

# L'OSSATURE MÉTALLIQUE

REVUE MENSUELLE DES APPLICATIONS DE L'ACIER  
éditée par

**LE CENTRE BELGO-LUXEMBOURGEOIS  
D'INFORMATION DE L'ACIER**

154, avenue Louise, Bruxelles - Téléphone : 47.54.98 - 47.54.99  
Chèques post. : 340.17 - Adr. télégr. : « Ossature-Bruxelles »

19<sup>e</sup> ANNÉE

N<sup>o</sup> 11

NOVEMBRE 1954

## S O M M A I R E

Le XVI <sup>e</sup> Congrès International des Centres d'Information de l'Acier à Londres . . . . .	517
Etançonnage tubulaire pour la réalisation de la fouille des bâtiments de la C <sup>ie</sup> Belge d'Assurances Générales à Bruxelles, par J. Verdeyen . . . . .	529
3 <sup>e</sup> Concours photographique du C. B. L. I. A. . . . .	532
Appareillages pour terrains de jeux . . . . .	534
Exposition Internationale Technique et Industrielle de Charleroi . . . . .	536
Echelle tubulaire pour la récolte des fruits . . . . .	539
Bâtiment à usage de bureaux à Puteaux . . . . .	540
Le problème aérodynamique des ponts suspendus et sa solution (2 <sup>e</sup> partie), par D. B. Steinman . . . . .	542
Rapport d'activité de la Commission n <sup>o</sup> IV de l'A. B. E. M. . . . .	551
Les électrodes modernes à hautes performances, par R. J. Mouton . . . . .	555
BIBLIOTHÈQUE . . . . .	563
CHRONIQUE . . . . .	565

La photo inférieure de la couverture représente la charpente du nouveau hangar de l'aéroport d'Orly.  
Constructeur : Ets. Fourès, Bordeaux.

Photo Chevojon.

**1955**

Dès à présent,  
veuillez renouveler  
votre abonnement.

•  
Conditions inchangées

ABONNEMENTS 1954 (11 numéros) :

**Belgique, Grand-Duché de Luxembourg, Congo belge** : francs belges 260,-.

**France et Union française** : 2.400 francs français, payables au dépositaire général pour la France : Librairie des Sciences, GIRARDOT & C<sup>ie</sup>, 27, quai des Grands-Augustins, Paris 6<sup>e</sup> (Compte chèques postaux : Paris n<sup>o</sup> 1760.73).

**Etats-Unis d'Amérique et leurs possessions** : 7 dollars, payables à M. Léon G. RUCQUOI, Technical Consultant to the Steel and Mechanical Industries of Belgium & Luxembourg, 30 Rockefeller Plaza, New York 20, N. Y.

**Autres pays** : 350 francs belges.

Tous les abonnements prennent cours le 1<sup>er</sup> janvier.

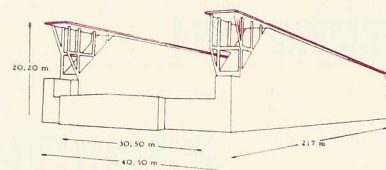
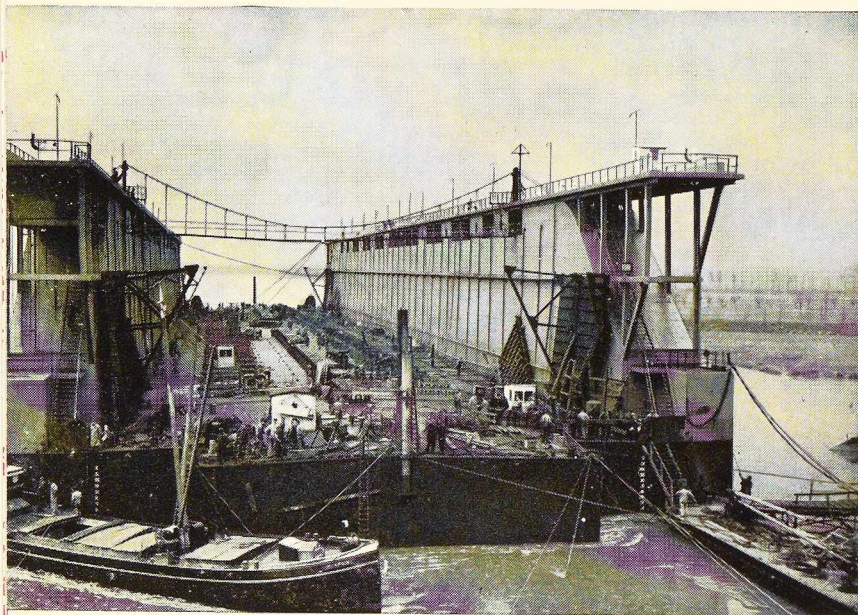
PRIX DU NUMÉRO :

**Belgique, Grand-Duché de Luxembourg, Congo belge** : francs belges 30,-,

**France** : francs français 250,-, **autres pays** : francs belges 40,-.

DROIT DE REPRODUCTION :

La reproduction de tout ou partie des articles ou des illustrations ne peut se faire qu'en citant **L'Ossature Métallique**.



**C**onstruit pour GÖTAVERKEN (Suède)  
par les chantiers navals  
Jos. BOËL & Fils à Tamise (Belgique),  
ce gigantesque dock flottant  
a une puissance de levage de 28 000 t D. W.  
Le travail d'assemblage  
des tôles de 10 à 15 mm d'épaisseur  
a nécessité le dépôt par soudage  
de plus de 65 t de métal.  
Les électrodes utilisées  
étaient du type  
« grande vitesse - forte pénétration » :

**COMÈTE ROUGE  
COMÈTE VERTE  
COMÈTE BLEUE  
COMÈTE BLANCHE**

24, boulevard Maurice Herbette  
Anderlecht-Bruxelles  
Tél. 22.19.75 (6 lignes)

**SOUDOMETAL**

PHOTO FRANS CLAES

USINES  
GUSTAVE

# BOËL

S. A. Usines G. BOËL  
LA LOUVIÈRE

Télégr. : BOEL, LA LOUVIÈRE  
Téléphones : 231.21 - 22 - 23 - 24  
Télex : BOËL, LA LVR. 20

LARGE GAMME DE DEMI-PRODUITS ET PRODUITS FINIS -  
TOLES FORTES - TOLES MOYENNES - LARGES PLATS -  
RONDs A BETON - FIL MACHINE - RAILS - BANDAGES -  
ESSIEUX - TOUTES PIÈCES D'ACIER MOULÉ - BOULONS

NOUVELLES POSSIBILITÉS POUR LES CONSTRUCTEURS

# Poutrelles A.P. et fers U A.P.

présentant des ailes parallèles, de largeur normale, à bords vifs

Les PROFILS A. P. offrent les avantages suivants :

1. Amélioration considérable des facilités d'assemblage tant en construction rivée qu'en construction soudée.

Le parallélisme et l'élargissement des ailes facilitent la pose des rivets et des boulons. Plus de rondelles biaisées ou de boulons pliés. La face supérieure des ailes inférieures étant horizontale, la pose des hourdis et planchers sur ces ailes inférieures ne donne plus lieu à sujétion. Il en est de même pour l'utilisation de ces profils comme chemin de roulement de monorail.

La diminution de l'épaisseur des ailes favorise les opérations de forage et de poinçonnage, tout en réduisant l'affaiblissement de section causé par les trous.

La forme rectangulaire des extrémités des ailes favorise le soudeur, en lui facilitant la mise en place des cordons de soudure.

2. Meilleure utilisation de l'acier. A égalité de module de flexion, les profils A. P. procurent, par rapport aux profils P. N., une économie de poids importante atteignant environ 11 pour cent pour les profils de 32 et plus.

3. La forme du profil permet dans de nombreux cas la suppression des goussets d'assemblage, donnant ainsi une nouvelle économie de poids et de main-d'œuvre.

4. La grande simplicité d'aspect et d'assemblage des profils A. P., confère aux constructions un aspect esthétique nouveau, qui constitue un progrès dans l'utilisation de l'acier comme matériau de construction moderne.

## A. DEVIS & C<sup>IE</sup>

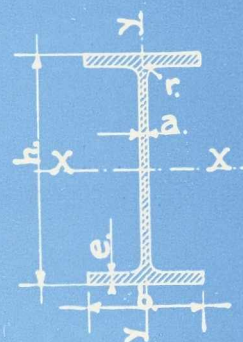
### Produits métallurgiques

296, RUE SAINT-DENIS

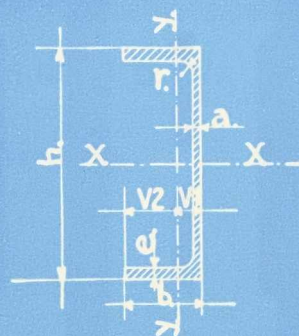
FOREST - BRUXELLES

TÉLÉPHONE : 43.50.70 (6 LIGNES)

Poutrelles :  
A.P.



Fers U :  
A.P.



Poutrelles ordinaires :

P. N., P. N. A., L. B., B. O. et anglais.

Poutrelles Grey :

D. I. E., D. I. L., D. I. N. et D. I. R.

**Poutrelles A. P. - Fers U A. P.**

Fers U ordinaires :

P. N., P. N. A., B. O., P. S. et anglais.

Fers U moulurés à froid.

# L'OSSATURE MÉTALLIQUE

REVUE MENSUELLE DES APPLICATIONS DE L'ACIER

19<sup>e</sup> ANNÉE - N° 11

NOVEMBRE 1954



## XVI<sup>e</sup> Congrès International des Centres d'Information de l'Acier, à Londres

Le XVI<sup>e</sup> Congrès International des Centres d'Information de l'Acier s'est tenu à Londres, du 11 au 16 octobre 1954, avec la participation des pays suivants : Allemagne, Belgique, Luxembourg, France, Grande-Bretagne, Hollande, Italie, Suisse.

Le programme du Congrès comportait deux journées de séances d'études et trois journées d'excursions. Des visites particulières avaient été prévues à l'intention des dames accompagnant les Congressistes.

Le thème du Congrès 1954 était le développement de l'emploi des produits plats. Les Congressistes ont présenté successivement les exposés suivants :

- Utilisation des produits plats pour la fabrication d'éléments de construction et l'équipement des bâtiments à étages : MM. Jean Dupuis, Dumat, Lecomte, Mesland, Th. Moreau (France).
- La tôle d'acier pour toitures et revêtements muraux : M. W. A. Mitchel (Grande-Bretagne).
- L'acier dans la construction d'héliports : M. Lothar Prang (Allemagne).
- Constructions métalliques industrielles en Suisse : Dr Baeschlin (Suisse).

- La conception des aéroports à l'aéroport de Londres : M. Frederick Gibberd (Grande-Bretagne).
- Aspects économiques du projet du pont de Forth : M. H. Shirley Smith (Grande-Bretagne).
- Emploi de la tôle dans le matériel roulant : M. J. Lourtie (Belgique).
- Aspects économiques de l'emploi de l'acier à haute résistance dans la construction : M. Descovich (Italie).

Toutes ces communications ont présenté un grand intérêt et ont fait l'objet de discussions instructives.

Le 13 octobre les Congressistes ont visité à Londres, plusieurs chantiers de bâtiments à ossature métallique, notamment celui de la Bank of England et celui du Lloyd.

Le 14 et le 15 octobre, des excursions ont été organisées en Ecosse pour la visite des Usines Colvilles à Glasgow et du fameux pont du Firth of Forth.

Dans le présent numéro, nous donnons une partie des communications présentées au Congrès; la suite de ces communications paraîtra dans les prochains numéros de notre revue.

