

Le béton armé ou precontraint et la préfabrication lourde en France

Autor(en): **Balency-Béarn, A.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **IABSE reports of the working commissions = Rapports des commissions de travail AIPC = IVBH Berichte der Arbeitskommissionen**

Band (Jahr): **1 (1965)**

PDF erstellt am: **28.06.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-937>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Le béton armé ou precontraint et la préfabrication lourde en France ¹⁾

Stahl- oder Spannbeton und schwere Vorfabrikation in Frankreich

Reinforced or Prestressed Concrete and Heavy Prefabrication in France

La préfabrication par « éléments lourds » a pris en France depuis 1950 une importance très grande dans la construction: divers facteurs, techniques, sociaux et économiques, concourent à ce développement.

L'objet de cette note est d'évoquer les aspects ou les incidences les plus marquants de ces différents facteurs dans le cadre de la décennie qui vient de s'écouler.

0 - Avant-Propos

Un point d'histoire

Si la préfabrication lourde connaît un développement important dans l'ensemble des secteurs de la construction, dans le Bâtiment en particulier, son influence, ses apports directs ou indirects y ont été tels que pour l'homme de la rue, industrialisation de la construction et préfabrication par éléments lourds sont synonymes. C'est sans doute là le plus bel hommage que l'on puisse rendre aux quelques pionniers qui ont amorcé par cette voie la transformation complète d'un secteur d'activité qui oeuvrait encore il y a vingt ans comme on oeuvrait deux siècles auparavant.

Sans doute, dans le Bâtiment du moins, la préfabrication lourde n'est-elle pas la seule expression possible ni maintenant la seule expression existante de l'industrialisation de cette activité. Mais comme cette dernière a commencé par là, comme de plus les éléments lourds sont encore pratiquement, et en ce qui concerne plus particulièrement le secteur très important du logement, le moyen le plus économique d'apporter une solution industrielle aux problèmes d'isolation phonique et de constituer un volant thermique suffisant pour se dispenser d'une climatisation dispendieuse

¹⁾ Le rapport national Français a été préparé sous la direction de Mr. A. Balency-Béarn avec les concours ou informations des Messieurs: N. Esquillan, P. Lebelle, C. Kolb, M. Adam.

et incertaine, la faveur que connaît cette technique explique cette confusion et justifie cet hommage.

Plus importante est l'analyse des causes qui ont provoqué cette évolution car elle permet de comprendre le sens des changements qui s'opèrent et la portée des résultats obtenus. Elle explique la faveur croissante que connaissent ces techniques en France et l'intérêt que de nombreux autres pays portent depuis quelques années aux procédés français de préfabrication lourde.

Nous allons évoquer d'abord ces causes avec la conjoncture du Bâtiment Français autour des années 1954-1955 puis 1962-1963, ce qui nous amènera à situer la préfabrication lourde parmi les solutions adoptées pour résoudre le problème posé en France. Ensuite seront évoqués quelques aspects particuliers de cette technique ainsi que les principaux changements qui caractérisent son évolution récente.

0,1 - La fuite de la main-d'oeuvre, facteur d'industrialisation

Lorsque le Bâtiment français dut après la dernière guerre renaître de ses cendres, on vit sans étonnement, réapparaître les chantiers traditionnels où de forts et habiles compagnons maniaient les mêmes outils que maniaient leurs ancêtres: rares au début furent ceux que cette opposition heurtait. Plus nombreux furent ceux qui s'acharnèrent à prouver qu'elle était logique et définitive. C'est sur cette vision des choses que se profila vers 1953 et avec brutalité le problème de la main-d'oeuvre.

On s'efforça de développer l'effort de formation professionnelle: on augmenta les crédits à cet effet et on multiplia les centres.

Lorsqu'on s'aperçut qu'une part importante de la main-d'oeuvre ainsi formée était retrouvée l'année suivante dans des usines de mécanique, on se demanda s'il ne fallait pas aussi chercher à l'économiser. Dès lors les quelques pionniers qui depuis deux à trois ans s'évertuaient à prouver que le Bâtiment pouvait aussi s'industrialiser commencèrent à trouver une certaine audience.

Après avoir résolu les premiers problèmes de base qu'ils avaient à résoudre, les préfabricants durent trouver des marchés afin de s'assurer le minimum de série compatible avec les investissements matériels et intellectuels qu'ils avaient faits. S'il se peut qu'au départ ils furent surtout passionnés par l'aspect technique de leurs recherches, il est important de noter qu'en exposant la philosophie de leurs efforts et de leurs recherches ils surent mettre l'accent à la fois sur l'économie d'une main-d'oeuvre qui disparaissait et sur l'amélioration des conditions de travail qu'apportait la mise en oeuvre de leurs techniques ou de leurs procédés grâce au report en atelier d'une part importante des tâches traditionnellement accomplies sur le chantier.

Le goulot d'étranglement que constituait le manque de main-d'oeuvre

était tel qu'on retint bien davantage la possibilité d'économiser la main-d'oeuvre que celle d'améliorer ses conditions de travail. Et, dans l'immédiat, les possibilités escomptées poussèrent les Pouvoirs Publics à favoriser l'application des procédés en cause, dits en l'occurrence, « économes de main-d'oeuvre » grâce notamment à l'ouverture d'un secteur réservé.

Parallèlement, les entreprises traditionnelles sentant monter une concurrence certaine, cherchèrent à rester concurrentielles grâce à un effort accru d'organisation et à l'emploi d'un matériel plus moderne.

Enfin, nombre de producteurs de matériaux traditionnels prenant conscience de la nécessité de réduire l'importance de la consommation de main-d'oeuvre sur le chantier s'orientèrent vers la fabrication soit de matériaux simplement plus précis, soit d'éléments plus complexes tels que des planchers, allant, pour certains, jusqu'à la fourniture de murs de façade avec leurs menuiseries incorporées.

Quels ont été les résultats de l'ensemble de ces efforts pendant la décennie qui s'est déroulée de 1953 à 1963 c'est ce que nous allons essayer d'analyser brièvement en vue d'en tirer quelques enseignements sur le plan de la préfabrication; car à partir du moment où on a parlé d'économie de main-d'oeuvre le Bâtiment s'est mis à compter et partant à analyser.

Dès 1956, des études étaient lancées qui ont permis de fonder des comparaisons entre des constructions pourtant différentes en les ramenant à un même modèle.

On s'est aperçu que certains reproches que l'on pouvait faire aux premières constructions réalisées avec des éléments préfabriqués pouvaient être faits à la généralité des constructions traditionnelles, mais cela a conduit à établir des règles de plus en plus précises qui sont venues peu à peu remplacer l'imprécision des anciens cahiers des charges en matière de qualité.

Cependant très vite la préfabrication, usant des possibilités ouvertes par le travail en usine, apportait, à prix égal, des prestations généralement supérieures à celles obtenues avec les techniques traditionnelles.

Sur le plan de la consommation de main-d'oeuvre il ressort des études visées plus haut que les résultats ne sont pas très sensiblement différents entre un chantier très bien organisé réalisé avec des matériaux traditionnels et les opérations de dimensions courantes utilisant la préfabrication.

Aussi fut-on moins étonné de constater que des entrepreneurs jusqu'alors farouchement partisans du « traditionnel organisé », ouvraient tout à coup des chantiers avec un premier poste de préfabrication foraine.

Les progrès réalisés de 1953 à 1960 grâce à la préfabrication d'une part, grâce d'autre part à l'effort d'organisation sur les opérations restées plus ou moins traditionnelles sous l'angle des matériaux, ont permis de doubler et au delà l'activité de la construction française sans un accroissement parallèle des effectifs de main-d'oeuvre.

Dès 1961, le goulot main-d'oeuvre se faisait à nouveau sentir et en 1962 il sévissait non plus seulement dans les départements dotés de programmes importants de constructions mais dans la quasi totalité des départements. On constatait en même temps que des centres de formation professionnelle, malgré le besoin intense de main-d'oeuvre étaient loin de fonctionner à plein.

Il devint ainsi évident que le problème ne consistait pas seulement à former de la main-d'oeuvre et à l'économiser mais aussi et surtout à améliorer ses conditions de travail en les rapprochant le plus possible de celles des industries vers lesquelles se tournait l'ouvrier du Bâtiment.

Or, précisément la préfabrication en reportant au maximum les tâches du chantier vers l'atelier permet cette amélioration ainsi que des salaires plus élevés pour les monteurs nécessaires au chantier.

C'est l'ensemble de ces facteurs qui explique pourquoi la construction avec des procédés industriels a fait d'aussi rapides progrès en France, en passant d'une production de quelque 5.000 logements par an vers 1953 à plus de 60.000 en 1959, bien que le fractionnement excessif du marché français n'ait pas été favorable jusqu'ici ni à la rentabilité, ni au progrès technique des procédés en cause.

C'est aussi un ensemble de facteurs semblables qui a incité nombres d'autres pays à adopter certains procédés mis au point en France pour la réalisation d'ensembles d'habitations.

0,2 - Evolution de la préfabrication lourde

A défaut de pouvoir être exhaustifs nous nous sommes bornés à situer cette évolution en faisant le point de la préfabrication par grands panneaux, technique déjà très utilisée en France dans le secteur du logement et des constructions scolaires.

D'autre part, pour illustrer les immenses possibilités de la préfabrication lourde dans le Bâtiment nous présenterons, à la suite, une réalisation concernant des locaux industriels, réalisation qui constitue un exemple typique d'application intégrale de la standardisation et de la préfabrication.

— Remarques préliminaires

Avant d'aborder les aspects techniques et financiers ainsi que les problèmes que peut poser la préfabrication par grands panneaux sur le plan de l'architecture, il importe d'abord de clarifier un point de terminologie.

On parle tour à tour de préfabrication foraine, de préfabrication sur le chantier et de préfabrication en usine. Une terminologie aussi diverse appelle des précisions: à notre avis il faut distinguer la préfabrication sur chantier et la préfabrication en usines fixes.

— 0,21 - La préfabrication sur chantier

Cette formule a été celle adoptée au départ par la plupart des entreprises qui se sont lancées dans la préfabrication.

Les installations, assez réduites, sont faites exclusivement pour le chantier sur lequel elles sont montées.

Elles consistent en un poste de bétonnage, des coffrages en bois ou en tôle, avec parfois, mais pas toujours, une installation assez rustique d'étuvage sous bâches (fig. 1 et 2) et bien entendu les engins de levage: grues et éventuellement portiques roulants pour la manutention.

Il s'agit d'une préfabrication assez imprécise et limitée le plus souvent à une partie seulement des éléments de gros-oeuvre avec, dans un certain nombre de cas cependant, incorporation des menuiseries ou de leurs bâtis.

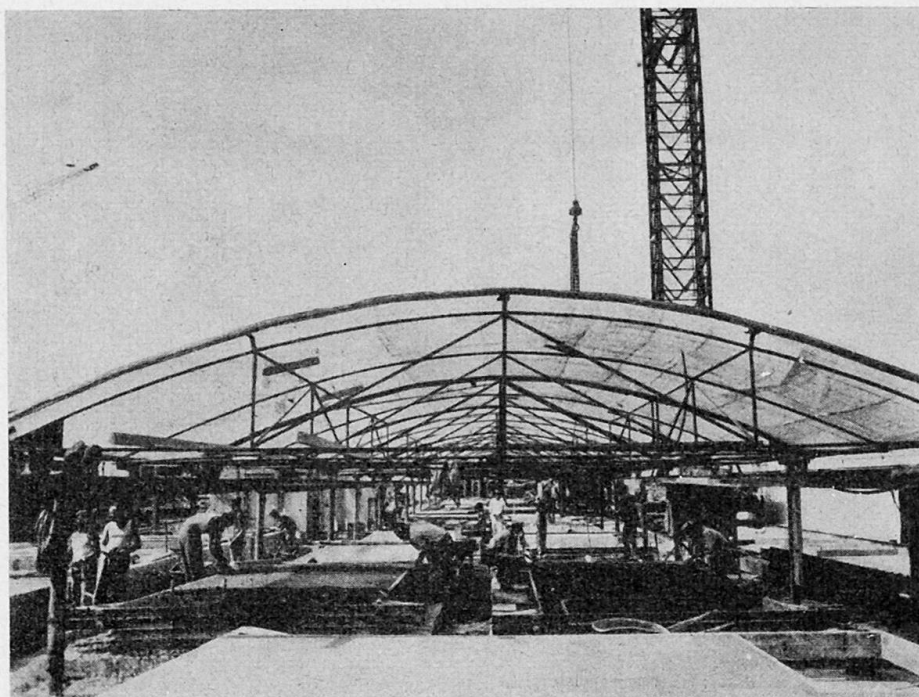


Fig. 1 - Aire de préfabrication foraine à Genève, desservie par grue (Cofeba).

En général, les installations foraines sont destinées à la réalisation des constructions sur le chantier où elles sont implantées et de ce fait même il est rare qu'elles soient dans un local fermé.

Dans la plupart des cas les postes de fabrication sont ou à ciel ouvert, ou simplement sous un petit abri mobile sans parois latérales.

Mais il arrive que l'unité foraine ainsi constituée puisse servir également à alimenter quelques petites opérations dans un rayon d'une vingtaine de kilomètres, pendant la durée d'exécution du chantier principal.

On peut dire de ces unités de fabrication qu'elles permettent d'organiser une production avec plus de facilité que ne le permet le traditionnel et d'instaurer un certain contrôle de fabrication, mais, il faut le dire, uniquement dans les limites qu'autorise la rusticité même des installations.

— 0,22 - La préfabrication en usines fixes

La préfabrication en usines fixes est une formule adoptée par deux catégories de professionnels:

- a) des entreprises
- b) des fabricants de matériaux.

Mais cette classification en fonction de l'implantation ne suffit pas encore à situer sur tous les plans le niveau « industriel » de ces installations.

Il existe encore en effet quelques fabrications en usines fixes dont les conditions d'installation ne sont guère supérieures à certaines installa-



Fig. 2 - Préfabrication foraine desservie par portique et grue (Balency).

tions sur chantier et on constate de facto, un écart considérable de niveau entre les différentes usines. Il est important de le noter lorsqu'on voudra saisir ce que recouvrent les différences des coûts d'investissements dont il sera question par la suite.

Ces différences de niveau seraient à analyser sur deux plans. Celui des équipements de fabrication, celui des locaux et des équipements sociaux.

Notons seulement ici que la fabrication sur chantier ne permet à l'évidence que des investissements sociaux forcément limités, car il ne saurait être question d'amortir sur une opération un « confort » voisin de celui qui est assuré aux salariés par les industries les plus mécanisées. Par contre la fabrication en usine d'éléments de construction permet, et plusieurs exemples d'usines de grands panneaux le prouvent, des installations

qui n'ont rien à envier aux meilleures de ce type dans les autres industries.

