

CNC

BULLETIN DE DOCUMENTATION DE L'OSSATURE MÉTALLIQUE

REVUE BIMESTRIELLE DES APPLICATIONS DE L'ACIER

2^{me} ANNÉE · N° 3 · MAI-JUIN 1933. LE NUMÉRO, 5 FRANCS

Abonnements : Belgique et Grand-Duché de Luxembourg : 1 an, 25 francs
Étranger : 1 an, 45 francs (9 belgas)

54, RUE DES COLONIES, BRUXELLES. TÉLÉPHONE : 12.30 85. CHÈQUES POSTAUX : 34.017

Sommaire

La charpente métallique de l'Institut de Chimie et de Métallurgie de l'Université de Liège, par M. F. Campus . . .	pages 99
L'ossature métallique de l'Institut Saint-Raphaël à Louvain, par M. C. Molitor	117
Calcul des poutrelles métalliques enrobées, par M. L. Baes	123
Les nouveaux bâtiments de la Foire de Lille	128
Le pont levant d'Albany-Rensselaere	133
Documentation bibliographique	135
Chronique	137
Ouvrages récemment parus	141

La Charpente Métallique de l'Institut de Chimie et de Métallurgie de l'Université de Liège au Val-Benoît ⁽¹⁾

par **M. Fernand Campus**

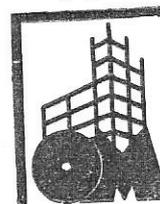
Ingénieur A. I. Lg., A. I. Br., A. I. M., professeur à l'Université de Liège

Les constructions à ossature en acier du Val-Benoît présentent un intérêt exceptionnel pour tous les techniciens du bâtiment à cause des enseignements qu'elles ont permis de met-

tre en lumière. Ce n'est pas que les grandes portées libres et les fortes sur-

(¹) Résumé des articles publiés dans la *Revue Universelle des Mines*, les 1^{er} et 15 mars et le 1^{er} avril 1933.

99



charges réalisées dans ces bâtiments constituent des records, loin de là, mais l'étude systématique des ossatures, les essais sur modèles, la surveillance et le contrôle scientifique de l'exécution et du montage, les essais sur charpentes nues et enrobées, que M. le professeur Campus a dirigés avec une haute compétence et un soin minutieux, ont permis de tirer un nombre important de conclusions que nos lecteurs liront avec le plus vif intérêt.

Introduction

Le montage des charpentes de l'Institut de Chimie et de Métallurgie commencé le 31 décembre 1930, a été terminé en juin 1931. L'enrobage a été achevé le 31 décembre de la même année.

L'ossature a été soumise avant et après enrobage à des essais conduits scientifiquement. Il est donc permis actuellement de faire, en toute connaissance de cause, un rapport très complet sur cette construction.

J'ai exposé ailleurs⁽¹⁾ les raisons pour lesquelles on a eu recours à la charpente métallique pour l'ossature de la majeure partie de l'Institut de Chimie et de Métallurgie.

Le programme du bâtiment com-

⁽¹⁾ Voir *Annuaire de l'A. I. Lg.*, fasc. 3 et 4 de 1931.

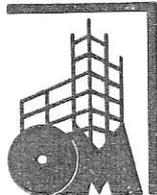
N. D. L. R. — Un compte rendu de ces articles a été publié dans le *Bulletin* n° 2, 1932, de *L'Ossature Métallique*, pp. 27 et 28. On y lit notamment : « On avait projeté initialement d'utiliser une ossature non apparente en béton armé. Une première étude sommaire aboutit à des dimensions de grandes fermes tout à fait massives : poteaux de $1,20 \times 0,60$ m. de section, poutres de 1,40 m. de hauteur.

portait des conditions techniques sortant de l'ordinaire. Pour les laboratoires principaux, une largeur libre intérieure de 15 mètres était imposée, sans supports intermédiaires. Pour des raisons d'éclairage et de disposition des tables de laboratoire, l'écartement des fermes était fixé à 6 mètres. Les planchers devaient pouvoir supporter une surcharge générale d'environ 750 kg/m^2 et permettre d'édifier en n'importe quel endroit des cloisons ou autres constructions. Des surcharges exceptionnelles étaient à prévoir pour des fours métallurgiques, des machines pour les laboratoires, etc. Les fermes principales devaient avoir, de la sorte, des portées axiales de 16 mètres et être capables de supporter pour chaque poutre une charge totale (y compris les surcharges) d'environ 6.000 kg. par mètre courant, soient 90 tonnes par étage. Certaines fermes devaient d'ailleurs être exceptionnellement écartées des autres (jusqu'à huit mètres). Ces fermes de 16 mètres sont disposées aux ailes latérales.

Le corps principal du bâtiment a des fermes espacées de 4 mètres seulement, mais dont la portée entre axes des colonnes atteint encore 11 mètres.

Dans sa majeure partie, le bâtiment a quatre étages au-dessus du sol. Les planchers sont distants de 5 mètres. Il y avait quelque danger que des salles

D'après ces résultats, écrit, M. Campus, je me trouvai d'accord avec mon collègue, M. P. Chantraine, pour proposer de substituer une ossature métallique à l'ossature en béton armé pour le corps principal et les ailes du bâtiment. Moyennant une conception spéciale de la charpente, on a pu gagner 1 mètre de largeur et conserver les distances de 5 mètres de plancher à plancher avec une hauteur libre de 4 m. 20 environ.



de 15 mètres de largeur et d'une grande longueur parussent basses et il fallait, malgré les grandes portées et les lourdes charges, réduire le plus possible la hauteur des poutres des planchers, sans rendre ceux-ci trop flexibles, eu égard à la faculté d'y établir partout des cloisons.

Or, un premier calcul d'avant-projet de fermes en béton armé, constituées comme des cadres étagés, donnait des dimensions de colonnes et de poutres très fortes. Il n'y aurait pas eu plus de 3 m. 70 de hauteur disponible sous les poutres et il eût fallu augmenter les hauteurs des étages de 0 m. 50.

Les raisons techniques du choix de la charpente métallique imposaient la recherche des dimensions minima, surtout pour la hauteur des poutres. On résolut d'appliquer à la charpente métallique le principe des cadres continus étagés, à nœuds absolument rigides. On parvint à obtenir de la sorte des dimensions extrêmement faibles, qui paraîtraient même téméraires si les essais effectués ne les justifiaient largement.

Malgré l'enrobage, l'épaisseur totale des poutres ne dépasse jamais 78 cm. et la hauteur libre des étages reste supérieure, après pose du dallage, à 4 m. 16.

On peut considérer que la charpente métallique a permis de la sorte un gain de 2 mètres de hauteur en moyenne sur l'ensemble du bâtiment.

(1) Un avantage particulier des colonnes métalliques, conservant après enrobage la section en double T a été, eu égard à la destination du bâtiment, le placement facile d'une grande quantité de canalisations dans les échancrures des doubles T.

