

LIB/Trans-571

LIB/Trans- 571

THE PRINCIPAL CONSTRUCTION PROBLEMS OF SILOE.

by

J. CHATOUX

(BULLETIN D'INFORMATIONS SCIENTIFIQUES ET
TECHNIQUES no. 78, December 1973, pp.15-21)

Translated from the French by
A. P. Marks

June 1975



AUSTRALIAN ATOMIC ENERGY COMMISSION

NUCLEAR SCIENCE AND TECHNOLOGY BRANCH

RESEARCH ESTABLISHMENT, NEW ILLAWARRA ROAD, LUCAS HEIGHTS

TELEGRAMS ATOMRE SYDNEY
TELEEX 24502
TELEPHONE 541 0111

IN REPLY PLEASE QUOTE

ADDRESS ALL MAIL TO

AAEC RESEARCH ESTABLISHMENT
PRIVATE MAIL BAG, SUTHERLAND 2232
N S W AUSTRALIA

AUSTRALIAN ATOMIC ENERGY COMMISSION

LIB/TRANS SERIES

Translations in this series were prepared as working documents for the use of research scientists at the Australian Atomic Energy Commission.

In order that they might be made available with the least possible delay, no attempt has been made to edit them, nor have all typing errors necessarily been identified and corrected.

Copies of translations in this series are made available to interested organizations and individuals only on the express understanding that they may be imperfect and do not aim to meet the standards of a published document. The Commission will not be held responsible for any inaccuracies in the translated text or for any errors resulting therefrom.

If any further reproduction of this translation is made by the recipient thereof, this note must be reproduced together with the text of the translation.

LIB/Trans-571

AUSTRALIAN ATOMIC ENERGY COMMISSION
RESEARCH ESTABLISHMENT

THE PRINCIPAL CONSTRUCTION PROBLEMS OF MLOE

by

J. CHATOUX

(BULLETIN D'INFORMATIONS SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES
no.78, December 1973, pp.15-21)

Translated from the French by A.P. Marks
June 1975

THE PRINCIPAL CONSTRUCTION PROBLEMS OF SILOE

by J. Chatoux

(Bulletin d'Informations Scientifiques et Techniques, No.78 Dec.1963)
(Translated by A.P. Marks, 10th May, 1975)

1. DESIGN AND CONSTRUCTION STAGES

At the beginning of 1961 the Grenoble Nuclear Studies Centre (C.E.N.G.) sent a design brief to the Reactor Construction Department (D.C.P.), giving the essential characteristics and expected performance of the reactor. The following sequence of events then ensued:

- . selection of an architect/engineer,
- . selection of a design engineer,
- . designs ancillary to the project,
- . calling of tenders and selection of suppliers,
- . constructors' designs,
- . purchase of materials and factor, fabrications,
- . site works and erection of equipment,
- . trials.

A number of problems arose during the various stages of design and construction; these could be divided into two main categories:

- . technical, administrative and organisational problems which involved the personnel,
- . purely technical problems.

2. TECHNICAL AND ADMINISTRATIVE PROBLEMS

2.1. The arrangements used for construction of the reactor are now normal in the C.E.A. (Atomic Energy Commission).

The D.C.F. (Director Construction Department) was in charge of construction, and engaged an architect/engineer to assist it. In this case, the I DATON Company was chosen.

One of the main reasons of the appointment of consultants, and the main reason in this specific field was to extract data from the tender brief and provide detailed technical specifications suitable for preparation of the tender documents. Siloé being a medium-sized project, it was decided to entrust these tasks also to the I. DATON Company.

This decision had the advantage of simplicity, but could not necessarily be repeated for a larger project. In that case, it would seem desirable for the work entrusted to the architect/engineer to remain essentially that of coordination.

3.2. In view of the high cost of some of the design contracts, it was also decided that the finer details of each part of the installation would not be defined in the tender documents. It would instead be preferable to state the objectives to be reached, and their specified limits, in such a way as to have the maximum design work carried out by the suppliers within the framework of their own contracts. This method, which is in fact somewhat similar to a competition, has the advantage of being cheaper, but requires very strict coordination and supervision; in the case of Siloé, this method would have perhaps benefited from provision of additional staff.

2.3. Once tenders had been called, (with some occasional difficulty) and the suppliers chosen, the order had to be placed. (We cannot, therefore, over-emphasize the importance of finding ways to reduce the time required for this phase). For Siloó, this proved to be one of the main bottle-necks.