C'est là une possibilité et déjà une réalité qu'il y a lieu de méditer lorsqu'on cherche à définir le sens de l'évolution de la construction compte tenu du critère main-d'oeuvre.

I - La préfabrication lourde pour les logements et les constructions assimilées

1,1 - Principaux aspects de l'évolution

Les différentes fabrications par grands panneaux utilisent des matériaux relativement divers soit à titre de constituant des panneaux eux-mêmes, soit pour réaliser l'étanchéité des joints.

On y trouve le béton sous différentes formes, et aussi la terre cuite, les matières plastiques ainsi que des matériaux de revêtement de plus en plus nombreux: grès cérame, pierres minces prétaillées, pâte de verre, argile expansée.

Tout ceci commence à être bien connu et ce que nous voudrions évoquer ici c'est plutôt le caractère des principaux changements survenus dans la fabrication par grands panneaux puisqu'aussi bien la description de chacun des procédés les plus utilisés n'aurait pas sa place dans cette courte étude qui se veut d'ailleurs plus économique que technique.

Précision et complexité

A l'origine le premier objectif commun à la plupart des auteurs de procédés a été de préparer des éléments de gros oeuvre « à plat » pour les transporter et les mettre en oeuvre ensuite.

L'imprécision de ces éléments, due à la rusticité des installations, et notamment des moules, était d'autant plus aisément tolérable qu'il ne s'agissait que d'une préfabrication partielle, les autres interventions, équipements, enduit et finitions, conservant un caractère traditionnel.

Mais à partir de là on peut distinguer deux voies.

D'une part celle de ceux qui ont opté pour l'installation « rustique », et généralement foraine, d'autre part celle de ceux qui, cherchant à intégrer une part sans cesse croissante des opérations du chantier, ont opté pour la précision qui conditionne cette intégration et on adopté la formule de l'usine fixe parce que seule une production continue en usine permet la constance de qualité et la précision requises.

Vouloir comparer dans l'instant les économies respectives de ces deux solutions uniquement en se basant sur des considérations financières n'aurait guère de sens.

On sait, d'après de nombreuses analyses de coûts, qu'à organisation égale, les prix de revient des entreprises ne sont pas suffisamment différents

pour qu'il soit possible de porter sur le plan financier un jugement incontestable. Toutefois, nous l'avons dit, on voit de plus en plus l'entrepreneur bien organisé mais jusqu'ici très traditionnel, se convertir en préfabricant forain.

Mais pendant ce temps, l'écart se creuse entre la qualité, voire la complexité, de la mécanisation des fabrications en usine et la rusticité de la préfabrication foraine. De sorte qu'on peut se demander si dans quelques années la préfabrication foraine n'apparaîtra pas comme une manière d'artisanat à moins que d'ici là, un système généralisé de coordination modulaire, ne l'ait complètement condamnée au profit de la production en usine d'éléments normalisés.

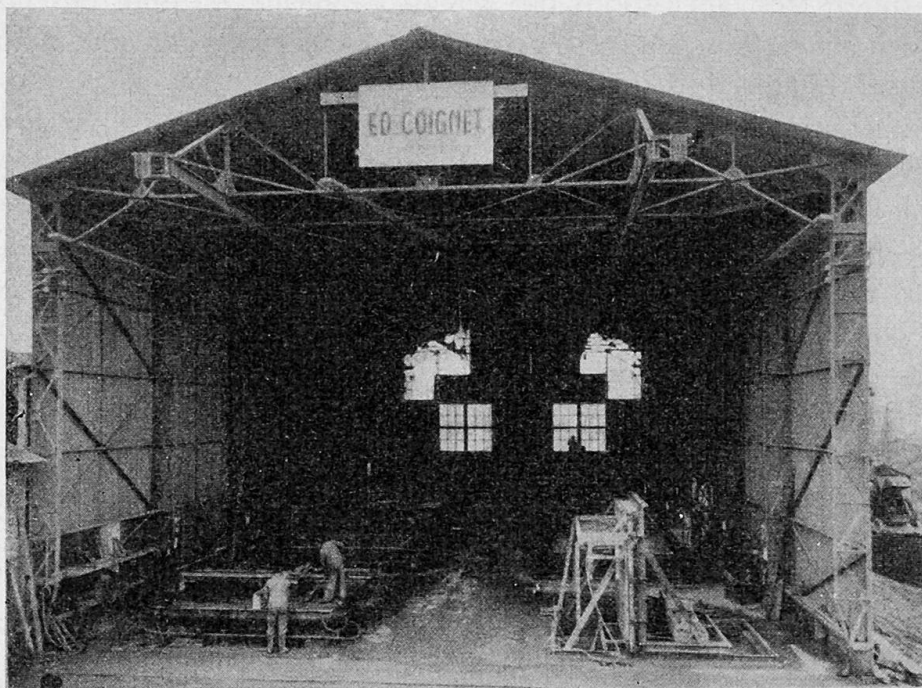


Fig. 3 - Usine de préfabrication à Evreux (1951) (Coignet).

Et ainsi le premier changement important à retenir dans l'histoire de la préfabrication lourde nous apparaît être celui des progrès dans la mécanisation des usines fixes, mécanisation plus poussée, réalisée dans un but de précision et de plus grande intégration.

Les progrès sont si rapides qu'il n'y a plus rien de commun entre deux usines considérées comme modèles, à dix ans d'intervalle (fig. 3 et 4) et même à cinq ans d'intervalle (fig. 5 et 6).

1,2 - Un procédé évolué de préfabrication lourde et ses installations fixes

Nous avons renoncé à décrire ici faute de place tous les procédés de préfabrication. En fait, ils ne présentent généralement pas des différences

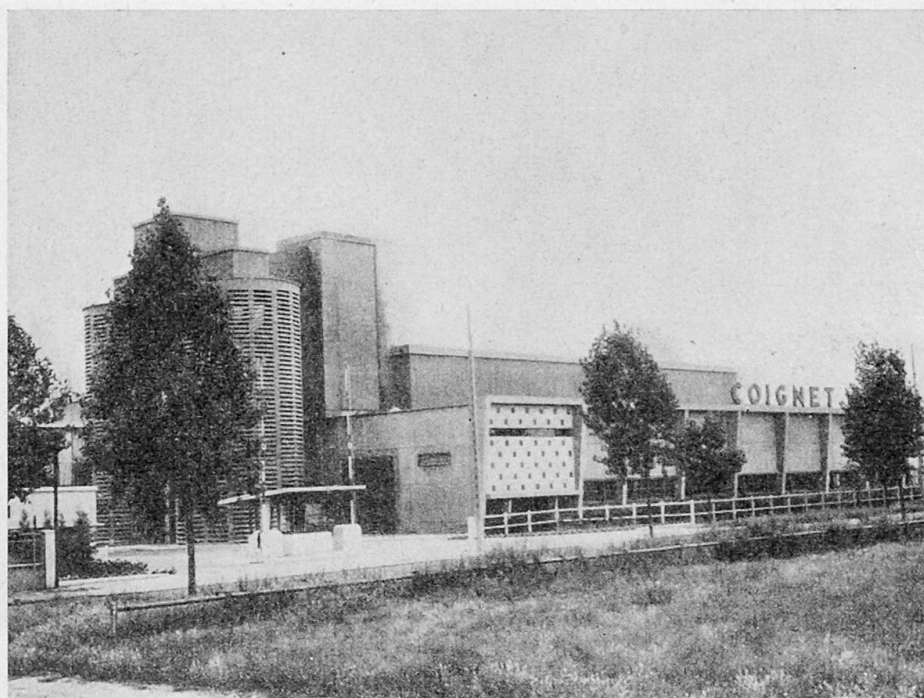


Fig. 4 - Usine de préfabrication à Aulnay (1962) (Coignet).

fondamentales. Les singularités importantes que l'on constate concernent beaucoup plus les modalités de fabrication des éléments, leur degré de mécanisation, l'organisation des Usines, l'effort de recherche, que les principes mêmes des procédés de construction.

Il suffit donc, pour illustrer le niveau d'industrialisation auquel est

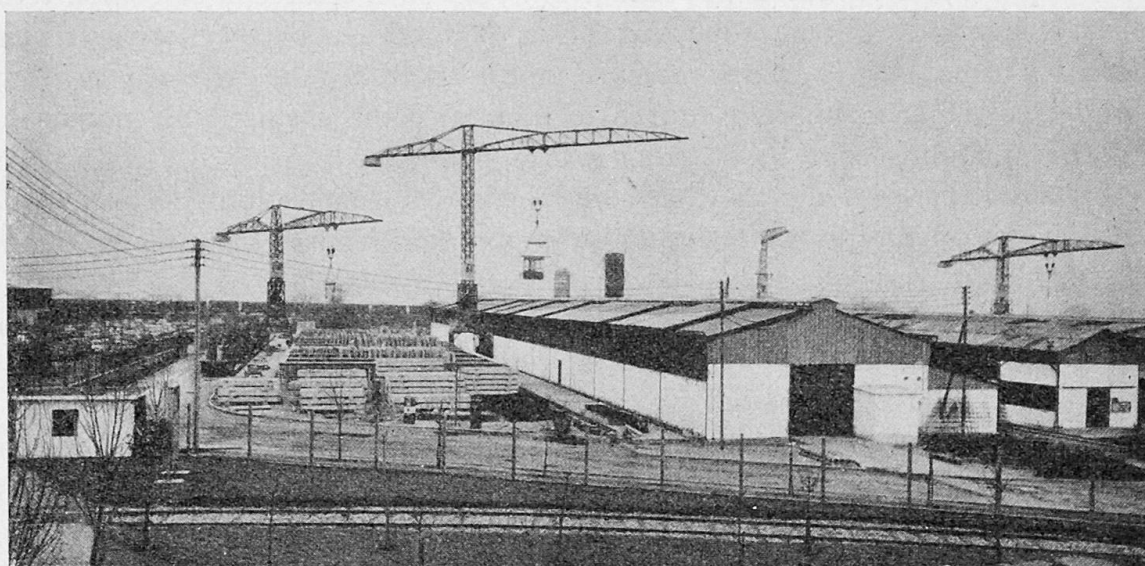


Fig. 5 - Usine de préfabrication à Villeneuve le Roi (1957) comportant des toits ouvrants et desservie par des grues (Balency).

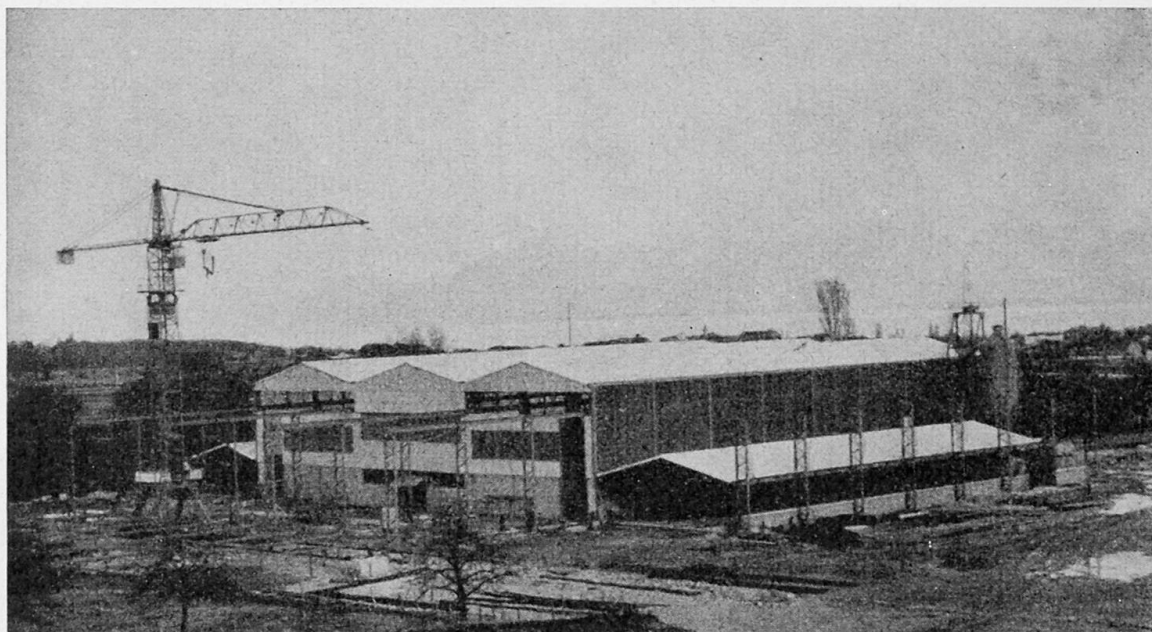


Fig. 6 - Usine de préfabrication à Genève (1962) essentiellement desservie par des ponts roulants (Balency).

parvenu le bâtiment avec la préfabrication lourde, d'évoquer l'un des procédés dont les installations de fabrication, en France, ou à l'étranger comptent parmi les plus évoluées.

— 1,21 - Les éléments

La fabrication ou le montage en Usine correspond aux éléments suivants:
 — Les planchers en béton peuvent avoir 0,14 m d'épaisseur et comportent le revêtement de l'étage supérieur et le plafond de l'étage inférieur. Ils sortent d'usine avec la face supérieure tantôt revêtue d'un carrelage ou d'un parquet collé par exemple, tantôt lisse pour recevoir ensuite une moquette.

Les plafonds sont lisses prêts à être peints.

Dans l'épaisseur du plancher sont noyées les canalisations de chauffage, ainsi que les canalisations électriques qu'un monteur n'aura plus qu'à raccorder avec les appareils.

— Les panneaux de façade sont du type « murs sandwich » composés d'un isolant thermique et phonique (polystyrène expansé de 2 cm d'épaisseur) entre deux parties de béton.

Le béton est armé — certaines parties uniquement pour permettre la manutention des éléments, d'autres en fonction du rôle de l'élément dans la structure de l'ouvrage.

Les panneaux de façade fabriqués à plat, sortent de moule avec leur revêtement extérieur qui peut être aussi divers qu'on le désire (fig. 7).

Le parement intérieur est prêt pour la peinture.

A la fabrication sont intégrés:

- les menuiseries,
- les stores roulants,
- les gaines de ventilation,
- les canalisations de toute nature.

La vitrerie est effectuée en Usine.

— Les cloisons, fabriquées tantôt en éléments simples, tantôt en éléments à angles, sortent d'usine surfacées, éventuellement avec leur revêtement et toujours avec leurs aménagements: trous, gaines, canalisations.

— Les escaliers, sont fabriqués en béton plein, revêtement en carrelage et nez de marches métalliques. Les faces latérales comportent des prisonniers taraudés pour que les rampes puissent être facilement montées par simple vissage.