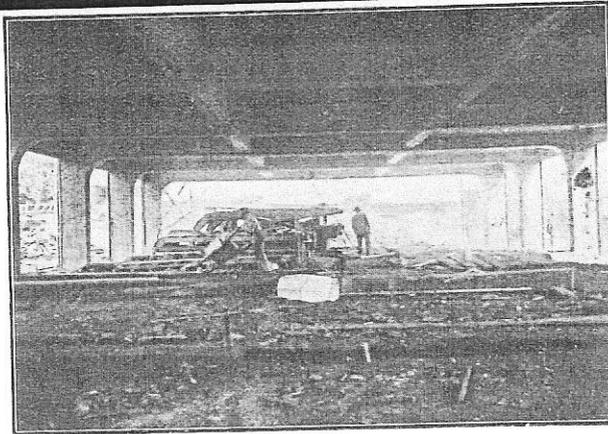
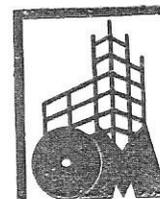


Fig. 85. Vue des salles avant placement des cloisons intérieures. A remarquer, la faible hauteur et le grand espacement des nervures des hourdis de plancher, malgré les grandes portées réalisées. Cliché R. U. M

D'autre part, les colonnes n'ont, après enrobage, que 0 m. 95 d'épaisseur sur 0 m. 50 de largeur (1).

Là aussi, un bénéfice d'épaisseur a été réalisé, qui se traduit par une diminution appréciable de la surface couverte. De l'ensemble, il résulte une diminution de volume bâti d'environ 15 %. Enfin l'ossature métallique a conféré au bâtiment plutôt trapu et dont l'aspect eût aisément été lourd, un caractère de légèreté qui avantage son architecture.

Les essais ont montré qu'après enrobage, la carcasse métallique forme avec les planchers en béton armé une construction vraiment inébranlable. Il est apparu que les conditions de charge imposées peuvent être considérablement augmentées en toute sécurité, tant en ce qui concerne les fatigues que par rapport aux déformations, malgré les hauteurs très faibles des nervures et leur grand espacement. Ces dimensions donnaient un aspect frappant aux grandes salles avant la construction des cloisons intérieures (fig. 85). C'est dire que la solution adoptée permet de remplir complètement les desiderata des promoteurs,



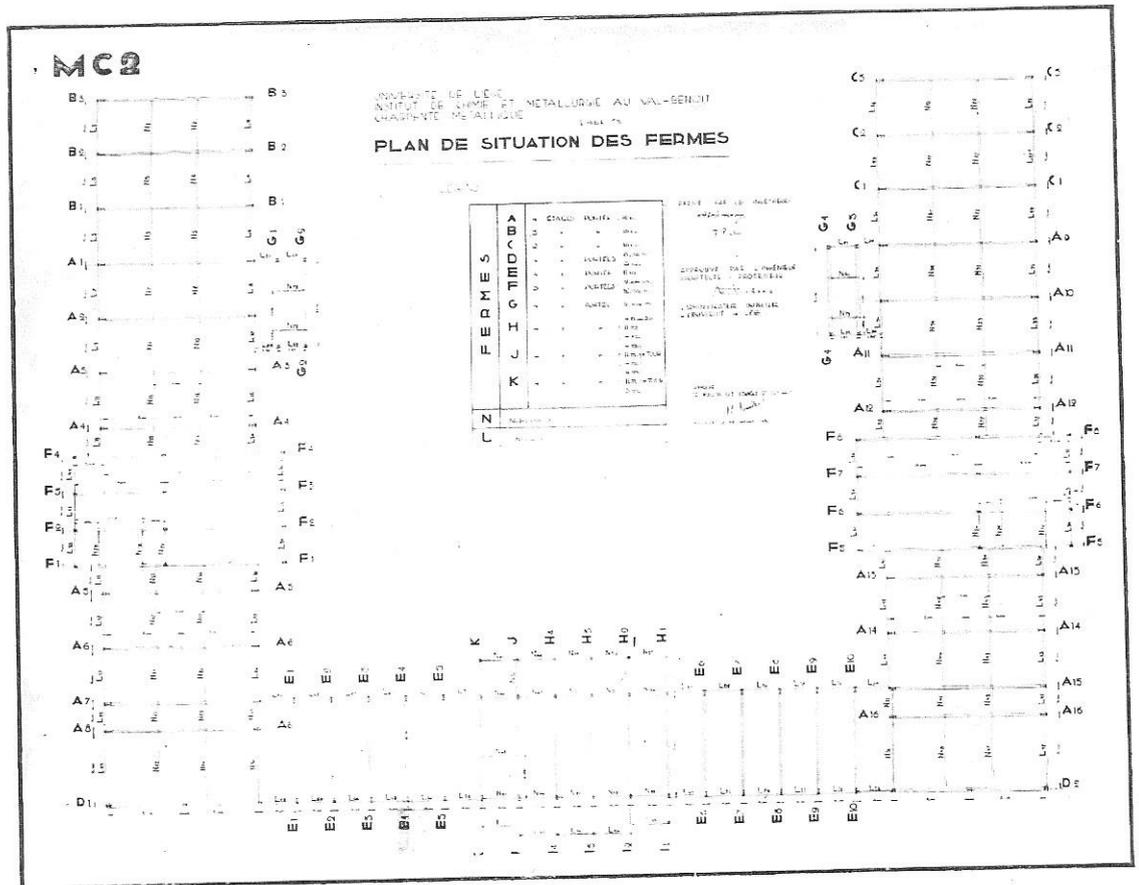


Fig. 86. Plan de situation des fermes.
Cliché R. U. M.

même dans une mesure supérieure à ce qu'ils avaient prévu, à savoir, disposer à chaque étage de grandes surfaces de planchers sur lesquelles on peut établir n'importe quel arrangement de cloisons, appareils, surcharges, etc., sans être lié définitivement par leur répartition initiale.

Première Partie

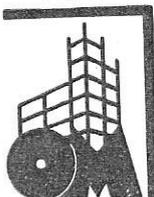
Description et exécution des travaux Description sommaire de l'Institut

Les plans de l'Institut sont l'œuvre de M. A. Puters, ingénieur-architecte,

professeur d'architecture civile à l'Université de Liège.

Le bâtiment comporte un corps principal de 100 m. de longueur, parallèle à la nouvelle rue, et deux ailes latérales de 78 m. de longueur.

Le bâtiment principal a quatre étages dans la moyenne partie de son étendue. Les entrées latérales sont dominées par un cinquième étage, tandis que l'entrée principale, en avant-corps, est flanquée d'une tour-horloge de 30 m. de hauteur. L'étage inférieur est au niveau du terrain naturel et situé en contre-bas de la voirie.