2.4. Factory supervision and normal inspection of fabrication were in principle the responsibility of the architect/engineer. Nevertheless, for important equipment and operations reliance was placed on external organisations such as Veritas, Socotec, etc. The lesson learnt from these inspections was that they are of little use unless careful preparations are made for them, even at the design stage; it would perhaps also have been desirable for visits by inspecting engineers to have begun at the time that the technical specifications were drawn-up. The difficulties encountered by the fabrication inspectors, such as recognition of reasons for adopting particular designs, and the relative importance of any problems, were sources of costly misunderstandings and annoying delays.

In this connection, it seemed important for inspectors' visits to be carefully pre-arranged with the design engineers, and indispensable that they made their inspections together for important problems.

2.5. Problems on-site are well understood, but it is worth emphasizing the importance of good site organisation and its determining effect in regard to the quality, cost

and duration of the works. In particular, administrative control of costs of additions, bills of works, identification and inspection of jobs does not always receive from technicians the attention it deserves. This can paralyse site management staff and inhibit control^{of} the Contractors. In addition, any negligence here will lead to a significant rise in the cost of the works.

2.6. A difficulty which was not negligible concerned the distribution of paper work between the various organisations and departments involved to a greater or lesser extent in the construction.

The route taken by paper work was often abnormally indirect; this caused a general air of lethargy, produced many annoyances and irrecoverable delays, and in general led to a loss of efficiency which paralysed the construction teams. For instance, what pressure can be brought to bear on a supplier who has not been paid for several months?

Perhaps it would be desirable to reduce the number of sequential checks and replace them with simultaneous ones, as well as limiting the number of purely formal signatures required on certain documents.

Undoubtedly it would be quite sufficient to have suitable checks at a later stage, and associate them with possible penalties. This would give a sense of purpose which can be greatly lacking in this type of activity.

2.7. There are relatively few ways open to the constructor of exerting effective pressure in regard to contracts. Penalties for delay, which are the main weapon, could often not be applied when account was taken of the overlap of sequential construction; this was the result of activities continually being extended.

Perhaps it would have been desirable to provide a range of methods, more diversified and more convenient to apply, including not only negative penalties (retentions) but also positive ones (fines).

2.8. It is not easy to cope with the annoying propensity for schedules to slip. Here also, right from the beginning of the project, one had to be strong enough to reject design features which were difficult to achieve; intermediate buffer zones had also to be provided in the timetable to reduce the delaying effect of a particular part of the work on the overall work program. This should be a separate matter from the augmentation of ways of pressurising available to the constructor in dealing with a defaulting supplier. Delays to particular parts of the work were the main causes of deterioration and loss of resources by the construction teams. Much progress could still be made in introducing modern methods of scheduling.

3. TECHNICAL PROBLEMS

3.1. The excellent design brief provided by C.E.N.G. only left a few matters to be clarified. It had been

prepared with some care to maintain consistency with methods already proved on other swimming pool reactors, yet with a series of reasonable innovations which gave the project its originality. The whole project was carefully considered, and should only have led to minimal difficulties in construction.

- 3.2. Several difficulties inherent in the nature of the terrain had to be overcome. A shallow subterranean stream made the construction subsoil wet, and caused some difficulty due to the presence of corresponding hydrostatic pressures.

Several clay formations in the alluvial material on which the reactor was built compelled precautions to be taken in regard to soil loadings; along with other requirements this led to the construction of a prestressed concrete raft (Fig. 3.1).

A well situated near the site furnished water required for the reactor secondary cooling circuit. Some concern was expressed about the depletion of the subterranean stream due to water being taken from the well. Comprehensive tests showed that this depletion was not significant.

The terrain was permeable and presented some risk in case of reactor leakage. Precautions were also necessary in connection with the method chosen for lining the pools. We were thus led to the concept of a monolithic water retention system in prestressed concrete. However,

when the form-work was removed, the complex shape of the construction and shrinkage of the cement gave rise to cracking of the walls.

It appeared that a lack of reinforcement in the skin and delay in starting up the prestressing program were responsible for this defect. Since the cracks were filled and the prestressing completed, the water system has been perfectly tight, even without its protective tiling.

- 3.3. Although laid before the Triton incident, the Siloé tiling was able to benefit from a number of improvements, particularly in the quality and porosity of the tiles. After laying, several grouting compounds were tried out, and this enabled the sealing of this heterogeneous lining to be improved.

Doubtless one may also be reasonably optimistic in regard to the performance of the lining with time.

- 3.4. The civil engineering gave rise to some spectacular operations:

- The sealed building enclosing the reactor proper and all its experimental areas was constructed in concrete, using the technique of sliding formwork. This operation was directed in masterly style by the technicians of the company Grands Travaux de Marseille (G.T.M.), which was awarded the main civil engineering contract, and by those of Concretor-Prometo, their sub-contractor for this part of the work.