— Pièces diverses. Ce sont principalement des blocs techniques (fig. 7 bis), des conduits des fumées et de ventilation, fabriqués de la hauteur d'un étage et dont les faces apparentes sont prêtes pour la peinture.

La fabrication, d'une précision de l'ordre de millimètre, permet de raccorder facilement des équipements annexes préparés éventuellement dans d'autres ateliers (fig. 8).

Les éléments les plus lourds fabriqués avec ce procédé sont de 8,5 t en France et de 10 t en Allemagne Fédérale.

Le liaisonnement par les armatures en attente, ou le coulage des poteaux en béton armé sur le chantier dans les vides des panneaux, c'est-à-dire sans aucun coffrage, assure à l'ensemble des ouvrages un monolithisme et une

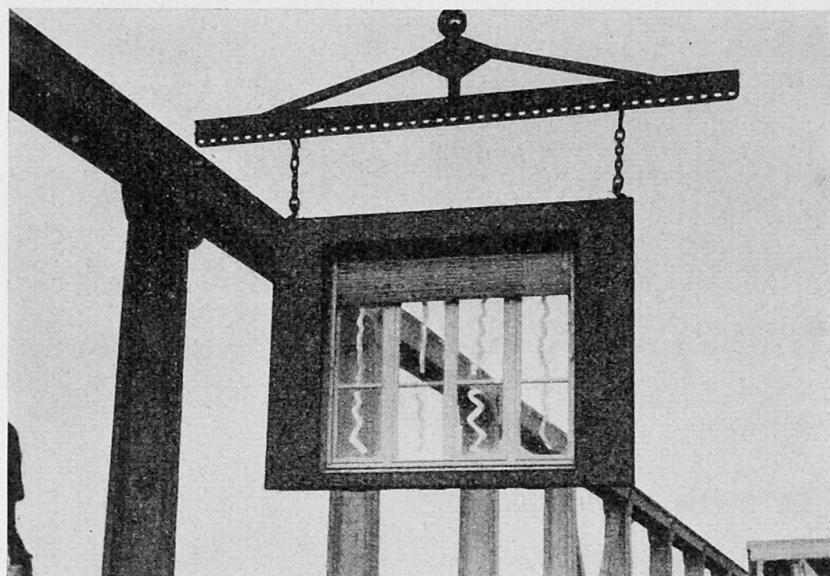


Fig. 7 - Panneau de façade avec menuiserie, serrurerie, vitrerie et volets roulants posés en usine. Parements en pâte de verre (Coignet).

stabilité qui renforce la parfaite concordance des surfaces des divers éléments grâce à leur précision.

— 1,22 - L'usine

L'usine visée est située sur un terrain de cinq hectares. Elle comporte 10.500 m² de surface bâtie dont la moitié couverte, et comprend deux parties essentielles (fig. 4):

- la production
- l'accueil et les services sociaux.

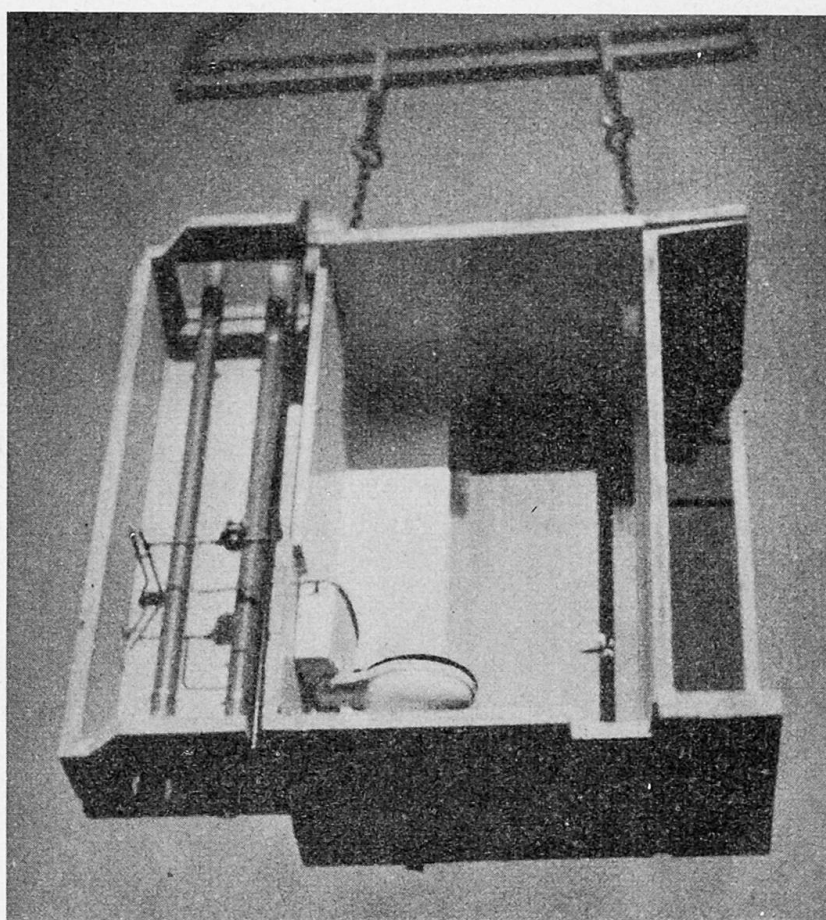


Fig. 7 bis - Bloc technique et sanitaire complètement équipé tel qu'il se présente à sa sortie d'usine (Balency).

— 1,221 - La partie production

Cette partie comprend:

- le stockage des agrégats et la Centrale à béton:
Les camions livrent dans des trémies au sol.

La remontée des agrégats dans des tours de stockage et leur distribution à la centrale à béton est automatique et commandée par un homme qui assure en même temps la marche de la centrale à béton, également automatique.

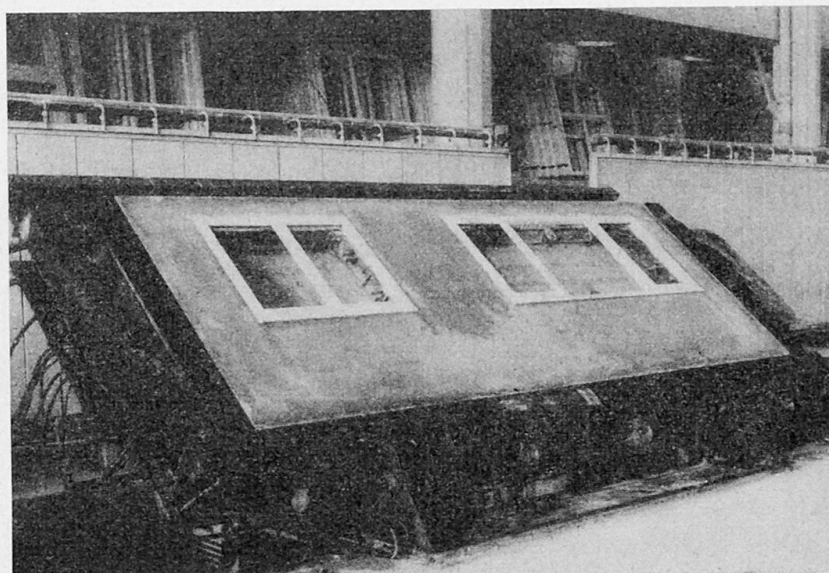


Fig. 8 - Machine pour la fabrication d'éléments de façade de 7 m de long (Coignet).

Les tours à agrégats, sont en béton armé, à claire voie pour permettre un séchage naturel.

— 3 travées couvertes de fabrication, de 18 m \times 54 m, battues par 6 ponts roulants de 8 tonnes, lesquels desservent également le parc de stockage.

Chaque travée correspond à la fabrication d'une catégorie d'éléments et comprend des batteries de moules sur tables chauffantes avec couvercles chauffants.

Les moules sont du type épais à commande par vérins.

Le cycle d'une opération c'est-à-dire le temps d'immobilisation d'une table pour un élément est de quatre heures. Mais l'application prochaine d'un système nouveau de chauffage électrique permettra de réduire cette durée de près de 50%.

A noter que dans certaines usines de ce type, le commande et le fonctionnement des moules se fait par électro-aimant assurant une plus grande souplesse des opérations et plus de facilité pour le nettoyage des moules :

- une centrale de chauffe
- la passerelle de commande
- le poste de ferrailage (armatures)
- l'atelier de mécanique
- l'atelier des « préfnitions », vitrerie, rebouchages, etc....

— 1,222 - La partie accueil et services sociaux

Le partie accueil permet l'exposition des réalisations de l'usine.

Les services sociaux comprennent deux salles de réfectoire avec libre service ou possibilité de réchauffage au choix, une salle de vestiaires, lavabos et douches.

Il est à noter que l'équipement de ces diverses salles est d'une qualité au moins égale à celle des meilleures installations sociales existant dans d'autres industries.

Cette description, un peu brève, n'avait d'autre but que de mieux souligner l'écart grandissant entre la préfabrication foraine avec des installations rustiques, et la fabrication en usine avec ses immenses possibilités de progression sur tous les plans puisqu'aussi bien certains postes évoquent déjà l'automatisation.

1,3 - Amélioration de la qualité

Dans ses débuts on a reproché à la préfabrication lourde non seulement les défauts qu'elle pouvait avoir en propre, mais ceux que l'on n'avait jamais songé à reprocher à la construction traditionnelle.

On peut dire, après dix années de recherches, de mises au point et d'applications que la préfabrication lourde non seulement a su éliminer les vices qui lui étaient spécifiques, mais qu'elle a fortement contribué à améliorer le niveau général des prestations dans le Bâtiment.

On reprochait essentiellement deux défauts à la préfabrication: le manque d'étanchéité des joints entre panneaux et les imperfections de fabrication nécessitant des reprises effectuées sur le chantier avec des mortiers et dans des conditions non identiques à ceux de l'usine. On pouvait donc douter de la tenue de ces reprises dans le temps et par ailleurs la quantité de main-d'oeuvre qu'elles nécessitaient réduisait de façon sensible l'intérêt même du processus de production.

En ce qui concerne l'étanchéité des joints (fig. 9), le problème est maintenant résolu: vide de décompression, double bulbe permettant l'injection contrôlée de ciment et produits d'étanchéité spéciaux, il existe toute une gamme de solutions efficaces. De sorte que s'il arrive encore d'enregistrer une telle défektivité cela relève de la malfaçon mais non plus d'un vice inhérent à la technique au même titre qu'une fissuration du béton dans un ouvrage réalisé avec des méthodes traditionnelles.

En ce qui concerne les imperfections de fabrication, leur pourcentage est devenu négligeable avec les progrès de la fabrication en usine et ceux survenus dans la manutention et les transports. Mais le bilan est aussi positif en ce qui concerne l'amélioration de la qualité des ouvrages.

Du point de vue isolation thermique et phonique, la très grande facilité qu'apporte la préfabrication surtout en usine, pour incorporer dans de mêmes éléments des matériaux de natures différentes a ouvert au Bâtiment des possibilités absolument nouvelles.

Du point de vue revêtements, des solutions qui avec les méthodes traditionnelles n'étaient concevables que pour des immeubles de luxe, sont maintenant, grâce à ces mêmes facilités, couramment appliquées pour les immeubles considérés du point de vue prix comme les plus modestes.

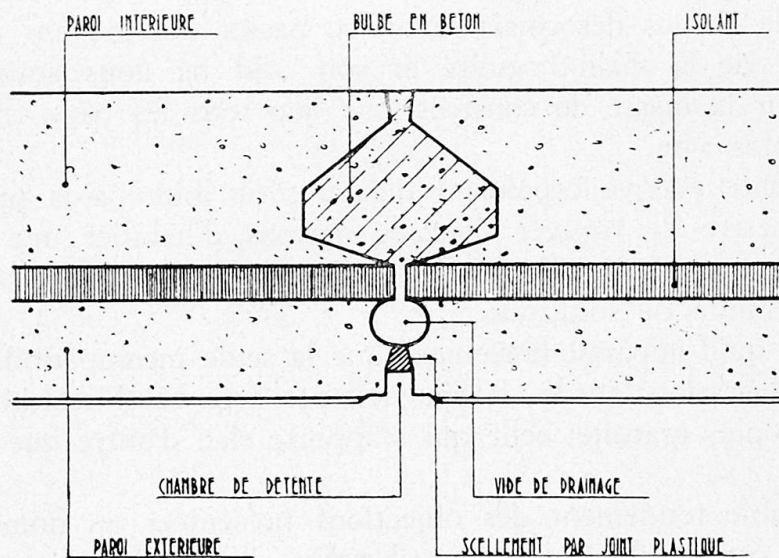


Fig. 9 - Disposition d'un joint de façade.

Et ainsi la préfabrication lourde qui, au départ est apparue comme une prouesse technique uniquement sur le plan de la production, apparaît aussi maintenant comme un moyen d'assurer de bonnes prestations. Au moment où disparaît la main-d'oeuvre hautement qualifiée qui a fait, en France et ailleurs la grandeur du Bâtiment et son Histoire, ce n'est certes pas le changement le moins marquant.

1,4 - La série et l'Architecture

On a dit qu'architecture et préfabrication lourde étaient incompatibles en raison des contraintes techniques et des impératifs de l'économie de cette dernière.

Ecartons tout de suite cet argument facile en faveur de la préfabrication qui consisterait à rappeler que certaines opérations réalisées en traditionnel sont d'une insoutenable monotonie.

Cependant les ensembles d'habitations d'une certaine ancienneté réalisés

bien entendu en traditionnel et que l'on peut qualifier d'architecturaux comportent pour la plupart une grande répétition. Il en est ainsi à Paris des immeubles de la place des Vosges, de ceux qui bordent les Tuileries et de bien d'autres.

Mais tous comportent des éléments de structures ou des décors que personne ne songe à rééditer parce que c'est économiquement impossible. Or ce sont précisément ces éléments et ces décors qui, avec le cadre, confèrent leurs grandeurs à ces ensembles.

La vérité — qu'il s'agisse de techniques traditionnelles ou de préfabrication — est que pour conférer une certaine grandeur ou un certain charme à un ensemble il faut désormais savoir se passer des moyens d'expression que la rareté de la main-d'oeuvre et son coût ne nous autorisent plus, du moins pour la masse de constructions que tous les pays ont à réaliser de plus en plus vite.

L'expérience prouve cependant que la série jointe à la préfabrication peuvent permettre de trouver d'autres moyens d'habiller une façade, un hall ou une cage d'escalier. Dans cette voie en effet la préfabrication lourde permet une infinité de solutions.

De sorte qu'il apparaît finalement que la seule incompatibilité que présente la préfabrication lourde ait lieu non pas avec l'architecture, mais avec la diversité la plus gratuite, celle qui n'apporte rien d'autre que le déplaisir de l'oeil.