J. Lourtie,  
 Directeur technique,  
 Fabrimétal  
 (Belgique)

## Emploi de la tôle en matériel roulant

Je me propose d'exposer dans cet article l'évolution qui s'est faite au cours des dernières années en matière de construction de matériel de chemins de fer et montrer, à la faveur de cette évolution, la place prise par les produits sidérurgiques laminés plats dans la constitution des ossatures de véhicules

Mon exposé se limitera à l'aspect économique du problème.

Pendant un siècle l'extension formidable prise par les réseaux ferrés dans le monde entier a contribué, de deux façons, au développement de l'industrie sidérurgique, soit en facilitant d'abord le transport des matières premières utilisées en métallurgie ainsi que l'acheminement des produits finis vers les lieux de consommation ou d'embarquement maritime, soit en absorbant des quantités importantes de produits ferreux dans les ouvrages d'art, la signalisation, la voie et le matériel roulant proprement dit.

Pour fixer les idées en ce point je remarque qu'en Belgique, rien que pour le matériel roulant, c'est-à-dire les locomotives, les voitures à voyageurs et les wagons à marchandises, sans tenir compte des installations fixes ni du matériel de tramways, les constructions représentent en produits métallurgiques environ 1 250 000 t, soit  $\pm$  150 kg par habitant.

Le renouvellement annuel d'un tel matériel, considérant un amortissement moyen en 40 ans, justifierait l'emploi d'environ 30 à 32 000 t de matières ferreuses, soit  $\pm$  3 à 4 kg par habitant.

Ces chiffres sont données à titre simplement indicatif il s'agit d'un ordre de grandeur qu'il ne conviendrait pas de transposer aux autres pays du monde.

Considérant cependant l'universalité des chemins de fer, on imagine facilement toute l'importance que présentent, comme clients de la métallurgie, les multiples réseaux ferroviaires.

Certains de ces réseaux sont encore en expansion, notamment dans les pays en développement économique accéléré, mais dans notre vieille Europe la concurrence des réseaux routiers et aériens, voire même fluviaux, fait obstacle à une extension plus poussée des transports par voie ferrée.

Il faut bien avouer que depuis un quart de siècle environ les réseaux ferrés des pays européens ont perdu le monopole des transports rapides et économiques et se voient de plus en plus dans l'obligation de modifier leurs méthodes d'exploitation afin de tenir compte des avantages qu'offrent aux usagers les autres modes de déplacement.

Les voyageurs réclament toujours plus de confort, un trafic plus rapide et la multiplication des convois.

Par ailleurs, pour des raisons sociales ou d'économie générale, les transporteurs sont souvent astreints à accorder des réductions de tarif et souscrire à des accommodements de toute nature.

Pour ce qui regarde plus particulièrement le transport des marchandises, il ne suffit plus de tenir compte des seuls frais de transport de gare de départ à gare d'arrivée puisqu'il faut assurer le transport de porte à porte, c'est-à-dire du lieu de production aux endroits de consommation. Ceci signifie que les transbordements, trop coûteux, ne sont plus acceptables sauf lors de transports à longue distance, où l'incidence des manutentions de chargement et de déchargement sur les frais inhérents au transport lui-même est sans importance.

D'une façon générale, les réseaux réalisent des prodiges d'ingéniosité pour s'accommoder de la concurrence de la route et retenir au maximum leur ancienne clientèle. Malheureusement, ils ne peuvent espérer réussir complètement. Il en résulte un état de fait qui conduit notamment à une nouvelle façon de concevoir les méthodes d'exploitation et de construction du matériel roulant proprement dit.

A ce sujet, les préoccupations principales se résument comme suit :

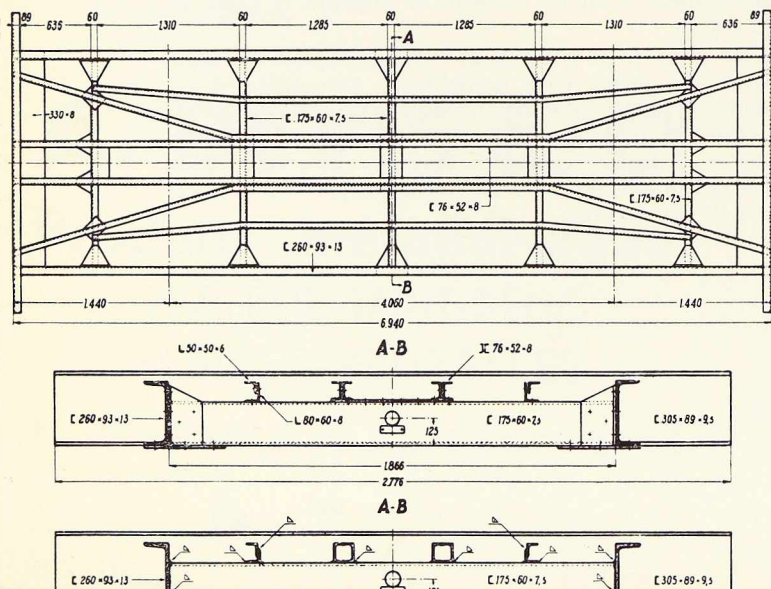


Fig. 1. Vue en plan et coupes transversales du wagon-tombereau soudé de 25 t de la S.N.C.B. (1931). La coupe supérieure représente l'ancienne solution rivée.

## 1. Sur le plan général

- Améliorer l'harmonie de fonctionnement mécanique des roues vis-à-vis du rail;
- Adoucir les réactions des essieux et des bogies vis-à-vis de la caisse;
- Créer un matériel nécessitant le minimum d'entretien.

## 2. Pour ce qui est des locomotives

Accepter, à poids constant, le maximum de puissance, qui va toujours en croissant.

## 3. Pour ce qui est des voitures

- Créer de l'attrait pour les voyageurs;
- Réduire la tare par voyageur transporté;
- Soigner l'ambiance.

## 4. Pour ce qui est wagons à marchandises

- Simplifier la construction;
- Standardiser au maximum;
- Réduire les prix de revient de la construction par tonne transportée;
- Faciliter au maximum les opérations de chargement et de déchargement.

Si les progrès sont lents en ce qui concerne les points repris au 1, l'usage de plus en plus répandu d'alliages légers et d'aciers spéciaux, notamment ceux à haute limite élastique, semble devoir répondre à certains des points énumérés ci-dessus.

On retrouve de plus en plus l'aluminium et ses alliages, non seulement dans les accessoires mais également dans les recouvrements de voitures et même de certains wagons.

Les produits en acier inoxydable contribuent également à des améliorations sensibles. Ce métal permet de combiner les avantages d'un allègement quelquefois important avec ceux d'un entretien presque nul.

Par contre, les constructions en bois, pour ce qui concerne l'ossature évidemment, disparaissent complètement.

Finalement, le problème de l'allègement du matériel roulant est celui qui, de tous, retient le plus l'attention des constructeurs et des exploitants de réseaux, mais il y a des limites. Les bureaux d'études principalement ne sont pas d'avis de pousser dans cette voie jusqu'à l'extrême des possibilités. Ils estiment, en effet, qu'il convient de conserver, par une solidité convenable des châssis, une sécurité suffisante dans les transports et assurer un minimum de bonne tenue sur la voie compte tenu de l'hétérogénéité du matériel et de l'hétéroclécité des convois.

Se greffant sur cette évolution de caractère général

en ce qui concerne l'allègement, on note, pour les voitures, un achèvement vers la simplification des intérieurs et des garnitures.

Malheureusement, jusqu'à présent, les résultats sont très lents à obtenir. Très peu de véhicules réalisent l'ambiance que souhaite le voyageur, surtout lorsque par « ambiance » on entend : souplesse de suspension — insonorisation — conditionnement d'air (température, poussière, fumée, renouvellement) — sièges confortables et agréments divers que le voyageur commence à rencontrer dans d'autres modes de transport.

Cette lenteur d'adaptation provient en ordre principal de la longévité du matériel par rapport à la longévité de celui qui circule sur route ou dans les airs, par exemple. En effet, la voiture de chemin de fer est faite pour vivre plus de 40 ans, tandis que l'auto se remplace pratiquement à chaque lustre.

L'orientation actuelle en matière de types de wagons marque surtout son influence dans la composition des parcs de véhicules. Les transports par route enlevant de plus en plus les charges incomplètes et les petits colis, les réseaux conservent les marchandises encombrantes ou pondéreuses.

Il faut plus de wagons plats, dont certains sont aménagés pour recevoir des containers, et les wagons fermés devraient être à « toit ouvrant » pour faciliter les chargements avec les appareils de levage modernes.

La standardisation des véhicules et surtout des éléments constitutifs du matériel est, avec l'allègement, un des aspects les plus marquants de cette construction.

D'une façon générale, on construit aujourd'hui à des prix bien inférieurs à ceux pratiqués il y a quelque dix ans, grâce surtout aux méthodes modernes d'organisation des moyens de fabrication en atelier, en raison aussi d'une meilleure connaissance des matériaux employés, et, enfin, grâce à une mise au point des méthodes de calcul des constructions.

## Méthodes de calcul des constructions et méthodes modernes de mise en fabrication

D'une façon générale, quand on étudie la construction d'un matériel roulant ferroviaire quelconque, on se trouve astreint à une série de données ou de prescriptions qui marquent les limites du cadre dans lequel le constructeur peut évoluer pour réaliser son

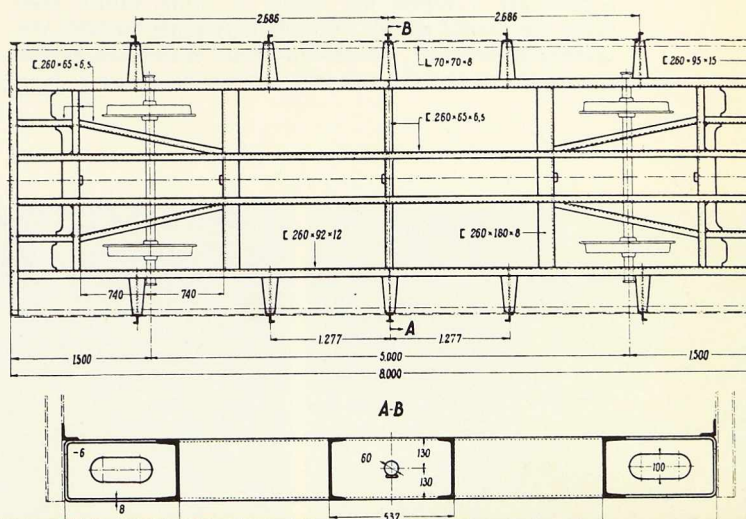


Fig. 2. Vue en plan et coupe transversale du châssis du wagon-tombereau soudé de 25 t de la S. N. C. B. (1948).

Documents « Arcos ».

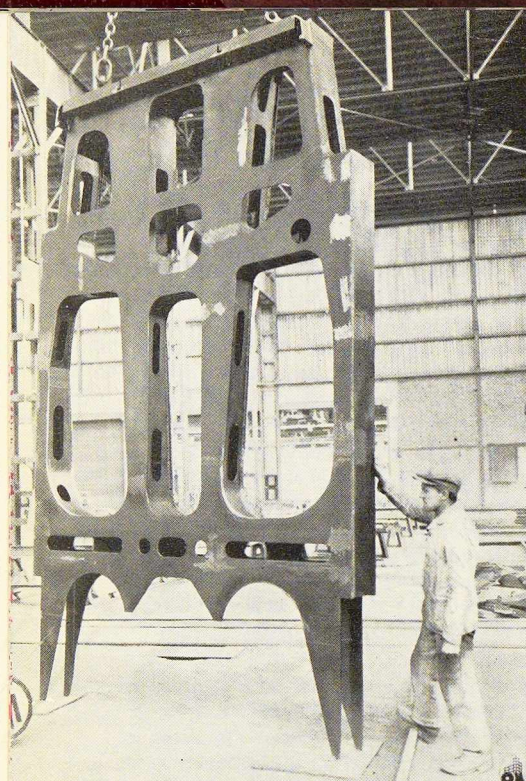


Fig. 3.

