOT**,  
Architecte D. P. L. G.,  
Ingénieur en Chef de l'Aéroport de Paris

**P. COURTOT**,  
Ingénieur-Conseil

**F. FONDEVILLE**,  
Directeur de l'Entreprise Fondeville

ASSOCIATION FRANÇAISE DES PONTS ET CHARPENTES  
CHAMBRE SYNDICALE NATIONALE DES CONSTRUCTEURS EN CIMENT ARMÉ  
ET BÉTON PRÉCONTRAIT  
INSTITUT TECHNIQUE DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS



## RÉSUMÉ

M. Vicariot brosse un tableau d'ensemble des installations qui comprennent :

- des miroirs orienteurs
- un grand miroir parabolique
- et un bâtiment four.

Puis il précise les particularités architecturales du bâtiment principal à ossature précontrainte très rigide; il donne notamment le principe et la réalisation des façades chauffantes.

M. Courtot donne la description de l'ossature résistante et examine successivement les problèmes de rigidité et de stabilité. Puis il précise les ancrages du bâtiment, l'équilibrage des parties hautes et les nouveaux critères pour la forme des tracés des câbles.

En dernier lieu, M. Fondeville expose les difficultés particulières de ce chantier, les unes purement techniques et les autres d'ordre plus général dues essentiellement à l'importance relative du chantier et à sa situation géographique.

## ZUSAMMENFASSUNG

Der Verfasser, Herr Vicariot, gibt zunächst eine umfassende Darstellung einer Sonnenkraftanlage, die sich in der Hauptsache zusammensetzt aus :

- Orientierungsspiegeln
- einem grossen Parabolspiegel
- und dem Ofengebäude.

Er geht anschliessend auf die baulichen Eigenheiten des Hauptgebäudes mit seinem äusserst festen Spannbetongerippe ein und erläutert insbesondere das Prinzip und die Durchführung der Wärmefassaden.

Herr Courtot beschreibt das feste Spannbetongerippe an Hand der im Hinblick auf die Steifigkeit und Stabilität zu lösenden Probleme. Anschliessend behandelt er die Verankerung des Gebäudes, den Ausgleich des Oberbaus sowie neue Kriterien für die Kabelführung.

Abschliessend, berichtet Herr Fondeville über die besonderen Schwierigkeiten, die sich auf dieser Baustelle ergaben, wovon die einen rein technischer Natur waren, die anderen in der Hauptsache an der relativ grossen Ausdehnung und der geographischen Lage dieser Baustelle lagen.

**En couverture : Vue Nord du bâtiment terminé.**

## SUMMARY

Mr. Vicariot gives an over-all picture of the plant and equipment which include :

- directing mirrors
- a large parabolic mirror
- and a furnace building.

Then he describes the architectural features of the main building having a very rigid prestressed skeleton; he gives, in particular, the principle and the manner of construction of the heating façades.

Mr. Courtot gives the description of the resisting skeleton and successively examines the problems of rigidity and of stability. Then he describes the anchorages of the building, the balancing of the upper parts and the new criteria for the form of the layouts of the cables.

Finally, Mr. Fondeville describes the special difficulties of this job site, some of which are purely technical and the others of a more general nature due essentially to the relative magnitude of the site and to its geographical situation.

## RESUMEN

El Señor Vicariot presenta el conjunto de las instalaciones que comprenden :

- los espejos de orientación
- un gran espejo parabólico
- y un edificio para el horno.

Acto seguido, precisa las particularidades arquitectónicas del edificio principal de estructura pretensada muy rígida, e indica, en particular, el principio y la realización de las fachadas calentadoras.

El Señor Courtot indica la descripción de la estructura resistente y examina sucesivamente los problemas de rigidez y estabilidad. Finalmente, precisa los sistemas de anclaje del edificio, el equilibrado de las partes superiores y los nuevos criterios adoptados en cuanto a la forma de los trazados de los cables.

En último lugar, el Señor Fondeville expone las dificultades particulares de estas obras, algunas de ellas meramente técnicas y las otras de carácter más general, debido principalmente a la importancia relativa del tajo y a su situación geográfica.

*Les thèses et la méthode d'exposition adoptées par les conférenciers et les personnes qui prennent part aux discussions peuvent parfois heurter certains points de vue habituellement admis. Mais il doit être compris que ces thèses et discussions, à l'égard desquelles l'Institut Technique ne saurait prendre parti, ne visent en rien les personnes ni le principe des Institutions.*



## AVANT-PROPOS DU PRÉSIDENT

Au début de cette séance, je voudrais remercier particulièrement M. Vicariot et ses collaborateurs de l'Aéroport de Paris pour tout ce qu'ils ont fait pour l'installation que le C.N.R.S. réalise en ce moment à Odeillo.

Il s'agit d'un très grand four solaire auquel d'importants crédits ont été attribués et il s'agit d'un pari gagné maintenant, mais gagné grâce à la contribution de personnalités scientifiques et techniques et celle de l'Aéroport de Paris, qui dans cette réalisation nous a puissamment aidés.

Je voudrais encore une fois lui exprimer notre vive reconnaissance pour cet appui considérable et pour l'effort qu'il a fait, qui n'est pas à la mesure d'une contribution classique, mais à la mesure d'une contribution passionnée, nous dirons, et je crois qu'il faut le dire. En effet, la recherche scientifique ne se fait pas toujours par des collaborations de ce genre et c'est peut-être une réalisation assez unique ; je suis persuadé que dans l'avenir, quand on verra tout cet ensemble terminé, on ne regrettera pas ce qui a été fait et ce qui a été mis comme crédits par l'État pour cette réalisation.

Avant de donner la parole à M. Vicariot et à ses collaborateurs, je voudrais introduire un peu le four solaire dans ce qu'il a de scientifique et de technique.

— Le four solaire est un outil de travail de recherche fondamentale qui permet en particulier, de faire des opérations sans contamination. Comme nous l'a dit notre ami le regretté Professeur Lebeau, il s'agit là de calories pures, de chaleur pure qui peut être obtenue à des degrés très élevés. On peut donc fondre dans des conditions très pures n'importe quoi : des oxydes, des métaux, des carbures, des sulfures, etc..., et ainsi obtenir des produits purs, ce qui, aujourd'hui, peut représenter une valeur exceptionnelle pour des applications déterminées.

Le four solaire est en somme l'instrument de fabrication des produits purs et évidemment, on pourrait s'étonner que la recherche scientifique française n'en soit pas restée aux installations de quelques kilowatts ou de 50 kW. Il s'agit justement de montrer dans ce Centre d'Odeillo que l'installation extrapolée à 1 000 kW est capable de fournir des produits purs à des prix en compétition avec les autres formes de production d'énergie à hautes températures.

La raison principale qui a incité le C.N.R.S. à faire grandir la machine est qu'un appareil de 1 000 kW n'est jamais qu'une machine moyenne dans la hiérarchie de puissance des machines fabriquant de hautes températures et il se trouve que ces 1 000 kW du four solaire permettent quand même de multiplier par quatre le rendement d'un appareil de 50 kW ; par conséquent, avec cette augmentation nous pensons apporter la rentabilité qui n'est acquise de même pour le four électrique unitée qu'à partir de 1 000, 2 000 ou 5 000 kW.

C'est donc avec cette idée que le Centre National de la Recherche Scientifique s'est lancé dans cette réalisation de recherche appliquée.

Voici d'abord ce qui se passe au foyer d'un four solaire ; le rayonnement est convergent sur une surface qui reçoit de l'énergie et qui se trouve de ce fait chauffée à haute température ; cette surface peut être une poudre, un liquide, un métal non fondu, peut-être un solide, et en tout cas, le résultat est qu'on obtient une partie fondue contenue dans un ensemble fritté qui n'est pas contaminé (fig. 1).

Ceci, c'est l'opération typique qu'on réalise au four solaire pour faire les composés les plus variés à haute température.

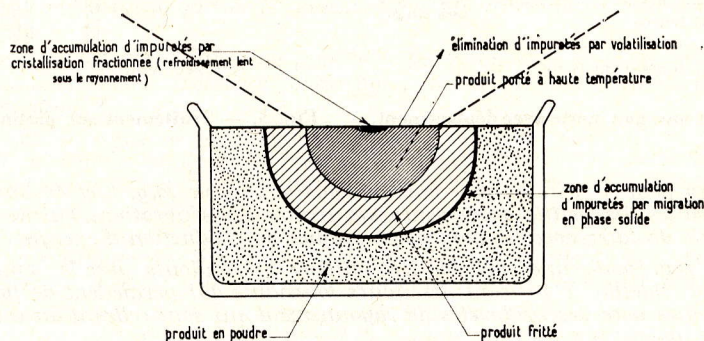


FIG. 1. — Chauffage d'une substance au point fixe par rayonnement convergent.



— On obtient aussi, en faisant circuler le produit sous le foyer (fig. 2), des baguettes dont les longueurs peuvent être de plusieurs mètres si on veut, et qui ont une largeur égale à la dimension de l'image focale. Par exemple, on réalise ces baguettes avec de l'alumine fondue, de la chaux, etc..., des oxydes réfractaires divers, même de l'oxyde de thorium, qui fondent au-dessus de 3 000° C.

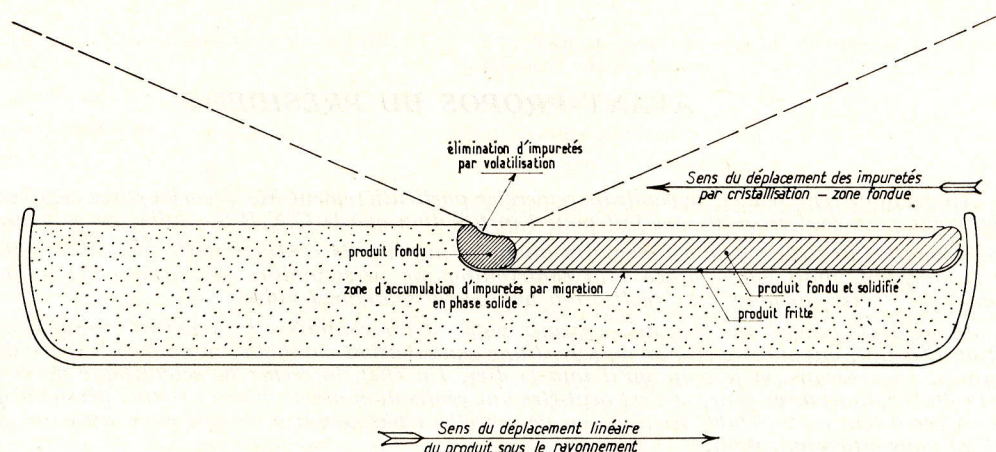


FIG. 2. — Chauffage d'une substance se déplaçant sous rayonnement convergent.

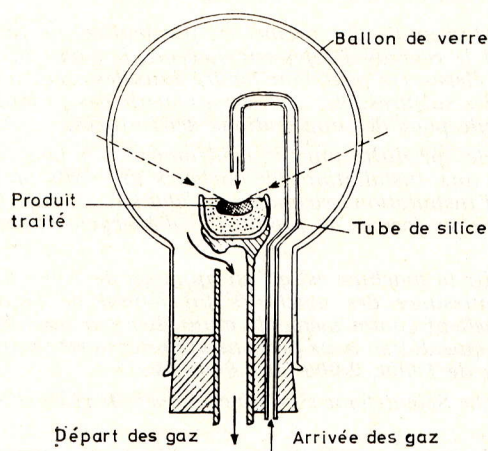


FIG. 3. — Traitement au point fixe sous vide ou sous gaz inerte.

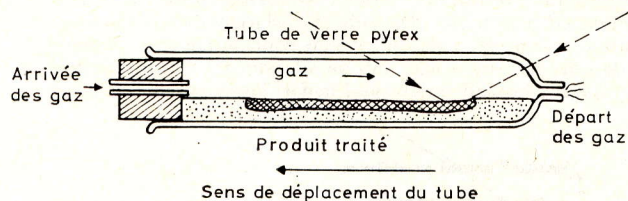


FIG. 4. — Traitement sous vide ou sous gaz inerte avec déplacement.

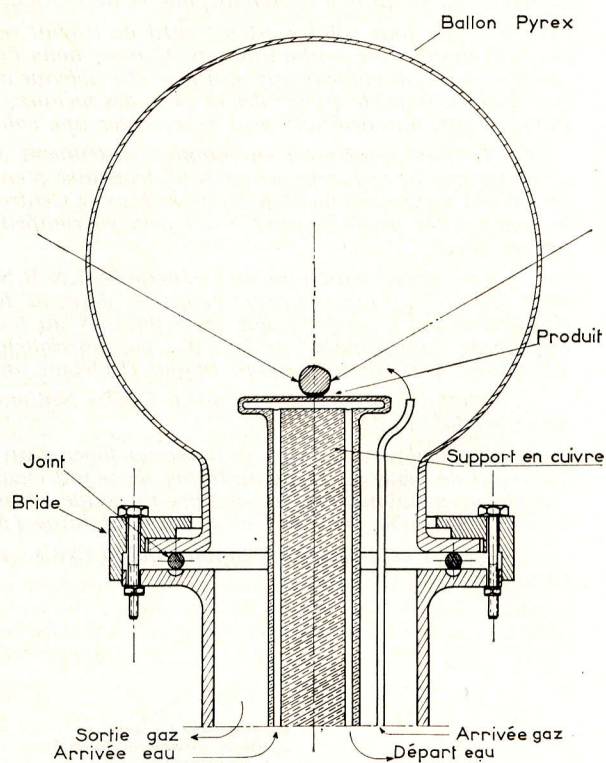


FIG. 5. — Traitement sur platine réfrigérée en milieu conditionné.

— Cette opération peut se faire dans le vide ou sous gaz inerte (fig. 3 et 4), sur platine réfrigérée (fig. 5 et 6). C'est ainsi qu'avec les dispositifs de ce genre, on réalise des séparations qui se font à 2 500 ou 3 000° C et qu'il serait très difficile de faire avec les moyens classiques de production d'énergie.

— La figure 7 représente une méthode très utilisée à Montlouis avec le four de 50 kW et qui sera en particulier utilisée à Odeillo : ce sont les fours tournants qui permettent de faire des produits frittés et fondus en grandes quantités avec des propriétés de rayonnement qui sont celles d'un corps noir et on a ainsi de très bons rendements de fusion.



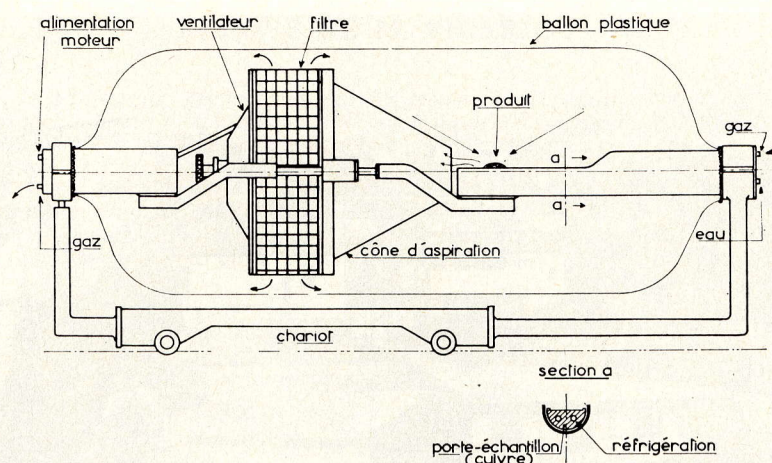


FIG. 6. — Traitement sur platine réfrigérée avec aspiration et filtration des fumées produites. Le ballon contenant l'ensemble est en plastique gonflé sous une faible pression de gaz.