Il fait donc office de sous-sol, bien qu'il soit éclairé normalement presque partout. Les façades extérieures et intérieures sont en briques de qualité et d'aspect artistique. L'ossature métallique est entièrement masquée et ne se révèle plus que par l'abondance des grandes baies et les lignes droites, principalement horizontales, de l'architecture. Des cordons et seuils de pierre de taille rehaussent la façade.

Les ailes latérales des laboratoires ont 15 m. de largeur interne libre.

Pour la disposition particulière des tables de chimie, on a proscrit les colonnes intermédiaires. A d'autres endroits, ces grandes salles ont été divisées par des cloisons, mais ainsi qu'il a été dit, ces cloisons peuvent être abattues et leur répartition modifiée ultérieurement, sans qu'aucun obstacle s'y oppose. Bref, chaque étage constitue, en principe, un immense plateau, sans obstacle, sauf dans les trois entrées, qui comportent des colonnes intermédiaires, d'ailleurs encore très espacées.

Description et conception générales de la charpente métallique

L'ossature a été unifiée autant que possible. Elle comporte cependant, pour les nécessités architecturales, différents types de fermes (fig. 86).

Les plus nombreuses sont les fermes du type A. Elles ont deux poteaux extérieurs et quatre étages, soit une hauteur totale d'environ 20 mètres.

Ces fermes sont au nombre de 16.

Les fermes du type B ne diffèrent des précédentes que parce qu'elles ont un étage en moins. Elles sont formées

des mêmes éléments que les fermes A et sont au nombre de 3.

Les fermes du type C ont la même portée, mais deux étages seulement.

Il y en a 3 également et les éléments sont les mêmes que ceux des fermes des types précédents.

Les espacements des fermes B et C entre elles et des voisines sont de 6 m. Les espacements des fermes A entre elles et des voisines sont en général de 6 m.; toutefois, l'écartement atteint 8 m. à la jonction des ailes latérales et du corps principal et descend à 3 m. aux abords des entrées latérales. Les fermes A, B et C sont entièrement rivées.

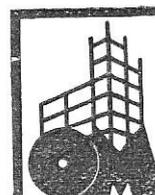
Il y a deux fermes spéciales D à trois colonnes et à 4 étages, qui sont placées dans l'alignement de la façade principale et constituent, au point de vue de la fonction organique de l'ossature, les pans terminaux des ailes latérales. Ces fermes ont été établies à trois colonnes par raison d'économie, la colonne intermédiaire étant masquée par la façade.

La raison pour laquelle on a conservé, aux extrémités opposées des ailes latérales, des fermes à deux colonnes est de permettre l'abattage des pignons de remplissage sans obstacle intérieur en cas d'extension future.

Ces fermes sont partiellement boulonnées, seuls les assemblages d'atelier sont rivés. Ces fermes contiennent de petits potelets de raidissage des trumeaux de fenêtres.

Les fermes E sont celles du corps principal. Elles sont au nombre de 10 et elles ont 11 mètres de portée entre axes; elles ont quatre étages.

Ces fermes espacées de 4 m. sont entièrement rivées.



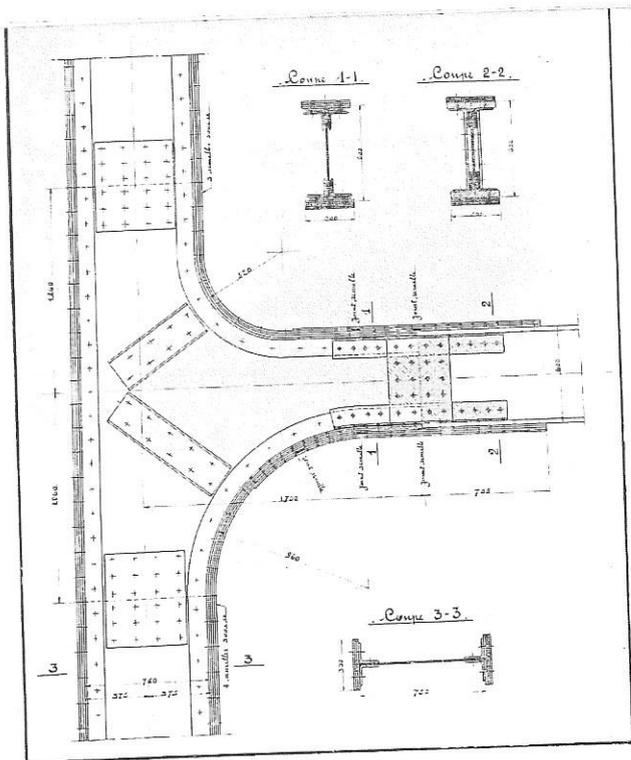


Fig. 87. Vue en élévation d'un nœud d'assemblage des poutres aux montants.

Cliché R. U. M.

Les fermes F sont au nombre de 8, par moitié pour chaque entrée latérale. Elles ont cinq étages. Elles ont trois poteaux, écartés entre axes de 9 m. 674 et 12 m. 776. Ces fermes sont espacées de 4 m., rivées à l'atelier et boulonnées sur chantier.

Les fermes G, au nombre de 4 servent à assurer le raccordement avec l'aile de liaison et à constituer les cages de deux escaliers de service. Elles sont à deux colonnes, distantes de 9 m. 476 d'axe en axe; elles ont quatre étages. Ces fermes sont complètement rivées. La poutre inférieure reçoit l'attache d'un tirant de support du premier palier de l'escalier.

Les fermes H, au nombre de 4, servent à l'entrée principale. Leur hauteur est variable et atteint au maximum 22 mètres. Elles ont 4 colonnes

distantes entre axes, de 4,00, 11,00 et 4,00 mètres.

Les fermes sont espacées de 4 m. Elles sont partiellement rivées et partiellement boulonnées (sur le chantier).

Pour terminer l'entrée principale et supporter la tourelle d'angle, deux fermes spéciales J et K ont été nécessaires. Elles ne diffèrent des fermes H que par les dispositions imposées par la tourelle. Les éléments qui les composent sont analogues à ceux des fermes H.

Ainsi qu'il a été dit, ces diverses fermes ont été conçues et calculées comme des cadres continus étagés, c'est-à-dire dont les poteaux et les poutres sont rigidement liés entre eux par des assemblages peu déformables, produisant des encastremements mutuels de ces éléments.

Les calculs ont été effectués en considérant :

1° Les charges fixes et de poids mort;

2° Des surcharges de 500 kg/m² sur les planchers de tous les étages en les disposant des manières les plus défavorables et en tenant compte de la continuité des dalles; enfin,

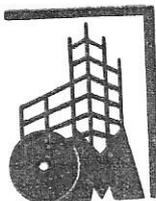
3° Un effort du vent de 75 kg/m² de surface verticale du bâtiment. Le taux de travail maximum admis est de 14 kg/mm², l'acier devant répondre aux conditions normales du cahier général des charges de l'Etat belge.