étude. Ce sont, notamment : le gabarit — l'effort de traction — l'action sur les butoirs — la charge maximum par essieu — la puissance des véhicules ou la capacité de charge suivant qu'il s'agit d'un appareil moteur ou d'un véhicule tracté, etc.

S'il s'agit d'une locomotive par exemple, la partie « moteur » sera conçue pour donner la puissance maximum dans les conditions de marche et de sécurité offrant le plus de garanties. Les éléments de roulement, du frein, des organes de choc et traction, sont conçus selon le même principe, de telle sorte qu'en fin de compte le poids disponible pour créer les châssis et la caisse est très limité. Si cela n'était pas, on adopterait souvent pour la réalisation de ces derniers éléments, une construction en acier moulé ou avec des profils laminés habituels. Mais, si au contraire on se trouve enfermé dans des limites étroites — ce qui est malheureusement presque toujours le cas — on se voit forcé d'envisager l'emploi des aciers à haute limite élastique, de profils allégés ou tirés hors plats ou tôle, des métaux légers, etc., et des méthodes d'assemblage par soudure.

Dans le choix des solutions à adopter, on se trouve presque toujours contraint d'accepter un compromis qui doit finalement conduire à la construction la plus économique, réalisée dans le délai prescrit.

Le constructeur, en cherchant ainsi le prix de réalisation le moins coûteux, en fonction des dernières variables sur lesquelles il a encore prise, peut jouer sur deux séries de facteurs, à savoir :

— d'une part, le prix de revient de la matière, y compris les frais y relatifs, et,

— d'autre part, le coût de la main-d'œuvre directe et des frais généraux directs, entraînés par la construction même, compte tenu des frais y afférents.

En réalité, toutes les autres conditions étant égales, il faut que le total  $M + S$ , c'est-à-dire Matières plus Salaires, soit le plus bas possible. Il ne suffit pas de substituer une matière à une autre de qualité supérieure sans tenir compte des prix respectifs de chacune d'elles et des quantités utilisées.

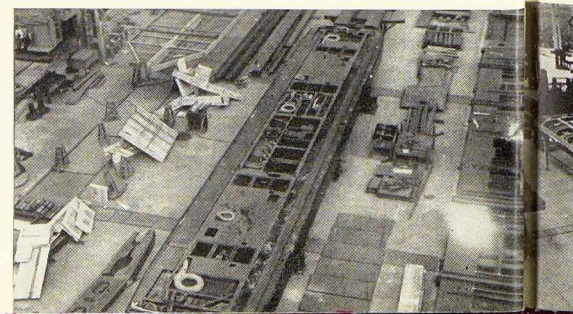
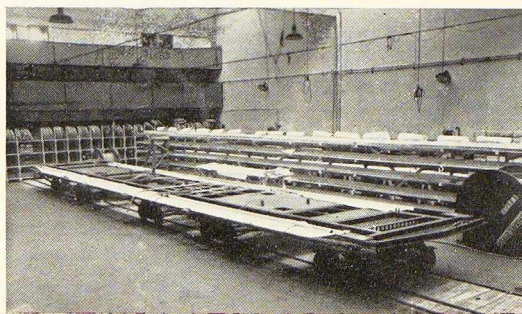
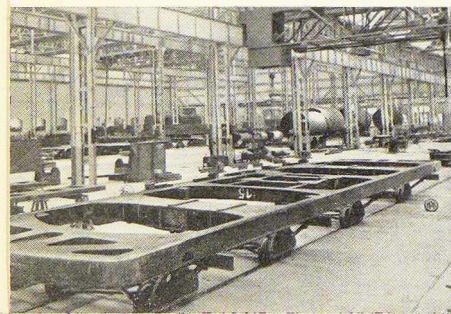
Il ne suffit pas non plus de faire choix d'une matière finalement moins coûteuse au total si les frais de mise en œuvre et de transformation sont tels que l'économie réalisée sur matières soit annihilée par les suppléments de main-d'œuvre. De plus, il ne conviendrait pas de choisir des matières dont les délais d'approvisionnement seraient sans rapport avec les délais d'achèvement des constructions.

Or, dans la recherche de la solution la meilleure et finalement la plus avantageuse, toutes les usines et tous les bureaux d'études n'arriveront pas à un même résultat. Si le total  $M + S$  peut être très voisin d'une usine à une autre, le rapport  $\frac{M}{S}$  peut être très différent. Là où les salaires sont très élevés par rapport aux salaires payés par des concurrents, il faudra une solution « matière » toute différente et vraisemblablement une organisation du travail en rapport avec la disposition envisagée.

Le facteur « nombre de pièces identiques à produire » prend alors toute son importance. On ne conçoit pas, en effet, une même organisation du travail, tantôt pour l'exécution de commandes comportant peu d'unités et réalisant plus tard des fabrications en grand nombre.

Tout ceci montre combien il est impossible d'étudier un matériel sans tenir compte, dans une large mesure, des procédés mis en application pour le construire, tout comme il n'est pas possible de réaliser économiquement une construction si on n'adapte pas les moyens de fabrication pour les mettre en rapport avec les exigences de la construction.

Fig. 4 à 9. Divers aspects de la chaîne de montage dans un





## Connaissance des matériaux

Le problème qui vient d'être évoqué met également en relief l'absolue nécessité d'une connaissance approfondie des matériaux, qu'il s'agisse de leurs caractéristiques mécaniques ou des conditions de leur fourniture.

De nos jours, il ne suffit plus d'enregistrer les valeurs trouvées lors des contrôles et essais sur éprouvettes et de les affecter d'un coefficient de réduction pour les incorporer dans les formules se rapportant au calcul des éléments constitutifs du matériel à construire. Il faut tenir compte encore des multiples qualités ou caractéristiques du matériau, dont l'intervention n'est pas prévue directement dans les calculs de dimensionnement.

Il ne suffit pas d'en arriver insensiblement à de meilleures méthodes de contrôle des produits sidérurgiques, et je songe notamment aux contrôles permanents par voie statistique, si nous manquons encore des formules et des équations qui établiraient une corrélation entre certaines caractéristiques du matériau et dont il n'est pas tenu compte dans les calculs.

Etant donné cet ensemble de considérations, on en arrive, dans la pratique, à devoir tenir compte à la fois des diverses possibilités qu'offrent, soit les constructions en acier moulés ou en tôles embouties, soit les profilés normaux ou allégés, soit les profilés tirés hors tôles et pliés.

Les soudures à l'arc et par résistance favorisent l'emploi de plus en plus généralisé des produits plats, pliés, tirés hors tôles ou larges plats.

On distingue les profils simplement pliés et les profils roulés qui permettent d'obtenir toutes les formes que l'on peut imaginer, l'un ou l'autre des procédés étant justifié par la plus ou moins grande quantité de mètres courants à obtenir.

Les pliés ou les roulés sont classés en trois catégories en fonction des épaisseurs du plat ou de la tôle de départ :

- les fortes épaisseurs, supérieures à 8 mm;
- les moyennes, comprises entre 4 et 8 mm, et
- les faibles, en-dessous de 4 mm.

Les éléments en fortes épaisseurs sont nécessairement pliés à chaud, suivant une technique qui se rapproche soit du forgeage, soit de l'emboutissage. Les éléments de moyennes et faibles épaisseurs sont pliés à froid.

Du point de vue des assemblages, dans le cas des fortes et moyennes épaisseurs, on procède par boulonnage, rivetage ou soudage (cordons, bouchons ou bou-



Fig. 10.

tonnières); la soudure par points est appliquée surtout aux faibles épaisseurs.

Les assemblages des profilés pliés en forte épaisseur sont utilisés pour la construction d'éléments très résistants, reprenant des efforts très importants, tels que les châssis de bogies, les avant-corps, les châssis de locomotives, de voitures ou de wagons, etc. Les profilés légers servent à la construction d'ossatures légères de caisses de voitures ou de carrosseries.

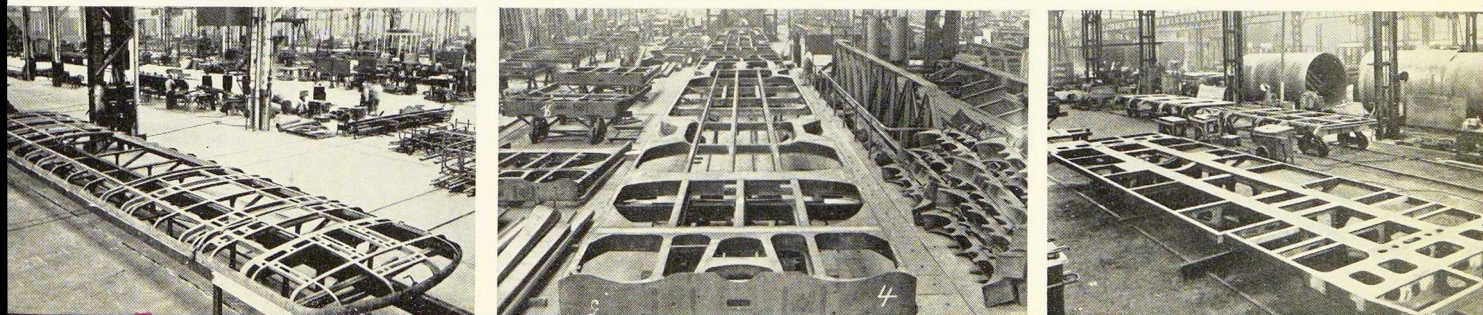
Il convient cependant, lorsqu'on veut comparer les possibilités d'application des profilés laminés avec celles des profilés tirés hors tôle ou produits plats, d'établir cette comparaison non pas uniquement d'après les poids, mais également en raison de la fonction que doivent remplir les profils.

Parmi les avantages des profilés pliés, il y a lieu de citer :

1° La facilité d'une mise en œuvre :

a) La grande liberté donnée par la forme des pliés permet la réalisation des éléments simples, généralement d'une seule pièce, pour des parties de véhicules,

atelier de construction de matériel roulant en Belgique.



telles que montants, entretoises, longrines, tympans, etc.;

b) La superposition d'éléments supprime, en tout ou en partie, les goussets, notamment dans le cas d'assemblages bout à bout;

c) Les ailes des pliés, étant parallèles, permettent des rivetages et des boulonnages meilleurs qu'en profilés laminés;

d) Le stockage, les manutentions, ainsi que le traçage et le formage sont grandement facilités.

2° Facilité dans le choix des matériaux :

Alors qu'il n'existe pratiquement pas, ou guère, de profilés laminés autres qu'en acier doux ordinaire, l'emploi de profilés pliés, tirés hors tôles en acier quelque peu spécial, soit à haute limite élastique, soit présentant d'autres qualités particulières, comme le Bel-Corten ou les aciers inoxydables, ne présente pas de difficultés d'approvisionnement.

3° Simplification de la construction :

La simplification est obtenue par la possibilité d'assurer une meilleure uniformité de résistance des pièces, consécutive à la formation de solides d'égale résistance et, enfin, par un allègement considérable.

Parmi les inconvénients, il y a lieu de retenir, pour le cas particulier d'applications qui nous occupe, et évidemment sans généraliser :

— Le prix d'achat des tôles et plats, plus élevé (au kg) que le prix des profils laminés;

— La nécessité de créer un outillage spécial pour le pliage et le formage, étant donné le peu de choix actuel des pliés du commerce;

— La mauvaise résistance au flambage et surtout la possibilité du voilement des ailes;

— Dans le cas d'emploi de tôle pour le revêtement

des voitures, la difficulté d'obtenir des surfaces idéalement planes.

### Conclusions

Au terme de cet exposé on en arrive à constater que l'acier conserve et conservera encore longtemps une place très étendue dans la fabrication du matériel ferroviaire. On le retrouve, en effet, sous toutes les formes : moulé ou laminé, usiné ou brut, et il est très difficile de déceler de quelle manière et sous quel aspect il se défend le mieux.