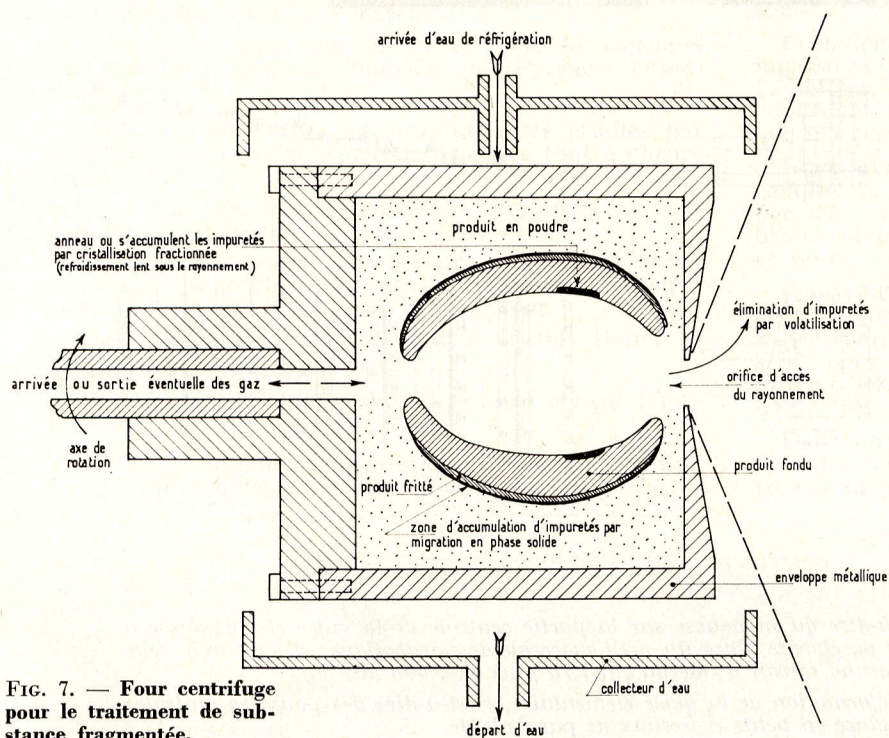


FIG. 7. — Four centrifuge pour le traitement de substance fragmentée.

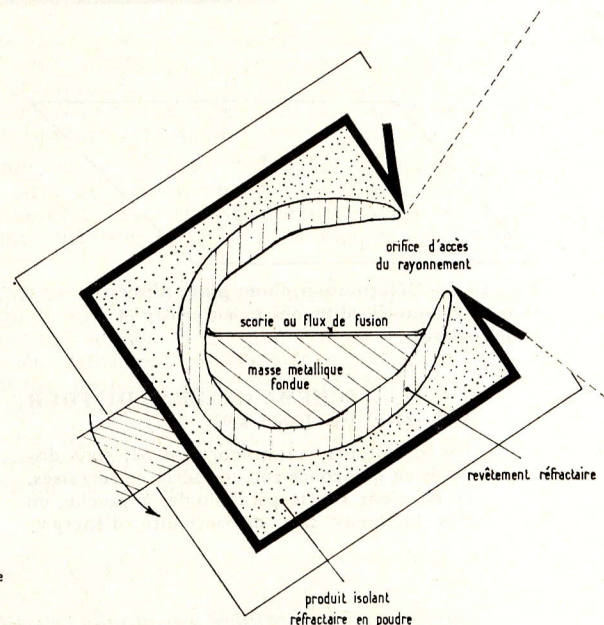


FIG. 8. — Four centrifuge pour métallurgie. Le creuset contenant le métal a été préparé par fusion de la poudre dans une opération antérieure.

C'est avec un four comme celui-là qu'Odeillo pourrait fournir un nombre considérable de tonnes de produits réfractaires frittés.

— La figure 8 montre un même genre de four avec lequel on peut faire de la métallurgie à l'intérieur d'un creuset préparé préalablement; le métal est fondu par le soleil qui diverge dans le corps noir. L'appareil peut basculer en fin d'opération.

Un des problèmes est la constance de l'énergie solaire. A Odeillo, il s'agit de préfigurer l'avenir et de préparer l'avenir et même si l'efficacité d'Odeillo n'est pas toujours aussi bonne que celle qu'on aurait au Sahara, on aura quand même des expériences qui permettront de préconiser telle ou telle fabrication.

— Nous allons voir maintenant les fours existants. Le grand four actuel, qui est la préfiguration du four d'Odeillo, le four existant de Montlouis (fig. 9), a un grand orienteur plan de  $13 \times 10$  m à droite, qui envoie son rayonnement sur un paraboloïde fixe à gauche. Montlouis est à la limite avec un seul miroir orienteur plan et cette disposition était possible jusqu'à cette dimension d'orienteur, mais vous allez voir qu'on a fait autre chose.

De toute façon, on applique à Odeillo un principe déjà expérimenté ici : les glaces élémentaires de ce miroir qui concentrent l'énergie ici ne sont pas planes; ce sont des glaces qui sont planes de fabrication, mais qui sont



FIG. 9. — Installation du four solaire de 75 kW à Montlouis.

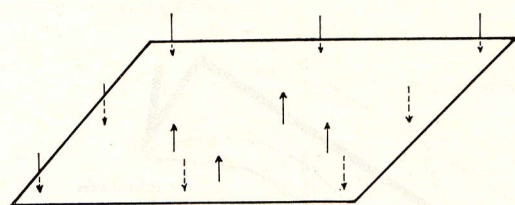
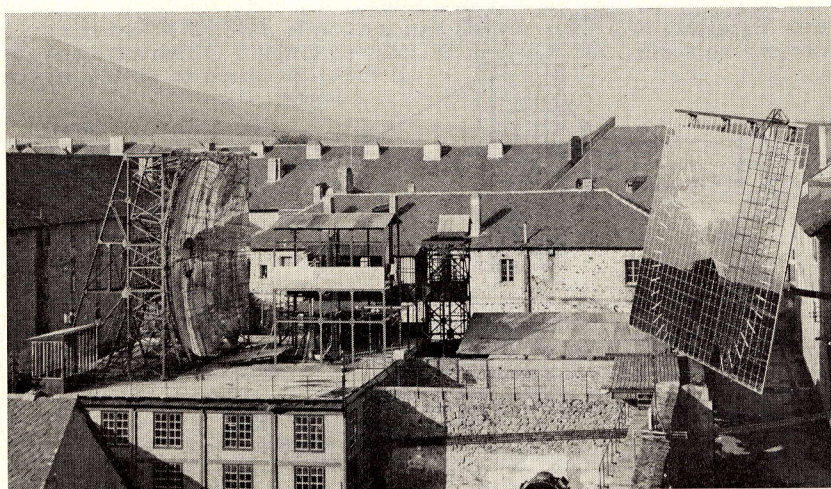
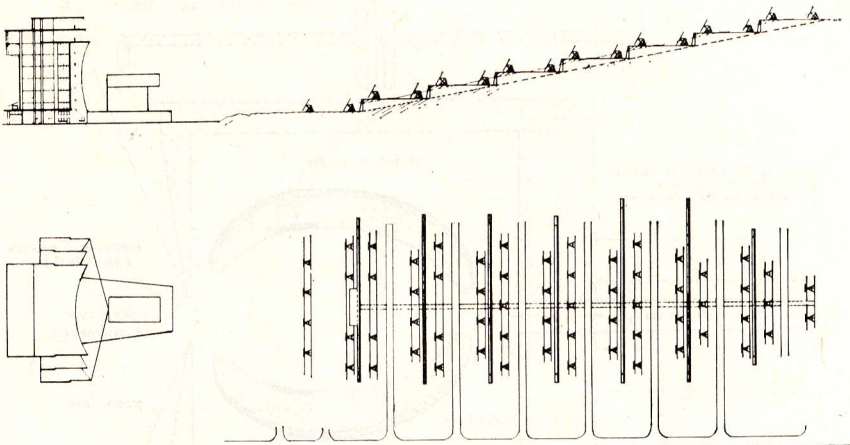


FIG. 10. — Déformation d'une glace alimentaire par poussée antagoniste au centre et à la périphérie.

FIG. 11. — SCHÉMA GÉNÉRAL DU FOUR SOLAIRE DE 1 000 kW

Les orienteurs, au nombre de 63, sont disposés en quinconce sur une série de terrasses. Ils envoient sur le paraboloïde, à gauche, un flux lumineux sans discontinuité d'énergie.



courbées par contraintes mécaniques, c'est-à-dire qu'on pousse sur la partie centrale de la glace et on pousse à l'opposé sur les parties latérales pour faire de chaque glace un petit morceau de paraboloïde, et c'est avec cette technique que seront courbées les glaces du grand miroir d'Odeillo qui fera plus de 2 000 m<sup>2</sup>.

— La figure précise le schéma de déformation de la glace élémentaire, c'est-à-dire des poussées centrales et des poussées latérales transformant cette glace en petits morceaux de paraboloïde.

— La figure 11 montre le schéma d'Odeillo et la position du grand bâtiment dont M. Vicariot va vous entretenir particulièrement ce soir.

L'idée qui nous permet de faire des économies, bien que l'installation soit quand même une installation d'un certain prix, c'est de mettre sur ce terrain en pente des petits orienteurs dont chacun fait 45 m<sup>2</sup>, disposés de façon à ne pas se faire d'ombre mutuellement et qui envoient sur ce miroir parabolique qui fait 45 m de haut, un faisceau lumineux sans discontinuité d'énergie, c'est-à-dire que l'énergie est reçue du soleil avec discontinuité par les miroirs plans, mais le faisceau qui repart en direction du sud vers le miroir parabolique contient toute l'énergie incidente. En d'autres termes, il n'y a pas d'ombre, de creux dans cette énergie transmise sur le paraboloïde, alors que l'énergie venant sur chaque miroir est évidemment fragmentée.

Une partie de l'originalité de ce dispositif réside dans cette division du système orienteur qui coûte beaucoup moins cher qu'un appareil unique. Cet appareil unique coûterait des dizaines de milliards et nécessiterait des centaines de chevaux pour son fonctionnement normal dans un climat moyen ; par conséquent, cette substitution à un seul appareil d'un ensemble d'orienteurs construits en demi-série sur une terrasse aménagée, représente une des grandes possibilités de four solaire de moyenne ou grande puissance.

Ceci, je pense, vous a suffisamment informés sur les buts que l'on poursuit avec le four solaire et vous allez maintenant pouvoir entendre la description plus détaillée et plus compétente de M. Vicariot et de ses collaborateurs concernant le grand bâtiment d'Odeillo.



## EXPOSÉ DE M. VICARIOT

*Je remercie M. le Professeur Trombe des paroles très aimables qu'il a prononcées pour l'Aéroport de Paris ; il a prononcé un mot auquel j'ai été très sensible car il a parlé de « passion ». En effet, lors de nos premiers contacts, lorsqu'il m'a exposé son projet, nous avons tous été « passionnés » à nous attacher à construire une installation de cette nature et j'ai eu la satisfaction de constater que la même « passion » a animé ensuite les ingénieurs de la STUP qui ont eu la charge difficile de calculer une ossature précontrainte du bâtiment et encore plus, la même passion chez nos entrepreneurs, notamment M. Fondeville ici présent car vraiment, il a fallu de la part des entreprises et de leurs chefs de chantier qui ont travaillé dans des conditions très difficiles, beaucoup de « passion » pour venir à bout de ce très beau chantier.*

En raison de l'intérêt national d'une telle réalisation l'aéroport de Paris a accepté d'être le Maître d'Œuvre de cet ouvrage pour le compte du CNRS. Il a donc pris en charge :

- l'étude architecturale;
- la coordination des études techniques;
- la préparation des marchés;
- la surveillance des travaux, avec le concours du service des Ponts et Chaussées des Pyrénées Orientales.

L'ossature en béton précontraint a été étudiée par la STUP. M. Courtot vous en exposera tout à l'heure les principes.

M. Fondeville, entrepreneur du gros œuvre, vous parlera du chantier.

Je vais donc borner mon propos aux études architecturales. Je parlerai d'abord du bâtiment principal portant le miroir, puis du bâtiment four.

Le problème architectural était à la fois simple et compliqué.

Simple, car les données du programme étaient impératives :

- forme et dimensions du grand miroir constitué par des miroirs élémentaires au module de 5 m.

— disposition des encorbellements de la façade sud pour les petits fours annexes;

— dimensions et dispositions de la structure imposées par les deux premières conditions.

Il fallait organiser les distributions et équipements intérieurs en fonction de ces données et habiller le tout.

*Compliqué* : en raison précisément de ces données impératives qui limitaient strictement la liberté de l'architecte et l'ont obligé à trouver des arrangements convenables et à pratiquer une gymnastique esthétique qui n'a pas toujours été facile.

Nous avons eu également le grand souci de tenir compte du site, un très beau site pyrénéen, constitué par des vallonnements verdoyants éclairés par un très beau ciel donnant une lumière à la fois enveloppante et pure.

Construit dans un ensellement dominé par les hauteurs de Font-Romeu au nord et limité au sud par une petite vallée charmante, le four sera vu de haut et de loin. Il sera, pour les touristes de Font-Romeu, comme un brillant solitaire posé sur un tapis vert dans un cadre d'une très belle harmonie.

Dans un tel site, la technique des murs-rideaux en produits verriers, qui reflètent le ciel et le paysage trouve sa pleine justification.

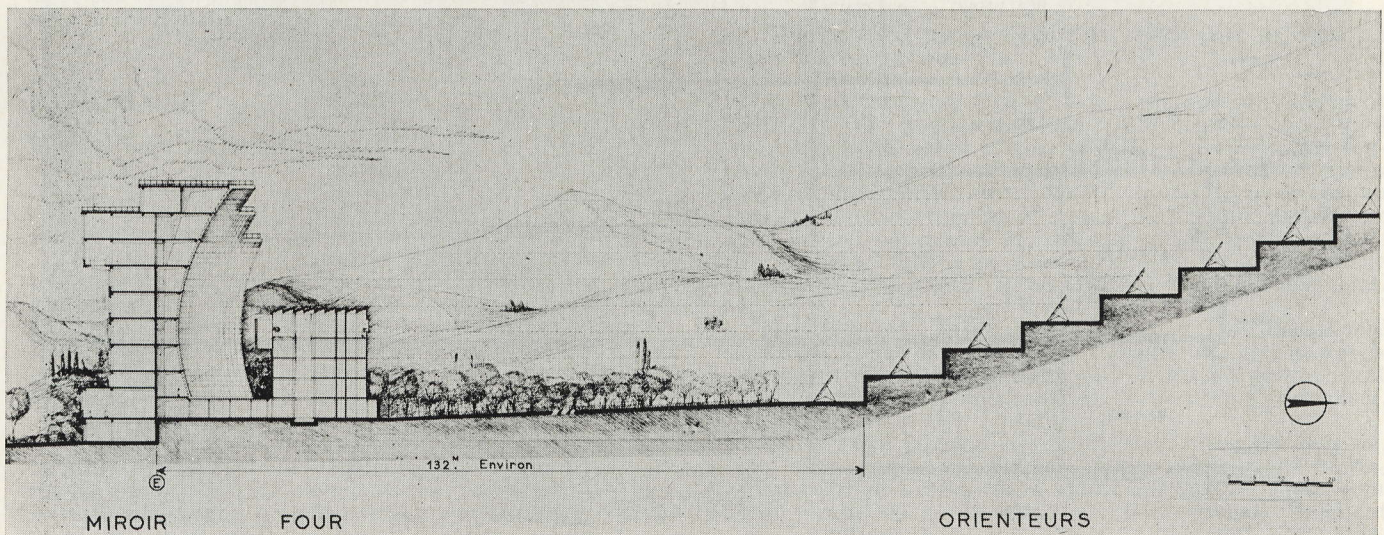


FIG. 1. — Coupe schématique générale montrant de gauche à droite : le bâtiment-miroir, le bâtiment-four, les miroirs orienteurs installés sur des gradins aménagés sur la pente de la colline.