Ces conditions sont pour l'acier de construction :

Résistance à la rupture : 42-50 kg/mm².

Allongement : 20-24 %.

Produit de la résistance à la rupture par l'allongement : 1.000.



D'une manière générale, toutes les fournitures, provenant d'usines métallurgiques belges et luxembourgeoises, ont très bien satisfait aux conditions du cahier des charges.

Le poids total de l'ossature s'est élevé à 1.816.888 kg., ce qui revient à 28,7 kg. par mètre cube du volume bâti correspondant. Dans l'appréciation de ce chiffre caractéristique, il faut tenir compte des grandes portées, des grands espacements et des lourdes charges.

Dispositions spéciales des fermes

Les dimensions précédemment indiquées des divers types de fermes résultaient principalement du calcul ; elles ont été appropriées dans certains cas pour des raisons de construction ou eu égard à la destination du bâtiment. Les principales particularités de ces fermes résident dans les nœuds et les joints d'assemblage et dans les embases.

On remarque les points suivants en ce qui concerne les nœuds d'assemblage (fig. 87). La courbe supérieure est plus petite que la courbe inférieure, afin qu'elle puisse se loger dans les épaisseurs prévues pour les pavements, plinthes courbes et maçonneries enduites. Elle n'est donc pas apparente après achèvement du bâtiment. La courbe inférieure est vue ; elle assure un raccordement satisfaisant entre les colonnes saillantes et les saillies des poutres enrobées sous les faux plafonds suspendus aux hourdis.

En vue de simplifier le travail, ces courbes sont toutes identiques pour tous les nœuds.

Les embases des colonnes présen-

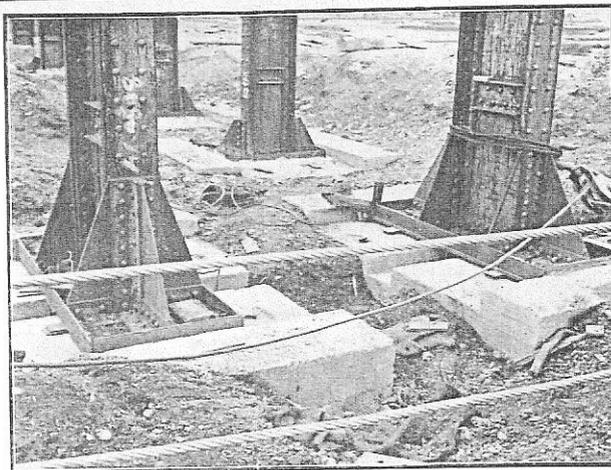
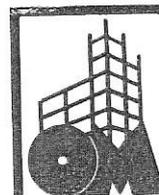


Fig. 88. Vue des embases des poteaux.
Cliché R. U. M.

tent aussi quelques particularités. Elles comportent une plaque de base, de surface convenable, en tôle de 20 ou 24 mm., assemblée à la partie inférieure des colonnes par des cornières. De forts goussets triangulaires, placés dans les prolongements de l'âme et des ailes des colonnes, raidissent cette plaque, qui est en plus bordée de cornières raidisseuses à la face supérieure (fig. 88). A la face inférieure, deux cornières sont rivées perpendiculairement à l'âme de la colonne et dans le plan de symétrie à la base. Ces cornières pénètrent dans une entaille du bloc de fondation et servent à empêcher toute translation de la base de la colonne. Ces embases sont très rigides. Elles ne comportent aucun dispositif d'ancrage.

En façade, les fermes ont été reliées, aux niveaux des planchers, par des poutrelles (profil normal) formant linteaux au-dessus des baies. En outre, les poutres des fermes A, B et C, de 16 mètres de portée, ont été reliées à chaque étage par deux files de longrines écartées de 5 m. Ces longrines sont en poutrelles de profil normal. Les colonnes intermédiaires des fermes des entrées principale et latérales



ont été de même reliées par des longrines situées aux niveaux des étages ou des paliers d'escaliers. Toutes ces poutrelles étaient interrompues aux jonctions avec les fermes ; les assemblages se faisaient par doubles cornières ou par rivetage sur les ailes des colonnes, lorsque cela était possible pour les linteaux.

Les assemblages ont été en majeure partie réalisés au moyen de rivets. Il a été employé 177.178 rivets de 22 ou 24 mm. Le rivetage a été sévèrement surveillé, surtout sur le chantier, où il a été opéré au marteau pneumatique. Il a été exécuté à la perfection. Il a été reconnu que les poutrelles à larges ailes facilitent considérablement le rivetage, tant par suite de la largeur des ailes que du fait du parallélisme des faces des ailes. L'obliquité des faces internes des ailes des poutrelles à profil normal et leur exigüité a donné lieu à quelques difficultés, que le constructeur a voulu résoudre d'abord en plaçant des boulons à têtes spéciales. Finalement, le rivetage a constitué la solution pratique, les riveteurs étant parvenus à exécuter convenablement des têtes obliques.

Des boulons cylindriques tournés ont été employés en nombre assez grand, notamment pour les joints des colonnes des fermes à plusieurs travées et pour les joints des poutres des mêmes fermes, donc pour les fermes D, F, H, K et J. Le diamètre de ces boulons était de 25 ou 23 mm.

Le bon remplissage des trous par ces boulons chassés au marteau et leur serrage énergique ont été sérieusement contrôlés ; ces assemblages ont donné satisfaction autant que la rivure. Il a été fait usage au total de

38.583 boulons. L'emploi de boulons bien ajustés et serrés peut, d'après les essais, être considéré comme équivalent à celui de rivets. Le choix de l'un ou de l'autre mode d'assemblage est une question de cas concret mais nous pensons que le rivetage est en règle générale plus économique et il tolère un alésage moins rigoureux que le boulonnage.

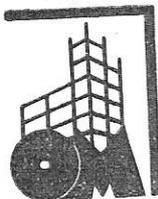
Construction de la charpente métallique

Le travail à l'usine a comporté le traçage et l'assemblage des colonnes, y compris les embases et les goussets d'assemblage, de même que la préparation des pièces et couvre-joints d'assemblages des poutres, linteaux et longrines.

Ces derniers éléments, constitués par de simples barres laminées, ont été expédiés directement du laminoir au chantier, après réception et forage des trous d'après les indications des plans ou d'après gabarit.

A l'usine, tous les trous de rivets ont été forés, bien que ce n'eût pas été prescrit au cahier des charges. Le forage a été effectué au moyen de foreuses multiples au travers des paquets de tôles assemblées. De la sorte, on a évité tout réalésage. Le rivetage s'est effectué à la presse, les rivets étaient chauffés électriquement. Les goussets ont été coupés au chalumeau oxyhydrique et nettoyés au burin ; les cornières courbes ont été cintrées à chaud sur des gabarits.