La prédominance d'un produit sidérurgique sur un autre, se justifie par une question de prix, de goût ou de délai de livraison et elle n'est jamais absolue dans tous les cas.

Par contre, les progrès très importants réalisés en sidérurgie ces derniers temps en matière de production de laminés plats, tôles et bandes, font que les constructeurs sont naturellement portés à utiliser le produit plat, qui répond le mieux à leurs préoccupations.

A ce sujet, les tôles et les plats offrent indiscutablement des ressources sans nombre.

En construction de matériel roulant lourd on utilisera de plus en plus des plats pliés à chaud ou à froid en acier à haute limite élastique pour la constitution des organes devant résister aux chocs et aux vibrations ainsi qu'aux charges éventuelles, tandis que les profilés pliés légers en aciers ordinaires ou même spéciaux, comme l'inoxydable, sont réservés pour les caisses et les toitures des voitures et des wagons. Pour la construction des voitures de tramways et surtout les trolleybus et les autobus, ainsi que les containers, il est certain que les produits plats sont les plus indiqués.

J. L.

F. Gibberd,

C. B. E., F. R. I. B. A., M. T. P. I.  
(Grande-Bretagne)

## La conception des aérogares à l'Aéroport de Londres

Les bâtiments de l'aérogare sont groupés au centre de l'aéroport de Londres. On y accède par un passage souterrain sous les pistes d'envol. Les avions, au lieu de s'étirer en une longue rangée le long du périmètre de l'aéroport, se groupent autour des bâtiments, comme des poussins autour d'une poule.

C'est ainsi qu'on a recherché la distance la plus courte possible entre les avions et les taxis, entre les pistes et le terre-plein; la distance entre les bâtiments et les avions stationnant sur les terre-pleins a été également réduite au minimum. C'est un plan rationnel pour un aéroport international qui est en dehors de mes attributions.

Le terrain, d'une superficie de 63 hectares, est formé par l'intersection du système des pistes. Près des pistes se trouve le terre-plein qui comporte des « taxiways » et deux rangées de hangars d'avion. Viennent alors les bâtiments faisant face aux hangars intérieurs et ensuite la partie centrale qui est une place en forme de losange entourée par des bâtiments dont l'accès est assurée par un passage souterrain.

Ainsi le public, les voitures et les autobus se trouvent à l'intérieur du losange, tandis que les avions se trouvent à l'extérieur; nous appellerons cela « côté terre » et « côté air ». Les bâtiments constituent non seulement une barrière pour la vue mais encore une





**Fig. 10.** Vue d'ensemble des bâtiments de l'aérogare groupés au centre de l'aéroport de Londres.  
Photo Wainwright.

barrière douanière entre le côté terre et le côté air.

A l'intérieur du losange se trouve la tour de contrôle qui abrite également les bureaux, la cantine, le restaurant et d'autres services pour ceux qui sont chargés de la surveillance de l'aéroport. A l'extrémité se trouve le bâtiment des voyageurs, un grand cube plat à gauche de la figure qui amène le voyageur aérien de l'autobus ou de la voiture vers l'avion ou vice versa.

Tout près de ce bâtiment au sommet du losange, il y a un bâtiment, dit bâtiment sommet Est, qui a une double fonction; une partie communique avec le grand public qui vient à l'aéroport en visiteur, une autre partie, destinée au personnel aérien et à la maintenance. Tous ces bâtiments sont reliés par des passages et les deux bâtiments situés sur le périmètre, communiquent entre eux au moyen de passerelles.

Le bâtiment des voyageurs est destiné aux trajets courts, c'est-à-dire aux personnes voyageant sur de courtes distances, tels par exemple les trajets vers les pays d'Europe. Le bâtiment des « longues distances » pour avions transcontinentaux sera construit sur un autre côté du bâtiment du sommet du losange (à droite) et sera relié également par des passerelles.

Pour pouvoir construire aussi rapidement que possible, on a partagé la construction de chaque bâtiment en trois entreprises distinctes : fondations, ossature métallique, entreprise générale.

L'infrastructure est plutôt régulière, le gravier se trouvait à une profondeur de 90 cm, les fondations ont été réalisées en gros béton.

La seule anomalie est due au système compliqué de passages souterrains et de canalisations. L'architecte et ses collaborateurs se sont décidés pour l'ossature métallique, que vous voyez ici en construction, parce que ce système est plus rapide que tous les autres. Il avance rapidement et les planchers constituent des plates-formes sur lesquelles les entrepreneurs peuvent travailler simultanément.

La deuxième raison de ce choix était dû au fait qu'une construction en acier est « souple ». Il est relativement aisé de la démonter en cas de transformations éventuelles.

Il a été décidé que le bâtiment devait être établi suivant un module 3,65 m (12') car cette grandeur constitue une dimension de pièce utile, cette grandeur étant une portée économique pour un plancher en béton armé, et aussi parce qu'il est un multiple du plus commun des matériaux de construction britannique : la brique.

La plus grande partie de la charpente métallique est enrobée de béton (5 cm); c'est là une exigence des autorités du Ministère, chargées de la protection contre l'incendie.

La plus haute partie de l'ouvrage est une tour de contrôle d'une hauteur de 36,60 m; de cette façon la salle de contrôle a une vue dégagée sur le champ d'aviation, dominant les autres bâtiments.

La tour est le centre nerveux de l'aéroport. Elle contrôle tous les mouvements, que ce soit dans l'air ou sur le terrain : elle s'occupe aussi des télécommunications aéronautiques.

La haute salle vitrée avec sa galerie au sommet est le contrôle d'approche dirigeant les avions à l'aéroport au moyen du radar. Au-dessus se trouve le contrôle de l'aérodrome qui permet aux avions de se poser sur les pistes.

Sous le contrôle d'approche se trouve le contrôle du trafic sur le terrain qui surveille la circulation des avions et des véhicules terrestres.

Le bâtiment est conçu comme un ouvrage circulaire autour d'un noyau central. Celui-ci abrite les ascenseurs, le conditionnement de l'air, la tuyauterie, les tubes pneumatiques et les canalisations électriques.

Au-dessous de chaque salle de contrôle il y a un faux plancher formant une gaine horizontale reliée à la gaine verticale des canalisations. De cette façon il est possible de travailler aux canalisations sans déranger le personnel des salles.

Le contrôle d'approche est la pièce la plus intéressante. Il comporte deux étages avec un grand panneau de renseignements d'un côté et des fenêtres sur les autres côtés. Une galerie intérieure fait le tour de la salle, elle se prolonge à l'extérieur du bâtiment pour former balcon.

La salle de contrôle de l'aérodrome est construite au moyen de poutrelles standards  $127 \times 76$  mm qui sont façonnées de manière à constituer une coupole, elles sont reliées au sommet par des plats de forme circulaire. Les fenêtres en aluminium sont boulonnées à l'ossature en acier.

Le revêtement de façade est en briques, car il est économique à réaliser et donne un aspect anglais au bâtiment. De plus, le revêtement en briques procure une façade permanente sans nécessité d'entretien, un aspect agréable et une belle couleur brune, chaude qui contraste avec le vert de l'herbe, le gris des pistes et le ton métallique des avions.

Le premier bâtiment des voyageurs (trajets courts) concerne trois sortes de voyageurs.

Intérieur : ce sont des personnes qui ne quittent pas le pays et par conséquent ne sont pas soumises aux formalités douanières. Elles ont des locaux séparés à leur disposition.

Le second groupe : Ce sont des voyageurs en transit, c'est-à-dire des personnes qui se rendent d'un pays à un autre et atterrissent à l'aéroport de Londres sans entrer en Angleterre. Elles sont confinées côté air du bâtiment de façon à ne pas devoir traverser les barrières de la douane.

Les voyageurs du troisième groupe qui doivent passer par les formalités douanières sont de loin les plus nombreux. Le problème était de faire passer

rapidement et facilement un grand nombre de voyageurs avec leurs bagages à travers les formalités irritantes de la douane, des services d'immigration et de santé.

Après une étude approfondie du problème, il a été décidé que le bâtiment devait être prévu pour servir simultanément dix groupes de voyageurs. Chaque groupe est amené directement à travers le bâtiment du côté terre au côté air ou vice versa à travers le passage. Ces passages sont placés côte à côte et sont arrangés de façon que les voyageurs de différents avions ne se croisent jamais et ne doivent pas entrer en contact avec d'autres services. Les passages comportent quatre sections longitudinales :

1. La salle des pas perdus côté terre (à gauche sur la figure);
2. La douane;
3. Les services d'immigration et de santé;
4. Les salles d'attente (sous les jardins sur le toit, côté air du bâtiment).

En sortant des salles d'attente les voyageurs se dirigent en descendant le long de la galerie et des passerelles vers les avions ou les autobus, desservant les avions éloignés.

Dix passages pourvus d'escalators et dix courroies transporteuses prennent les chargements individuels des avions à l'arrivée ou au départ.

La salle des douanes est abondamment éclairée par des lanterneaux.

Son ossature est constituée par une série de portiques continus soudés; l'acier a été laissé apparent. Bien entendu, un grand soin a été pris en vue de donner à l'ossature une forme élégante.

Le même type de plancher est employé dans tous les bâtiments : éléments en béton armé moulés d'avance sur des poutrelles de portée standard de 3,65 m. Les barres sur le plancher sont des tuyaux de chauffage. Ailleurs, où il y a des plafonds suspendus, on a utilisé les éléments de plancher type Frenger qui réunissent les tuyaux de chauffage, l'isolation et les revêtements dans un seul élément.

En examinant le plan du premier étage du bâtiment on note que la section à droite est le bâtiment des voyageurs du service intérieur — un hall au rez-de-chaussée avec escalator conduisant à la salle d'attente au premier étage et de là par une passerelle vers l'avion. La partie au centre est destinée aux voyageurs en transit. La salle des pas perdus principale s'étend sur toute la longueur du bâtiment. Celle-ci, d'une hauteur de deux étages et d'une longueur de près de 152 m, abrite les banques, les magasins, les bureaux des lignes aériennes et autres services. La salle des pas perdus se prolonge dans le centre du bâtiment où un large escalier conduit vers un balcon et aux restaurants dominant le champ d'aviation.

Les éléments de l'ossature métallique des cloisons

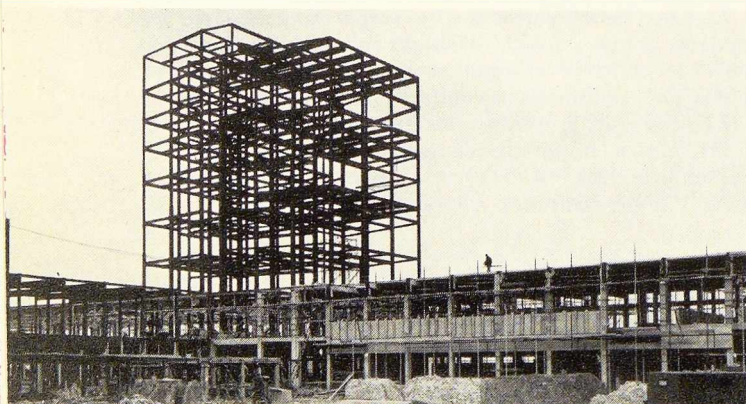


Fig. 11. Vue partielle de l'ossature en acier du bâtiment de contrôle à l'aéroport de Londres.

Photo Ministère de l'Air Britannique.

vitrées sont espacés de 7,35 m d'axe en axe; les châssis de fenêtres sont portés en porte à faux par le plancher et la toiture, indépendamment des colonnes. Les châssis de fenêtres sont en aluminium tandis que les meneaux et les linteaux sont constitués par des éléments plats en acier.