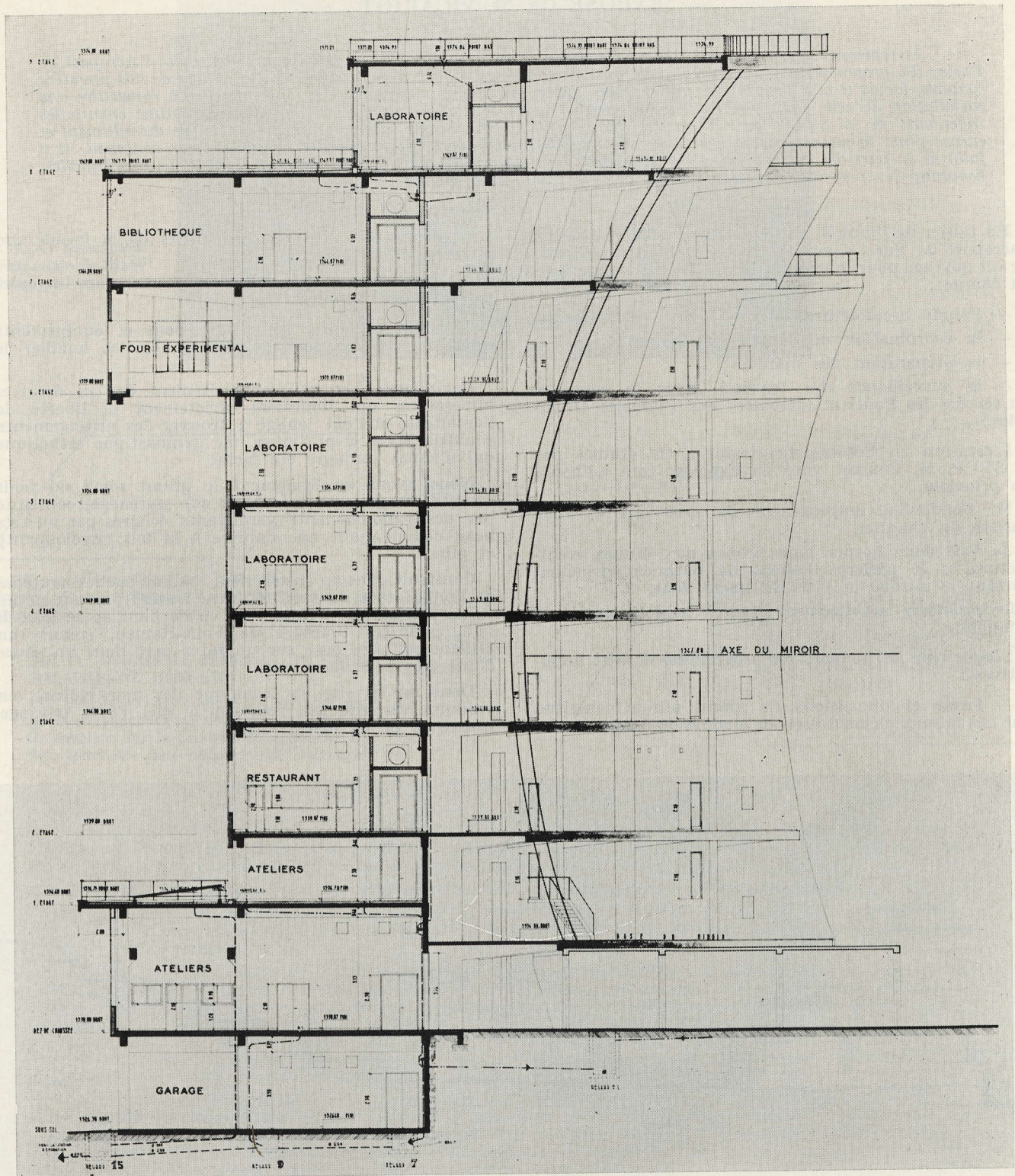


FIG. 2. — Coupe du bâtiment principal-miroir.



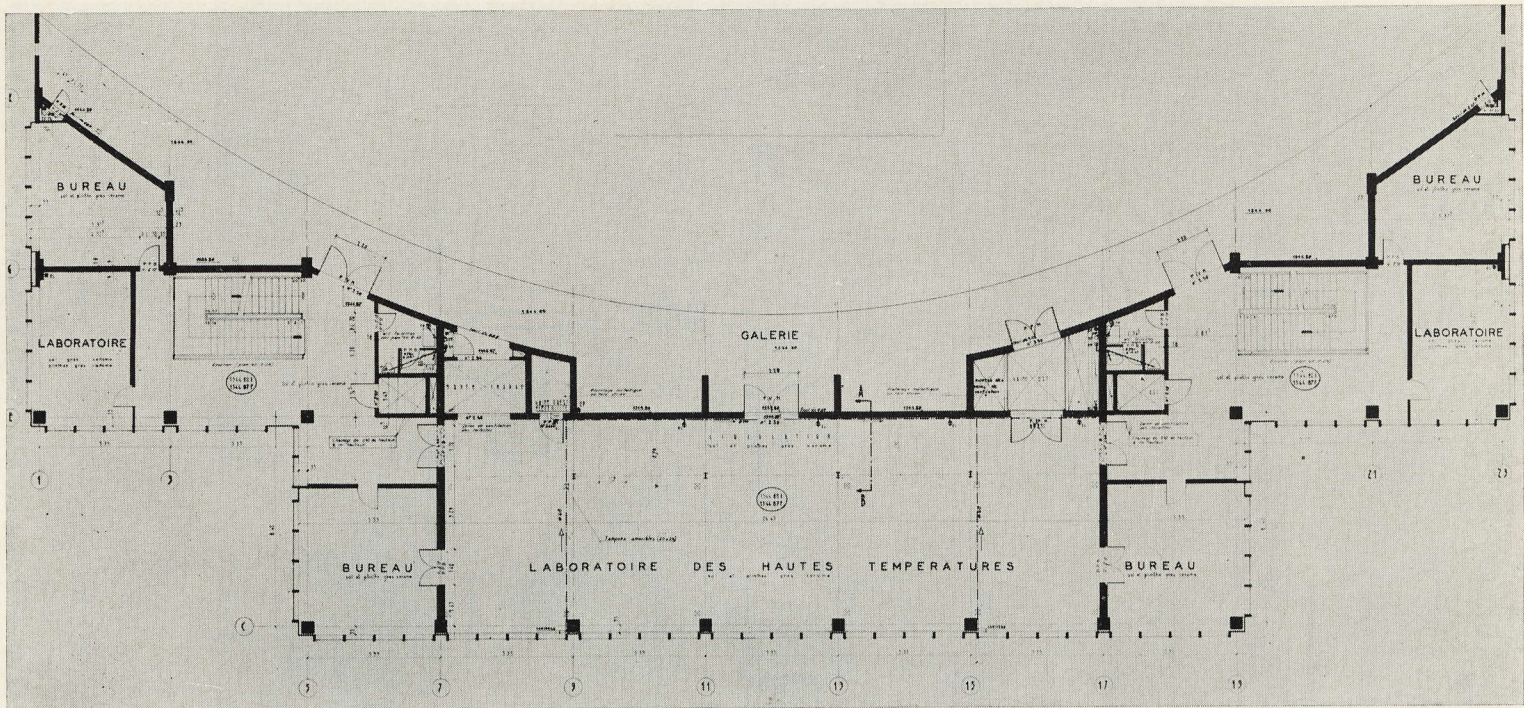


FIG. 3. — Bâtiment principal-miroir. Plan d'un étage courant.

### Consistance du bâtiment principal.

Le bâtiment principal, qui porte le miroir, s'inscrit en plan dans un rectangle de 60 m × 30 m. Il a 50 m de hauteur. La surface du miroir est de 2 500 m<sup>2</sup> environ (fig. 1, 2 et 3). Les plans et coupes présentés permettent de se rendre compte de la consistance et de l'allure générale du bâtiment.

### Particularités.

#### Mur-rideau chauffant.

La façade arrière a une particularité : c'est un mur rideau chauffant (fig. 4) dont le principe est le suivant : Les allèges sont des caissons constitués par un verre triple en façade, une feuille de métal peinte en noir à l'intérieur, et un panneau isolant en sobalite au fond. Le fonctionnement est celui-ci : c'est un chauffage par thermosiphon ; l'air s'échauffe au contact du corps noir et un tirage naturel s'établit qui aspire l'air du local, lequel suit le parcours indiqué sur la figure 4.

Ce principe de mur-rideau chauffant est évidemment la grande originalité du bâtiment ; mais, me direz-vous, lorsqu'il n'y a pas de soleil, que se passe-t-il ? Eh bien, il est évident qu'il a fallu prévoir un chauffage complémentaire, mais qu'il ne devait donner aucune fumée dans le ciel de Font-Romeu, de façon à ne pas ternir les miroirs.

Par conséquent, la solution imposée était un chauffage électrique à accumulation ; à chaque étage, à l'intérieur du bâtiment, au-dessus des circulations, sont prévus des réservoirs d'eau chauffés pendant les heures creuses.

### Fondations :

Comme autre particularité du bâtiment, je dirai un mot des fondations.

M. Courtot vous dira que la structure du bâtiment devait être particulièrement indéformable et qu'il convenait également d'asseoir le bâtiment sur des fondations particulièrement stables. Quand nous avons attaqué le chantier, nous nous sommes trouvés sur un granit assez fortement diaclasé et surtout présentant des parties en cours de décomposition qu'on appelle du « gore », et nous nous sommes demandés dans quelle mesure on pouvait utiliser ce gore pour fonder ce bâtiment.

En définitive, on a nettoyé ce granit trop décomposé et on a ancré le bâtiment dans le granit sain. Car ce miroir est une voile magnifique et nous avons dû prévoir huit ancrages de 80 t pour empêcher le vent de le renverser.

Le dernier danger est celui des eaux du sous-sol, qui sont des eaux chimiquement pures, donc agressives pour le béton. Nous avons entouré les fondations d'un drain, de façon que l'eau dans laquelle baignent les fondations soit une eau pratiquement stagnante. Nous avons laissé en attente un puisard au fond duquel ont été immergés des cubes que l'on retire d'année en



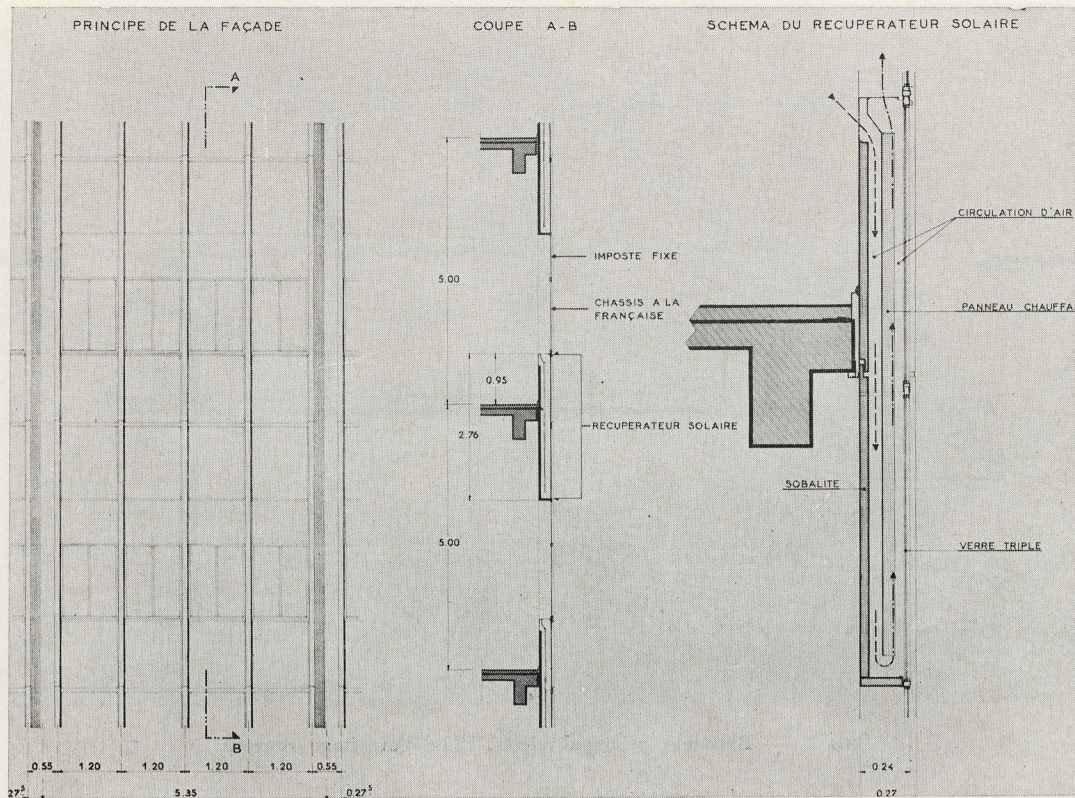
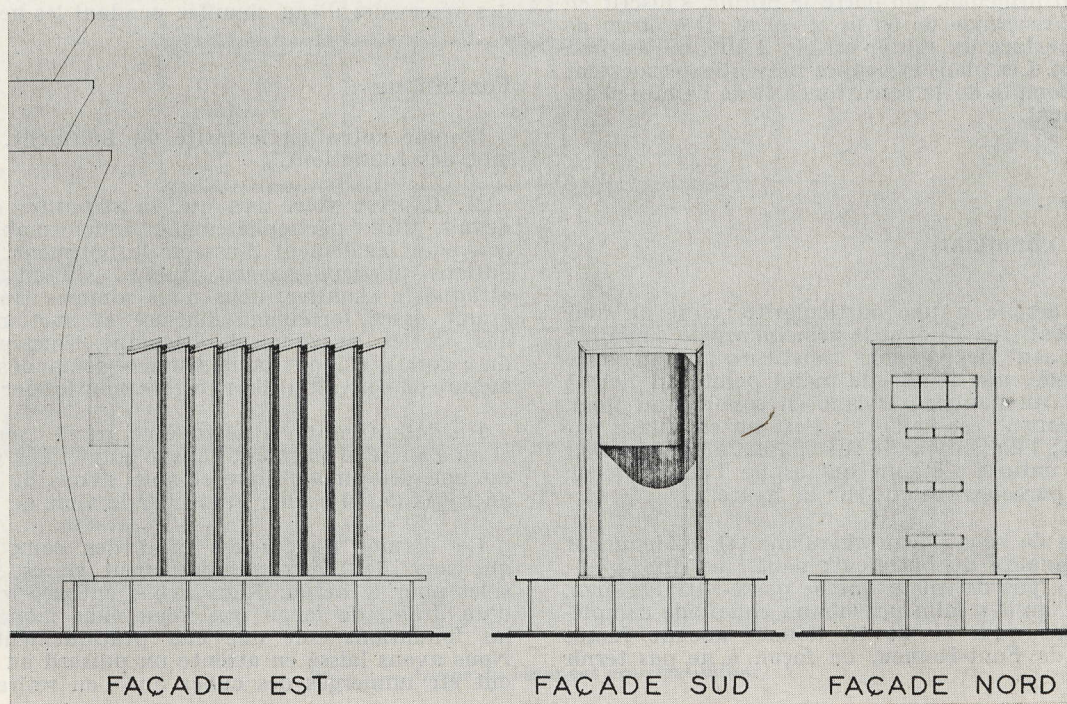


FIG. 4. — Détails du mur-rideau chauffant.

FIG. 5. — Bâtiment-four. Façades.





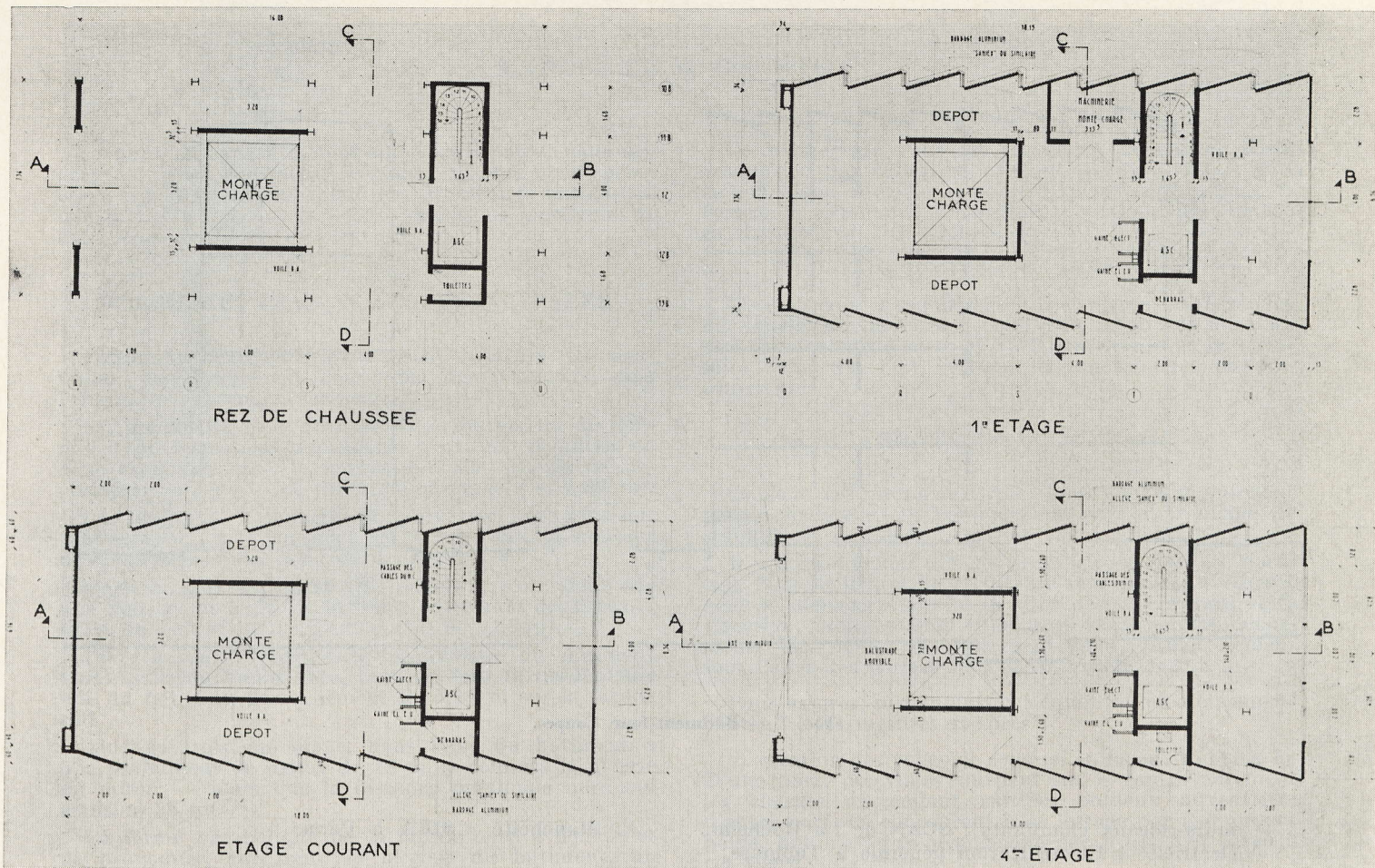


FIG. 6. — Bâtiment-four. Plans des divers niveaux.

année, nous les écrasons pour vérifier l'attaque du béton par ces eaux. Les premiers cubes ont été retirés après trois ans : leur résistance était tout à fait convenable et ils ne marquaient aucune attaque particulière.