La manipulation des colonnes lourdes et encombrantes peu rigides transversalement et fortement sollicitées à fléchir et à se tordre par les poids des



embases et des goussets, était très malaisée, d'autant plus qu'elle se faisait presque exclusivement par des moyens de fortune. De toutes les opérations de la construction, ce fut la plus pénible, la seule qui n'ait pas donné satisfaction suffisante et c'était cependant la plus vulgaire. C'est elle qui a limité le rendement du chantier.

Par contre, le montage proprement dit a été sans aucune difficulté, rapide et tout à fait satisfaisant.

L'entrepreneur a utilisé une bigue de montage à trois mâts disposés en éventail et puissamment équipée de treuils. Les deux mâts latéraux pouvaient dresser simultanément deux colonnes tandis que le mât central élevait successivement les poutres des divers étages.

Le montage des colonnes se faisait en quelques minutes ; l'absence de boulons d'ancrage facilitait un réglage approximatif rapide. La mise en place des poutres entre les goussets et leur fixation provisoire par boulons de montage se faisait très rapidement également, de telle sorte qu'une ferme du type A ou B pouvait être montée en moins d'une heure.

Les fermes étaient assemblées les unes aux autres par les linteaux et suffisamment haubannées pour écarter tout danger de renversement. Des cales disposées au préalable sous les embases assuraient l'exactitude des niveaux. Les fermes étaient ensuite soigneusement réglées tant en plan qu'en aplomb avant d'être rivées ou boulonnées définitivement.

Il est intéressant de noter que les dispositions simples adoptées pour les bases des colonnes ont donné toute satisfaction au montage. De même, les

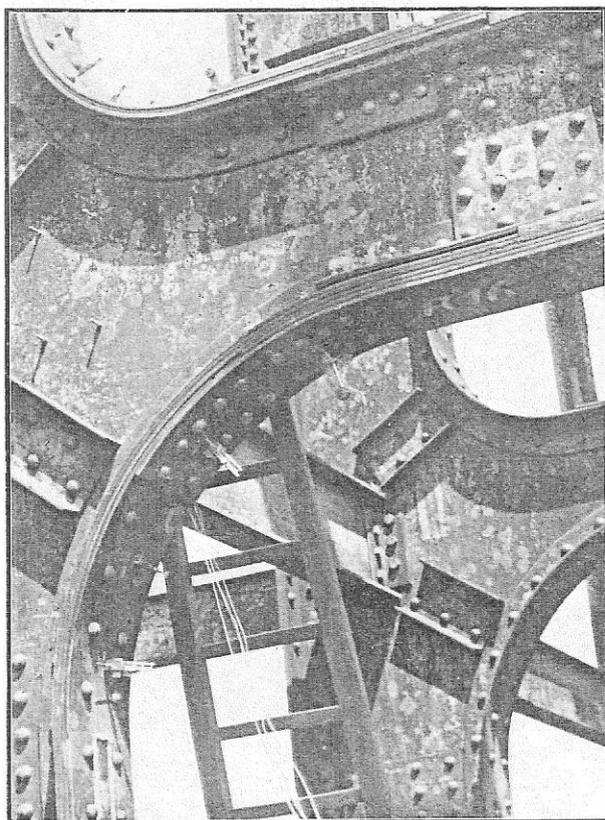


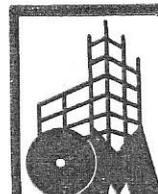
Fig. 89. Vue des nœuds d'assemblage des poutres aux montants.

Cliché R. U. M.

assemblages des poutres aux goussets n'ont donné lieu à aucun ennui. Les poutres se sont insérées avec une précision remarquable entre les goussets et, malgré que les forages des abouts des poutres et des couvre-joints n'aient pas été faits dans les mêmes conditions, les réalésages nécessaires ont été peu importants.

Le scellement a été fait, après réglage et assemblage complet, au mortier fluide de ciment, composé de 800 kg. de ciment portland artificiel pour un mètre cube de sable du Rhin ou de sable de Meuse tamisé.

La construction de la charpente a été confiée, à la suite d'une adjudication publique, à la Société Métallurgique d'Enghien-Saint-Eloi.



Enrobage de la charpente et bétonnage des hourdis

L'enrobage de la charpente métallique a été établi dans le but de réaliser l'aspect architectural extérieur et intérieur du bâtiment, de soustraire la charpente aux corrosions ainsi que d'assurer sa protection contre l'incendie. Ces fonctions sont particulièrement importantes dans un institut réservé à la chimie et à la métallurgie, où les émanations corrosives et les dangers d'incendie sont à prendre en sérieuse considération. C'est ce qui a incité à prévoir un enrobage assez fort recouvrant partout les parties métalliques de 10 cm., en règle générale.

Des saignées, qui ont dû être pratiquées accidentellement dans le béton d'enrobage ont toujours fait constater une adhérence caractérisée à l'acier de la charpente. Naturellement, la charpente n'avait été recouverte d'aucune peinture mais avait été soigneusement débarrassée, avant enrobage, de tout oxyde non adhérent. Ce travail se faisait au marteau et à la brosse d'acier.

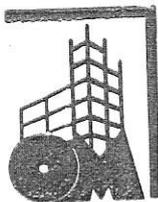
Les planchers sont formés, partout où les fermes sont écartées de 6 m., de même que dans l'entrée principale, de dalles continues au-dessus des poutres et longrines et accrochées aux linteaux extérieurs.

Dans les entrées latérales et dans le corps principal du bâtiment, où les fermes sont espacées de 4 m. seulement, on a substitué aux planchers en dalles des hourdis à petites nervures rapprochées.

Nous avons dit déjà que, par raison architecturale, on avait fait choix pour toutes les façades et pignons du bâti-

ment, de maçonneries de briques. Il ne s'agit, presque partout, que d'un revêtement d'une épaisseur totale d'une brique, exécuté, comme il a été dit, en liaison avec le béton d'enrobage. Les faces extérieures sont en briques spéciales, de teinte rose-violette, moulées à la main et provenant des briqueteries du **Belvédère**. Par raison d'économie, les parties internes de ce revêtement sont faites en briques ordinaires (dites du Canal) maçonnées en liaison avec les briques de parement. Cette maçonnerie a été posée au mortier riche de ciment portland normal, à joints bien réglés assez épais et assez creux, légèrement rejointoyés après coup au moyen d'un mortier de ciment coloré au noir de fumée. On a réalisé de la sorte un revêtement solide, économique et de très haute qualité quant à la durabilité des matériaux, et donnant à l'édifice l'aspect particulier voulu par l'architecte. L'aspect architectural très sobre, dans le goût moderniste, a été complété par certains appareils spéciaux de briques aux linteaux, par un soubassement en pierre de taille, des bandeaux continus en pierre de taille aux niveaux des seuils de fenêtre et en couronnement des parapets des terrasses et, enfin, par des pierres de taille encadrant les entrées.