Le toit au-dessus des bureaux et le restaurant sont conçus comme des terrasses; de cette façon le bâtiment forme en fait une énorme tribune dominant le champ d'aviation. Ces différents niveaux ont posé quelques problèmes constructifs très intéressants.

La galerie côté air et la passerelle ont une ossature métallique légère avec des tubes comme éléments verticaux et des tés pour porter les éléments de toiture en bois aggloméré. Un châssis métallique continu est disposé devant ces tubes. C'est dans des constructions comme celles-ci que l'acier est sans rival pour donner des formes élégantes.

Du bâtiment adjacent, on accède à la terrasse des visiteurs et aux jardins au moyen d'une passerelle en acier d'une largeur de 3,65 m et d'une portée de 26,50 m. Les membrures supérieures et inférieures de cet ouvrage sont des tubes de 20 cm de diamètre au centre et 17 cm sur les côtés avec des diagonales de 10 cm et des montants de 8 cm.

Le bâtiment adjacent, le bâtiment sommet Est, est destiné aux visiteurs ainsi qu'aux opérations de manu-

tention et aux équipages. Une passerelle le reliera au bâtiment futur des longs trajets, se trouvant du côté opposé.

Le bâtiment a une forme inhabituelle « en segment » de manière à l'incorporer au sommet du losange. Il est courbe côté air en vue de donner un développement maximum de la façade, côté champ d'aviation et les côtés sont parallèles aux bâtiments adjacents pour voyageurs. Ici encore le bâtiment a été conçu de façon à permettre aux visiteurs d'accéder à tous les étages.

Le problème dans ce bâtiment était de séparer le public du personnel aérien.

Le public entre dans l'axe du bâtiment. Le hall d'entrée a un bureau de poste d'un côté et un cinéma de l'autre. Du côté opposé des portes d'entrée se trouve une cage d'escalier conduisant vers un grand hall d'exposition dominant un toit-jardin. Du hall les visiteurs accèdent aux toitures-terrasses au moyen d'un tourniquet; ils ont également accès à la pâtisserie et aux salles de restaurant dominant le champ d'aviation.

L'équipage entre de chaque côté du bâtiment et de là est dirigé vers son bureau des douanes et la sortie vers le champ d'aviation. Tout le rez-de-chaussée est utilisé par les compagnies aériennes pour le graphique du vol et les prévisions météorologiques.

F. G.

Lothar Prang,  
Architecte Diplômé  
(Allemagne)

## L'acier dans la construction des aires d'atterrissage pour hélicoptères

### INTRODUCTION

Au cours des dernières années, un nouveau moyen de transport aérien, qui pourrait être destiné à créer de nouvelles liaisons rapides dans notre système de communications, s'est mis en évidence de plus en plus. C'est l'hélicoptère qui, depuis la guerre de Corée, a prouvé son efficacité technique et sa sécurité.

Grâce à un travail approfondi et de longue haleine des inventeurs et des constructeurs, nous sommes arrivés aujourd'hui à un degré de perfection qui permet l'utilisation de cet appareil de vol dans les transports aériens sur courtes distances. Il existe une multitude

de types d'hélicoptères et les dernières années ont apporté dans le développement de ces appareils, des progrès très importants.

### EXPOSÉ GÉNÉRAL

#### Catégories diverses de transports par hélicoptères

L'hélicoptère est un moyen de transport à utilisations multiples.

Le cas particulier qui nous intéresse le plus, est l'utilisation de l'hélicoptère comme moyen de transport et l'emploi de l'acier comme matériau de construction dans les installations terrestres.

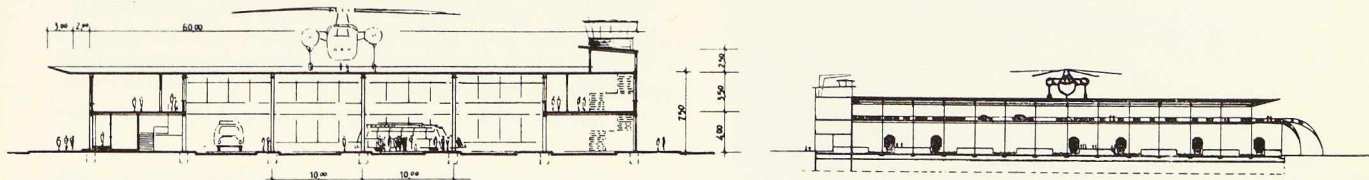


Fig. 12 et 13. Héliports établis au-dessus d'un garage d'autobus et d'une gare de chemin de fer.

Dans cette utilisation on peut distinguer trois catégories principales :

- a) Le service d'accès aux grands aéroports;
- b) Les transports de banlieue, c'est-à-dire la liaison du centre d'une grande ville avec sa banlieue;
- c) Les transports interurbains, destinés à faciliter la liaison entre diverses villes ayant des relations économiques et de communications.

#### Problèmes d'urbanisme et position des installations d'atterrissage

Le progrès technique réalisé dans les transports pose aux urbanistes des problèmes nouveaux et difficiles à résoudre.

Le système actuel d'artères de communication de nos grandes villes est devenu insuffisant pour faire face de manière satisfaisante au problème de la circulation automobile.

Jusqu'à présent, l'urbaniste n'a pas eu besoin de penser à la circulation aérienne, car les aéroports des grandes villes sont situés loin à l'extérieur du centre des villes, à peu d'exceptions près, comme par exemple Berlin-Tempelhof.

Il importe de souligner que les transports par hélicoptères n'ont de chances de succès que si on réussit à placer les installations d'atterrissage dans le centre des villes.

L'hélicoptère, lorsqu'il est utilisé comme moyen de transport, n'est pas en mesure de s'envoler ou d'atterrir à la verticale; il a besoin pour l'envol et pour l'atterrissage, d'un dégagement suffisant qui, d'après l'expérience acquise à ce jour, correspondrait à un angle de glissement d'environ 1 : 5.

La sécurité des habitants et aussi celle des passagers exige que l'atterrissage et l'envol se fassent de telle manière qu'un atterrissage forcé soit possible, même en cas d'une panne de moteur. Cela suppose la prévision de « voies aériennes » répondant à ces conditions.

Pour se rapprocher du lieu d'atterrissage il y a cependant, dans la grande majorité des cas, des possibilités de trajet de vol qui peuvent être choisies en respectant les normes strictes de sécurité du vol. Il peut s'agir de : bandes de verdure, lignes de chemin de fer, cours d'eau, etc.

L'aménagement d'un emplacement d'atterrissage d'environ  $80 \times 120$  m si les constructions environ-

nantes ont une hauteur de 20 m, nécessite, dans le cas d'un emplacement situé au niveau du sol, une superficie d'environ  $83\,600 \text{ m}^2$  (environ 900 000 pieds carrés).

#### Conditions techniques et économiques pour la conception des installations

La forme architectonique des grandes constructions d'aujourd'hui, pourvues de toitures plates, conduit parfois à la tentation de proposer de telles toitures de bâtiments pour les atterrissages d'hélicoptères.

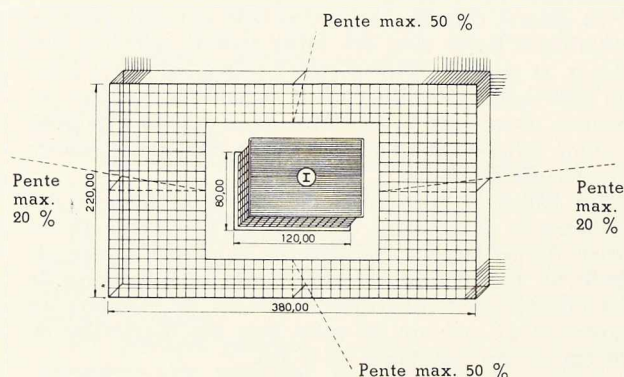


Fig. 14. Superficie nécessaire pour atterrissage d'hélicoptères. La hauteur des bâtiments environnants étant de 20 m environ, la superficie totale pour un hélicoptère doit atteindre  $83\,600 \text{ m}^2$ .

Pour le cas spécial de l'utilisation de petits hélicoptères employés par les services publics, par les industries ou par les organismes économiques, on peut réaliser sans difficulté notable le renforcement d'une construction pour servir de plate-forme d'atterrissage. L'acier est particulièrement indiqué comme matériau de construction dans ces cas, parce que, grâce à son faible poids et à la facilité de montage, il présente des avantages remarquables pour les travaux de renforcement et de surélévation.

Le niveau et la forme de la piste d'atterrissage doivent être choisis de manière que les phénomènes de turbulence soient réduits au minimum et que la sécurité d'atterrissage et d'envol soit garantie.

#### Perspectives de l'acier comme matériau de construction

Le mode de construction à ossature en acier offre des avantages essentiels par rapport à d'autres modes de construction, dans l'exécution des plates-formes d'atterrissage pour hélicoptères, notamment en liaison avec un bâtiment ayant à remplir aussi d'autres fonctions :

Les murs extérieurs et de séparation peuvent avoir une épaisseur plus faible et constante à tous les étages. L'emploi de matériaux légers pour remplissage des panneaux est tout indiqué.

Les faibles sections de poteaux permettent de prévoir

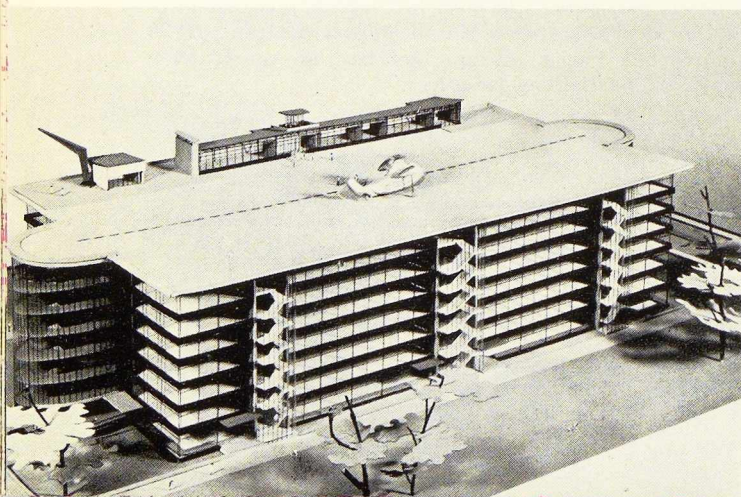


Fig. 15. Maquette d'un bâtiment à étages pourvu d'une toiture-héliport.

des bandes vitrées continues, qui sont nécessaires pour un éclairage suffisant, en raison de la grande profondeur de la construction.

Dans les bâtiments à ossature en acier, il n'y a pas de voûtes aux nœuds complexes, ce qui est avantageux pour l'utilisation de l'espace et pour l'esthétique intérieure.

Les caractéristiques de résistance et d'élasticité de l'ossature en acier sont très sûres, car la construction métallique se distingue par une concordance remarquable entre le calcul et le mode d'action des efforts réels.

Les éléments de construction en acier sont presque entièrement confectionnés et usinés avec soin en atelier.

En ce qui concerne l'exécution, les bâtiments à ossature en acier sont, du point de vue de leur qualité et de la sécurité de la construction, bien plus indépendants du soin et de la conscience des ouvriers et du contrôle que les bâtiments faits avec d'autres matériaux. La tendance vers une réduction aussi grande que possible du temps d'exécution est donc raisonnable et justifiée en construction métallique.

L'agrandissement ultérieur, la modification ou la réparation de l'ossature métallique sont toujours possibles, indépendamment de la saison et des intempéries.

Si un atterrissage forcé particulièrement malchanceux, dû à une panne de moteur, donne lieu à une déformation de la construction portante et de la plateforme d'atterrissage, une réparation est possible sans difficulté.

Lorsque le sol est mauvais, l'ossature en acier permet des fondations bien plus économiques que les autres modes de construction.