Le véritable fondement des objections présentées au nom de l'architecture contre cette technique est à rechercher ailleurs. Il est essentiellement

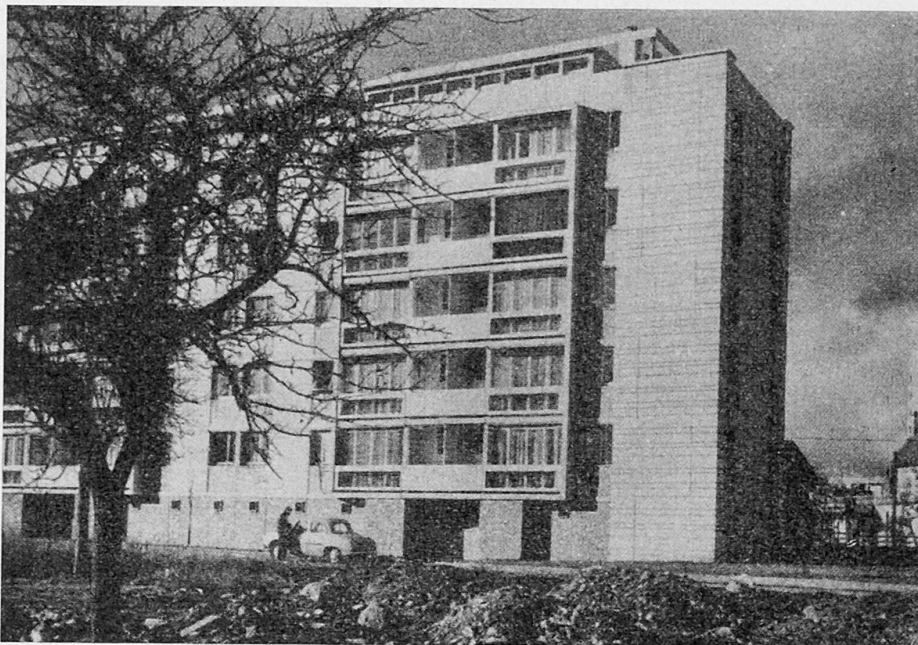


Fig. 10 - Mont St Aignan Bâtiment bas (préfabrication foraine) (Cofeba).

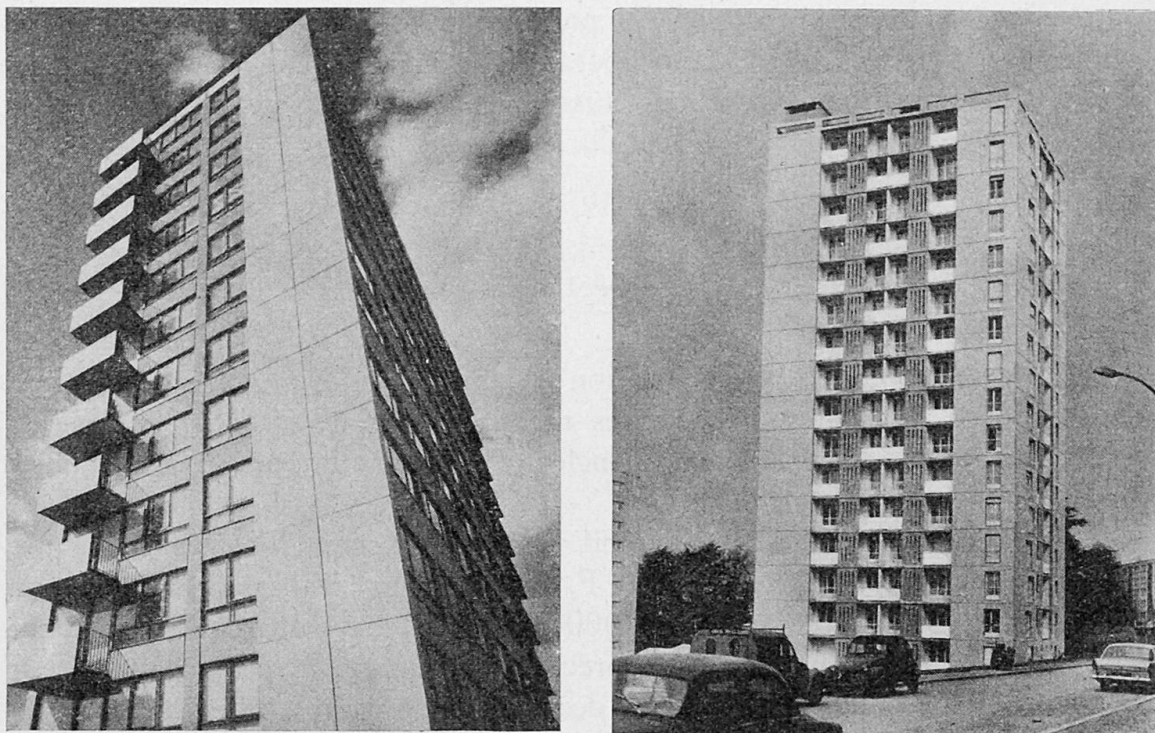


Fig. 11 et 12 - France. Bâtiments hauts. (Balency, Coignet).

dans les changements de comportement qu'elle exige des architectes et à un degré moindre des maîtres d'ouvrage.

La préfabrication lourde en industrialisant le Bâtiment tend à remplacer une prestation de façonnier en une production industrielle qui, comme toute production industrielle implique pour son économie, sa rentabilité et dirons-nous sa pureté, une unité, elle, difficilement compatible avec les comportements traditionnels des différents participants à la construction.

Ainsi lorsque l'on parle des contraintes que représentent pour l'architecture, les séries nécessitées pour la production de tel ou tel élément, l'incidence des formes et des dimensions de ces éléments sur le parti de l'architecte, l'intérêt qu'il y a à réduire le nombre des éléments de chaque type, on oublie de voir que s'il y a contrainte c'est du fait du caractère occasionnel de l'intervention de l'architecture et surtout d'une habitude ancestrale à ne tenir, lors de la conception, à peu près aucun compte des dimensions des matériaux qui seront utilisés.

Or, des recherches récentes conduites de concert par des industriels des panneaux lourds avec des architectes de renom international, ont montré quelle diversité insoupçonnée peut être obtenue en préfabrication lourde sans aucune augmentation du nombre des moules lorsque l'architecte se penche avec le fabricant à la fois sur l'esthétique et sur l'économie de la production (fig. 10, 11 et 12).

On peut dire que l'indispensable présence de l'architecture dans la

construction moderne suppose de la part des maîtres d'ouvrage auteurs de programmes un supplément de coopération, et de la part des architectes, que ces derniers soient désormais aussi près des producteurs qu'ils l'ont été au temps de leur passé le plus glorieux.

1,5 - Aspect financier

Les installations de préfabrication lourde, qu'elles soient foraines ou en usines fixes, présentent entre elles tant de différences, qu'il faut nécessairement s'attendre sur le plan financier à un écart important entre leurs coûts d'établissement.

On peut situer celui d'un grand nombre d'usines foraines dans une fourchette de 400.000 à 2.000.000 F. et celui des usines fixes dans une fourchette de 2.000.000 à 10.000.000 F. Mais ces chiffres en soi n'ont aucun sens car sans une analyse précise de ce qu'ils recouvrent, il est absolument impossible d'en déduire des coûts comparables de dépense par logement.

La principale raison en est la grande différence entre les degrés mêmes d'intégration des tâches traditionnelles pour chaque procédé.

Telle usine foraine sort uniquement des murs sans incorporation d'aucun élément d'équipement, telle autre, à rusticité égale, sort les murs d'une grande précision mais rien d'autre, tandis que cette autre sort des blocs complexes pesant plus de 10 tonnes et correspondant à une partie de logement.

Par ailleurs certaines usines foraines qui se contentent d'installations encore rudimentaires ne comportant par exemple aucun système d'étuvage, ne nécessitent qu'une dépense restreinte d'établissement. Par contre leur processus de fabrication oblige, en raison du temps de séchage avant manutention, à des stocks plus importants. Il y a donc simple déplacement des postes de dépenses.

Il apparaît ainsi, et c'est logique, qu'aucune comparaison sérieuse des coûts d'établissement ne peut être faite sans analyser ce que recouvre les investissements non seulement sur le plan de la production mais aussi sur le plan des études et sur le plan social.

Or l'écart qui va sans cesse grandissant entre les installations, au point de faire apparaître à une extrémité, une manière d'artisanat de la préfabrication, condamne cette comparaison.

Nous nous bornerons donc ici à souligner les seuls points qui nous semblent importants.

C'est d'abord que les dépenses d'installations des usines fixes les plus évoluées qui avoisinent 10.000.000 F. pour une production journalière de 4 logements par jour, susceptible d'ailleurs d'être accrue au prix d'un

supplément insignifiant d'installations, sont, rapportées au logement, encore peu importantes.

En effet si l'on admet de compter l'amortissement du matériel direct de production sur 5 ans et les bâtiments sur 10 ans, on arrive pour une préfabrication presque intégrale à un amortissement de l'ordre de 2.000 F. par logement soit environ 7 % du prix de vente du logement et moins de 10% de la part de la production intéressée directement par la préfabrication.

Bien que ce pourcentage soit relativement peu élevé il serait certainement abaissé si un système de coordination modulaire permettait d'assurer plus facilement la continuité et le plein emploi des installations à deux postes de travail.

Il faut en outre tenir compte qu'il comprend aussi l'amortissement d'installations sociales importantes destinées à assurer aux ouvriers un confort en tous points comparable à celui qui se développe dans nombre d'industries plus évoluées.

Sans doute ne comprend-il pas les dépenses exposées pour les études et la recherche, dont le poste correspondant tend à devenir de plus en plus important. Mais une large part de ces dépenses est à répartir non sur la production d'une usine donnée mais sur l'ensemble de la production des usines appliquant le même procédé y compris naturellement les opérations des licenciés.

Ceci explique le processus des licenciés qui permet à des entreprises, moyennant une redevance assez faible, de bénéficier d'une « invention » et aussi d'une organisation de fabrication avec toutes les mises au point réalisées d'année en année et dont ce processus leur permet de faire l'économie.

II - La préfabrication lourde dans la construction industrielle

Le rôle de la construction industrielle consiste essentiellement à offrir à l'utilisateur:

- une aire de travail permettant la manutention, la transformation et le stockage d'objets,
- des possibilités de manutention,
- et souvent un toit et des conditions de confort convenables (acoustiques, thermiques et éclairage).

Il est évident que ces conditions sont très variables d'un utilisateur à l'autre et que le constructeur ne réalisera pas de la même façon un quai d'armement pour chantier naval qu'une halle pour tissages; aussi notre communication se bornera-t-elle à faire ressortir les principales caractéristiques de la préfabrication lourde sur un seul exemple que nous avons choisi comme étant très représentatif.

Il s'agit d'un entrepôt général de matériel électronique comportant une surface couverte de 40.000 m² environ réalisée en 9 mois par tranches successives qui ont été mises en exploitation à mesure de leur livraison. C'est ainsi que deux mois après l'ouverture du chantier la première tranche était occupée.

Les bâtiments sont tous analogues et comportent une série de halles parallèles de 20 m d'ouverture avec lanterneau axial continu en polyester renforcé, cintré, autoportant constituant une bande d'éclairage naturel de 4 m de large (fig. 13).

La hauteur minimale libre de 5 m s'élève jusqu'à 7 m à la clé des voûtes sans qu'aucun obstacle intérieur limite les possibilités de stockage.

La manutention est prévue par chariots élévateurs, le tracé des voies de circulation à l'intérieur des magasins est résolu avec aisance en raison de l'espacement des poteaux porteurs distants de 12 m.

Des joints de dilatation transversaux disposés tous les 36 m et les lanterneaux, constituant des coupures naturelles longitudinales tous les 20 m, définissent des cellules élémentaires de bâtiment de 720 m².

2,1 - Eléments

Chaque cellule élémentaire standard du bâtiment est autostable et constituée intégralement à partir d'éléments préfabriqués juxtaposés et assemblés par précontrainte (fig. 14).

Les 4 éléments essentiels sont:

- les poteaux courants et les poteaux de joints
- les éléments de rive de couverture adjacents aux poteaux
- les éléments intermédiaires de la couverture
- les tirants disposés en tête de poteaux.

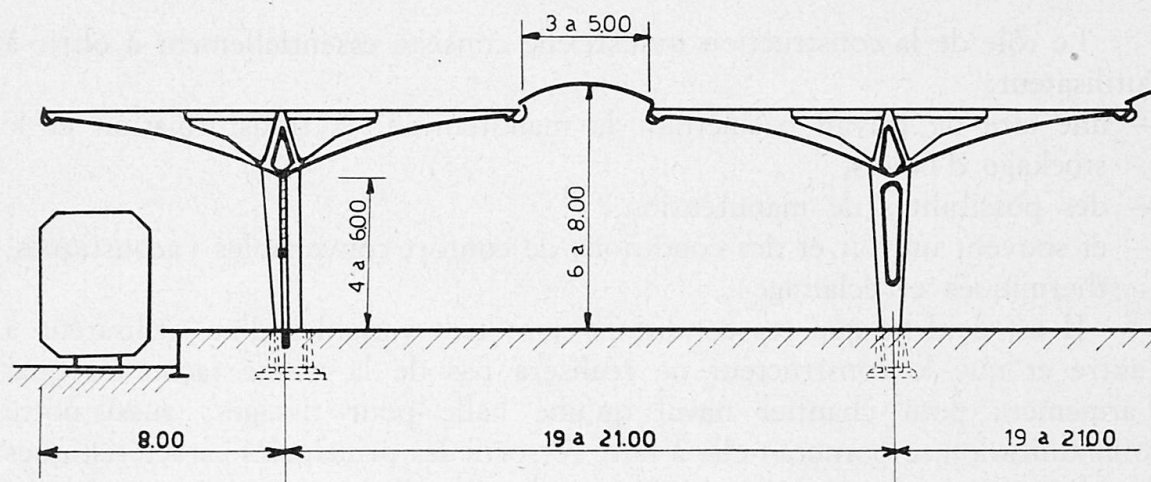


Fig. 13 - Halle d'usine, coupe transversale (Boussiron).