### Le bâtiment four.

Je vais maintenant parler du bâtiment four; ce bâtiment, vous n'en verrez pas de photos autres que celles du projet car il n'est pas encore réalisé.

Situé à 18 m du miroir, le four est un bâtiment de 18 m  $\times$  9 m, haut de 20 m (fig. 5, 6 et 7).

C'est en somme une grande chaudière, étroite dans le sens des rayons lumineux, pour que son ombre sur le miroir soit aussi réduite que possible.

Il comporte un rez-de-chaussée et quatre étages, la gueule du four ouvrant au quatrième étage au foyer du miroir. La gueule est fermée par une porte coulissante de haut en bas, en forme de demi-cylindre, pour éloigner au maximum le bardage du foyer et augmenter la surface métallique incidemment soumise à l'intense rayonnement du miroir.

Un monte-charge de 10 t est prévu pour monter les creusets au niveau du quatrième étage. A l'arrière, en façade nord, un local vitré permet la surveillance des orienteurs.

Le bâtiment pourra être soumis à des variations thermiques élevées, notamment en cas de dérèglement des orienteurs, d'où peuvent résulter des chocs thermiques locaux difficiles à évaluer.

D'où les conséquences suivantes :

1. ossature métallique dilatable;
2. bardage en aluminium oxydé doublé de panneaux de plâtre;
3. forme du bâtiment, constitué par des clins, les ouvertures étant toutes défilées au rayonnement du miroir.

Le four sera relié au bâtiment principal par une galerie entièrement close. La zone comprise entre les deux bâtiments sera dangereuse et interdite à la circulation, tout au moins des piétons. Quant aux oiseaux, attirés par cet immense miroir à facettes, il est possible qu'ils tombent tout rôtis dans la bouche des visiteurs curieux de cette exceptionnelle réalisation.

Voici la liste des entreprises qui ont pris part à l'exécution des travaux :

— gros œuvre, maçonnerie et revêtements de sols : EITP à Paris, FONDEVILLE à Perpignan;



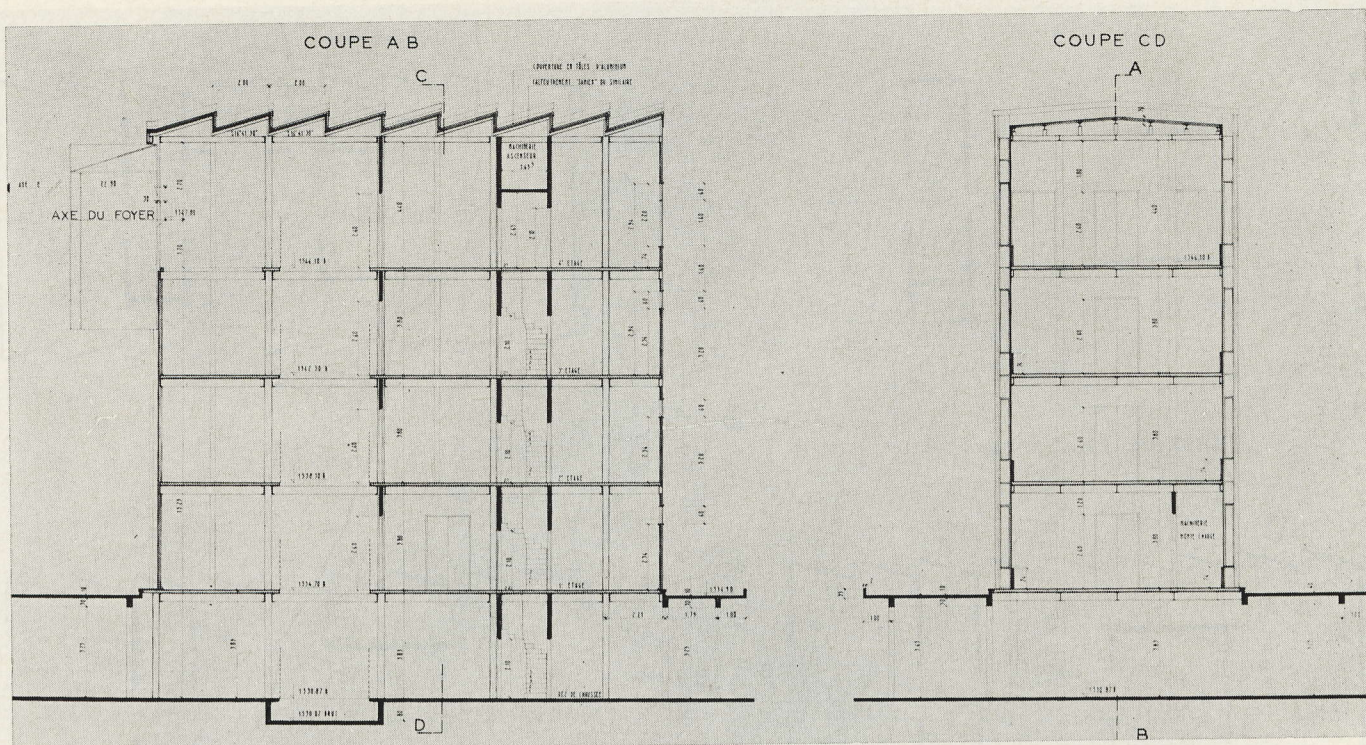


FIG. 7. — Bâtiment-four. Coupes.

— murs-rideaux chauffants : **SCAN** de La Rochelle;  
 — électricité : Electrification générale à Toulouse;  
 — ascenseurs, monte-charge : **OTIS** à Paris;  
 — balustrades extérieures : **FAU** à Prades;  
 — serrurerie et rampes intérieures : **QUINTA** à Perpignan;

— étanchéité : **SIKA** à Paris.

La surveillance des travaux est assurée par le service des Ponts et Chaussées des Pyrénées Orientales à Perpignan, dont l'ingénieur sur place est M. SARDA, chef de la subdivision de Font-Romeu.

*M. le Président. — Je remercie M. Vicariot de son exposé qui vous montre l'ampleur de la réalisation effectuée et en même temps l'ampleur des difficultés qu'il a fallu vaincre pour arriver où nous en sommes.*

*Maintenant il reste encore certains bâtiments à terminer, mais le plus difficile, le grand bâtiment qui supportera le grand miroir, est fait, solide, bien planté dans le paysage et il va être à la fois miroir et laboratoire d'expériences au point de vue chauffage par le soleil. Je suis persuadé que c'est là une œuvre des Ponts et Chaussées et de l'Aéroport de Paris qui restera parmi les réalisations audacieuses de notre période moderne.*

*J'ai l'impression que ce paraboloïde construit dans la nature restera inscrit dans les classiques de la production en béton précontraint.*

*Si vous voulez bien, nous donnons la parole à M. Courtot, Ingénieur-Conseil de la STUP, qui va vous exposer quelques-unes des difficultés rencontrées dans la réalisation du bâtiment d'Odeillo.*



## EXPOSÉ DE M. COURTOT

Le présent exposé a pour objet de décrire, dans ses grandes lignes, l'ossature portante du bâtiment principal, en mettant en relief les problèmes spécifiques qui ont été rencontrés et les solutions particulières auxquelles on a eu recours.

### FORMES ET DIMENSIONS PRINCIPALES

Faisons connaissance avec cette ossature en examinant successivement l'ensemble des planchers, puis l'ensemble des voiles verticaux.

En prenant la base du miroir comme niveau de référence, on rencontre une trame verticale régulière de 5 m, exception faite du sous-sol (— 8,50 m), du rez-de-chaussée (— 4 m), et du premier étage (+ 1,80 m).

Le bâtiment comporte dix niveaux sur sous-sol; celui-ci étant de plain-pied en façade sud, la hauteur de cette façade est donc de 48,50 m.

Dans le sens est-ouest les planchers s'étendent sur une distance de 59,25 m, la trame entre axes des poteaux étant de 5,35 m (sauf un entre axes de 5,55 m).

Dans le sens nord-sud la profondeur du bâtiment varie de façon importante, tant du fait du paraboloïde que du fait d'un décrochement de 5,35 m sur la façade sud.

Ainsi le troisième étage, dans l'axe du bâtiment a une profondeur de moins de 13 m, y compris la galerie du miroir — alors que la distance maximale nord-sud avoisine 35 mètres.

La forme parabolique de la façade nord a pour effet de provoquer, sur toute la largeur du bâtiment, un surplomb de tous les étages supérieurs par rapport au quatrième. Le surplomb maximal est celui du neuvième étage, et mesure 12,90 m par rapport à la descente de charges.

Tous ces planchers sont constitués par des hourdis de béton coulé sur place, encastrés respectivement dans des poutres croisées ou dans des voiles verticaux, suivant la trame déjà indiquée.

Terminons la description d'ensemble des planchers en insistant sur le caractère monolithique qu'ils présentent sur toute leur étendue, ce sur quoi nous reviendrons tout à l'heure, et examinons à présent les voiles verticaux.

Dans le sens est-ouest se trouve le voile le plus vaste, avec une longueur de 37,45 m; toutefois ce voile s'échancre progressivement jusqu'à disparaître dans les parties hautes.

Ce voile est doublé par deux voiles qui se développent chacun sur environ 11 m le long des galeries nord.

Dans le sens nord-sud s'étendent deux voiles parallèles de part et d'autre de l'axe du bâtiment; ces voiles ont un développement d'environ 13 m.

Grâce à la présence des voiles situés au nord, les voiles nord-sud présentent dans le plan horizontal une véritable section en T; au surplus, on trouve dans la partie sud des sous-sols deux voiles est-ouest d'un développement de 11 m également. De sorte que le contreventement nord-sud présente au niveau du sous-sol la forme de deux H orientés est-ouest.

De même que pour les planchers, concluons de la description des voiles en insistant sur le caractère très monolithique de cet ensemble de plans horizontaux et verticaux s'étendant dans trois directions de l'espace en circonscrivant un volume de :

$$13,00 \times 37,50 \times 48,50 \text{ m}^3.$$

C'est grâce à la rigidité et à la capacité de résistance du squelette ainsi décrit, que l'on a pu résoudre les problèmes particuliers à ce bâtiment, non sans le nécessaire concours d'un système tridimensionnel de précontrainte.

### STABILITÉ DE L'OUVRAGE

Ce sont ces problèmes que nous allons maintenant passer en revue, en commençant par le problème de stabilité de l'édifice.

Il y a en effet un difficile problème de stabilité nord-sud. Non seulement la résultante des charges verticales peut se déplacer au total de plus de 9,80 m dans cette direction, mais, surtout, elle peut se situer en dehors même des voiles de contreventement, principalement sous l'effet des porte-à-faux de la façade nord.

Pour assurer, néanmoins, cet équilibre, on a été amené à prendre les mesures ci-après :

a) création des voiles de sous-sol en façade sud (fig. 1). D'une part, ces voiles amènent sur le contreventement les charges descendant sur les poteaux adventices; d'autre part, ils concourent à ce lestage par leur propre poids, qui n'est pas négligeable car il est bien situé à cet égard.

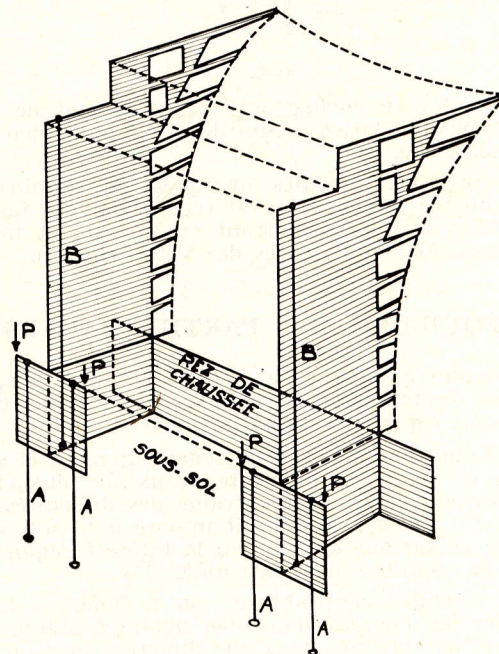
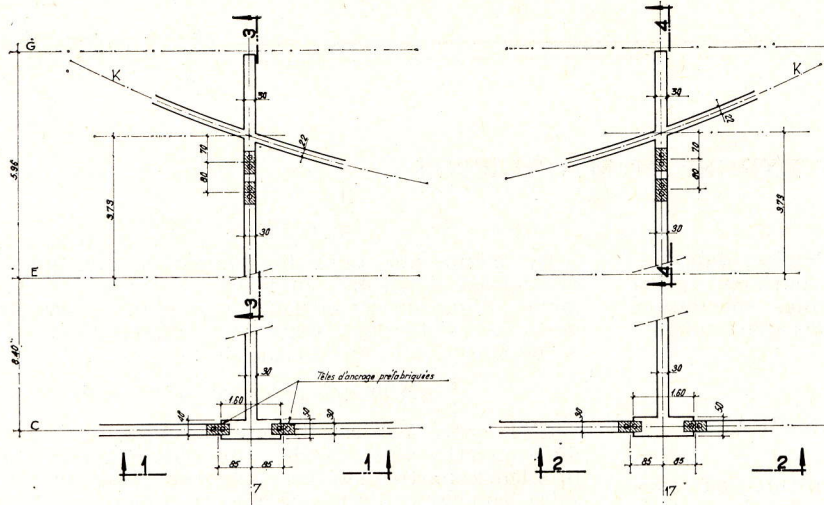


FIG. 1.





VUE 11.

VUE 22.

VUE 4.4.

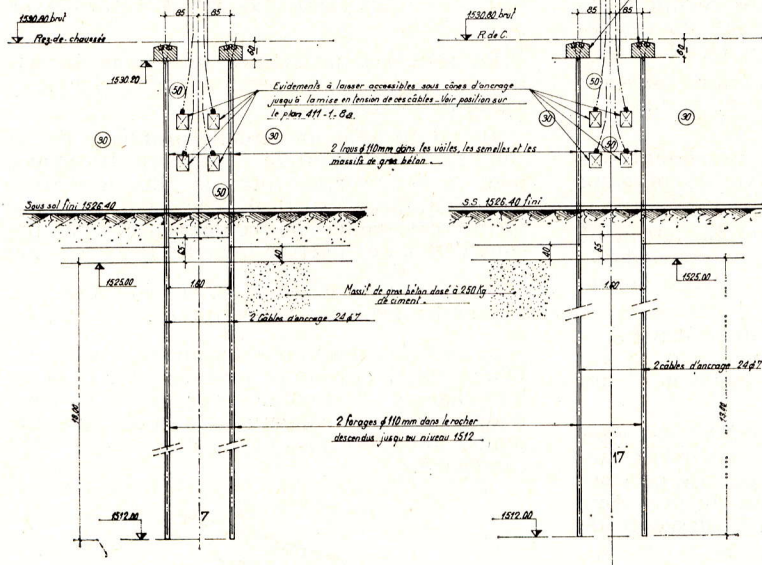


FIG. 2.

b) ancrages en rocher, à l'extrémité sud des voiles de contreventement, à raison de 160 t pour chacun des deux voiles (fig. 2).

c) la précontrainte des ancrages, se terminant au niveau du rez-de-chaussée, est reprise par des faisceaux de câbles verticaux démarrant en sous-sol et montant dans les régions supérieures des voiles (fig. 3).

parallèle à l'enveloppe de la façade nord, les porte-à-faux se voient réduits à des dimensions plus acceptables (fig. 4).