Les tassements imprévus des fondations, notamment dans les régions minières ou sujettes aux séismes, sont supportés, dans une grande mesure, sans fissurations par l'ossature en acier, en dépit des dénivellations de poteaux et des autres perturbations, et cela grâce à son élasticité et à la plasticité qui n'est propre qu'à l'acier.

Le mode de construction à ossature en acier permet, en toutes saisons, une importante réduction du temps d'exécution, parce que l'usinage en atelier des éléments d'ossature métallique peut être fait pendant la préparation du chantier et les travaux de fondation.

Les remplissages des murs et les planchers peuvent être mis en place immédiatement après le montage de l'ossature portante, sans que l'on soit gêné par des coffrages encombrants ou par des temps de prise. Le bâtiment à ossature métallique étant une construction « sèche », il peut être rapidement rendu utilisable.

L'acier est presque aussi résistant au cisaillement qu'à la traction. C'est pourquoi il est particulièrement indiqué pour la solution des problèmes techniques de construction, en liaison avec la défense contre les attaques aériennes.

**Fig. 16.** Hélicoptère type standard Sikorsky S-55 de 600 CV, en service sur la ligne Bonn-Cologne et Liège-Bruxelles (vitesse 140 km/h).

En plus des conditions techniques qui sont déterminantes dans la construction des installations d'atterrissage pour hélicoptères, les considérations d'ordre économique ne peuvent pas rester en dehors de cette étude. L'aménagement d'une installation d'atterrissage ou d'un aéroport pour hélicoptères peut être envisagé en premier lieu pour les agglomérations qui représentent une zone de concentration marquée, due à un puissant potentiel économique, ou bien qui, étant mal reliées aux voies de communications terrestres, cherchent à établir de nouvelles liaisons de transport et, par cela, des relations économiques plus puissantes.

Lorsque l'étendue des surfaces construites et le manque de zones libres en position propice ne permettent pas la création d'une installation d'atterrissage au ras du sol, qui soit commode à atteindre, des avantages importants sont offerts par les plateformes<sup>(1)</sup>. Les possibilités d'application peuvent être très variées.

Les plateformes sont possibles au-dessus des gares de chemin de fer, des gares d'autobus, des ponts, des halles de portées appropriées, des quais portuaires, des berges de cours d'eau, etc.

Les installations à grande hauteur se font sous la forme de bâtiments à plusieurs étages, dont la superficie doit être adaptée aux nécessités probables d'espace dans le centre de la ville.

La profondeur du bâtiment ne permet qu'un éclairage incomplet des étages par la lumière du jour.

Etant donnée la grande nécessité de garages et de lieux de parcage dans les grandes villes, l'utilisation, dans ce but, des salles intérieures, éclairées et aérées artificiellement, s'impose et convient.

Les salles extérieures se prêtent très bien à l'utilisation comme locaux commerciaux, bureaux, etc. L'utilisation exclusive pour automobiles d'un tel bâtiment, dans le centre de la ville, est à rejeter pour les raisons de rentabilité.

Les précieuses surfaces éclairées de ce bâtiment permettent une exploitation plus favorable de l'espace et, par cela, une bien meilleure utilisation économique de cette installation coûteuse.

(1) On désigne par « plateforme » une installation d'atterrissage située au-dessus de la hauteur de circulation d'une voie publique, d'une voie ferrée, etc., donc une plateforme en dessous de laquelle il n'y a pas de bâtiment à utilisation complète, et par « installation à grande hauteur », une installation d'atterrissage située au-dessus d'un robuste bâtiment fermé.



Les frais de construction d'une « installation à grande hauteur » peuvent être évalués, suivant l'utilisation des parties extérieures éclairées, à environ 60 à 70 DM par mètre cube de construction.

## Projets

### Plates-formes au-dessus des gares

Les gares, en tant que nœuds de circulation, sont très souvent placées dans une position favorable de la zone de concentration économique. Les grandes superficies des gares sont souvent susceptibles d'être couvertes et de recevoir une plate-forme d'atterrissage, tandis qu'un étage intermédiaire peut trouver une utilisation comme lieu de parking de grande capacité pour les automobiles.

Il importe peu s'il s'agit d'une gare terminus ou non. Dans les deux cas, il est possible de placer la construction au-dessus, la position de la plate-forme d'atterrissage étant à déterminer suivant les conditions locales en liaison avec la technique du vol et avec les obstacles existants.

### Plate-forme au-dessus d'une gare d'autobus

La plate-forme située au niveau supérieur de la bande de circulation automobile, est possible dans les zones où les constructions environnantes sont assez basses pour ne pas influencer la sécurité du vol. La disposition des poteaux permet l'écoulement de la circulation au niveau du sol.

L'étage intermédiaire abrite des bureaux et les salles destinées au service des voyageurs.

### Plate-forme au-dessus d'un pont

Dans les villes qui n'ont pas la possibilité de construire une installation à grande hauteur, on peut envisager utilement de concevoir un tel pont sur un cours d'eau, sur un large ensemble de voies, etc., si la circulation routière justifie la construction d'un ouvrage coûteux de grande largeur. La construction

combinée d'un pont avec plate-forme d'atterrissage est très onéreuse et ne peut être prise en considération que si on ne peut pas trouver d'autres solutions.

## Installations surélevées

Dans le centre des grandes villes, les constructions existantes rendent nécessaires un bâtiment à plusieurs étages, afin d'élever la plate-forme d'atterrissage au-dessus du niveau des constructions immédiatement avoisinantes. L'utilisation des surfaces éclairées par la lumière du jour aux divers étages dépend des nécessités locales et des problèmes qui se posent.

L'espace intérieur, artificiellement éclairé et aéré, est entièrement réservé au parking des voitures et aux garages. L'étage le plus élevé sert de parc pour les voitures des voyageurs du service aérien sur courtes distances, qui viennent en voiture jusqu'au contrôle et peuvent parquer, s'il y a lieu, jusqu'à leur retour de voyage.

Le système d'aération à légère dépression de l'espace intérieur empêche l'odeur et les gaz d'échappement de pénétrer dans le reste du bâtiment.

Le sous-sol est prévu pour abriter une gare d'autobus, un cinéma permanent et l'installation de chauffage.

Une telle « installation surélevée » est économiquement justifiée, en dépit du prix élevé de la construction, car les locaux commerciaux bien situés apportent des revenus importants et, d'autre part, le parc à voitures et les garages disponibles dans le centre d'une grande ville auront certainement un haut degré d'utilisation.

## CONCLUSIONS

Tout en reconnaissant que les difficultés techniques et économiques pour la réalisation pratique de la circulation par hélicoptères sur une grande échelle ne sont pas encore entièrement vaincues, on ne peut pas écarter la conviction qu'il faut donner une chance sérieuse à ce moyen de transport. Le temps des théories est révolu, et les premières tentatives pratiques ouvrent des perspectives encourageantes.

En ce qui concerne les possibilités d'atterrissage sur les toits, on a également apporté la preuve, par de nombreux essais et par des réalisations pratiques, que cet atterrissage est possible sans difficulté, si les conditions locales sont convenablement préparées.

Il existe cependant aussi assez d'exemples de projets utopiques, qui sont très loin de la réalité du problème. Tout bâtiment normal et n'importe quel toit plat ne se prêtent pas à l'atterrissage d'hélicoptères. Au contraire, des recherches et des études très approfondies sont nécessaires pour créer une base convenable pour un telle installation d'atterrissage.



Fig. 17. Hélicoptère survolant la tour de contrôle de l'aéroport d'Elmdon à Birmingham.



Jacques Verdeyen,

Professeur  
à l'Université de Bruxelles,  
Ingénieur-Conseil A. I. Br.

## Étançonnage tubulaire pour la réalisation de la fouille des bâtiments de la Compagnie belge d'Assurances Générales à Bruxelles

La Compagnie Belge des Assurances Générales construit actuellement, rue Royale à Bruxelles, un ensemble important de bâtiments destinés à l'usage de bureaux.

Lors de la construction du premier bâtiment situé dans un terrain en front de la rue Royale, on a rencontré de grandes difficultés d'exécution pour les raisons énoncées ci-dessous :

1° Ce bâtiment doit faire partie, dans l'avenir, d'un ensemble d'immeubles situés entre les rues Royale, des Colonies et de l'Impasse du Coude. Seule une partie des immeubles occupant actuellement cet emplacement a été démolie et le premier bloc se trouve donc entouré de fort près par des bâtiments existants, dont les murs s'élèvent jusqu'à 23 m au-dessus du niveau de la rue Royale.

2° Ces derniers sont en grande partie des immeubles vétustes et l'état de leurs maçonneries et de leurs fondations est de mauvaise qualité.

3° Pour le premier bâtiment à construire on a prévu trois niveaux de sous-sols, dont les fondations descendent appréciablement plus bas (17 m sous le niveau de la rue Royale) que les fondations existantes des bâtiments environnants.

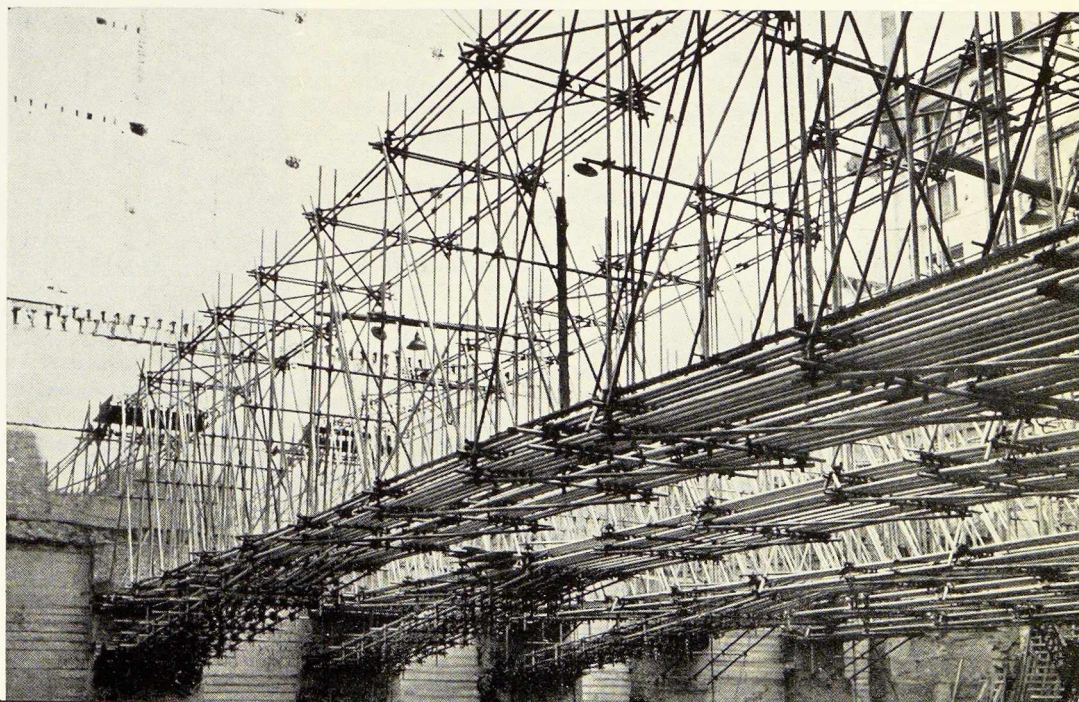
Pour pouvoir exécuter les fouilles nécessaires à la réalisation des sous-sols du nouveau bâtiment, sans causer de dégâts dans les bâtiments existants et environnants on a dû rempiéter toutes leurs fondations qui s'appuyaient sur le sol à des niveaux supérieurs (environ 5 m sous le niveau de la rue Royale) à celui qui devait être atteint. D'autre part, pour empêcher une rotation ou un glissement des rempiètements on devait les soutenir à leur sommet.