Comme résultat final, au point de vue de l'aspect constructif, l'édifice laisse apparaître son système de construction par la grande importance des larges baies régulièrement disposées et séparées par des trumeaux de dimensions assez faibles. Il n'y a pas de saillies verticales dans les façades, dont le caractère plan n'est rompu



que par les seuils, les bandeaux et les couronnements.

Il en résulte que les lignes dominantes sont les longues horizontales des bases des étages, qui accusent le caractère de grande étendue en plan du bâtiment, mais masquent quelque peu les lignes de l'ossature ; toutes les saillies des colonnes sont internes.

La tourelle d'angle de l'entrée principale, de 30 m. de hauteur, son porche en avant-corps surmonté d'un grand balcon et les deux avant-corps des entrées latérales, de 25 m. de hauteur, enfin un certain étagement des terrasses, avec les cheminées diverses et les pavillons couvrant les puits d'ascenseurs, rompent la régularité d'ensemble de l'édifice et lui confèrent un caractère propre, sincère, adéquat à sa destination, sans recours à aucun artifice (fig. 91).

Les saillies internes des colonnes, qui auraient dans d'autres édifices pu nuire à la bonne utilisation de l'espace, ont permis la disposition le long des parois extérieures d'un grand nombre des canalisations spéciales du bâtiment, de même que la disposition des radiateurs de chauffage, sous de grandes tablettes en béton armé, qui seront très utiles dans les multiples laboratoires que contient l'institut.

Deuxième Partie

Essais effectués sur la construction

1. — Essais de la charpente avant enrobage.

Ces essais ont été effectués du 15 au 23 juin 1931, limites incluses. Ils ont porté sur la ferme A 16, de 16 m. de portée et à quatre étages, une fer-

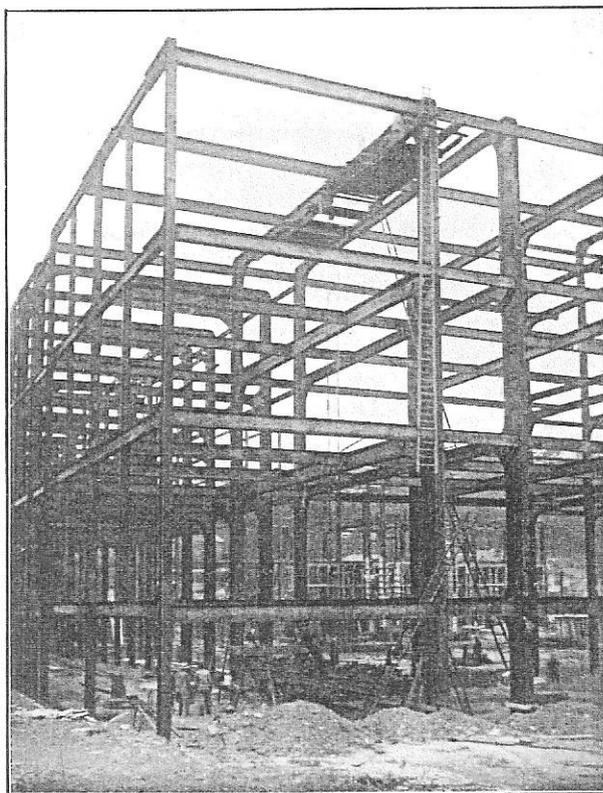


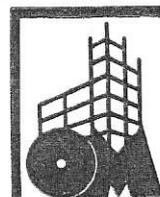
Fig. 90. Vue de la charpente soumise aux essais avant enrobage.

Cliché R. U. M.

me F à trois montants et cinq étages et la ferme A 12, de 16 m. de portée et à quatre étages.

Les charges, dont le total atteignait 25 tonnes, étaient constituées par des rails et des gueuses de fonte placés sur des trucks, reposant eux-mêmes sur des rails et traverses. Les deux trucks étaient suspendus aux fermes par des câbles métalliques. Les charges étaient soulevées au moyen de palans et de treuils jusqu'à ce qu'elles soient complètement libres ; les câbles étaient alors serrés au moyen de clamme boulonnées, de manière à décharger les treuils (fig. 90).

On peut admettre que les essais ont été effectués avec un bon matériel scientifique et dans des conditions très consciencieuses. Leurs résultats sont donc dignes de foi. Les conclusions



générales à en tirer sont les suivantes :

1° La répartition des tensions dans les poutres et montants est conforme à celle qu'indique le calcul des cadres continus à étages ;

2° Les tensions calculées dans les poutres par les équations des cadres continus à étages en supposant les barres prismatiques jusqu'au centre des nœuds sont supérieures aux tensions réelles. La cause en réside dans l'augmentation de rigidité des poutres et montants au voisinage des nœuds et à la conformation des nœuds mêmes, qui sont très rigides. La même observation s'applique aux déformations linéaires et angulaires ;

3° On peut aussi pratiquement effectuer le calcul par des abaques tels que ceux de M. Spoliansky ⁽¹⁾, en négligeant les variations de rigidité des montants ;

4° Les tensions calculées en se basant sur un moment d'inertie moyen des poutres, qui tient compte de la variation de leur profil aux abouts, ne diffèrent pas pratiquement des précédents d'une manière importante et il ne se justifie donc pas, en pratique, d'imposer le surcroît de besogne qui en résulte. Mais les déformations calculées par ce moyen sont plus voisines des déformations mesurées ;

5° Par suite de l'accroissement de rigidité aux nœuds, les points d'inflexion se déplacent vers l'intérieur des poutres, ce qui augmente l'utilisation du métal des nœuds, par un phénomène d'adaptation élastique ;

6° Les rotations des nœuds de mê-

me que les flèches sont sensiblement inférieures aux valeurs calculées ;

7° Le degré d'encastrement des poutres est légèrement supérieur à celui du calcul et est très voisin de l'unité ;

8° Il n'y a pas eu de flèche permanente appréciable, les rivures et les assemblages ont donc été parfaits. La réalisation du joint complet d'assemblage des poutres aux nœuds n'entraîne aucune conséquence défavorable ; les fatigues sur les couvre-joints sont faibles ;

9° Les fatigues mesurées sur les éléments des assemblages de ce joint complet et sur les éléments du nœud proprement dit confirment les résultats des essais sur modèles de nœuds et les conclusions qui en ont été déduites.

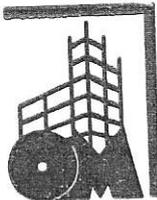
On peut affirmer que les nœuds sont des points forts de la construction et constituent, par les phénomènes d'adaptation élastique et plastique, des réserves considérables de résistance ;

10° Ces observations sont aussi exactes pour le nœud de la poutre supérieure de la ferme. Par suite du fait qu'il n'y concourt que deux barres, le degré d'encastrement est diminué, mais reste néanmoins très élevé, grâce à la forme adéquate du nœud ;

11° Les assemblages ordinaires des linteaux et longrines aux fermes principales, par boulons non tournés, ne réalisent aucune continuité, mais des appuis analogues à des appuis simples ;

12° Le mode d'appui des colonnes sur leurs fondations, par une embase bien rigide mais sans tirants d'ancrage, réalise un encastrement pratiquement parfait, même sous l'effet des sollicitations d'épreuve, qui exa-

(1) A. SPOLIANSKY, *Abaques pour le calcul des portiques simples étagés sous l'effet de charges verticales symétriques* (*La Technique des Travaux*, octobre 1931).



gèrent le caractère de flexion par rapport à la compression.