In less than a fortnight, the walls of the hall were

erected with remarkable dimensional tolerances. One of the major difficulties of this operation was the incorporation of items embedded in the concrete (trusses, ducts for pipework and cabling, partitions, etc.); these items had to be positioned in advance in free space, often at impressive heights (Fig. 3.3.).

- . The pouring of the dome, some thirty metres high (with no possibility of using a central support) represented a fine achievement for G.T.E. Similarly, the installation of the bridge crane (with a novel driving system) supplied by Applevage, demanded all the virtuosity of a team of particularly well trained and acrobatic erectors.
- . A partial delay in the civil engineering schedule compelled the civil engineering contractor to pour all the interior floors after the dome had been completed.

Nevertheless this operation was carried out exceptionally quickly and under conditions which were sometimes difficult. Its success enabled much of the delay to be made up, and the erection of equipment to begin more or less at the planned dates.

- 3.5. The erection of equipment took place over the same period as somewhat troublesome overlapping work by pipelayers, fitters, electricians, secondary civil engineering tradesmen, ventilation contractors, etc...

During such a period the weaknesses of the coordinating plan became apparent and all the partial delays made the work of one or another particularly unproductive. Willingness was always there to supplement method, and this phase produced satisfactory results within the extent of the delays, despite the particularly harsh conditions of the 1962-63 winter. Neither the temperature, nor snow blizzards, nor even a glacial atmosphere were able to force delays of greater than two months.

At the end of the operation, the erection of the metal stack (Fig. 3.3.) by the company Chantiers et Ateliers de Provence in bitterly cold conditions (requiring preliminary heating of all metals before welding) just rounded off the entire job and added a somewhat unusual aspect to the generally successful performance.

The final schedule was largely respected. The companies responsible for electrical and control works, C.G.E.E. and Merlin-Gerin, put forward proposals which proceeded uneventfully despite a significant delay at the outset. They installed an advanced electronic system which was developed by the Electronics Department at C.E.N.G.

4. WHAT CONCLUSIONS CAN BE DRAWN FROM THIS ACHIEVEMENT?

Undoubtedly the fact that the project was carried out within the time and price of the initial estimates, despite a degree of novelty in the project. But what is less novel

is that it was not the technical problems which were the most troublesome, but rather that human problems were much more in evidence. Indeed, they increased the complexity of an organisation which **was** not set up to take care of them. But good sense, luck and willingness by all are qualities which can lead to surprising results.

Everyone's assistance contributed to the success of Siloé; some weeks after its criticality the reactor showed evidence of its good health by beating a world record. This was only a beginning, since the reactor is far from exhausting its possibilities. Perhaps 20 MW may eventually be attained. For 20 million francs, this would be equivalent to one franc per watt, practically the price range of a pocket battery.

CAPTIONS TO FIGURES

- Fig. 3.1. - View of the raft steelwork and of the vertical prestressing cables.
- Fig. 3.2. - Positioning the framework of the personnel airlocks before pouring the wall of the reactor hall.
- Fig. 3.3. - The stack on its assembly cradle.