\*

\*\*

La situation des pignons transversaux à la rue Royale présentait le plus de difficultés et

**Fig. 1.** Bâtiments de la Compagnie Belge des Assurances Générales, rue Royale à Bruxelles. Vue d'ensemble des poutres tubulaires en charge.



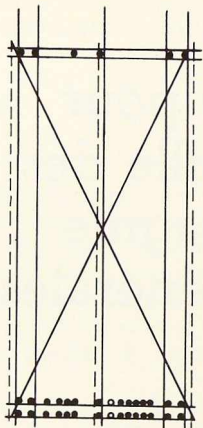


Fig. 2. Coupe A-B dans une des poutres d'étaisonnement (voir fig. 5).

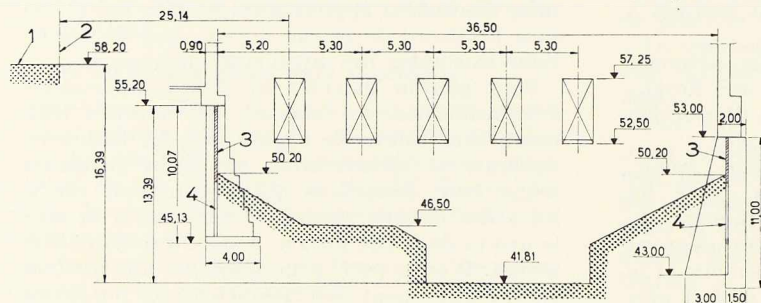


Fig. 3. Détails des appuis des poutres au droit du mur à étaisonner.

1. P. N. 18. - 2. Briquillon. - 3. Poutre en béton armé.

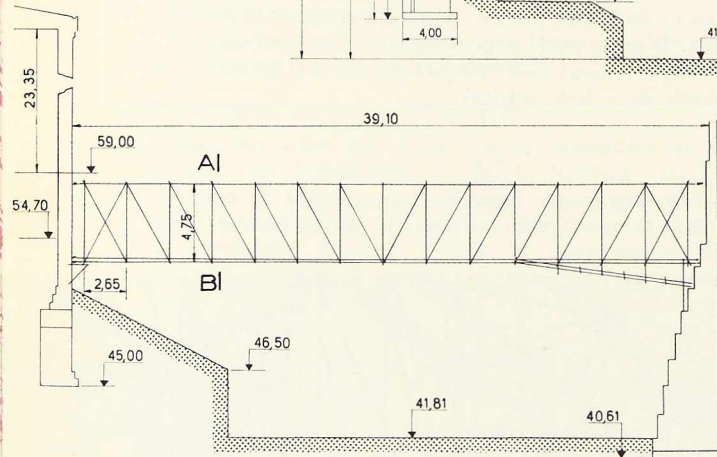
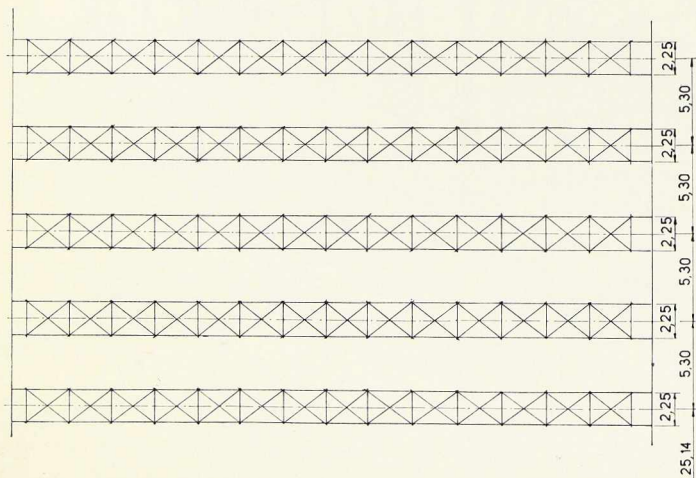


Fig. 4. Coupe transversale indiquant les niveaux à atteindre pour l'exécution du bâtiment.

c'était du reste au droit de ceux-ci que la dénivellation entre les nouvelles fondations et les fondations existantes était la plus grande et atteignait 13 m. Il fut décidé de soutenir les murs transversaux remplétés au moyen d'étaisonnements parallèles à la rue Royale et traversant tout le chantier. La longueur de ces étaisonnements était de 40 m et pour les réaliser on a choisi une construction tubulaire autoportante permettant la suppression d'appuis intermédiaires qui auraient gêné l'exécution des travaux de terrassement et de fondation du nouveau bâtiment (fig. 2, 4 et 5).

L'étaisonnement des murs pignons a été ainsi obtenu au moyen de 5 poutres tubulaires triangulées d'une portée de 40 m et dont la membrure inférieure devait être capable de reprendre un effort de compression de 64 t. Chaque poutre était en plus sollicitée par son poids propre qui atteignait environ 12 t.

Fig. 5. Elévation et vue en plan des cinq poutres tubulaires triangulées d'une portée de 40 m.



**Fig. 6.** Détail des abouts de l'ensemble des poutres d'étaisonnement.

Photo « Actualit ».

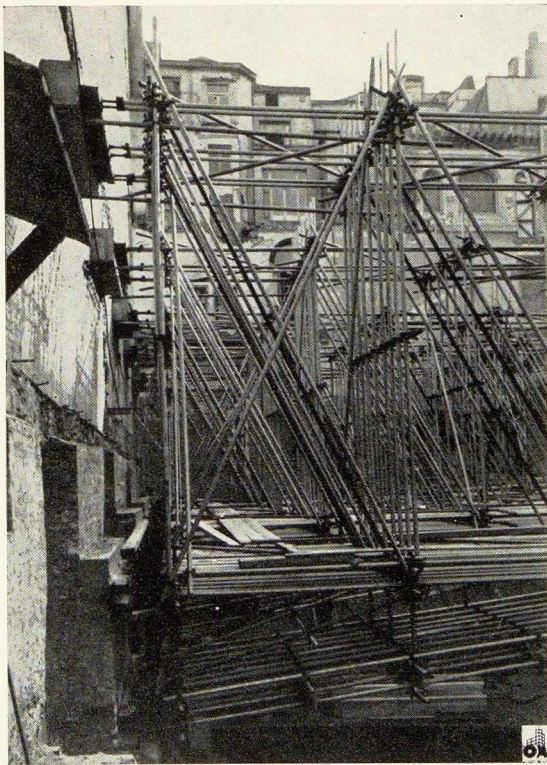
Les calculs de ces poutres ont été menés de la façon suivante :

1° On a admis en première approximation que chaque poutre ne subirait pas de déformation sous l'influence des deux surcharges que l'on vient de citer et on a tracé une épure de Crémone pour déterminer les sollicitations de départ.

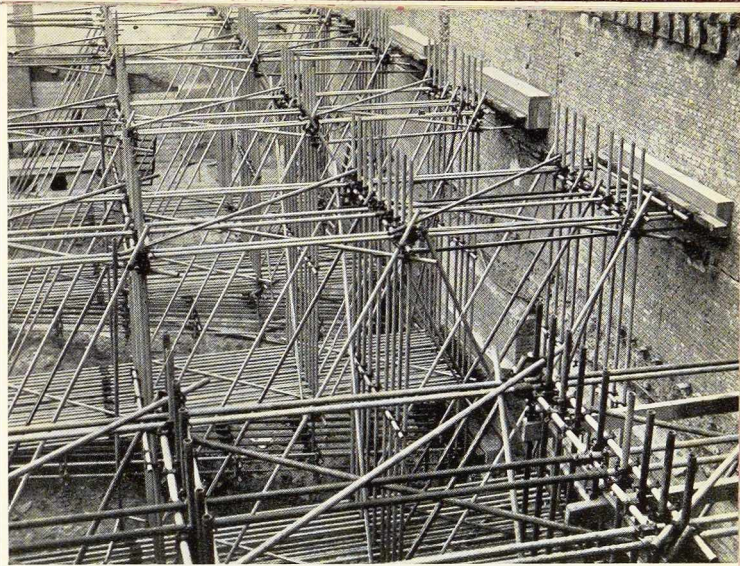
2° On a calculé alors la flèche probable de la poutre qui a été trouvée égale à environ 20 cm.

3° On a décidé de donner à la poutre une contreflèche de 40 cm de manière à être certain d'avoir, après déformation, une certaine courbure vers le haut de la nappe inférieure de tubes.

4° On a contrôlé ensuite si les sections de tubes étaient suffisantes pour une sollicitation correspondant à une poutre dont la contreflèche de 40 cm serait restée inchangée sous l'effet des sollicitations.



**Fig. 7.** Détail de l'appui d'une poutre sur le mur à étaçonner (voir aussi fig. 1).



5° On a vérifié le flambage transversal général de chaque poutre et on a tenu compte, dans le calcul, des encastres élastiques créés par les colliers de raccord aux extrémités de toutes les barres formant le treillis.

6° Enfin, la mise en charge des poutres constituait un problème délicat. Le montage des poutres pouvait se faire avant les terrassements en prenant appui sur des supports intermédiaires constitués par des verins. Lorsqu'une poutre était complètement montée on mettait partiellement en charge la nappe inférieure de tubes au moyen d'autres verins intercalés entre ceux-ci et la maçonnerie existante des murs rempliés à étaçonner (fig. 3, 5 et 7).

On décintrait ensuite la poutre en abaissant progressivement et très lentement les appuis intermédiaires. On remarque que les deux poutres centrales ont été renforcées par des bracons tubulaires de manière à créer des appuis supplémentaires pour les contreforts situés à l'aplomb de la fouille de la chaufferie qui était la plus profonde à réaliser.

\*  
\*\*

L'ensemble de ces travaux délicats a été mené à bien sans incidents, sous la direction des Architectes A. et P. Polak et de la Société d'Etudes Verdeyen & Moenaert, Ingénieurs-Conseils. L'entrepreneur était la Société « Constructions & Entreprises Industrielles », les étaçonnes tubulaires étant fournis et montés par la firme P. & M. Cassart.

J. V.

## 3<sup>e</sup> Concours photogra

Le Jury du troisième Concours photographique international du Centre belgo-luxembourgeois d'Information de l'Acier (C. B. L. I. A.) s'est réuni le 16 juillet 1954, et a attribué les récompenses suivantes :

1<sup>er</sup> prix : Condenseur d'ammoniaque des Brasseries Lamot à Malines, par L. Van Zeir, Malines (fig. 2).

2<sup>e</sup> prix : Détail d'une bigue flottante, par G. V. Wermeskerken, Rotterdam (fig. 1).

3<sup>e</sup> prix : Conduite à ammoniaque, par H. Kleyn, Amsterdam (fig. 3).

Mention spéciale, avec prime de Frs B. 1 000,— : Le port tentaculaire, les grues à Göteborg (Suède), par V. Robert, Paris (fig. 6).