La composante verticale de cette force oblique est, évidemment, la charge sur le poteau, et la composante horizontale provient de la butée des poteaux obliques sur les planchers, comme le montre la figure schématique ci-dessous.

## ÉQUILIBRE DES PARTIES HAUTES

Le second problème, en ordre d'importance, était la reprise des moments dus à l'excentrement des charges de la partie supérieure du bâtiment vers le nord.

Il ne fallait pas songer à procéder purement et simplement à un empilage de porte-à-faux de plus en plus excentrés, car cela aurait entraîné des difficultés insurmontables, eu égard au gabarit imposé pour les poutres- consoles, et surtout eu égard à la légèreté requise pour assurer la stabilité de l'ensemble.

Pour résoudre ce problème, on a imaginé de faire descendre les charges dans des poteaux obliques; ces poteaux étant inclinés dans une direction plus ou moins

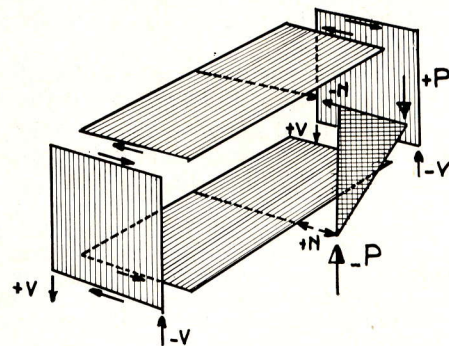


FIG. 4.



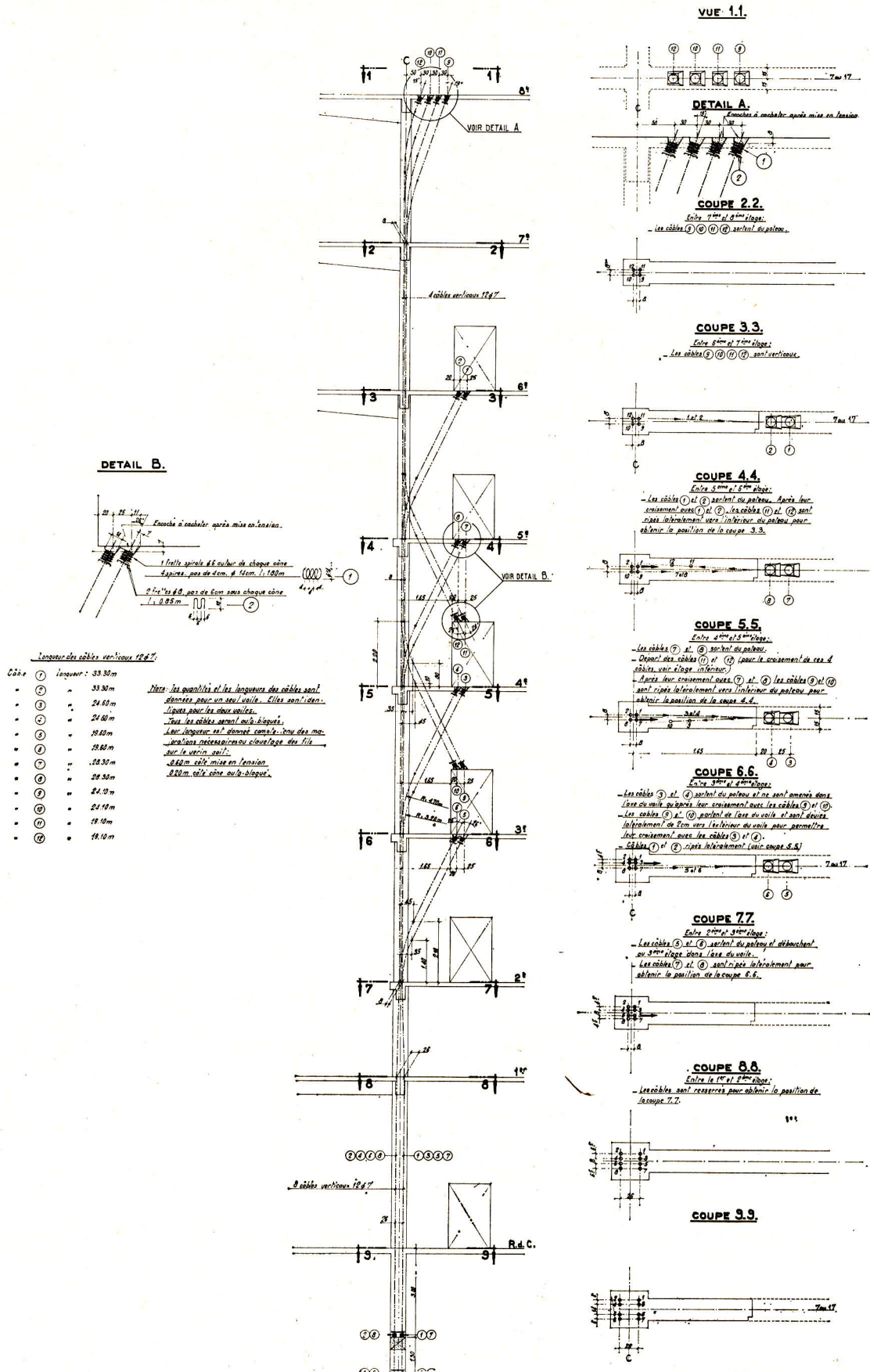


FIG. 3.







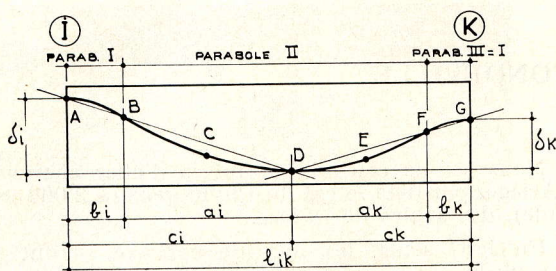


FIG. 7.

Le calcul des hyperstatiques est particulièrement aisé lorsqu'on choisit un petit nombre de paramètres de base, qui sont ceux indiqués sur la figure 7 à savoir : les dénivellations globales  $\delta_i$  et  $\delta_k$ , et la longueur relative des zones à courbure vers le bas

$$R_{ik} = \frac{b_i + b_k}{l_{ik}}.$$

Par exemple, le moment bloqué de type Cross, pour un câblage symétrique et une inertie constante, vaut simplement :

$$M = H \times \delta \times \frac{2 - R}{3},$$

(cette formule étant approchée à moins de 1 % d'écart).

Après les poutres et consoles, jetons un coup d'œil sur les hourdis.

Ceux-ci sont constitués par des plaques de béton encastrées sur leur pourtour et soumises à une précontrainte partielle.

Pour des champs rectangulaires de 5,35 sur 7,50 m, on arrive à des épaisseurs assez réduites, qui sont de 14 cm pour une surcharge de 500 kg/m<sup>2</sup> et, respectivement de 20 cm pour une surcharge de 1 500 kg/m<sup>2</sup>.

Tous les câbles de hourdis sont rectilignes (autant que faire se peut!) ; dans le sens de la petite portée, l'effet de la précontrainte a été valorisé au moyen de petits goussets d'appui qui font 4 cm d'épaisseur sur 50 cm de largeur. Cette faible surépaisseur produit une courbure de la ligne moyenne et entraîne un effet d'arc qui est très bénéfique en rapport avec la précontrainte.

## PRÉCONTRAINTÉ

Comme on l'a signalé au début de cet exposé, les problèmes rencontrés ont conduit à exercer des forces de précontrainte dans les trois directions de l'espace, à savoir de haut en bas sur les voiles, du nord au sud sur les poutres et d'est à l'ouest sur les hourdis. Ce bâtiment constitue donc un intéressant exemple à cet égard.

Toutes ces forces de précontraintes sont exercées au moyen de câbles S.T.U.P. de 40 t ; d'une façon générale, toutes les sections travaillent en précontrainte partielle, avec acceptation d'une zone fissurée ; cette conception, si elle ne supprime pas tout fonctionnement du type béton armé, est, néanmoins, intéressante et économique, et il ne faut pas sous-estimer le rôle que peut jouer la technique de la précontrainte en tant qu'auxiliaire du béton armé.

## CONCLUSION

Au moment de conclure, il convient d'insister sur un des traits essentiels de ce bâtiment, en rapport avec son caractère d'instrument scientifique : à savoir, sa grande rigidité à laquelle concourent toutes les dispositions constructives adoptées — le choix de la forme où dominent les larges parois de contreventement, et le choix du matériau, plus efficace qu'une structure métallique vis-à-vis des rafales et des chocs thermiques, plus homogène, plus constant et plus stable que le béton armé.

*M. le Président. — Je remercie vivement M. Courtot. Son exposé nous montre la complexité de la réalisation et le fini de la conception en fonction justement de la demande de scientifiques qui ont besoin d'éléments stables et on n'a rien négligé pour cela. Vous voyez que la question a été regardée de très près. Je donne la parole à M. Fondeville qui est le Directeur de l'entreprise qui a réalisé le grand bâtiment et qui va vous en montrer l'histoire depuis les fondations jusqu'à l'état actuel.*



## EXPOSÉ DE M. FONDEVILLE

C'est le 23 octobre 1961, que nous avons reçu l'ordre d'entreprendre les travaux dont nous étions chargés, c'est-à-dire : les travaux de terrassements, fondations, ancrages, ossature portante en béton armé et béton précontraint du bâtiment principal.

Nous nous mettons à l'œuvre et, avec les travaux, comme dans tous les chantiers, les difficultés commencent.

Celles-ci sont de deux ordres :

— les unes, purement techniques, se présenteront au fur et à mesure de l'avancement des travaux, je vous en parlerai tout à l'heure;

— d'autres, d'ordre plus général, se poseront sans arrêt tout au long du chantier. Elles sont dues essentiellement :

- à l'importance relative du chantier;
- à sa situation géographique.

L'importance du chantier quelle est-elle?

Nous avons à exécuter un bâtiment de 70 m de long, 30 m de large, 50 m de haut, soit :

8 500 m<sup>3</sup> de terrassements;

4 000 m<sup>3</sup> de béton armé et précontraint;

25 000 m<sup>2</sup> de coffrages bois revêtu de contre plaqué.

A mettre en place :

400 t d'acier pour béton armé;

30 t d'acier dur pour précontrainte formant 460 câbles.

Ces quantités sont celles d'un bâtiment relativement important, mais surtout très spécial, elles ne sont pas cependant suffisantes pour justifier des installations trop coûteuses.

Or, ce chantier se situe à 1 600 m d'altitude, dans un pays d'accès très facile pour le tourisme, mais beaucoup moins pour les poids lourds.

Pour l'atteindre, des routes de montagne sinueuses, étroites, franchissant des cols élevés. Le chemin de fer, par suite de sa voie métrique impose de part et d'autre des transbordements coûteux.

Ce chantier se situe, d'autre part, dans une région où depuis la fin des travaux d'aménagements hydro-électriques, les activités du bâtiment se limitent généralement aux chalets de montagne.

Tout (fabrication d'agréats, fournitures, main d'œuvre) y est à l'échelon artisanal. Chacun de nos besoins posera un problème.

Pour le ciment, seuls, les chaux et ciments du Langudoc à Albi, acceptent de nous assurer et effectivement nous assurent par tous les temps, sans défaillance, un apport régulier.

Pour les agréats, aucune exploitation privée n'est capable de nous les fournir, ni en qualité, ni en quantité suffisante.

Les Ponts et Chaussées mettent à notre disposition une carrière qu'il sera nécessaire d'améliorer par l'installation d'un concasseur giratoire et de tamis vibrants.

Nous serons cependant obligés d'aller chercher dans l'Ariège, par delà le col du Puymorens (à 2 000 m d'altitude), des sables de rivière.

En fait, seuls, les bois de coffrage, seront trouvés sur place.

Pour la main-d'œuvre : difficultés du même ordre.

La main-d'œuvre locale est purement artisanale et d'ailleurs occupée.

Nous sommes donc obligés de déplacer du personnel spécialisé et d'établir pour lui un cantonnement de trente lits environ.

Pour le reste, un autobus ira tous les jours jusqu'à la frontière espagnole chercher et ramener un nombre variable d'ouvriers.

Également dû à la situation géographique du chantier, un autre facteur important de difficultés entre en ligne de compte : **LE CLIMAT.**

Certes, nous sommes en pays méditerranéen, et le soleil ne nous fera pas défaut. Mais, nous sommes en altitude. Aux heures chaudes et ensoleillées, succèdent presque sans transition, des heures froides; des écarts de température de l'ordre de 40° C sont courants en 24 heures.

Jusqu'au 1<sup>er</sup> mai, le travail est incertain, interrompu par des bourrasques de neige et de vent.

En août, de brusques orages arrêtent la journée.

L'automne est meilleur, mais les journées alors trop courtes. *Il gèle matin et soir.*

Dès novembre, les travaux s'arrêtent et il faudra replacer dans les chantiers de plaine, une main-d'œuvre formée au mode de travail du chantier.

Il s'agit d'un effectif de cinquante à soixante hommes groupés par équipes de six à huit, chacune très spécialisée.

De même, le matériel affecté au chantier restera immobilisé plus de cinq mois sur douze.

Il comprend pour l'essentiel :

- un atelier de précontrainte;
- un atelier de charpente et coffrages;
- une centrale à béton type Pellauto;
- deux grues à tour : au nord Weitz 1 500 kg à 25 m; au Sud Pingon p. 20;
- un compresseur de 35 ch;
- un atelier mécanique de dépannage.

L'ordre de service, reçu fin octobre, ne nous permet d'exécuter pour la campagne 1961 qu'une petite partie des terrassements de masse.

De fait, le départ réel du chantier est donné début Avril 1962 et c'est du sol, qu'aussitôt surgit une importante déconvenue.

En effet, les sondages permettaient de penser que le bâtiment serait assis sur le granit compact en place et il avait été admis un taux de travail de 20 kg/cm<sup>2</sup>.





FIG. 1. — Remarquer devant le godet du tracteur la masse et la forme arrondie des blocs de granit (1 m<sup>3</sup> environ).

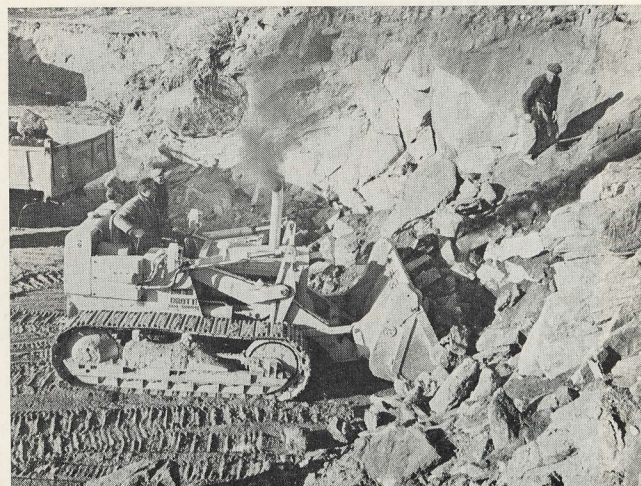


FIG. 2. — Terrassement général. On distingue déjà les états différents du terrain. On aperçoit au fond une altération du granit en boule.

En réalité, les terrassements découvrent :

— A l'Est un massif très chaotique, fortement diaclasé et altéré dans lequel pour asseoir nos fondations, il sera nécessaire d'ouvrir à la mine des puits de 5 à 8 m de profondeur, tout en évitant la désorganisation des parois.