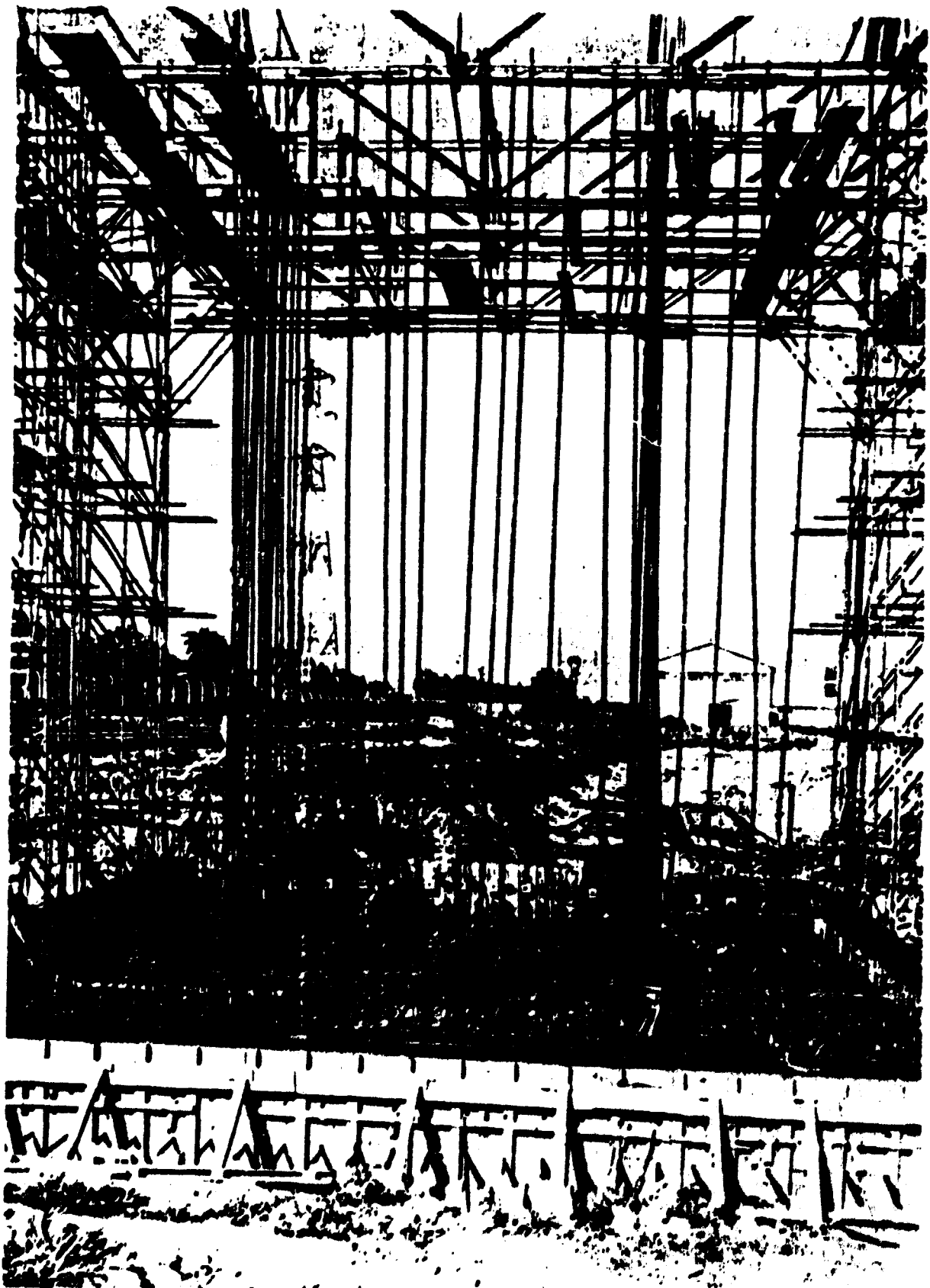


FIG. 3.1. - View of the raft steelwork and of the vertical prestressing cables.