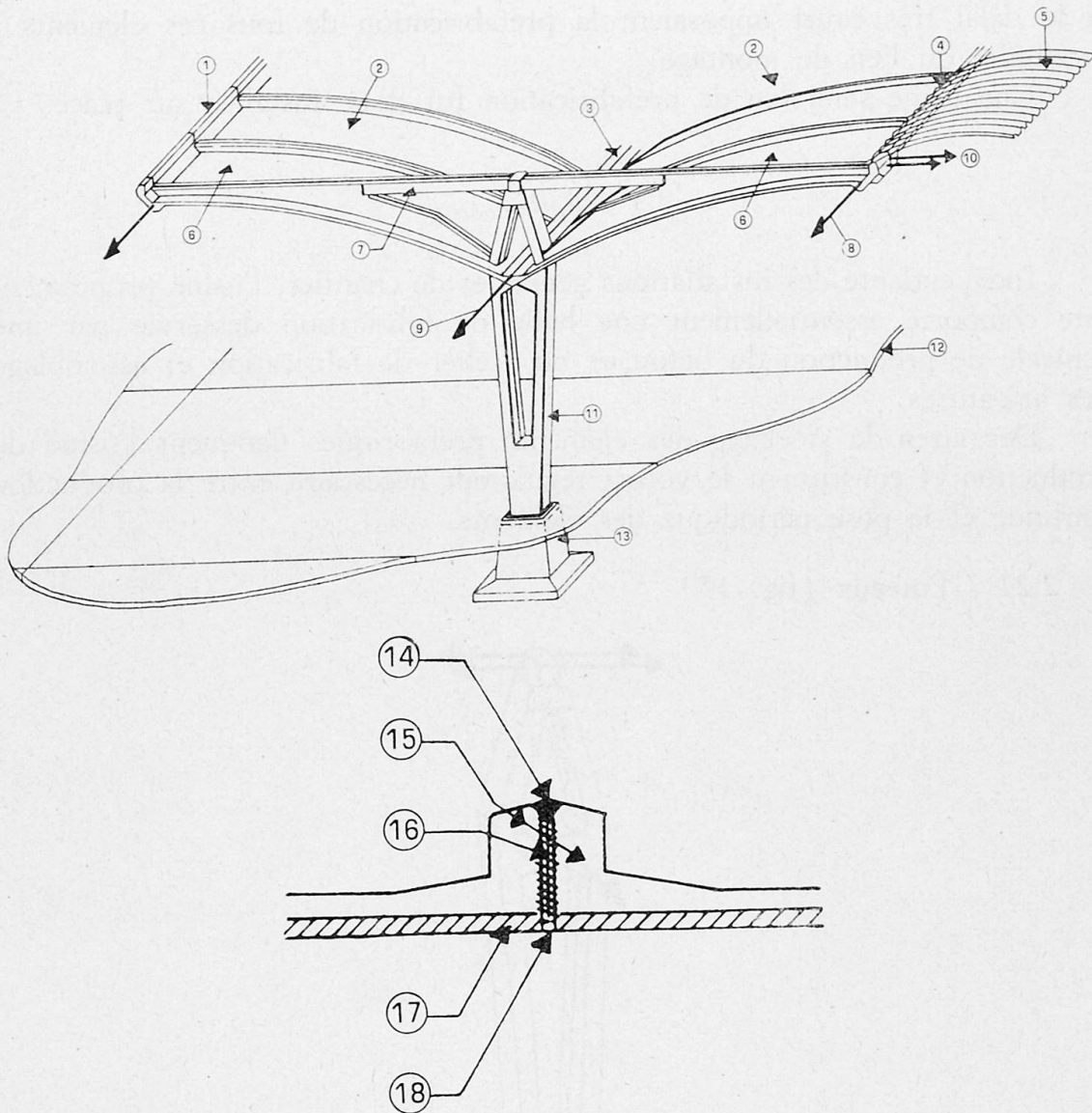


Fig. 14 - Halle d'usine, vue perspective: 1, Faitière - 2, Eléments intermédiaires - 3, Sablière - 4, Faitière - 5, Lanterneau - 6, Eléments de rive - 7, Tirants - 8, Câble de précontrainte de faitière - 9, Câble de précontrainte de sablière - 10, Câble de précontrainte du tirant - 11, Poteau - 12, Dallage - 13, Semelle.
 Détail d'un joint - 14, Cordon étanche - 15, Eléments préfabriqués - 16, Joint coulé au mortier de ciment - 17, Fibre agglomérée - 18, Rail Oméga.

Après la pose des éléments et le garnissage des joints, l'assemblage de ces différentes pièces est assuré par précontrainte au moyen de câbles disposés:

- dans le tirants
- dans les faitières
- dans la sablière.

L'importance exceptionnelle de la surface à réaliser en un même site

et le délai très court imposaient la préfabrication de tous ces éléments à proximité du lieu de montage.

Une usine semi-fixe de préfabrication fut donc installée sur place.

2,2 - Fabrication

Indépendante des installations générales de chantier, l'usine proprement dite comporte essentiellement une halle de fabrication desservie par une centrale de production du béton et un atelier de fabrication et assemblage des armatures.

Des aires de stockage des éléments préfabriqués flanquent l'usine de production et constituent le volant régulateur nécessaire entre la production continue et la pose périodique des éléments.

— 2,21 - Poteaux (fig. 15)

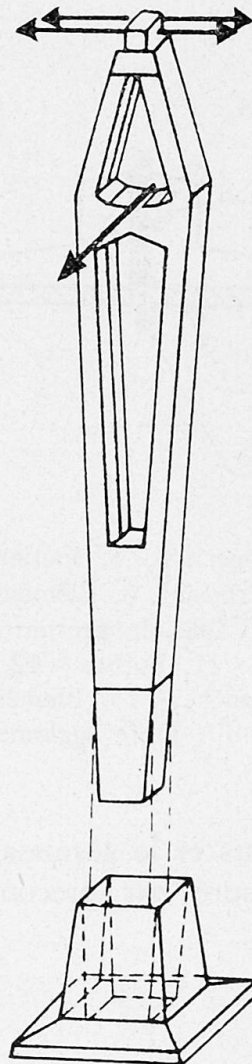


Fig. 15 - Semelle et poteau courants.

Le cycle de fabrication d'un *poteau* commence par le nettoyage et le graissage du moule métallique ouvrant dont la conception est telle qu'elle permet la production d'un poteau courant ou d'un poteau de joint.

Une plateforme sur lorries puis le pont-roulant transportent l'ensemble de la carcasse métallique constituant l'armature préfabriquée d'un poteau jusqu'au moule.

Le moule fermé et réglé reçoit alors le béton.

Pour produire le nombre d'éléments nécessaires quotidiennement avec un seul moule il fallait recourir à l'*étuvage* du béton sous cloches isothermes.

Afin de permettre au processus de prise du béton de s'amorcer à température normale l'admission de la vapeur s'effectue après une période d'au moins une heure, puis la température s'élève à 30° pendant une heure et demi (une génératrice centrale produit la vapeur distribuée dans l'ensemble de l'usine).

Au cours d'une seconde phase de chauffage de trois heures la température est élevée puis maintenue à 80°.

Après une période de refroidissement variable selon le programme d'utilisation des cloches dans l'ensemble de l'usine mais toujours aussi longue que possible, le pont roulant enlève la cloche et la transfère sur un autre moule.

Le béton a alors acquis, grâce au traitement thermique, une résistance équivalente à celle que l'on obtiendrait après un durcissement de 3 jours à une température normale moyenne de 15°, et l'on effectue le démoulage: le levage du poteau est possible sans risque.

Le poteau achève d'acquies une résistance normale après une période minimale de trois jours d'attente sur aire de stockage.

— 2,22 - Couverture (fig. 16)

Les éléments de couverture sont exécutés au moyen de 6 moules horizontaux disposés parallèlement:

- 2 moules permettant la fabrication des éléments de rive avec nervure latérale à droite ou à gauche
- les 4 autres moules sont destinés à la production d'éléments intermédiaires tous identiques.

Après l'opération de nettoyage des coffrages latéraux du moule, la deuxième phase du cycle de fabrication comporte la mise en oeuvre de panneaux de fibre de bois agglomérée au ciment qui assurent une *isolation thermique* continue au long de la face interne de la couverture.

La carcasse d'armature entièrement préfabriquée et provisoirement raidie par un palonnier spécial est posée au pont roulant. Puis le moule est fermé après application d'huile de décoffrage et d'un produit spécial retardateur de prise superficielle facilitant le traitement des zones de reprise.

Des pervibrateurs dans les nervures et des dames vibrantes pour les voiles minces de grande étendue et de faible épaisseur facilitent la mise en

place du béton et réalisent son serrage. Une feuille de polyéthylène, disposée à la surface du béton frais après réglage et talochage, permet d'éviter le contact direct de la vapeur d'étuvage et du béton ainsi que l'érosion superficielle par les eaux de condensation.

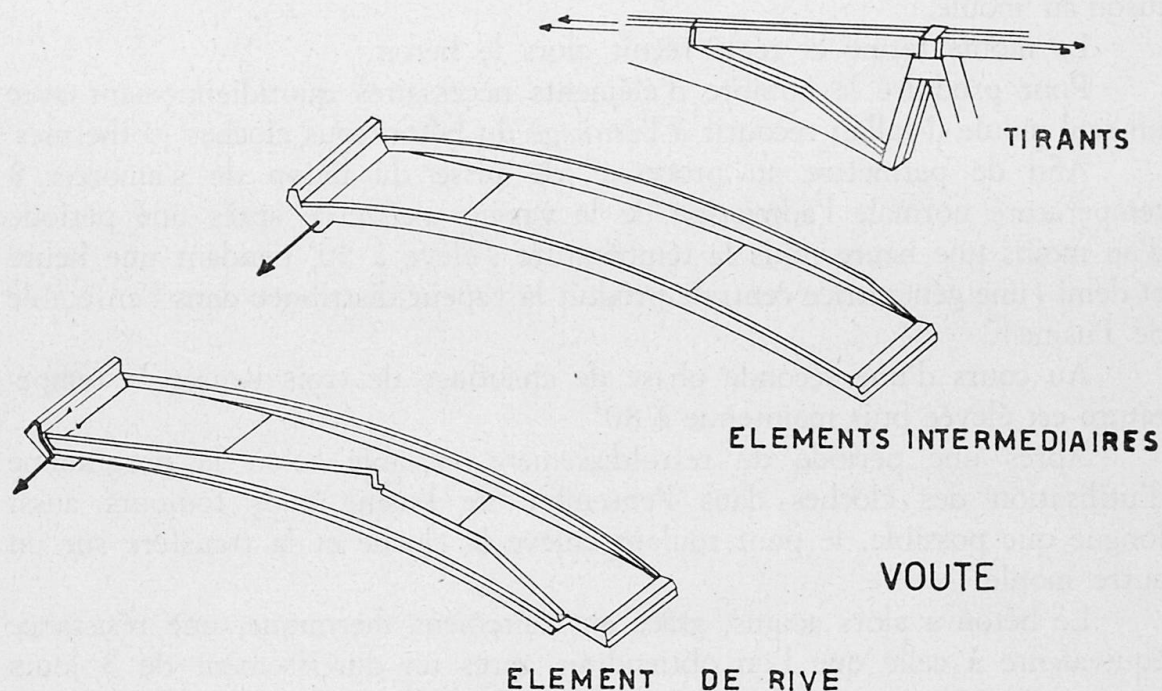


Fig. 16 - Eléments de couverture.

Le cycle de traitement thermique est identique à celui des poteaux. Sa mise au point et le contrôle de son efficacité ont donné lieu à une série de mesures de température par couples thermo-électriques au cours des premiers moulages d'essai. Bien que ces mesures aient permis de constater que le choc thermique n'était pas à craindre en cas d'enlèvement rapide de la cloche d'étuvage, un refroidissement lent reste néanmoins souhaitable. On obtient ainsi l'efficacité maximale du traitement chaque fois que le programme de utilisation des cloches le permet.

Afin d'éviter toutes contraintes de flexion excessives dans le béton encore relativement jeune, l'enlèvement et toutes les manipulations successives des éléments sont effectués au moyen des 6 ventouses de grande surface suspendues aux appareils de levage.

Le parc de stockage des éléments préfabriqués peut recevoir la production de l'usine correspondant à une semaine de travail. Pour limiter sa surface et donner aux éléments de voûte des conditions d'appui telles qu'ils ne se déforment pas au cours de la période d'attente, le stockage est effectué sur champ. Les éléments doivent donc, au cours de leur transport de l'usine au stock, subir un pivotement de 90° autour de leur axe longitudinal.

La préfabrication des éléments des tirants complète la gamme de production de l'usine qui atteint ainsi 20 m^3 par jour, soit 50 tonnes de pièces moulées.

2,3 - Manutention et assemblage (fig. 17)

Le chantier de montage des bâtiments est contigu à l'usine de préfabrication, le transport des éléments s'effectue donc sur une distance réduite ne dépassant pas 300 m. Des remorques sur pneus spécialement conçues pour recevoir des éléments courbes ou rectilignes, sont aisément tractées sur les dallages exécutés préalablement.

Les fondations spéciales du bâtiment constituées par des puits d'une profondeur de 4 à 6 m comportent en tête une alvéole en tronc de pyramide destinée à recevoir le pied des poteaux préfabriqués.

La reprise au stock est effectuée avec les mêmes chariots basculant et selon le processus inverse du stockage.

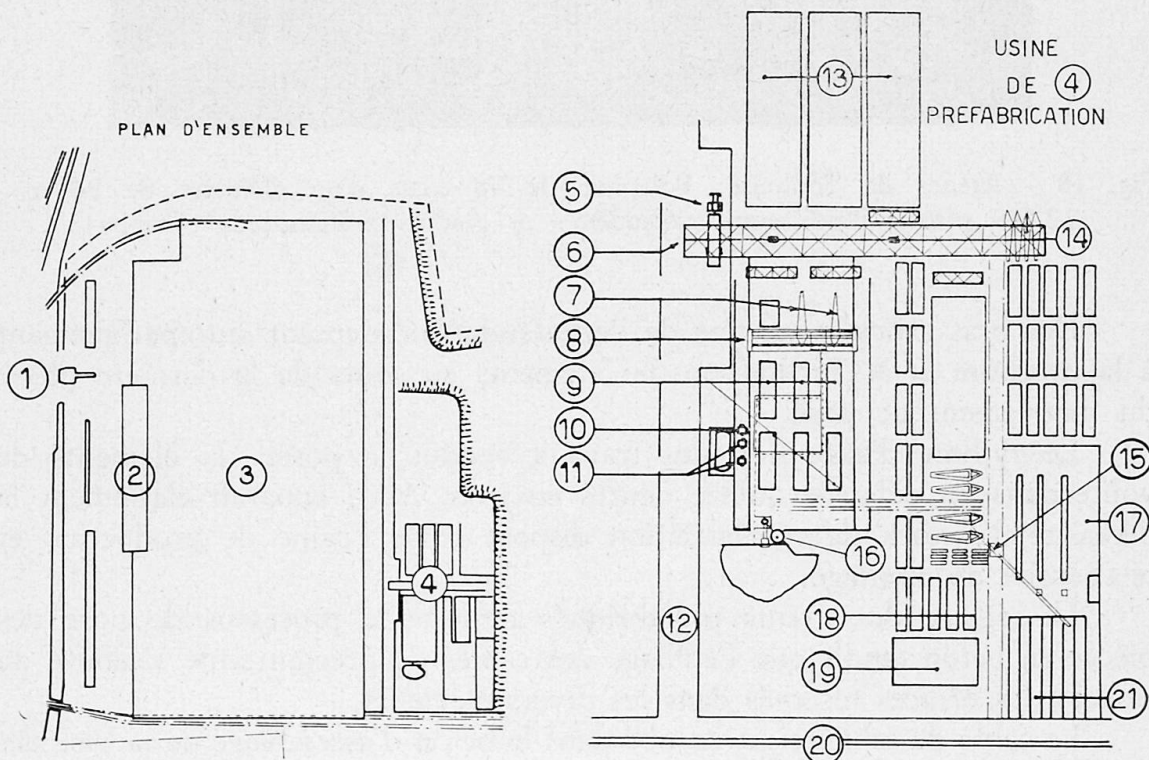


Fig. 17 - Chantier de montage et usine de préfabrication: 1, Rue du cat. Rolland - 2, Bâtiment administratif - 3, Magasins Generaux - 4, Usine de préfabrication - 5, Tracteur et remorque - 6, Monorail - 7, Moules de poteaux et tirants - 8, Pont roulant - 9, Moules éléments de voûte - 10, Compresseur - 11, Générateurs de vapeur - 12, Route de service - 13, Stockage éléments de voûte - 14, Stockage poteaux et tirants - 15, Grue de parc - 16, Centrale à béton - 17, Préparation armatures - 18, Stock des armatures - 19, Stock des fibres agglomérées - 20, Voie ferrée - 21, Stock acier.