— A l'Ouest, nous avons une zone totalement altérée où apparaît seul, un matériau appelé « Gore » (mélange de granit fortement altéré et d'argile en décomposition); il est très dur à travailler, mais se désagrège peu à peu au contact de l'air.

De plus, le massif est soumis à une circulation d'eau cheminant dans le réseau des diaclases et imprégnant le gore.

Les figures 1 à 6 montrent les travaux de terrassement :

Donc toutes les fondations sont revues en fonction de ces données et considérablement renforcées pour ramener de 20 à 8 kg/cm<sup>2</sup> le taux de travail au sol.

Voilà qui va totalement bouleverser nos prévisions d'exécution.

Le volume des terrassements a considérablement augmenté entraînant la mise en œuvre de quantités importantes de béton.

En outre, pour plus de sûreté, nous procédons à un essai d'ancrage.

Nous le réalisons dans un gore devenu très friable ainsi qu'en témoignent la nature des matériaux rejetés et le volume du béton nécessaire à la réalisation du scellement (trois fois le volume théorique).

Chaque ancrage comporte un double câble de 12 fils de 7 mm, scellés au fond d'un forage à 15 m sous le niveau des fondations.



FIG. 3. — Terrassement en fouille. Au premier plan tranchée creusée dans le gore. Au deuxième plan, partie Est très chaotique.

La tête d'ancrage est constituée par un bloc préfabriqué comportant deux ancrages STUP 12 Ø 7. Les deux câbles sont mis en tension simultanément.



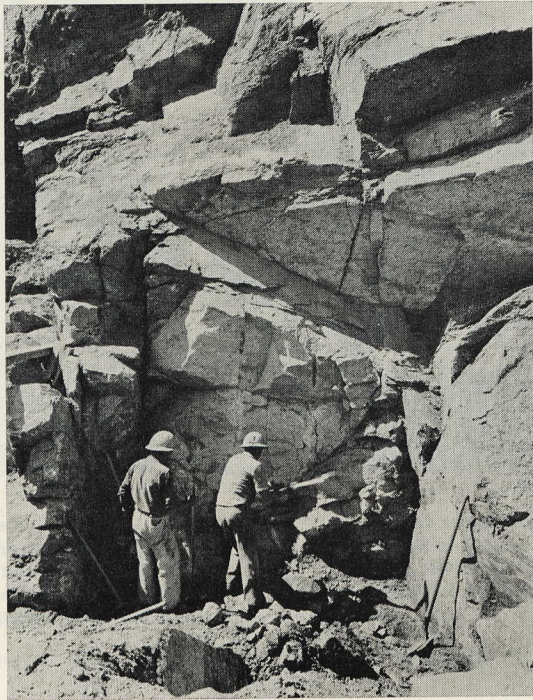


FIG. 4. — On distingue très nettement les failles du granit.



FIG. 5. — Fouilles en puits très proches les uns des autres. Dans un granit déjà altéré, il a fallu miner avec beaucoup de soin pour éviter l'ébranlement des parois.

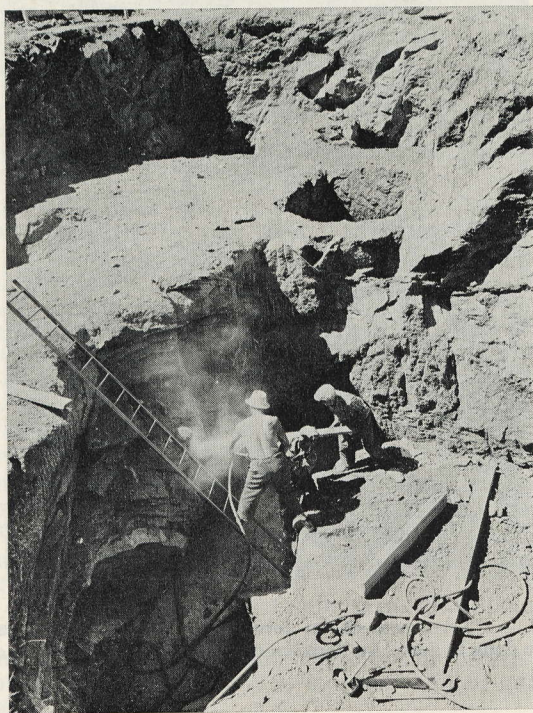


FIG. 6. — Fouilles dans le gore — il est dur : il faut l'attaquer à la mine.



FIG. 7. — Coffrage et ferrailage d'un voile porteur au sous-sol. A remarquer les gaines qui recevront les câbles d'ancrage. Ici, les boîtes marquent le départ des câbles verticaux qui, par relais successifs, monteront jusqu'au neuvième étage.

Le résultat des essais est satisfaisant :

L'ancrage a tenu jusqu'à la rupture des premiers câbles, rupture obtenue pour une charge de 140 t, alors que les ancrages sont prévus pour 80 t.



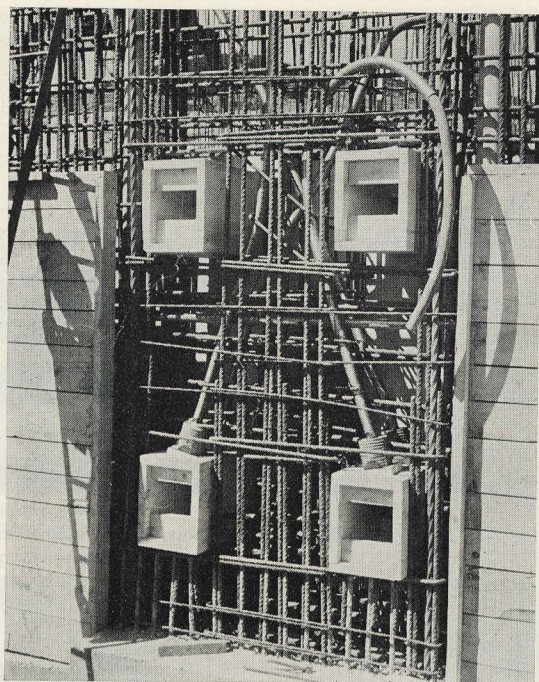


FIG. 8. — Détail du départ des câbles verticaux: on voit plus nettement les gaines et cônes d'ancrage.



FIG. 9. — La densité des ferrailages de ces voiles minces a posé tout au long du chantier le problème de mise en place des bétons.

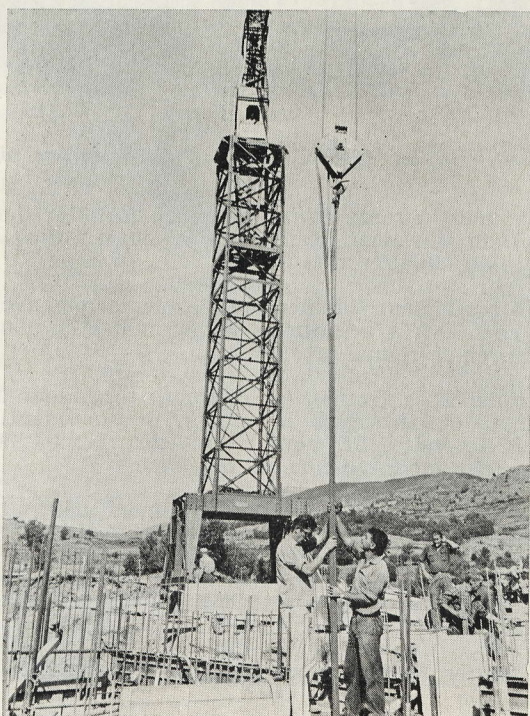


FIG. 10. — Mise en place d'un câble d'ancrage — mur porteur Est.

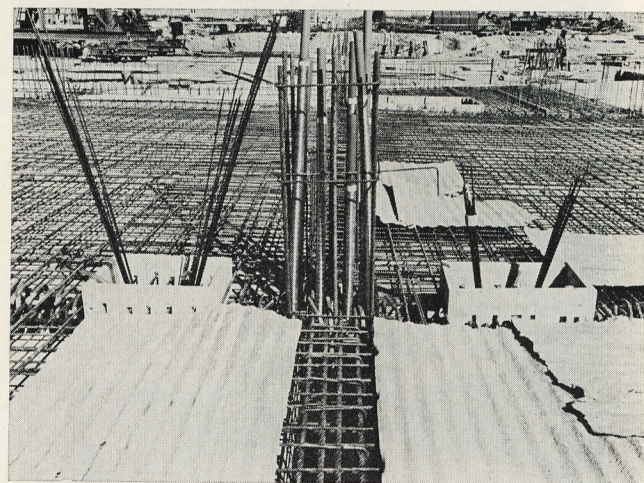


FIG. 11. — Ferrailage du plancher haut du rez-de-chaussée. Au premier plan l'arrivée des deux doubles câbles d'ancrage Est. Les boîtes réservent l'emplacement du bloc préfabriqué dans lequel seront coulés les cônes d'ancrage. Dans le poteau central : faisceau des câbles verticaux dont nous avons vu le départ au sous-sol (fig. 8). On aperçoit également dans le ferrailage du plancher les câbles horizontaux de précontrainte.

Mais tous ces imprévus ont considérablement retardé la marche de notre chantier et c'est seulement au début d'août que nous commençons nos bétons armés.

Les travaux de la première campagne sont représentés sur les figures 7 à 12.



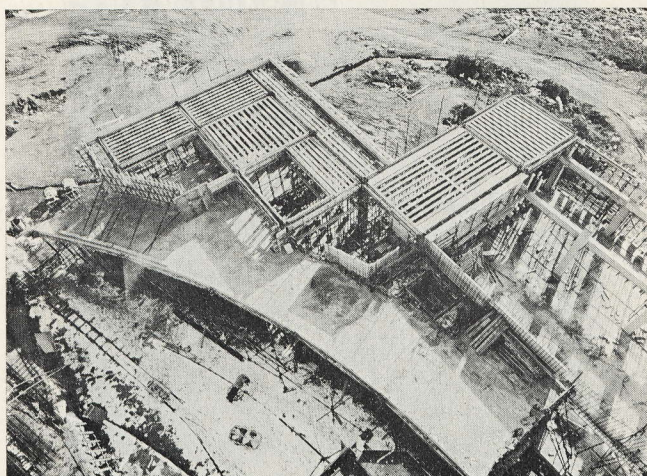


FIG. 12. — État du chantier fin campagne 1962 : le bétonnage du plancher haut du rez-de-chaussée n'est pas commencé — Seule la première galerie Nord est partiellement réalisée sur le quart de sa longueur.

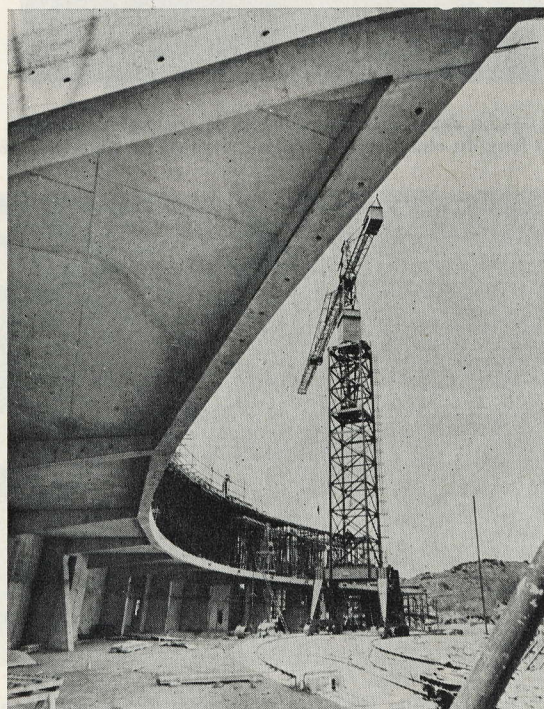


FIG. 13. — *Fin Mai 1963.* — Coffrage du deuxième niveau — Vue de la première galerie Nord décoffrée (base du miroir).

L'hiver précoce cette année nous trouve au départ du travail en élévation au niveau du rez-de-chaussée. C'est maintenant une gageure d'espérer réaliser les neuf étages, soit une hauteur de 45 m, au cours d'une seule campagne d'été.

Nous établissons cependant notre planning avec cet impératif et mettons l'hiver à profit pour nous préparer à relever ce qui semble un défi.

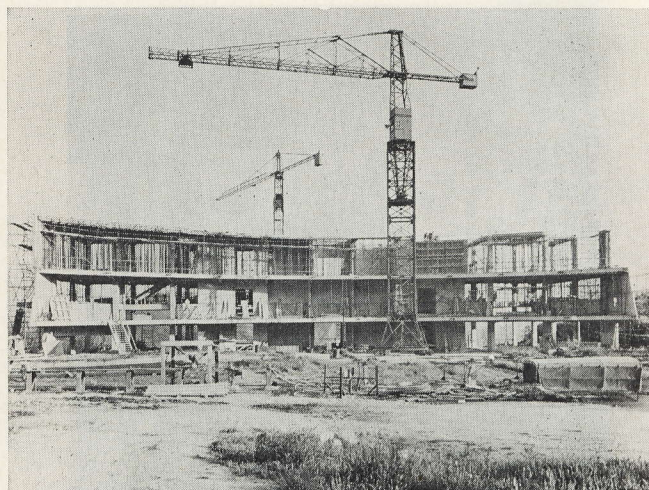


FIG. 14. — *20 Juin 1963* : réalisation du troisième niveau.

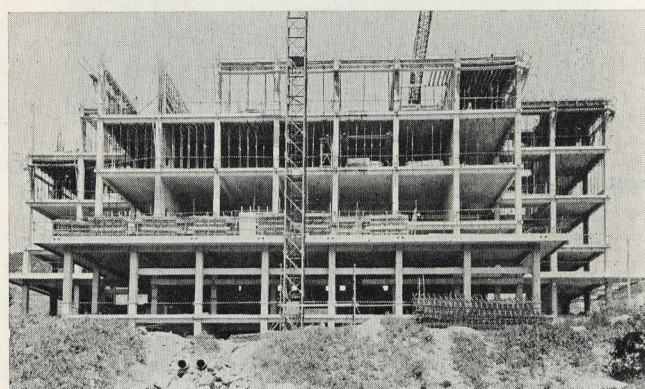


FIG. 15. — *Juillet 1963* : réalisation du cinquième niveau.

Trois mois durant, douze hommes, installés dans le sous-sol du bâtiment réaliseront la quasi totalité des coffrages du chantier.

Le 15 avril, nous sommes prêts et démarrons avec des gelées encore très accentuées le bétonnage du plancher haut du rez-de-chaussée.

La cadence se trouve, les coffrages répondent à nos espérances et désormais les étages se succèdent, UN tous les dix-huit jours pour les niveaux 1-2-3-4 et UN tous les mois du cinquième au neuvième.

Le 20 novembre aidés, fort heureusement, par un temps très clément, la terrasse-toiture du neuvième étage est terminée — 24 heures plus tard, alors que nous fêtons comme il convient cet événement, une tempête y dépose 80 cm de neige qui la protégeront efficacement contre les gelées.

Les figures 13 à 21 montrent la campagne 1963 avec

**ÉLÉVATION DE L'OSSATURE DU 15 AVRIL AU 20 NOVEMBRE 1963 SOIT SEPT MOIS ET DEMI.**



FIG. 16. — *Août 1963* : élévation du sixième niveau — cette photo montre le système de coffrage des voiles.

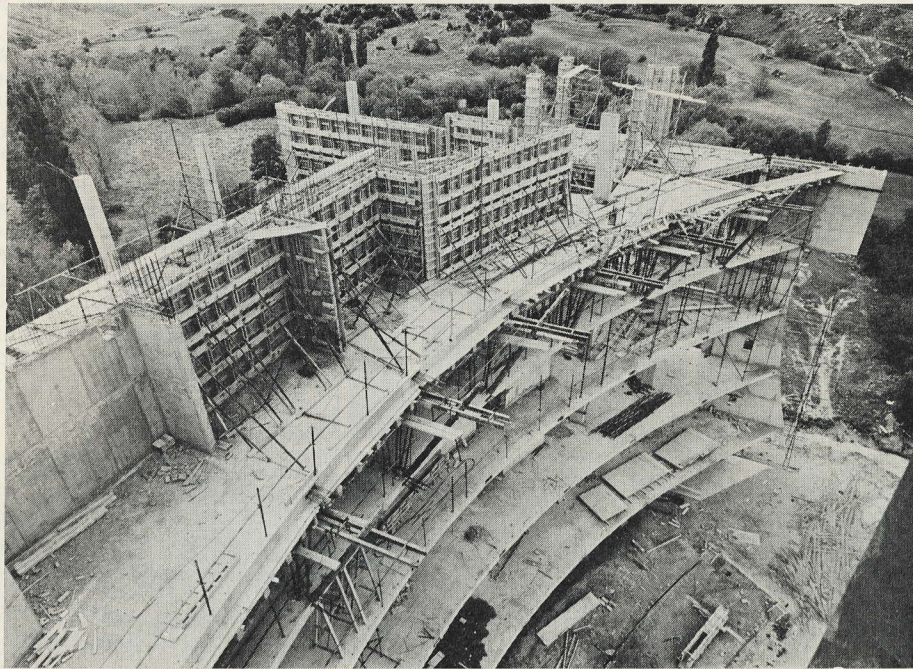


FIG. 17. — *Septembre 1963* : septième niveau — à remarquer le coffrage de 25 m<sup>2</sup> du voile parabolique. Au Sud les consoles du deuxième niveau du porte-à-faux sont en cours de finition. Au Nord une console de soutènement mise en position.