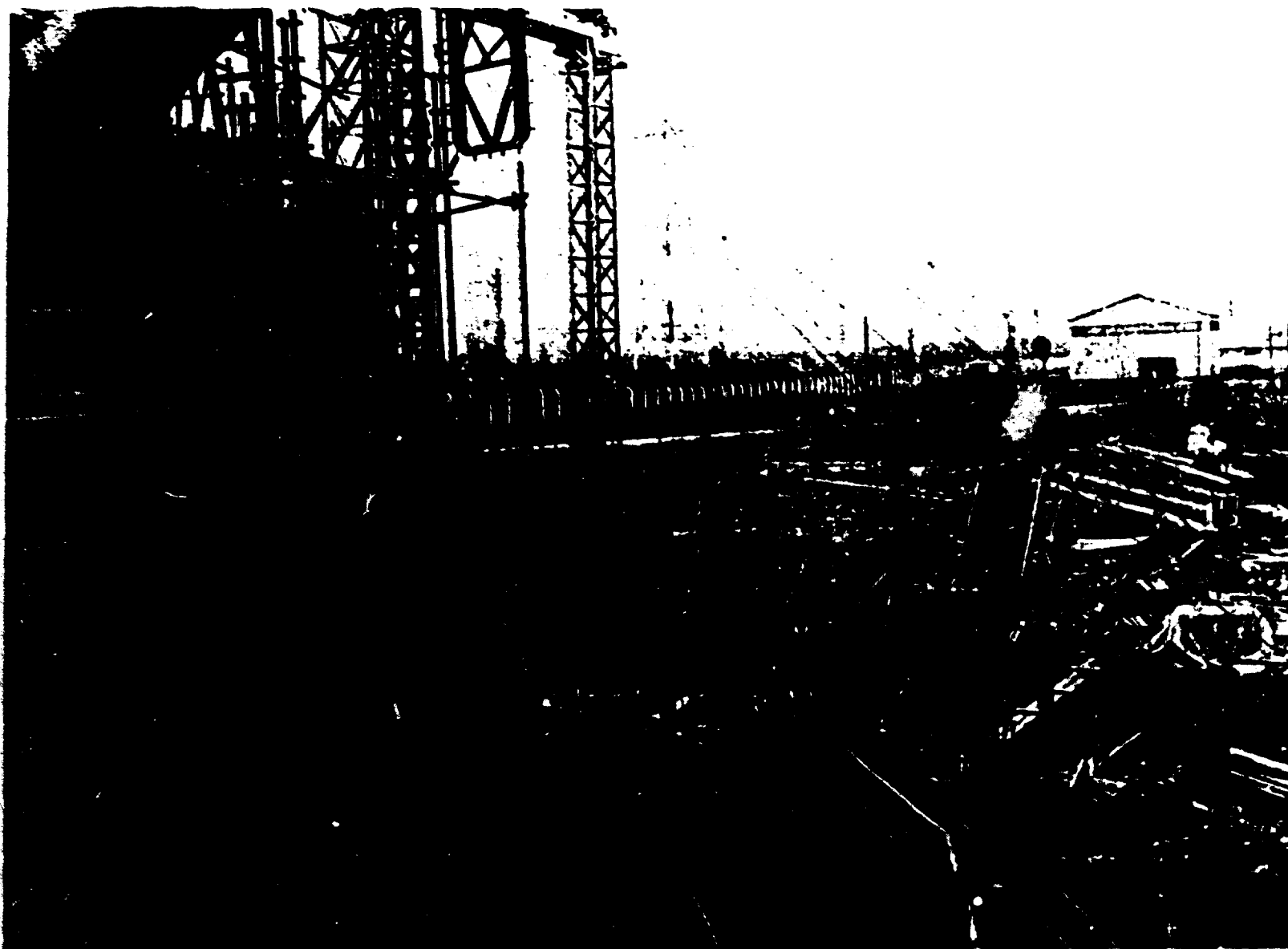


Fig. 3.2. - Positioning the framework of the personnel airlocks before pouring the wall of the reactor hall.



Fig. 3.3. - The stack on its assembly cradle.

Les principaux problèmes de construction de Siloé

par J. CHATOIN

1. AVANT-PROJET ET PHASES DIVERSES

Le Centre d'Études Nucléaires de Grenoble a remis au Département de Construction des Piles, début 1961, un avant-projet donnant les caractéristiques essentielles et les performances attendues du réacteur. Se succédèrent ensuite les phases suivantes :

- choix d'un architecte industriel,
- choix des charges d'études,
- les études complémentaires de projet,
- le lancement des appels d'offres et le choix des fournisseurs,
- les études constructeurs,
- les approvisionnements et les constructions en usine,
- les travaux et les montages sur le site,
- les essais.

Aux diverses phases de l'exécution se posent de nombreux problèmes que l'on peut classer en deux grandes catégories :

- les problèmes technico-administratifs doublés des problèmes d'organisation, avec leur prolongement humain ;
- les problèmes techniques.

2. LES PROBLÈMES TECHNICO-ADMINISTRATIFS

2.1. Le schéma choisi pour la construction est maintenant classique au C.E.A.

Le D.C.P., chargé de la construction, prend pour l'aider un architecte industriel (en l'occurrence, la Société INDATOM).

Se pose ensuite la question du choix des Sociétés d'Études qui ont pour tâche, chacune dans sa spécialité, de préciser les données de l'avant-projet et de fournir des spécifications techniques détaillées devant conduire à la rédaction des appels d'offres. Siloé étant une affaire d'importance moyenne, il fut décidé de confier aussi ces études à la Société INDATOM.

Cette solution, qui a le mérite de la simplicité, n'est pas forcément à reconduire pour une affaire plus importante. Il semble souhaitable que, dans ce cas, les études confiées à l'architecte industriel restent essentiellement des études de coordination.

2.2. Il fut d'autre part décidé (compte tenu du coût élevé de certains contrats d'études) qu'au lieu de définir dans les appels d'offres les moindres détails de chaque partie de l'installation, il serait, de préférence, précisé les objectifs à atteindre, avec leurs problèmes aux limites, de manière à faire exécuter le maximum d'études par les fournisseurs dans le cadre de leur propre commande. Cette méthode, qui s'apparente en fait à un concours, a le mérite d'être plus économique, mais exige une coordination et une surveillance très attentive qui, dans le cas de Siloé, aurait pu être menée plus de moyens.