Le portique de pose, équipé de deux plans électriques de 7 t chacun et d'un palonnier identique à ceux de l'usine reprend, soulève et transporte chaque élément jusqu'à sa position finale sur l'échafaudage roulant.

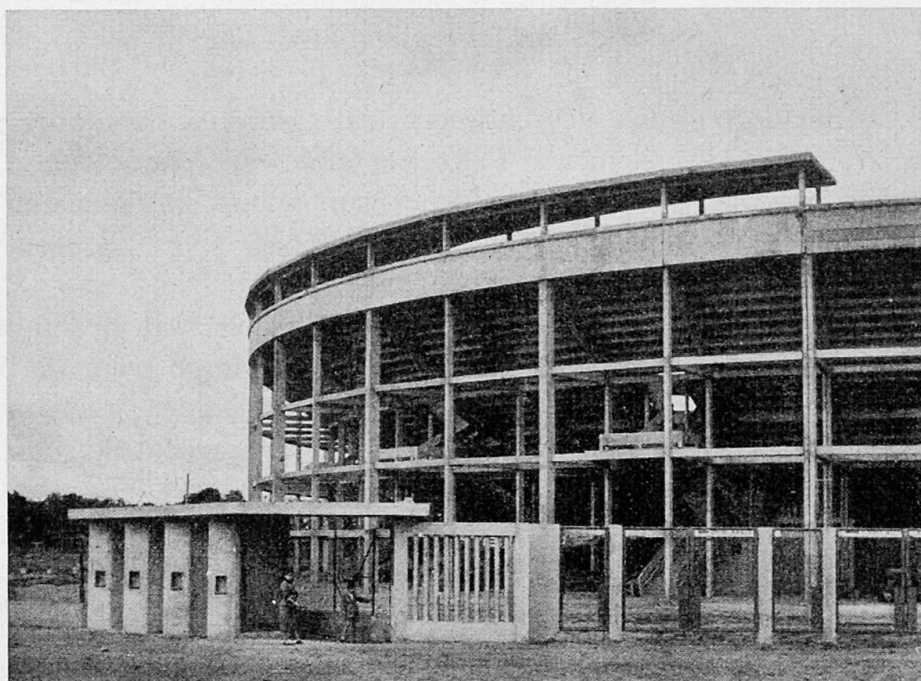


Fig. 18 - Arènes de Toulouse: Polygone de 48 cotés d'un diamètre de 94 m - 12.500 places. Raidisseurs, crémaillères et gradins préfabriqués (Cofeba).

Des bras articulés en tête de l'échafaudage s'adaptent automatiquement à la courbure et à l'inclinaison des éléments au cours de la dernière phase du mouvement de pose.

Le rythme d'exécution des travaux conduit à poser six éléments de voûte dans un délai de quinze heures environ. Ainsi apparaît clairement la nécessité du stock de régularisation disposé entre l'usine de production et le chantier de montage.

Le réglage des tirants préfabriqués termine le processus de pose des pièces en béton tandis que l'enfilage des câbles de précontrainte s'achève au travers des orifices réservés dans les divers éléments.

Le câble de sablière est enrobé dans le béton d'assemblage de la base des éléments de voûte et les joints latéraux sont bourrés au moyen de mortier de ciment à haute résistance initiale.

Après deux jours de durcissement des joints, l'application de la précontrainte développe les forces d'assemblage nécessaires à la stabilité de l'ensemble.

Une vérification de la résistance du béton précède l'opération de mise en tension des câbles.

Libéré des charges de la couverture au cours de l'opération de précontrainte, l'échafaudage roulant est ensuite ripé jusqu'à l'emplacement de la tranche suivante de bâtiment.

Des procédés analogues ont permis de réaliser les diverses constructions industrielles que représentent les figures 18 à 23 dont les légendes nous semblent suffisamment explicatives pour qu'aucun texte ne les commente.

III - La préfabrication lourde dans les travaux publics

La préfabrication est employée depuis longtemps déjà pour la réalisation de certains travaux publics. Mais, utilisée tout d'abord à des usages restreints ou en raison des avantages limités qui seuls lui étaient autrefois reconnus, cette méthode prend de nos jours une constante expansion au fur et à mesure que se répandent les principes de l'organisation du travail et qu'apparaissent de nouveaux moyens d'ordre chimique, physique et mécanique.

Nous ne pouvons ici aborder de façon même très incomplète tous les aspects de la préfabrication dans les Travaux Publics.

Les méthodes de fabrication conduisent comme pour le bâtiment, à

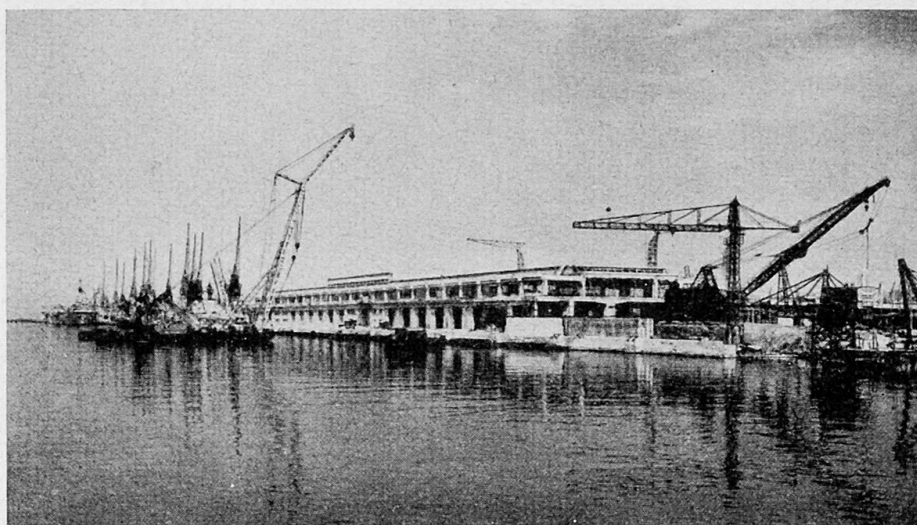


Fig. 19 - Gare maritime du Havre 1952. Fabrication à Rouen à 90 km du chantier - transport par wagons - 1600 éléments de 12,50 x 2,00 pesant 12 t. Poutres maîtresses fabriquées par tronçons. Poutres support de shed de 20,00 m et pesant 26 t. Assemblage par précontrainte (Campenon Bernard).

subdiviser les travaux en deux phases distinctes: la fabrication des éléments et leur mise en place.

Nous avons choisi, faute de place, de parler en matière de préfabrication des éléments de ponts-routes, préfabrication qui a pris une grande importance depuis la dernière guerre, puis, en évoquant les différents modes de mise en place des éléments, classés suivant les mouvements réalisés au cours

de la mise en place, d'illustrer les techniques correspondantes par quelques exemples marquants de réalisation.

3,1 - Les ponts-routes en éléments préfabriqués de béton

— 3,11 - Ponts à poutres multiples sous chaussée

Les ponts-routes à poutres multiples sous chaussée sont très fréquemment exécutés par préfabrication des poutres qui, une fois mises en place,

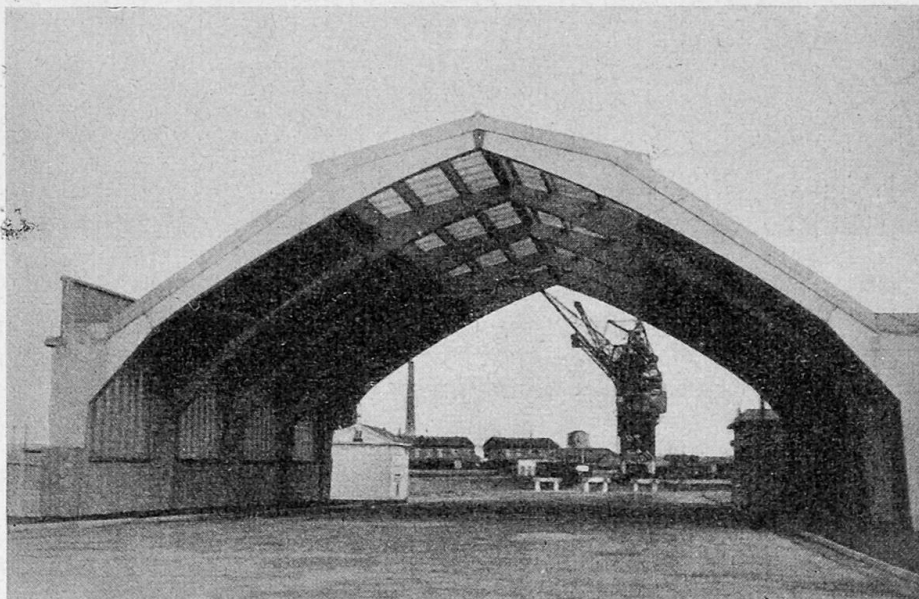
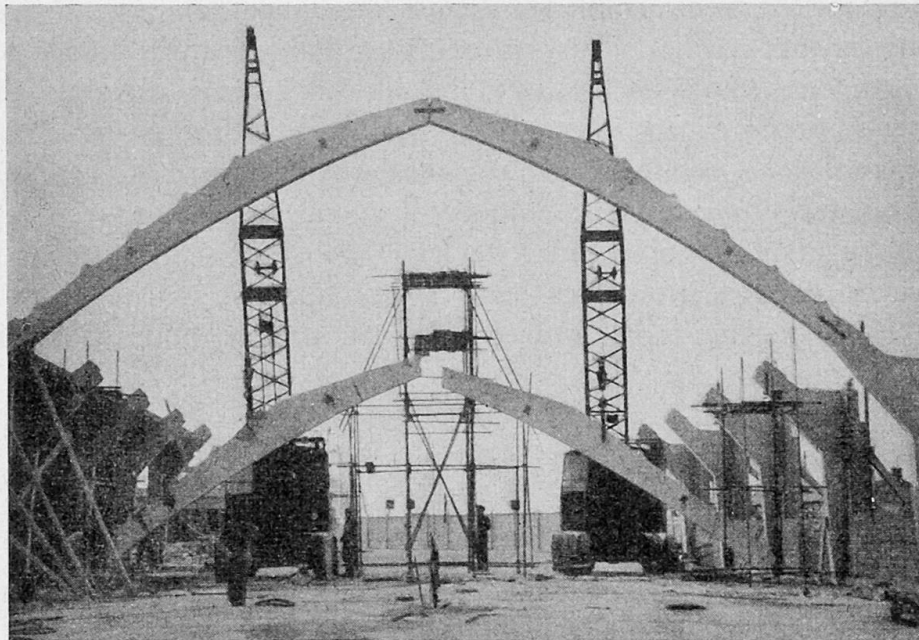


Fig. 20 et 21 - Gare routière de Calais. Arcs préfabriqués en deux éléments posés simultanément (Sainrapt et Brice).

sont solidarisées entre elles au moyen d'entretoises, généralement bétonnées in situ en même temps que les hourdis sous chaussée. Le procédé est appliqué aussi bien lorsque les poutres sont en béton armé que dans le cas très fréquent où on les exécute en béton précontraint, qu'il s'agisse de travées indépendantes ou de travées continues.

Dans tous les cas, les liaisons du hourdis bétonné in situ aux poutres préfabriquées sont étudiées et réalisées en sorte que ce hourdis soit en mesure de participer, comme élément de leurs membrures supérieures, à la flexion des poutres due aux forces appliquées après solidarisation.

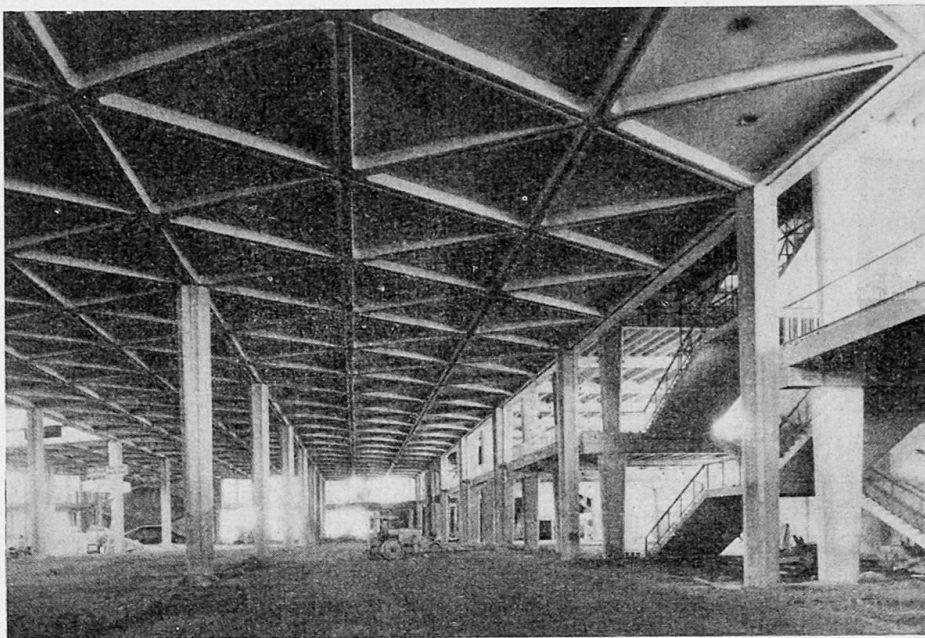
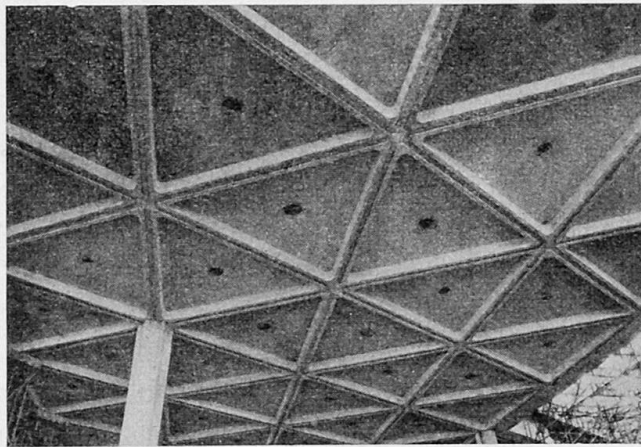


Fig. 22 et 23 - Palais du Centre National des Industries Techniques (CNIT au Rond Point de la Défense, Paris). Plancher central de 11.000 m² constitué de 1400 dalles triangulaires de 6 m de coté assemblées sur place par précontrainte en groupes de 9. Eléments préfabriqués à Nanterre et amenés par remorques routières (Balency, Boussiron, Coignet).