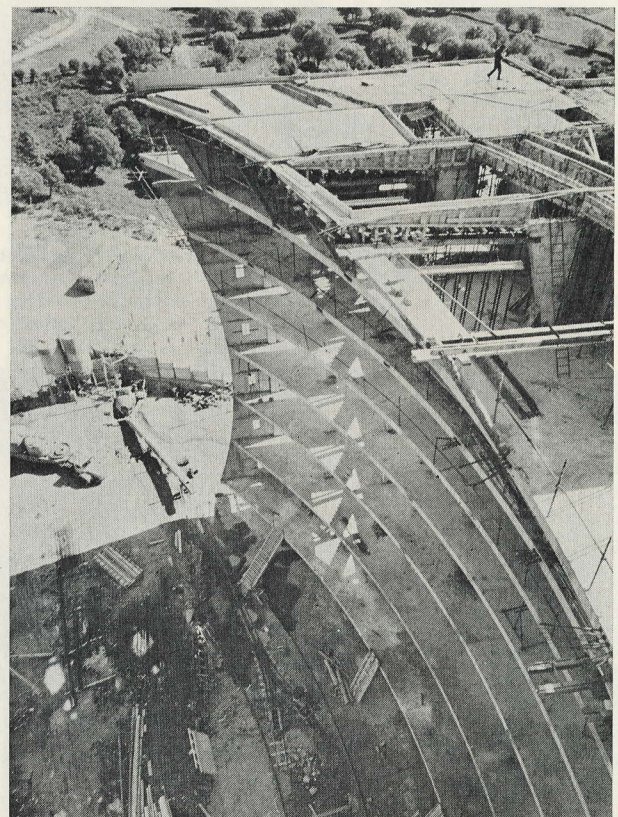
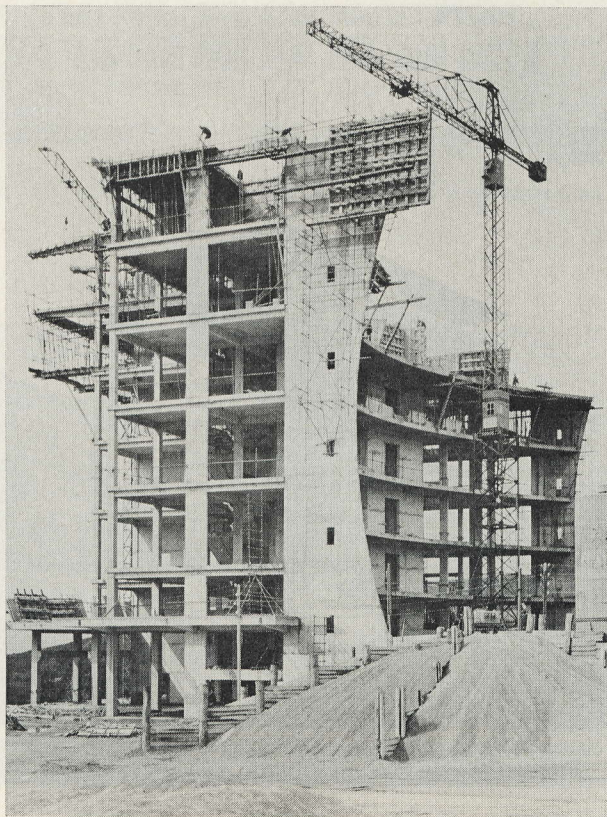


FIG. 18. — *Octobre 1963* : huitième niveau — plancher et galerie Nord en cours de coffrage.



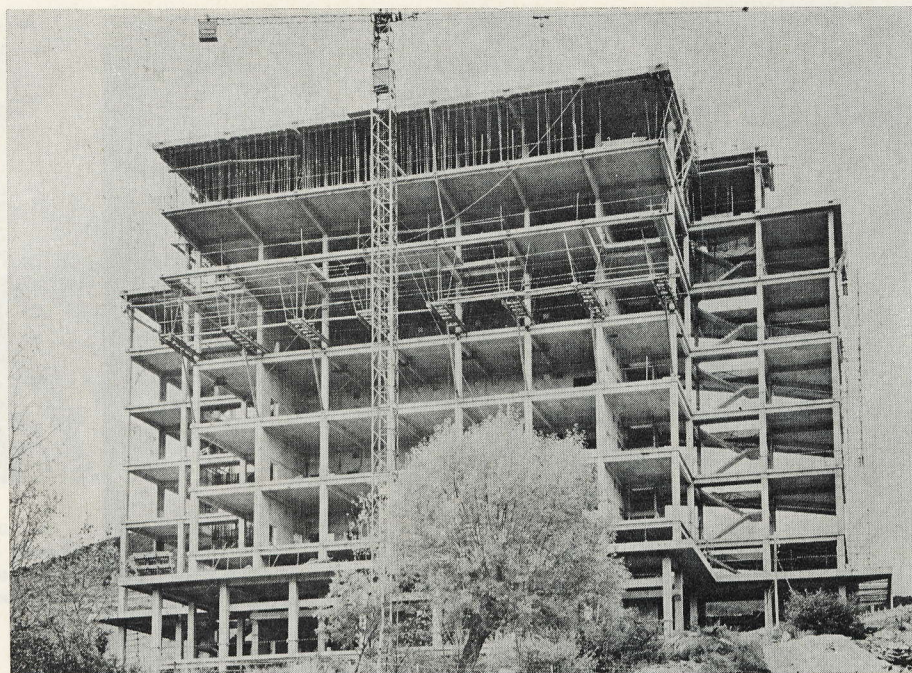


FIG. 19. — Huitième niveau terminé — Vue du Sud.

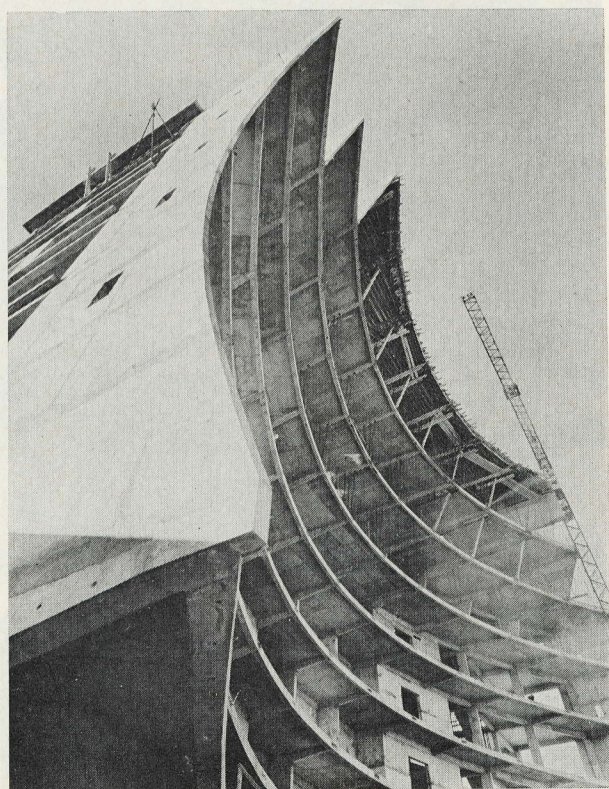


FIG. 20. — Vue des galeries Nord. Prise le 20 novembre la toiture terrasse est terminée. Des paillasons protègent les bétons de la gelée.

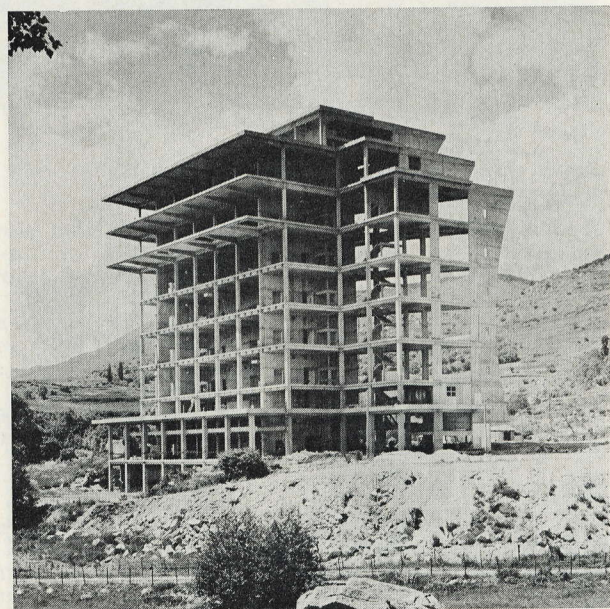


FIG. 21. — Vue Sud du bâtiment terminé.



Voici donc une fois de plus notre chantier arrêté par l'hiver.

Nous le réouvrons au 15 avril pour une courte campagne. Les décoffrages, les parachèvements et les finitions seront terminés le 15 juin 1964.

Les périodes neutralisées par les intempéries auront pesé lourd sur le planning général.

Au total, nous aurons eu 444 jours d'arrêt complet (soit 15 mois) pour 480 jours de travail (soit 16 mois) compte non tenu des intempéries localisées provoquées par le gel, la pluie, les bourrasques.

Nous pouvons donc dire que dans ce pays de Haute-Cerdagne on travaille seulement 6 mois sur 12.

En compensation nos équipes ont accompli 10 à 12 heures par jour et pratiquement sans interruption les dimanches et jours fériés.

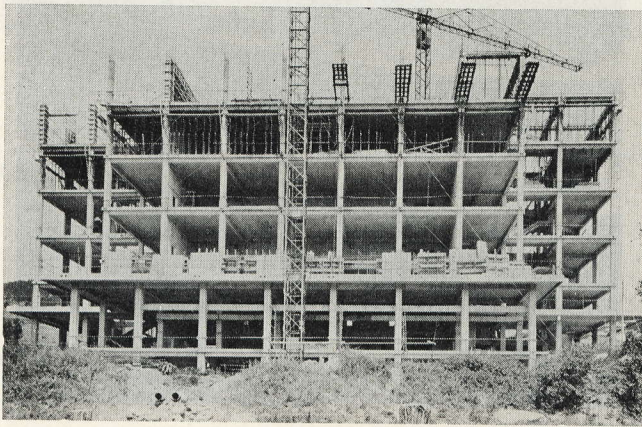


FIG. 22. — Mise en place des I.P.N. de 300 sur le plancher haut du quatrième étage.

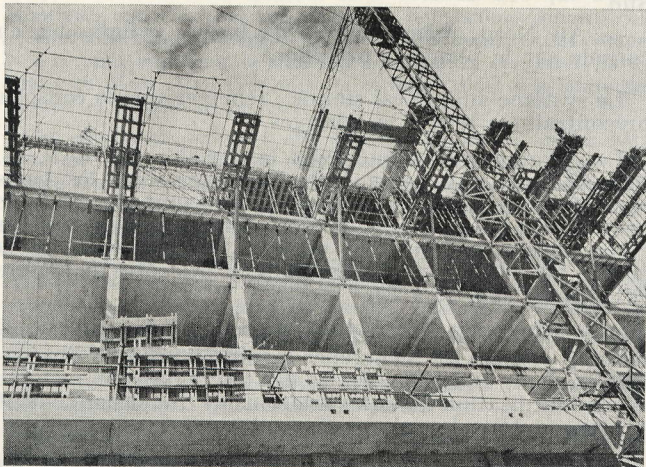


FIG. 23. — Les premières consols sont en place. On voit les béquilles de raidissement — Les consols seront bétonnés après le plancher haut du cinquième étage qui sert de contrepoids au soutènement.

## QUELLES ONT ÉTÉ LES DIFFICULTÉS PARTICULIÈRES DE RÉALISATION ?

Les photographies du gros œuvre les montrent avec évidence :

Voiles minces de 5 m de hauteur, voiles courbes de l'ossature Nord, voiles paraboliques à l'Est et à l'Ouest.

Porte-à-faux Sud à 35 m au-dessus du sol.

Encorbellement des galeries Nord et coffrage de la courbe, 12 m de débordement au-delà de la galerie la plus étroite. Mise en tension des câbles de précontrainte à des hauteurs et des surplombs assez impressionnants.

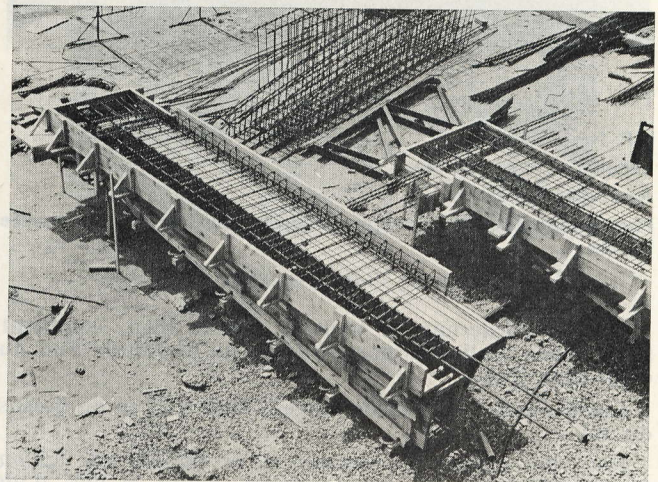


FIG. 24. — Une console au sortir de l'atelier prête à la mise en place avec tout son ferrailage, ses cônes d'ancrage, les attentes et la gaine de la poutre de rive; les attentes de dalle sur la console de droite.

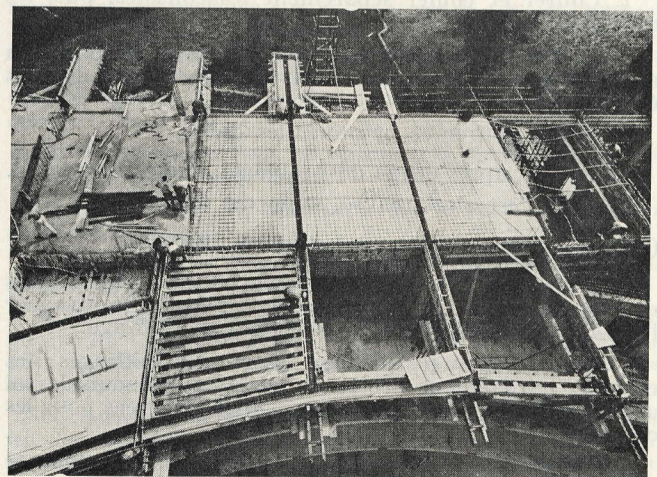


FIG. 25. — Bétonnage des consols et du plancher haut du cinquième étage.



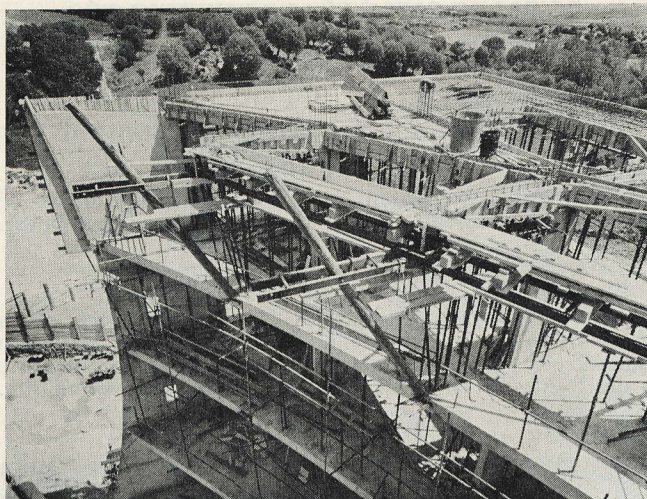


FIG. 26. — Coffrage des galeries Nord.