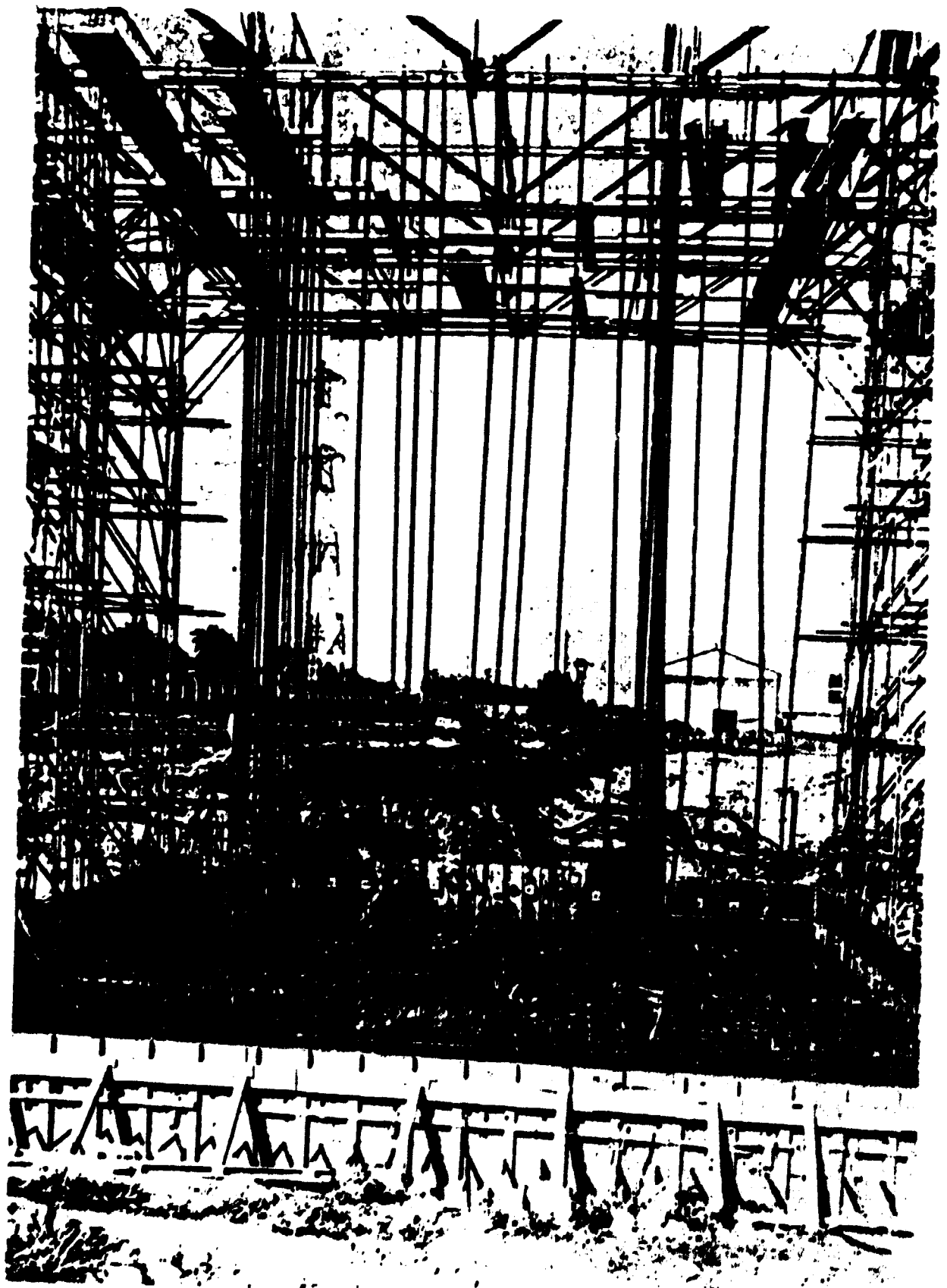


FIG. 3-1. Vue du ferrillage du radier et des câbles de précontrainte verticaux.

2.3. Les appels d'offres lancés parfois avec quelques difficultés et les fournisseurs choisis, il faut passer commande. Nous ne saurions trop insister sur l'intérêt qu'il y aurait à rechercher les moyens de diminuer le temps nécessaire à cette opération. C'est là que s'est situé, pour Sileg, un des principaux goulots d'étranglement.

2.4. La surveillance en usine et les contrôles de fabrication courants furent assurés, en principe, par l'architecte industriel. Cependant, pour des matériels et des techniques importantes, il fut fait appel à des organismes extérieurs (Veritas, Socotec...). La leçon qu'il convient de tirer de ces interventions est qu'elles sont peu utiles si elles ne sont pas très soigneusement préparées au niveau des études mêmes, et qu'il serait peut-être souhaitable que l'intervention des ingénieurs de contrôle commence à se produire dès la rédaction des spécifications techniques.

En effet, les difficultés rencontrées par les agents de contrôle de fabrication — pour reconnaître le pourquoi des solutions retenues et pour déceler l'importance relative des problèmes — sont génératrices de malentendus coûteux et de retards gênants.