II. *Essai de la charpente après enrobage.*

Nous avons procédé les 25, 26, 30 et 31 mars 1932 à des essais de mise en charge de la charpente après enrobage et bétonnage des planchers. Ces essais ont porté sur les fermes A 16 et F déjà soumises aux expériences avant enrobage. Pour des raisons spéciales, on a ajouté des essais de flexion à la ferme A 13.

Les charges étaient constituées par des blocs de cendrée, destinés à la confection de cloisons. D'une moyenne de plusieurs pesées qui ont été faites, nous avons obtenu une charge de 185 kg/m² et par couche de blocs. On a superposé jusqu'à 7 couches de blocs, représentant jusqu'à 1.300 kg/m², alors que les planchers ne sont calculés que pour des surcharges de 750 kg/m² et les fermes pour 500 kg/m².

D'une manière générale, on constate que la manutention des matériaux pendant la construction soumet les bâtiments, tels que ceux du Val-Benoît, à des surcharges très supérieures à celles prévues dans le calcul. En l'occurrence, les résultats des essais montrent que cela peut se faire impunément, seulement, il se conçoit que la plupart des accidents graves aux bâtiments se produisent en cours de construction.

Le caractère de ces nouveaux essais est beaucoup plus difficile et ingrat que celui des précédents ; leur portée est beaucoup moins précise et plus générale. Cela tient aux raisons suivantes.

Telles que nous avons voulu faire

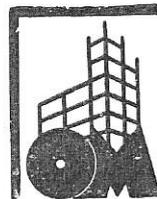
ces expériences, aussi détaillées que celles faites sur la charpente nue, en vue de pouvoir comparer directement les résultats, elles ont exigé que les dispositions d'essai soient arrêtées dès avant enrobage. Or, à cette époque, on ne pouvait avoir une parfaite prévision des conditions d'ambiance (humidité, aérage, variations thermiques, etc...) qui résulteraient de l'enrobage, du bétonnage des planchers et de l'élévation des cloisons. On ne se rendait pas davantage compte de l'énorme surcroît de rigidité qu'apporterait le bétonnage et qu'ainsi des charges d'épreuve, même voisines de 80 tonnes, ne produiraient plus que des tensions parfois à ce point insignifiantes, que les effets des conditions d'ambiance précitées pourraient les masquer complètement.

Les charges transportées au moyen de brouettes donnaient lieu à des chocs et à des vibrations, qui ont certes influencé les appareils d'une manière assez grave, vu l'insignifiance des tensions à mesurer.

Ces mesures n'étaient donc pas seulement imprécises par leur ordre de grandeur trop faible, mais en outre influencées par les causes d'erreur précédentes, qu'il était impossible de corriger et qui, dans la plupart des cas, rendaient les lectures impropres à toute interprétation. D'autre part, des circonstances fortuites ont pu influencer les résultats.

En conclusion des essais après enrobage et bétonnage, on peut déclarer ce qui suit :

1° Le fonctionnement élastique de la ferme en ce qui concerne le sens et l'ordre de grandeurs des flèches, des



tensions et des rotations, est conforme à la théorie. Certains effets principaux des charges se manifestent toujours de la manière prévue, par des variations de grandeur suffisantes pour être mesurables avec une précision encore acceptable ;

2° Le calcul assigne à l'effet de l'enrobage et surtout à l'effet de la solidarité des planchers en béton armé un effet de renforcement de la charpente métallique qui est considérable et cependant inférieur à ce que montre l'expérience, dans les conditions exposées. Cela est dû pour une grande part, comme il a été montré par les essais sur la charpente métallique, aux hypothèses de calcul et aux renforcements dont il n'est pas possible de tenir compte, notamment aux nœuds ;

3° Si on se réfère aux plus fortes tensions d'extension relevées sur le métal, l'effet du béton triple environ la résistance de la charpente métallique ;

4° Si on se réfère aux flèches, la rigidité de la poutre est multipliée par 7,5 ;

5° Par suite de l'effet des planchers solidaires de l'enrobage, l'augmentation de rigidité des poutres est notablement supérieure à celle des colonnes. Il en résulte un déplacement des points d'inflexion qui se rapprochent des nœuds, par rapport à leur position dans la charpente métallique nue. Il en résulte une légère diminution du degré d'encastrement, mais par suite de l'augmentation considérable des rigidités, les déformations linéaires et angulaires aussi bien que les tensions sont au total diminuées ;

6° Etant donnés ces résultats, il est recommandable de tenir compte des

effets de l'enrobage et des planchers dans le calcul des bâtiments, soit directement, par emploi des formules connues de la résistance des matériaux, dont la sécurité est établie par les expériences, soit indirectement, par augmentation des taux de travail de la charpente métallique.

Cette méthode, quoique plus facile, est moins sûre, à cause des effets possibles des variations de rigidité, dus à l'enrobage, que nous avons mis en évidence et qui ne sont pas nécessairement les mêmes toujours, mais dépendent des cas d'espèce.

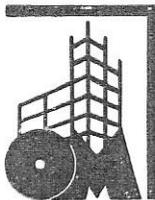
Conclusions générales concernant le type de charpente

D'après les résultats de l'étude, de l'usinage, du montage, du bétonnage et des essais effectués, on peut établir le jugement suivant concernant le type de charpente employé.

Il a satisfait pleinement au but proposé, à savoir : grande résistance et grande rigidité sous une très faible épaisseur relative de planchers (moins de 1/20°) malgré les grandes portées, les grands écartements et les fortes charges.

Ce résultat, déjà atteint sans le secours de l'enrobage et des planchers en béton armé, a été considérablement augmenté par le concours de ces éléments. Il a été obtenu par l'application intégrale et perfectionnée du principe de la continuité à la charpente métallique. Ce principe apporte à la charpente métallique tous les avantages qui lui sont reconnus dans le béton armé, surtout une utilisation plus uniforme de la matière.

Il conduit non seulement à une di-



minution de dimensions, mais à une économie de poids, tout en accroissant la résistance et davantage encore la rigidité. Quant à l'économie de prix, il faut pour la juger se reporter à l'époque de l'adjudication et constater que toutes les firmes concurrentes, et non des moindres, qui ont présenté des contre-projets ou des variantes, présentaient des offres plus chères que celles des plus bas soumissionnaires, qui s'en tenaient à notre projet.