I. P. N. jumelés.

Béquille de bois réglable.

Accrochage au poteau.

Plateau supportant la poutre parabolique et sur lequel sera reportée l'épure.

Nous regarderons, si vous le voulez bien, comment nous avons réalisé le porte-à-faux de la galerie Sud au cinquième étage.

Les données : 5,75 m de porte-à-faux à 35 m au-dessus du sol.

Pour des raisons d'économie et de temps, *une option au départ*, éviter les échafaudages depuis le bas, d'où nécessité de soutenir en console depuis le plancher immédiatement inférieur et rechercher les allègements possibles.

Nous proposons alors à la STUP de procéder en trois phases successives :

1. Coffrer et couler séparément les consoles, puis les mettre en précontrainte.

2. Coffrer et bétonner la poutre de rive, y glisser un câble longitudinal et mettre en tension, afin de lier les éléments.

3. Enfin, coffrer et bétonner les dalles.

La STUP, après étude du problème donne son accord.

Le tout s'est alors réalisé, selon ces prévisions.

(Détails de construction sur les figures 22 à 25.)

— Pose des I.P.N. de 300 amarrés aux poutres du plancher haut du quatrième et butées sur le plancher haut du cinquième pour soutènement du coffrage.

— Préparation et mise en place des coffrages des consoles entièrement prêtes au bétonnage depuis le sol avec ferrailage, cône d'ancrage, gaines réservées pour les câbles.

— Bétonnage de ces consoles en compensant à mesure les flèches accusées par le soutènement.

— Mise en tension, puis réalisation des deuxième et troisième phases. Seule inquiétude réelle, la mise en

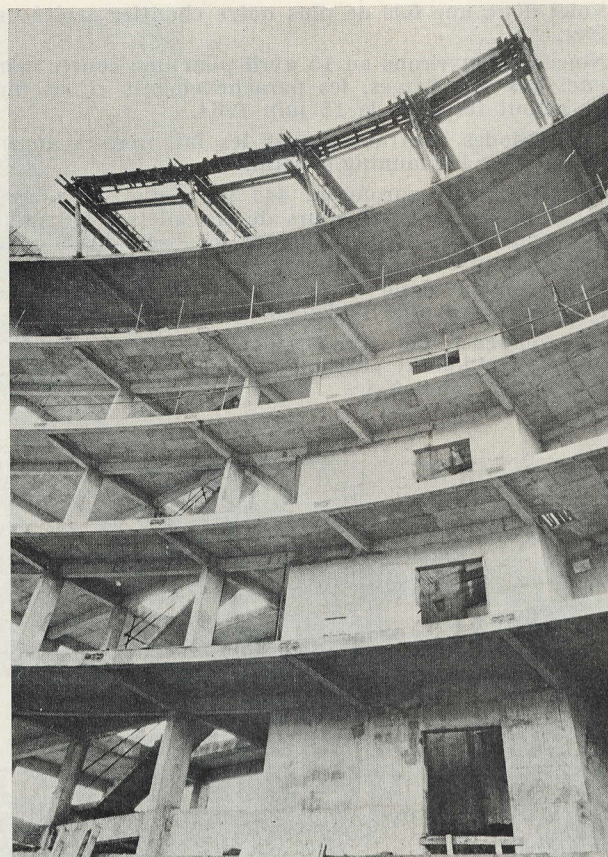


FIG. 27. — Vue de l'étalement d'une galerie Nord au sixième étage.

place du câble longitudinal de la poutre de rive — nous avons eu peur de n'y point parvenir. Voilà pour la galerie Sud.

— Au Nord, même option de base : échafauder en console sur le plancher précédent.

Le système adopté est simple : reporter sur les consoles précontraintes toutes les charges.

Les photographies montrent le détail : des I. P. N. jumelés fixés aux poteaux de l'ossature dans les trous réservés pour leur accrochage, un support réglable béquille en bois (grume de fort diamètre) s'appuie sur cette console, coffrage du plateau formant fond de la poutre de rive, report sur ce plateau des cotes de l'épure et coffrages (fig. 26 à 27).

Comme j'ai essayé de vous le montrer, nous nous sommes efforcés de rechercher la simplicité dans l'exécution en dépit de la complexité des ouvrages et le manque de standardisation dû aux variations de dimensionnement à presque tous les niveaux.

Nous sommes d'ailleurs fiers d'avoir réalisé sans aucun accident cet ouvrage où les hommes ont souvent travaillé dans des conditions extrêmement périlleuses, et je ne voudrais pas terminer sans souligner la parfaite harmonie qui a régné, tout au cours de la réalisation de ce chantier, entre ceux qui y ont contribué :



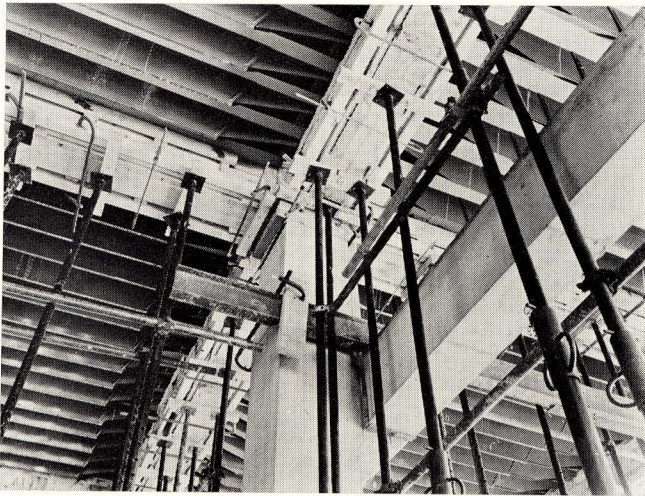


FIG. 28. — Coffrage poutres et plancher.

— M. le Professeur Trombe et ses collaborateurs du C.N.R.S.

— L'aéroport de Paris.

— L'organisme de contrôle SOCOTEC.

— Le Bureau d'études STUP.

— et les deux entreprises conjointes.

Cette réalisation est l'œuvre d'une équipe à laquelle nous sommes heureux d'avoir appartenu.

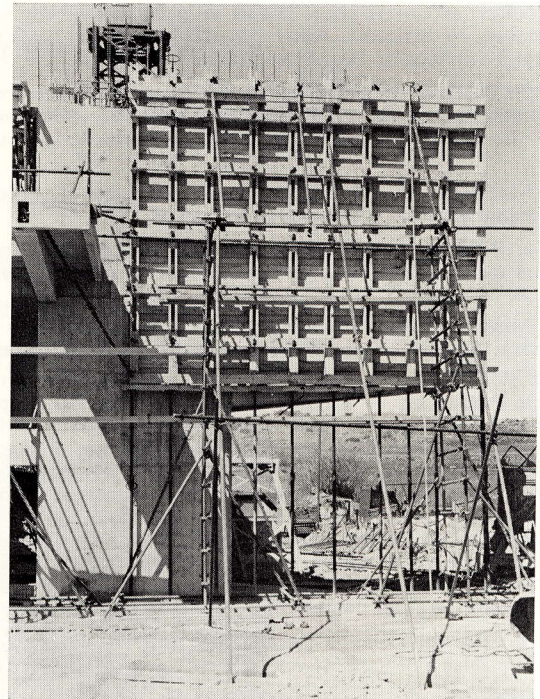


FIG. 29. — Coffrage du voile parabolique Est.

## DISCUSSION

M. le PRÉSIDENT. — Je remercie vivement M. Fondeville de ce qu'il vient de nous montrer et je voudrais dire que depuis Montlouis, qui n'est pas loin d'Odeillo, nous allions souvent voir les efforts de l'équipe Paquet (<sup>1</sup>). Nous nous sommes rendus compte qu'à certains moments, la situation pour mettre ces grands porte-à-faux en place et faire ensuite les coffrages, était à la limite des risques qu'on pouvait prendre.

Cet effort considérable a été couronné de succès, car ce bâtiment est très beau. Il était déjà très beau en béton, il l'est plus encore maintenant qu'il est habillé. C'est une réalisation magnifique comme profil et ce qui est curieux c'est qu'une partie de ce profil est fonctionnelle. Il est très beau dans le paysage.

On a dit que ce bâtiment abîmait le paysage de Font-Romeu, mais ce n'est pas vrai, c'est un splendide bâtiment et je crois que nous pouvons féliciter tous les auteurs, ceux qui ont œuvré sur le terrain et ceux qui ont fait tous les efforts nécessaires pour que cette œuvre soit parfaite.

Si vous le voulez, nous allons vous demander si vous voulez poser des questions. Qui demande la parole ?

M. MISSENARD. — Je voudrais vous demander des renseignements sur la température maximale de l'air au mois de juillet-août.

M. le PRÉSIDENT. — Je dirai 20° C en pleine journée, pas très souvent plus et des nuits assez fraîches.

M. MISSENARD. — Si j'ai bien compris, vous avez de grands vitrages sur la face sud ?

M. le PRÉSIDENT. — Oui, M. Vicariot vous a montré le détail : nous avons une maille de 5 m et des étages de 5 m ; la nappe de lumière a 2 m de haut et la nappe récupératrice a 3 m de haut. Mais la nappe de lumière et la nappe récupératrice sont décalées : la nappe récupératrice est à cheval sur deux étages, ce qui permet de chauffer un étage avec une partie du haut de l'étage situé en dessous.

M. MISSENARD. — Vous ne craignez pas d'avoir des apports thermiques solaires excessifs en été ?

M. le PRÉSIDENT. — Non, parce que le soleil est beaucoup plus haut en été.

M. MISSENARD. — Vous n'avez pas de protection contre le soleil d'été ?

M. le PRÉSIDENT. — Beaucoup de discussions ont eu lieu sur place et à l'Aéroport de Paris où il y a eu des séances de mise au point nombreuses, avec un certain nombre de personnes qui sont présentes ici.

On craignait cette question de chauffage du soleil ; nous avons fait des calculs sur l'intensité du soleil sur les récupérations sur les façades sud : c'est peu de chose, le quart de ce qu'on obtient d'un soleil d'hiver qui donne 7 kW-heure-mètre carré jour, le soleil d'été donne 2 kW et demi à cause de la hauteur du soleil sur la façade sud.

(<sup>1</sup>) M. Paquet, conducteur de travaux de l'entreprise Fondeville et de l'E.I.T.P.



M. MISSENARD. — *A priori* je suis un peu surpris, compte tenu de l'inertie du bâtiment. Aussi aimerais-je savoir si l'expérience confirme les prévisions. Peut-être le vent est-il important.

M. le PRÉSIDENT. — Non, il ne fait jamais trop chaud en été et c'est pour cela qu'on voit arriver des gens de Perpignan essouffés par le climat de la côte et qui viennent se rafraîchir là-bas en plein été.

M. MISSENARD. — Mais attention, avec les vitres, il se produira une accumulation de chaleur dans les locaux.

M. le PRÉSIDENT. — Nous avons quand même une masse de béton et du verre que nous pouvons prendre comme masse thermique et de réserve.

M. MISSENARD. — Après deux ou trois ans d'expérience je me permettrai de vous demander si vos calculs ont été confirmés par l'expérience.

M. le PRÉSIDENT. — La question de la climatisation par la façade sud fait l'objet de cette expérience sur le grand bâtiment, mais nous avons également construit des maisons qui sont à récupération de calories façade sud, et l'expérience va se poursuivre dans d'autres maisons construites deux par deux et ensuite nous devons faire un village. Je serai très heureux, étant donné votre spécialisation très connue et exprimée dans le domaine thermique, que vous veniez voir ces expériences, parce que, dans nos pays tempérés, nous estimons que l'opération est rentable. Le grand bâtiment vous le montrera et les petites villas peut-être aussi.

L'opération climatisation est effectuée parallèlement à l'opération four solaire.

M. MISSENARD. — Je vous remercie de votre aimable invitation que j'accepte. Autre question : je suppose que vous pouvez arrêter la circulation de l'air dans vos façades de récupération pour ne plus avoir ce chauffage en été ?

M. VICARIOT. — Non. Ceci a fait l'objet de discussion mais le Professeur Trombe était très sûr de ses calculs.

M. le PRÉSIDENT. — Je dois dire à ma défense qu'il n'en aurait pas été de même si nous n'avions pas à Font-Romeu un climat que nous connaissons bien, qui est vraiment le climat dans lequel on n'a jamais très chaud ; j'ai eu beaucoup plus souvent très chaud en février à Font-Romeu qu'en août.

M. FONDEVILLE. — Même à Noël.

M. le PRÉSIDENT. — Il fait plus chaud en hiver qu'en été !

M. MISSENARD. — Je serais curieux de connaître les résultats que vous obtiendrez. Bien entendu j'en discute *a priori*, alors que vous avez fait des calculs.

M. le PRÉSIDENT. — Venez, si nous avons tort nous le reconnaitrons bien volontiers.

M. MISSENARD. — Quant à la question de vos murs-rideaux récupérateurs, ce n'est pas le moment de discuter de leur opportunité.

M. le PRÉSIDENT. — Le moins bon, c'est de faire le mur-rideau qui ne sert à rien ; le mur-rideau qui ne récupère rien n'est pas le meilleur.

M. MISSENARD. — Si vous laissiez les calories entrer directement dans le local, elles y resteraient puisque l'énergie solaire se

dégradant en infrarouge ne peut sortir par rayonnement à travers les vitres.

M. le PRÉSIDENT. — Non, elles ressortiraient la nuit beaucoup plus.

M. MISSENARD. — D'accord, je parle du jour.

M. le PRÉSIDENT. — La nuit, la surface rayonnante du bâtiment est gênante.

M. MISSENARD. — Pour la nuit il faudrait tenir compte des différences de coefficient de transmission calorifique des vitres et des murs-rideaux récupérateurs, indépendamment de l'inertie du bâtiment. Ce n'est pas le lieu d'en discuter longuement.

L'expérience que vous réalisez est du plus haut intérêt et je m'instruirai la suivant comme vous voulez bien me le proposer.

M. LAURENCEAU. — Est-ce que vous avez utilisé un ciment spécial pour les fondations ?

M. VICARIOT. — Nous avons demandé un ciment spécial, mais on nous a dit que l'approvisionnement était très difficile et SOCOTEC a accepté un ciment ordinaire.

M. FONDEVILLE. — Nous aurions pu utiliser du ciment Fouilloux puisque nous l'utilisons à la même époque sur le barrage de la Bouillouse ; nous avons posé la question au Bureau SOCOTEC, qui nous en a déconseillé l'emploi, à cause des câbles de précontrainte.

M. LEBELLE. — Je pense que la SOCOTEC a simplement appelé l'attention des constructeurs sur le fait que le ciment C P M F 2, qui a été utilisé avec succès dans beaucoup d'ouvrages en béton précontraint, paraissait peu indiqué pour la confection du mortier d'injection des câbles.

M. CHAUMONT. — Avez-vous souvent utilisé dans vos coulées au moment du gel les adjuvants spéciaux et quels ont été leurs comportements ?

M. FONDEVILLE. — Nous avons utilisé surtout du Sika 3 : le résultat a été excellent, nous n'avons pas eu d'ennuis. Nous avons également employé de la Friolite, mais en très petite quantité. Nous avons presque uniquement utilisé du Sika 3, et dans le coulage des voiles minces du Plastocrète. Nous n'avons pas eu de fissurations.

M. le PRÉSIDENT. — Ce bâtiment est réalisé sans aucun joint.

M. VICARIOT. — Il n'y a pas de joint de dilatation.

M. le PRÉSIDENT. — C'est impeccable, il n'y a aucune fissuration.

M. LETORT. — Je pense à l'absence de joints de dilatation avec des écarts de 40° C entre la nuit et le jour.

M. le PRÉSIDENT. — Non, 20° C. L'écart de 40° C est celui entre les températures minimale et maximale observables au cours d'une année.

M. LETORT. — La variation de dimension sur une longueur de 65 m pour 40° C d'écart est de l'ordre de 15 mm, ce n'est donc pas grave.

M. le PRÉSIDENT. — Non, ce n'est pas grave.

Il nous reste à remercier très vivement M. Vicariot et ses collaborateurs et à souhaiter que lorsque le bâtiment sera terminé, il y ait une autre séance où chacun puisse exposer les réalisations auxquelles il aura contribué.