Dans ce domaine, il semble important que l'intervention des contrôleurs soit soigneusement préparée auprès des ingénieurs d'études, et indispensable que, pour les problèmes essentiels, elle se fasse en commun.

2.5. Les problèmes de chantier sont connus, mais il convient d'insister sur l'importance d'une bonne structure de chantier et sur son rôle déterminant quant à la qualité de l'ouvrage, à son prix et à ses délais. En particulier, la gestion administrative (prix des attachements, métrés, préparation et vérification des « situations ») ne reçoit pas toujours de la part des techniciens l'attention qu'elle mérite, ce qui paralyse en grande partie les moyens dont dispose la direction du chantier pour commander aux Entreprises. De plus, toute négligence est ici génératrice d'une augmentation sensible du prix des ouvrages.

2.6. Une des difficultés non négligeables fut la circulation des documents entre les divers organismes et services plus ou moins intéressés à la construction.

Ces circuits, parfois anormalement longs, créent une grande lourdeur, causent beaucoup d'ennuis,

de retard irrattrapables et, d'une manière générale, un manque d'efficacité qui paralysent les équipes de construction. Quelle action peut-on avoir sur un fournisseur non payé depuis plusieurs mois par exemple ?

Peut-être serait-il souhaitable de diminuer le nombre des contrôles en série pour les remplacer par des contrôles parallèles et de limiter le nombre des signatures parfois de pure forme exigées sur certains documents.

Sans doute un bon contrôle a posteriori, accompagné d'éventuelles sanctions, serait-il bien suffisant et donnerait-il un dynamisme qui manque beaucoup à ces affaires.

2.7. Les moyens de pression efficaces mis à la disposition du constructeur dans les contrats sont relativement peu nombreux. Les pénalités pour retard, qui en sont l'arme essentielle, sont souvent inapplicables, compte tenu de l'imbrication des études et de la construction, nécessitée par des plannings toujours très tendus.

Il serait peut-être souhaitable de pouvoir disposer d'un arsenal, de moyens plus diversifiés et plus commodes d'application, comprenant non seulement des sanctions négatives (retenues), mais aussi positives (primes).

2.8. La fâcheuse propension qu'ont les plannings à glisser à droite n'est pas facile à combattre. Là aussi, il faut avoir dès le début de l'affaire le courage de s'opposer à des demandes difficilement réalisables, et prévoir des zones de décompression intermédiaires sur les plannings, afin de limiter les répercussions du glissement d'un planning particulier sur l'ensemble de l'imbrication de l'ouvrage.

Ceci devrait être indépendant du renforcement des moyens de pression mis à la disposition du constructeur pour lutter contre le fournisseur défaillant, car ces glissements de plannings partiels sont les principales causes de dépréciation et de perte de moyens des équipes de construction. Il y a beaucoup de progrès à faire dans les méthodes modernes de planning.

3. LES PROBLÈMES TECHNIQUES

3.1. Le très bon avant-projet remis par le C.E.N.S. ne laissait que peu de points dans l'ombre. Il avait été rédigé avec un constant souci d'établir



Fig. 3-2. — Finissement des cadres des cas à personnel avant coulage de la paroi du hall.

une continuité avec les méthodes déjà éprouvées sur les autres réacteurs piscine, avec cependant une série d'innovations raisonnables qui firent l'originalité du projet. Cet ensemble bien pensé ne devait amener que le minimum de difficultés à la construction.

3.2. Plusieurs difficultés inhérentes à la nature du terrain durent être surmontées. La présence d'une nappe phréatique peu profonde et baignant les sous-sols de la construction causa quelques difficultés du fait des sous-pressions correspondantes.

Quelques lentilles d'argile dans les alluvions sur lesquelles est implanté le réacteur obligèrent à prendre quelques précautions quant aux charges au sol et conduisirent, avec quelques autres impératifs, à la confection d'un radier en béton précontraint (fig. 3-1).

L'eau du circuit secondaire nécessaire au refroidissement de la pile est fournie par un puits situé à proximité de l'ouvrage. Des craintes furent exprimées quant à l'influence du rabattement de la nappe phréatique dû à ce puits. Des essais très complets montrèrent que ce rabattement n'était pas dangereux.

La perméabilité du terrain et le risque qu'elle créait en cas de fuite, ainsi que les précautions nécessitées par le mode de revêtement choisi pour les piscines nous amenèrent à la conception d'un ensemble de rétention d'eau monobloc en béton précontraint. Les formes compliquées de cet ouvrage provoquèrent lors du décoffrage une fissuration des parois, due sans doute au retrait du ciment.