Lorsque les poutres sont en béton armé la section transversale d'une poutre préfabriquée est en double T dissymétrique. Sa table supérieure a une épaisseur inférieure à celle du hourdis sous chaussée auquel elle se trouve incorporée en situation définitive. Des armatures destinées à assurer la liaison avec le hourdis coulé en place dépassent verticalement et latéralement de la table supérieure. Les sections et écartements de ces armatures sont déterminées par application de la règle des coutures.

Les entretoises peuvent être pleines ou en treillis. Pour une portée de 30 m environ, un pont de ce type revient sensiblement au même prix qu'un pont en béton précontraint; pour les portées inférieures à 30 m il est souvent plus économique que ce dernier, lequel au contraire, reprend l'avantage pour les portées supérieures à 30 m.

Les ponts du type considéré construits en béton précontraint sont très nombreux. On a commencé à en construire en 1945 et, depuis cette époque, de nombreux perfectionnements ont été apportés aux méthodes de constructions initialement adoptées. A l'heure actuelle, on réalise des ouvrages très légers, dans lesquels l'écartement entre poutres atteint 3,50 à 4,00 m, l'épaisseur des hourdis étant alors de 0,18 à 0,22 m et celle des âmes des poutres de 0,16 à 0,18 m. Le système est économique jusqu'à 60 à 70 m de portée en travée indépendante.

Dans la grande majorité des cas, les poutres sont préfabriquées avec leur hauteur de section définitive et elles portent des amorces d'entretoise. Les hourdis sont bétonnés entre tables supérieures des poutres préfabriquées mises en place. Ils sont précontraints transversalement au moyen des câbles ou de barres enfilés dans des trous ménagés dans les tables supérieures des poutres. Les entretoises sont bétonnées entre tranches des amorces dont sont pourvues les poutres, le hourdis, bétonné en même temps qu'elles, forme leur table supérieure; elles sont précontraintes par câbles ou barres passant par des trous ménagés dans les âmes des poutres.

Les précontraintes transversales ainsi réalisées assurent à la fois la solidarisation complète des éléments du tablier et la résistance à la flexion transversale du hourdis et des entretoises (fig. 24).

- Les coffrages des poutres préfabriquées sont en bois lorsqu'il y a peu de poutres à fabriquer et en acier quand il y en a beaucoup (à partir de 40 poutres environ). Les fonds de moules sont organisés en vue de permettre une vibration énergique. Les éléments des flancs doivent être étudiés pour pallier les effets du retrait longitudinal et vertical.
- La fabrication est organisée en sorte que chaque poutre puisse être bétonnée sans discontinuité. La résistance à la compression demandée pour le béton à 90 jours d'âge est généralement de 450 kg/cm^2 autorisant, selon les règlements français, une contrainte de compression de $0,28 \times 450 = 126 \text{ kg/cm}^2$ en service. Le béton est habituellement dosé à 400 kg/m^3 de CPA 210-325.

Par étuvage du béton à la vapeur à 70°C , on a pu dans certains cas, arriver à fabriquer une poutre en 24 h (mise en place des coffrages, des aciers et bétonnage dans la journée, étuvage la nuit, mise en tension des câbles et enlèvement des coffrages dès le matin du jour suivant) (fig. 25).

Les « câbles » dont la tension crée les précontraintes sont en réalité des faisceaux soit de fils en acier dur $\varnothing 7$ ou $\varnothing 8$, soit de torons $\varnothing 1/2$. Leur tension initiale n'est pas limitée par les règlements français, elle est souvent de 120 kg/mm^2 hors ancrages; certains maîtres d'ouvrage

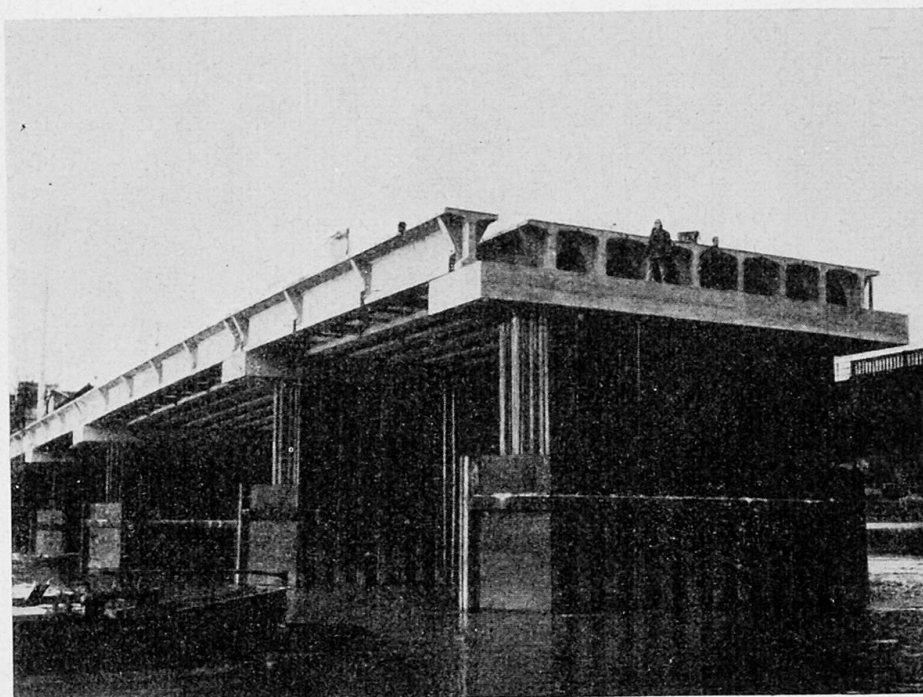


Fig. 24 - Pont provisoire de Courbevoie en poutres préfabriquées solidarées par précontrainte (Campenon - Bernard).

prescrivent des tensions plus élevées (jusqu'à 130 kg/mm^2 pour des fils dont la résistance à la traction garantie par les fournisseurs est de 140 kg/mm^2).

L'emploi de l'huile soluble anti-corrosive, qui diminue les frottements des câbles dans leurs gaines est fréquent.

En règle générale, on ne tend qu'une fraction des câbles d'une poutre sur l'aire de préfabrication. Le complément est tendu après exécution des bétons mis en place in situ et solidarisation de ceux-ci aux poutres préfabriquées. La tension des câbles précontraint alors la section totale du tablier.

— La technique d'injection au mortier colloïdal des vides entre un câble et la gaine qui le contient a été soigneusement mise au point; des mesures faites sur différents chantiers ont montré que le volume de mortier injecté atteint couramment 98% du volume à remplir.

- Les procédés les plus divers ont été utilisés pour le déplacement des poutres depuis l'aire de fabrication jusqu'au lieu d'emploi ainsi que pour la mise en place des poutres. Une poutre préfabriquée isolée est généralement peu résistante à la flexion latérale et à la torsion; il est donc nécessaire de s'assurer qu'elle ne risque pas de périr par déversement latéral au cours du transport et du levage et qu'avant exécution des bétons coulés in situ, elle est en état de résister au vent. La théorie classique du déversement latéral a été tendue en vue de la rendre applicable à la solution des problèmes ainsi posés.

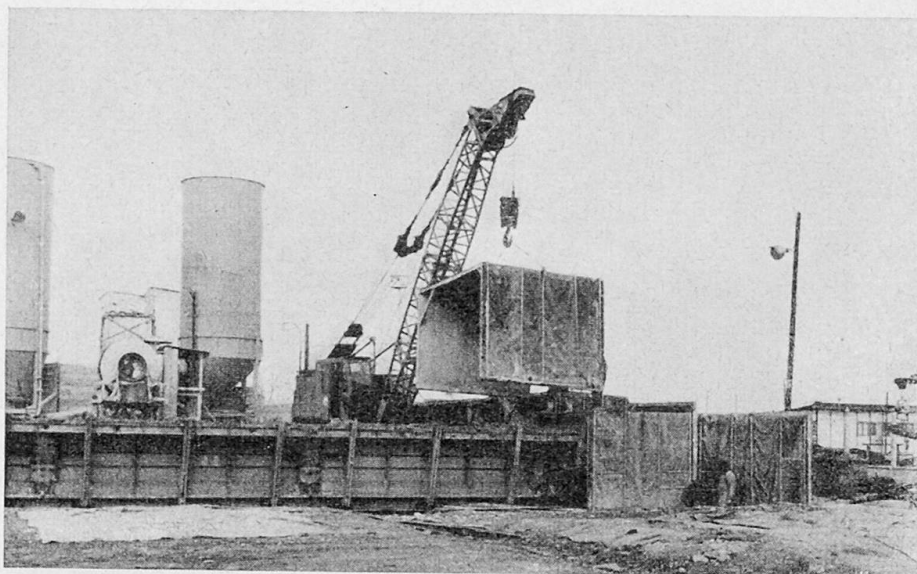


Fig. 25 - Pont de Courbevoie, chantier de préfabrication des poutres: mise en place des couvertures isolantes avant étuvage (Campenon - Bernard).

- Les ponts à poutres multiples préfabriqués sont le plus souvent des travées ou des suites de travées indépendantes. On a toutefois réalisé des travées continues et des travées cantilevers. Dans les ouvrages à poutres continues, la continuité a été réalisée par précontrainte.
- 3,12 - Ponts à voussoirs (fig. 26 et 27)
 Dans quelques cas, les poutres préfabriquées ont été constituées à l'aide de voussoirs provenant d'usines parfois éloignées du ou des sites de construction. Ces voussoirs, perforés pour permettre l'enfilage des câbles, sont disposés sur un berceau. Après mise en place des câbles, on coffre et on bétonne les joints entre voussoirs consécutifs. Les câbles sont tendus quand le béton des joints a acquis une résistance suffisante (fig. 28 plan de câblage).
- Des voussoirs préfabriqués vont être utilisés pour l'exécution d'un pont à poutres tubulaires construit en encorbellement (Pont de Choisy-le-Roi

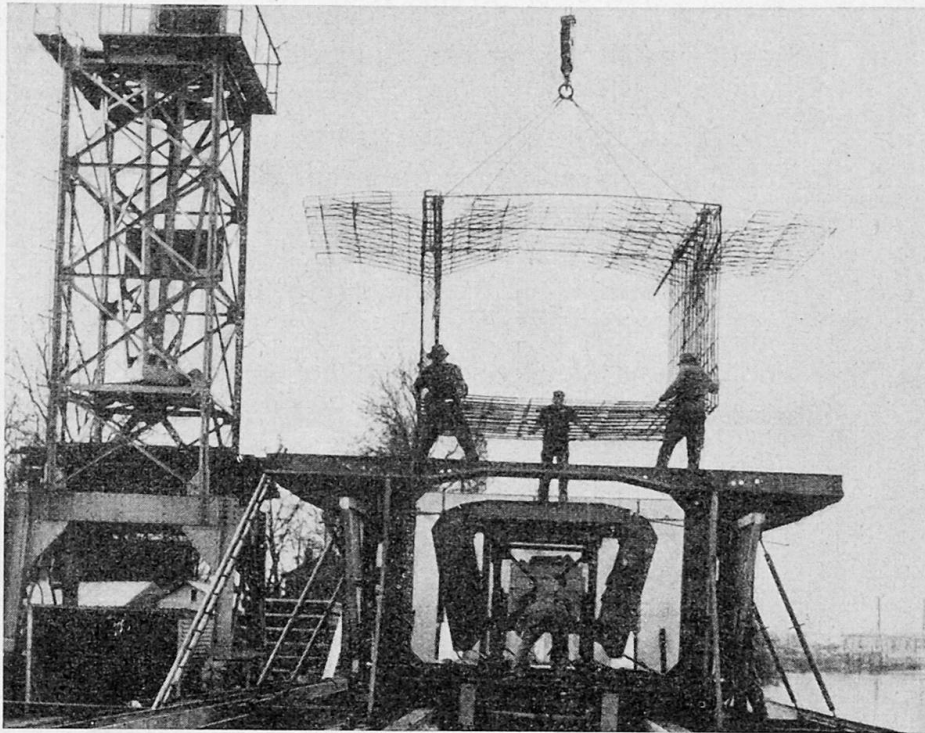


Fig. 26 - Pont de Choisy-le-Roi. Mise en place d'un ferrailage de voussoir préfabriqué (Campenon - Bernard).