L'usinage n'a présenté aucune difficulté. Les déchets n'ont pas dépassé la normale et les cintrages n'ont donné lieu à aucune difficulté. Ils ont été faits en série, à chaud.

Il en est de même des perçages, tous forés.

L'usinage et principalement le montage ont été facilités par la disposition des joints et leur faible nombre.

Le montage a été très rapide et facile, grâce aussi à la suppression des boulons d'ancrage, rendu possible par la continuité rigide des cadres. Ce système a été tout à fait convaincant.

Il n'y a eu de difficultés que dans la manutention des poteaux de 20 m. sur le chantier, ce qui a conditionné l'avancement.

L'enrobage a été très facile à exécuter, grâce aux couvertures extérieures assez fortes de béton.

Le coffrage et l'étaçonnage sont fortement facilités par l'ossature métallique, qui peut servir de support. Il appert que l'entrepreneur aurait pu faire des économies et avancer plus vite en suspendant les coffrages, autant que possible, à l'ossature métallique. Cela était permis, puisque la charpente était calculée pour l'ensem-

ble de toutes les charges. L'étaçonnage aurait été ainsi supprimé et cela aurait été peut-être préférable pour la sollicitation. Le plus souvent, l'enrobage n'est considéré effectivement que comme un habillage protecteur de la charpente métallique. Nous avons admis cette hypothèse dans l'établissement de notre projet.

Mais, à la suite des essais décrits ci-dessus, nous estimons qu'il convient d'employer toujours un enrobage en béton résistant et d'en tenir compte de la manière suivante :

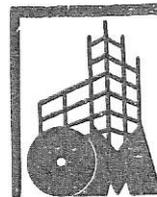
On calculera l'ossature métallique pour tous les effets avant remplissage et pour supporter une partie variable du poids mort, selon le mode d'exécution qui est le plus avantageux au total.

Ce calcul pourra être simplifié si l'on emploie des nœuds d'assemblage bien rigides, par le fait que l'on pourra considérer les poutres comme parfaitement encastrées dans les colonnes pour un bâtiment à grand nombre d'étages et à travées égales ou à peu près.

Ensuite, on vérifiera si l'ossature et l'enrobage ensemble peuvent résister convenablement à toutes les sollicitations après remplissage.

Les dimensions de l'enrobage, du béton armé des planchers et des maçonneries du remplissage doivent donc être totalement arrêtées lors de l'étude de la charpente, de même que le mode d'exécution à imposer.

La conséquence de cette méthode est un gain de quantité sur la charpente comme sur le béton en général. Les deux industries intéressées de la métallurgie et de la cimenterie y trouvent leur compte par des débouchés



assurés, ou consolidés ou multipliés.

L'ensemble devient éventuellement une œuvre d'ingénieur exigeant des moyens techniques de qualité.

Un grand avantage de l'ossature métallique enrobée est de constituer initialement un squelette rigide, facilitant le bétonnage et écartant tout risque d'effondrement. Nous avons déjà indiqué antérieurement qu'en général, le bâtiment était le plus chargé en cours de construction même, par les opérations de la construction, notamment les dépôts de matériaux. Aussi, le plus souvent, les accidents retentissants des dernières années se sont-ils produits en cours de construction. Il y a d'ailleurs plus. Les cadres en béton armé, comme tous les cadres, contribuent à la résistance par tous les éléments. Seulement, ceux-ci ne sont constitués, que progressivement et, en cours de confection, chargent les éléments antérieurement constitués, sans cependant encore leur apporter leur propre concours prévu par le calcul. On peut faire cette remarque dans l'exécution des grands cadres étagés en béton (auditoires des Instituts Universitaires du Val-Benoît). Il est ainsi possible qu'en cours de construction des sollicitations imprévues se produisent.

L'ossature enrobée supprime presque totalement ces risques. Par suspension des coffrages, elles permettent vraisemblablement une accélération des travaux.

Au terme de cette étude, nous reprendrons brièvement quelques observations générales concernant l'emploi de la soudure.

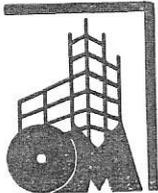
Au cours d'une communication précédente à la section de Liège de

l'A.I.Lg. (*Annuaire de l'A.I.Lg.*, 3^e et 4^e trimestres de 1931) nous avons exprimé déjà l'idée que le développement de la soudure en charpente métallique exigerait non seulement l'emploi de barres laminées de profils adéquats et des formes nouvelles d'assemblages, mais qu'il conduirait aussi à des formes nouvelles de charpentes, utilisant la continuité, dont la soudure permet une réalisation parfaite.

La continuité est réalisable en charpente rivée de la manière qui vient d'être exposée. Tous les caractères et avantages résultant de la continuité sont acquis dans cette exécution.

Aussi l'emploi de la soudure ne peut-il y ajouter que ses avantages propres, résidant dans une simplification et une diminution de poids des nœuds d'assemblage. Il n'y a guère de gain par suppression du déforçement provenant des rivures des barres, car les colonnes sont supprimées et les poutres ne sont percées qu'au joint d'assemblage. Néanmoins, les diminutions de poids à faire sur les nœuds sont encore appréciables et apportent un appoint à l'allègement réalisé par la continuité.

Il n'empêche qu'une distinction nette est à établir entre la continuité, qui est un principe de construction, et la soudure, qui est un moyen d'exécution. La récente adjudication (31 mai 1932) de la charpente métallique soudée de l'Institut du Génie Civil de l'Université de Liège en apporte une suggestive illustration. Cette charpente a été étudiée d'après les mêmes principes que celle de l'Institut de Chimie et de Métallurgie, mais entièrement soudée. La soudure a per-



mis une sensible simplification et un allègement.

Une charpente continue, en acier à haute résistance et entièrement soudée, conduit, par rapport à une charpente ordinaire rivée en acier normal, à une diminution de poids de 33 % au moins, se décomposant en 15 % dus à la continuité, 8 % dus à la soudure, 10 % dus à la qualité de l'acier.

D'après les résultats de l'adjudication, l'économie de prix paraît encore supérieure à celle de poids. Seulement, il faut reconnaître que d'autres fac-

teurs interviennent dans l'établissement des soumissions, de telle sorte que toute conclusion catégorique serait téméraire.

Nous croyons néanmoins pouvoir constater que l'ensemble de faits que nous rapportons objectivement est, sans exception, en faveur des diverses tentatives de progrès de la charpente métallique et encourage à persévérer dans cette voie, qui est celle du progrès de la technique par l'action de l'ingénieur à formation scientifique.



Fig. 91. L'Institut de Chimie et de Métallurgie de l'Université de Liège au Val-Benoît. Architecte : M. Puters. Direction technique : M. Campus. Ateliers de construction : Société Métallurgique d'Enghien-St-Eloi. Montage : MM. Istace Frères. Châssis métalliques : Chomebel, S. A. Vilvorde.

Cliché **Chamebel.**