Il semble qu'une insuffisance du ferrailage de peau et un retard dans la mise en œuvre du programme de précontrainte soient à l'origine de cet incident. Toujours est-il que ces fissures rebouchées, et la précontrainte effectuée, le bloc eau se révéla parfaitement étanche, même sans carrelage protecteur.

3.3. Bien qu'effectuée avant les incidents de Triton, le carrelage Siloc a pu bénéficier d'un certain nombre d'améliorations, en particulier sur la qualité et la porosité des carreaux. Après pose, plusieurs essais de ressouage permirent d'améliorer l'étanchéité de ce revêtement hétérogène. Et l'on peut sans doute faire preuve d'un optimisme raisonnable quant à sa tenue dans le temps.

3.4. Le Génie Civil donna lieu à des opérations spectaculaires :

L'enceinte étanche enfermant le réacteur proprement dit et toutes ses aires expérimentales fut construite en béton, selon la technique des coffrages glissants. Cette opération fut menée de main de maître par les techniciens des Grands Travaux de Marseille, adjudicataires du marché principal de Génie Civil, et par ceux de Concretor-Prometo, leur sous-traitant pour ce problème. En moins de quinze jours, les parois du hall furent montées avec des tolérances dimensionnelles remarquables. Une des difficultés majeures de cette opération fut l'incorporation des pièces à noyer dans le béton (portes, passages de tuyauteries et de câbles, hublots, etc...) qu'il avait fallu positionner, au préalable, dans le vide, parfois à des hauteurs impressionnantes (fig. 3-2).

La coulée de la coupole, à une trentaine de mètres de hauteur (sans possibilité d'utiliser une palée centrale), représenta un bel exploit pour G.T.M.

De même, le montage du pont tournant (au système d'entraînement original), fourni par Applevage, exigea toute la virtuosité d'une équipe de monteurs acrobates et particulièrement bien entraînés.

Un retard partiel dans le planning du Génie Civil imposa à l'entreprise de Génie Civil de couler tous les planchers intérieurs, alors que la coupole était achevée.

Cette opération se déroula néanmoins à un rythme exceptionnel et dans des conditions parfois difficiles.

Sa réussite permit de résorber une grande partie du retard et de commencer les montages sensiblement aux dates prévues.

3.5. La période des montages vit se superposer avec des imbrications plus ou moins pénibles les tuyauteurs, les mécaniciens, les électriciens, les corps secondaires de Génie Civil, les gens chargés de la ventilation, etc... C'est dans une telle période que les faiblesses des études de coordination apparaissent et que tous les retards partiels rendent le travail des uns et des autres particulièrement ingrat. Toujours est-il que la bonne volonté supplantant parfois à la méthode, cette phase fut menée à bonne fin dans la fourchette des délais, malgré les conditions particulièrement rigoureuses de l'hiver 1962-1963. Et ni la température, ni les tempêtes de neige, ni parfois une ambiance tout aussi glaciale, ne firent prendre plus de deux mois de retard.



Fig. 3-3. — Cheminée sur son bergeau d'assemblage.

En fin d'opération, le montage de la cheminée métallique (fig. 3-3) par les Chantiers et Ateliers de Provence, par une température sibérienne (exigeant un rechauffage préalable de tous les fers avant soudure), vint couronner l'ensemble de cette réalisation et ajouter à l'esthétique assez réussie de l'ensemble une note jugée par certains très particulière.

Les délais finaux furent en grande partie respectés, parce que les Sociétés chargées de l'électricité et du contrôle, C.G.E.F. et Merlin-Gérin, fournirent une excellente prestation qui ne donna lieu à aucune surprise désagréable, malgré un retard au départ non négligeable, et l'installation d'une électronique d'avant-garde mise au point par le service d'Électronique du C.E.N.G.

4. Que conclure au sujet de cette réalisation ?

Sans doute qu'elle fut menée dans les temps et dans le prix des toutes premières évaluations

ce qui, en soi, présente déjà un certain caractère d'originalité. Mais ce qui est moins original, c'est que les problèmes techniques ne furent pas les plus décevants et que les problèmes humains se montrèrent de beaucoup les plus préoccupants, car ils se coublèrent d'une complexité de structure qui n'était pas faite pour arranger les choses. Mais le bon sens, le courage et la bonne volonté de chacun sont des moyens aux possibilités toujours surprenantes.

C'est donc à la bonne volonté de tous qu'il faut attribuer la réussite de Siloé qui, quelques semaines après sa divergence, faisait preuve d'une belle vigueur en battant un record du monde. Ce n'était que prémices, car cette pile est loin d'être au bout de ses possibilités. Peut-être parlera-t-on bientôt de 20 MW ? Pour 20 000 000 F, cela fera 1 F au watt. C'est presque la gamme de prix des piles de poche.