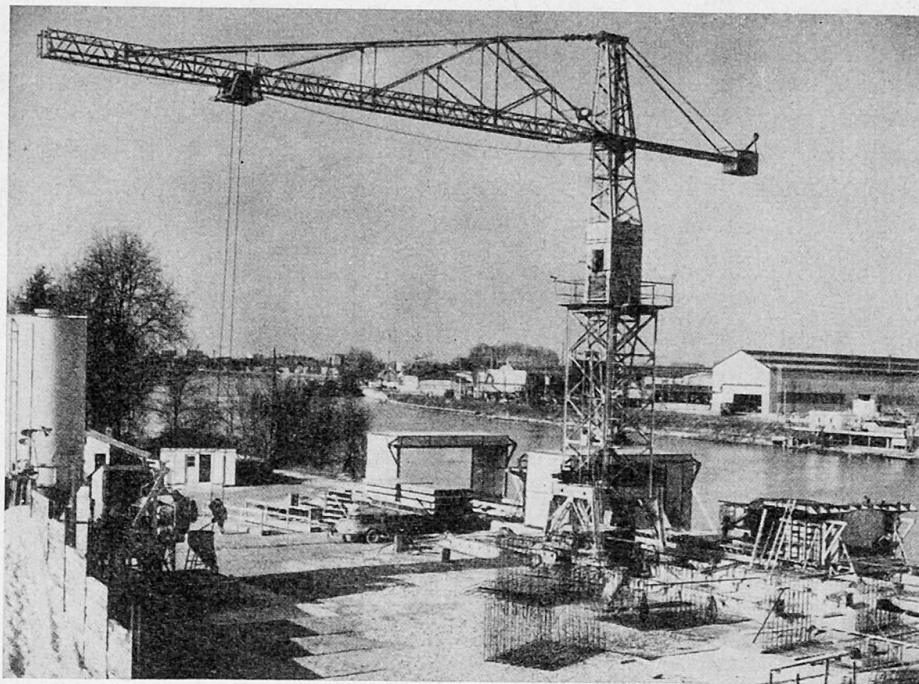
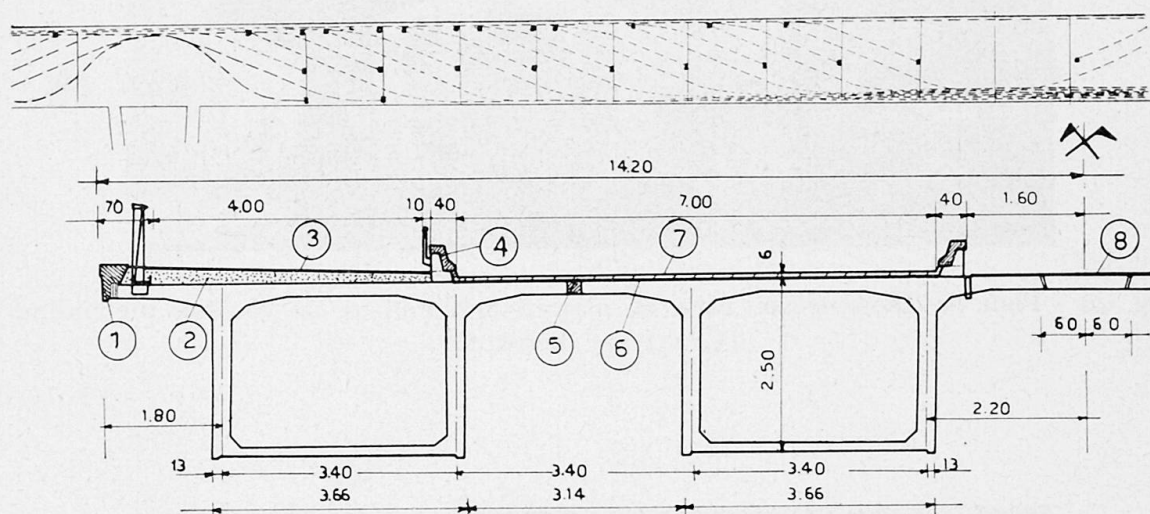


Fig. 27 - Pont de Choisy-le-Roi. Vue du chantier montrant les voussoirs préfabriqués côte à côte sur cintre correspondant à l'intrados du pont.

sur la Seine). Dans ce cas particulier, les joints entre voussoirs consécutifs sont sans épaisseur; ils sont simplement garnis d'une résine synthétique telle que l'Epoxy. Ce procédé permet d'assembler par précontrainte un voussoir à la partie de pont déjà construite dès sa mise en place; il en résulte une cadence d'avancement très rapide (fig. 26 et 28).

3,2 - Le montage des éléments préfabriqués

— 3,21 - Mise en place par levage ou descente à la verticale du lieu de préfabrication



de son niveau définitif, pour que les échafaudages n'engagent pas le gabarit du chemin de fer. Il a été ensuite descendu à son emplacement définitif à l'aide de huit vérins hydrauliques.

Dans le domaine des réservoirs tronconiques la préfabrication de la cuve est extrêmement intéressante car elle supprime l'échafaudage d'un important volume: c'est ainsi qu'ont été fabriqués à terre puis levés les réservoirs de Cocody à Abidjan.

— 3,22 - Mise en place par roulage

Le poids des éléments est déjà plus faible, car la mise en place nécessite la construction de chemins de roulement dont le prix croit très vite avec la charge. L'appareillage de mise en place, très simple, est constitué par des rouleaux, des billes, des galets ou même simplement par des sommiers en bois suiffé.

De très nombreux ponts ont été construits en décomposant le tablier en chacune de ses poutres constitutives, exécutées sur un échafaudage de largeur réduite.

— 3,23 - Mise en place par roulage et levage

Il est avantageux pour un tablier à très grande hauteur, lorsque le volume de l'échafaudage devient excessif, de couler les pièces au pied de l'ouvrage, puis de les mettre en place ensuite; c'est ainsi qu'a été réalisé le viaduc d'accès rive gauche du pont de Tancarville. Les poutres de 50 m de longueur à section transversale en forme de double T pesant 120 tonnes ont été préfabriquées à terre (fig. 30 et 31).



Fig. 29 - Hangar double de Marignane. Voûtes pesant 4200 t levées à 19 m.

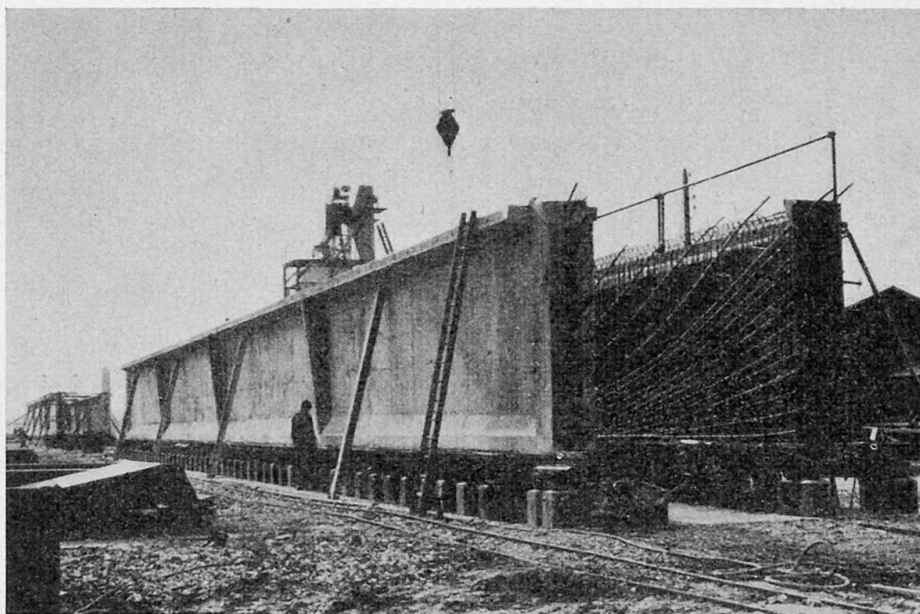


Fig. 30 - Pont de Tancarville. Poutre préfabriquée de 50 m pesant 120 t (Campenon - Bernard).

Il importe de signaler que la légèreté des poutres, eu égard à leur portée, a nécessité une étude minutieuse de leur stabilité élastique et de leur résistance pendant les diverses opérations de mise en place avant leur entretoisement définitif.

— 3,24 - Mise en place par lancement

C'est une méthode très souvent employée pour les poutres de pont.

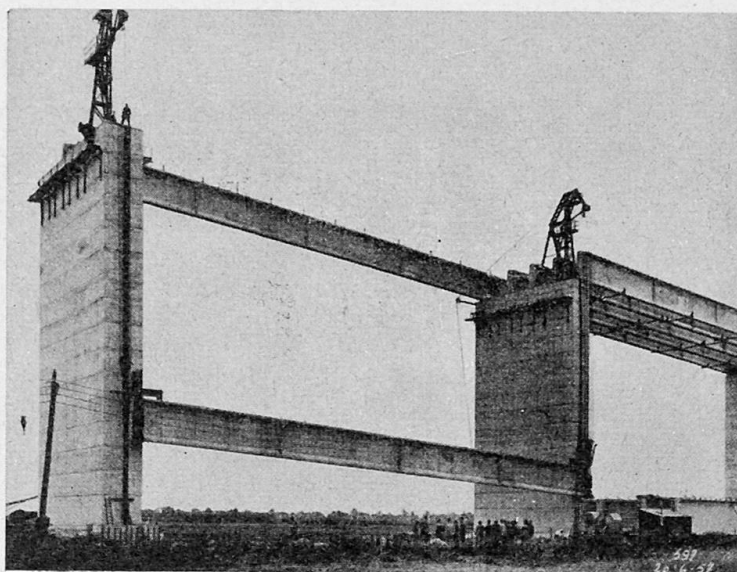


Fig. 31 - Pont de Tancarville: viaduc d'accès rive gauche, mise en place d'une poutre de 50 m par levage et ripage.

Le lancement se fait en général à l'aide d'une passerelle métallique provisoire, permettant le roulement d'une extrémité de la poutre en béton, l'autre extrémité se déplaçant sur le terre ferme ou sur les travées déjà construites.

Lorsque les extrémités de la poutre sont arrivées à l'aplomb des appuis, celle-ci est descendue à l'aide de vérins sur un train de galets, puis ensuite, ripée latéralement à son emplacement définitif.

— 3,25 - Mise en place par engin de levage automoteur

Une méthode très simple consiste dans l'emploi de pontons-matûre. Les 210 poutres du pont sur le Wouri à Douala ont été ainsi mises en place; chacune d'elles avait 46 m de long et pesait 80 tonnes; un palonnier métallique

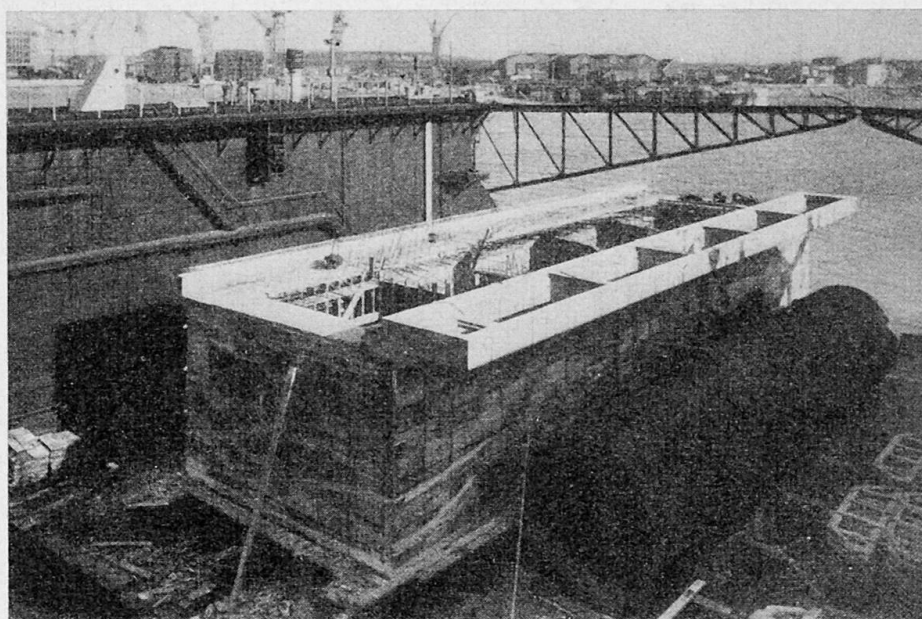


Fig. 32 - Caisson du quai d'armement de Dunkerque muni de ses flotteurs auxiliaires, avant sa mise à l'eau (Sainrapt et Brice).

de raidissement était utilisé pour éviter le flambement et le déversement des poutres au cours du transport.

— 3,26 - Mise en place par flottaison

Ce procédé permet de déplacer des poids très importants et est parfaitement adapté aux travaux portuaires.

Rappelons la construction du quai Bellot au Havre de 1200 m de longueur à l'aide de 48 éléments préfabriqués en béton précontraint sans fond; de m $25,00 \times 25,00$ et 3,50 de hauteur, construits à terre puis transférés par ripage sur un dock flottant en béton précontraint. Ce dock muni de water-ballast pouvait abandonner la dalle pesant 1300 t en pleine eau où elle pouvait flotter grâce à l'air comprimé emprisonné dans cette

sorte de coffre renversé. Ces éléments étaient ensuite mis en place sur des piles Benoto et solidarités par précontrainte.

C'est également par flottaison qu'ont été amenés à leur place et immergés les cinq tubes en béton précontraint de 107,50 m de longueur constituant la travée sous-marine proprement dite du Tunnel Routier de la Havane.

Cette même méthode a été employée pour la fabrication et la mise en place des caissons du quai d'armement de Dunkerque (fig. 32 à 35).

Conclusions

La préfabrication lourde peut présenter dans la bâtiment des problèmes propres à ce secteur; elle peut faire naître dans les travaux publics, à l'occasion de chaque réalisation, un nouveau problème, il n'en reste pas moins que dans l'un et l'autre de ces secteurs elle apparaît comme un phénomène irréversible, non seulement en raison des possibilités qu'elle ouvre sur le plan économique et social mais peut-être plus encore en raison de la rigueur de pensée qu'elle exige.

Qu'il s'agisse de bâtir des logements, des lycées, des hangars, qu'il s'agisse de réaliser des ouvrages d'art de toute nature et de toute importance, les possibilités de cette technique sont telles que la distance, si importante jusqu'ici en matière de bâtiment et de travaux publics au point qu'elle a dessiné les structures et les marchés des entreprises, elle-même s'efface.

Certaines usines livrent des éléments d'ouvrages d'art à plusieurs centaines de kilomètres. Des ensembles urbains sont maintenant réalisés à partir d'éléments fabriqués parfois à de grandes distances et permettent de satisfaire plus facilement la nécessité de construire des logements accessibles aux classes les moins favorisées; en effet l'accession au logement devient, avec l'évolution sociale un besoin nouveau de la civilisation.

Il fallait d'ailleurs qu'il en soit ainsi pour que les avantages de la standardisation viennent encore renforcer les possibilités de cette technique et assurer la rentabilité des investissements intellectuels et matériels qui sont la contrepartie de la promotion qu'elle entraîne.

* * *

La présente étude a été réalisée par les Services Techniques de la Chambre Syndicale Nationale des Constructeurs en Ciment Armé et Béton

Précontraint, grâce à la collaboration de ses Adhérents et plus particulièrement des entreprises:

BALENCY et SCHUHL
BOUSSIRON
COIGNET
CAMPENON-BERNARD
SAINRAPT et BRICE
COFEBA
HERSENT

ainsi que celle de l'Arrondissement Spécial d'Etudes et Travaux du Département de la Seine (Ponts et Chaussées).

Photographies des Services des Ponts et Chaussées, des Entreprises, du Service Technique, des photographes spécialisés. (BARANGER, BIAUGAUD, DELVERT, TRUCHOT, ELLEBE, BERNARD, SEAP, ...).

Paris, juin 1963