Fig. 1. ↑

Fig. 2. ↓

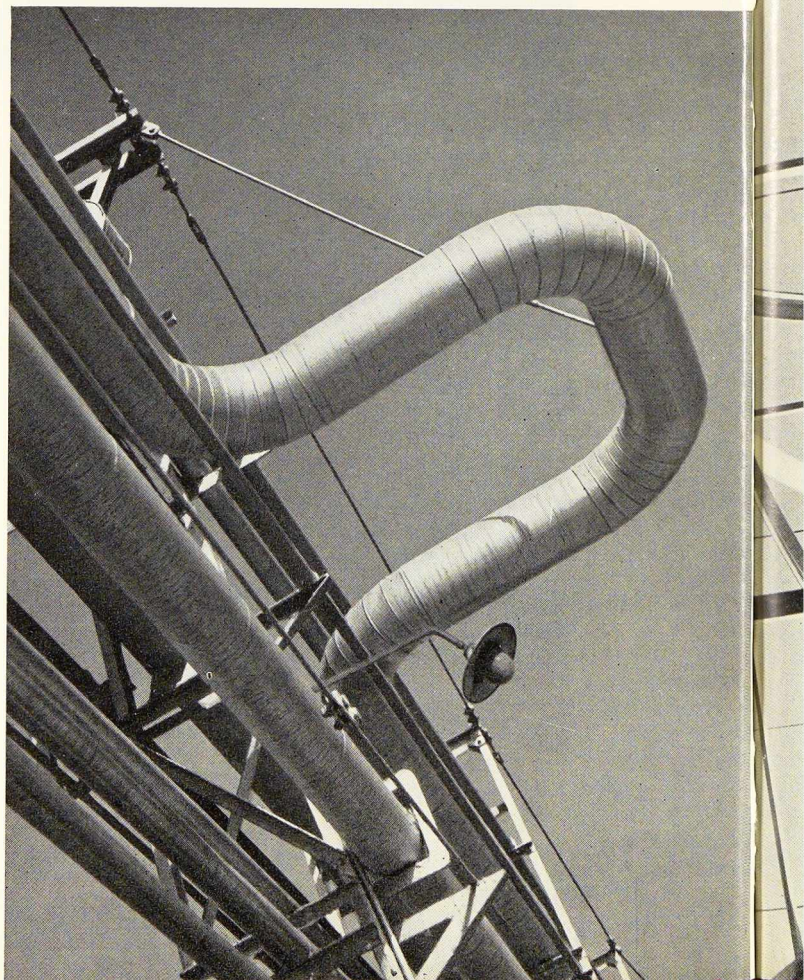
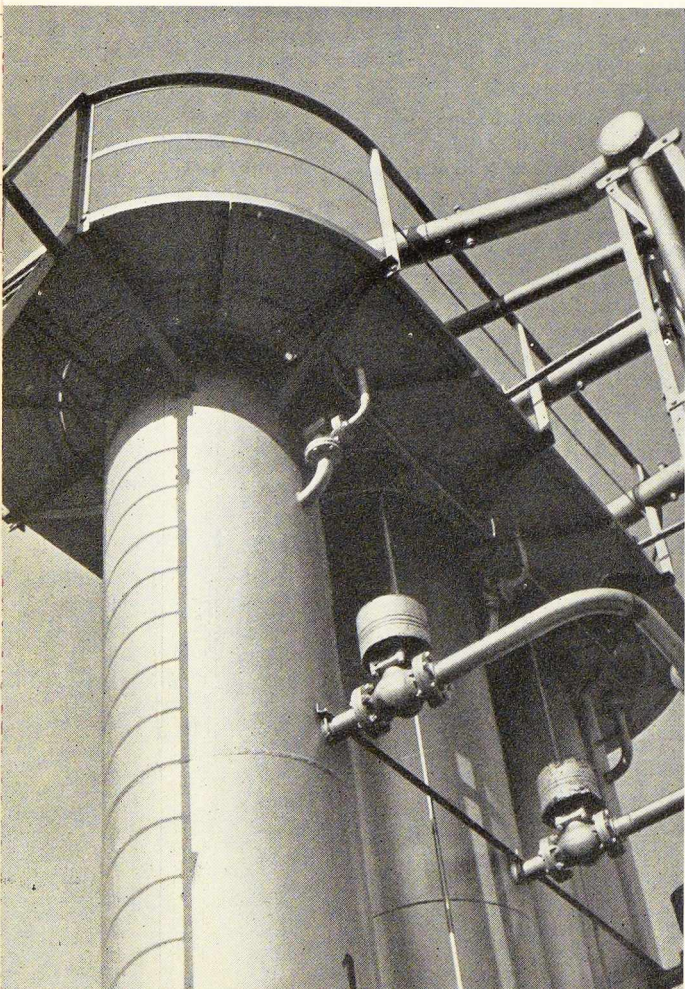


Fig. 3. ↓

## hique du C. B. L. I. A.

Une prime de Frs B. 5 000,— offerte par Fabri-métal pour une photographie des nouvelles halles du Comptoir Suisse à Lausanne, par J. Charpié, Lausanne (fig. 5).

Une prime de Frs B. 1 000,— offerte par l'Union des Exploitations électriques de Belgique, pour une vue originale d'un pylône pour transport d'énergie électrique, par J. Charpié, Lausanne (fig. 4).

Le C. B. L. I. A. a réservé d'autre part un certain budget pour l'achat de documents intéressants, présentés au concours.

Le prochain concours photographique aura lieu dans le courant de 1955. Tous renseignements seront fournis sur demande adressée au C. B. L. I. A.

Fig. 4. ↑

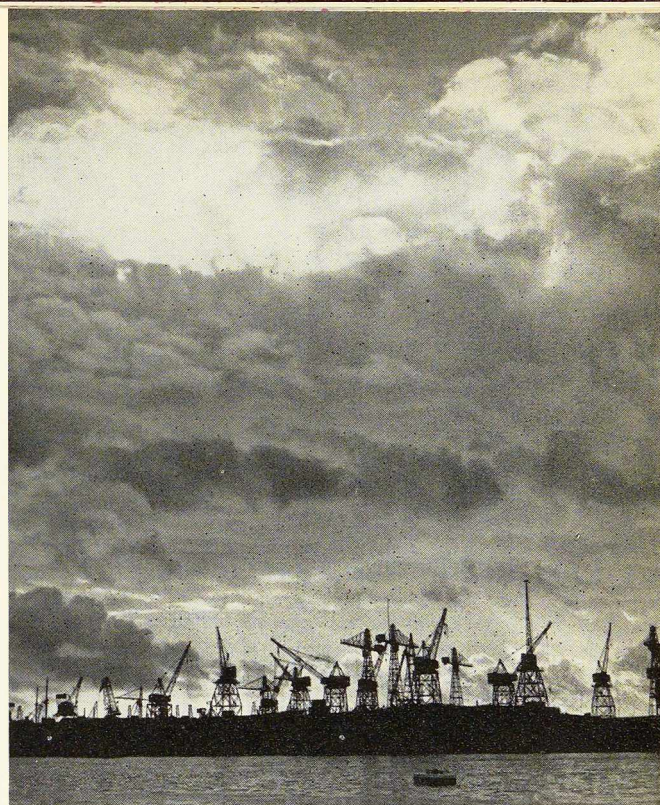
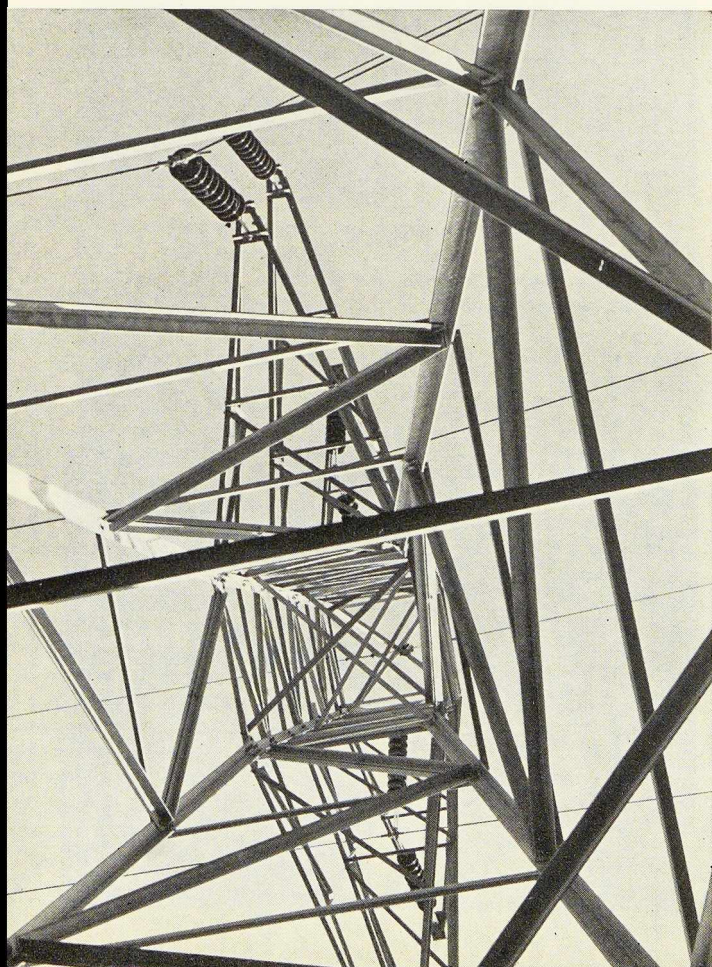
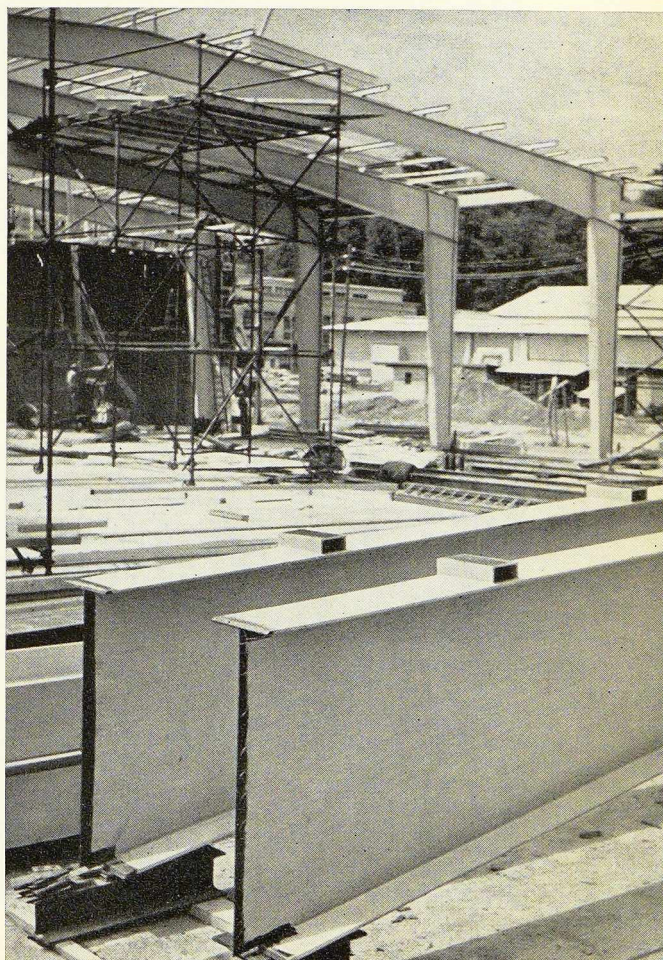


Fig. 5. ↓

Fig. 6. ↑





## Appareillages pour terrains de jeu en construction tubulaire

Il n'est plus possible à notre époque de considérer la rue comme terrain de jeu, car pour les enfants les dangers de la circulation routière deviennent inquiétants.

De nos jours on discute fortement sur l'extension du réseau routier surchargé mais on oublie trop facilement qu'on devrait également créer de nouvelles possibilités pour le délassement des enfants. Cela implique tout d'abord l'installation de terrains de jeu, tout spécialement dans les villes. Ils doivent être suffisamment spacieux, et entourés de verdure et de fleurs : contrairement à ce qui se passait avant guerre, un tas de sable ne suffit plus. Les enfants doivent pouvoir y dépenser leur excédent d'activité, ne pouvant plus le faire dans la rue ni dans les appartements modernes. Ils doivent pouvoir jouer à la balançoire, grimper et faire de la gymnastique, en groupe et comme ils l'entendent.

Si on veut libérer les parents de la crainte de voir leur enfant « sous la voiture » il faut que les terrains de jeu soient attrayants pour retenir les enfants. Pour établir rationnellement ces terrains, il faut prendre l'avis des parents, des urbanistes, des sociétés d'habitations, des architectes de jardin. Après avoir choisi l'emplacement de superficie suffisante, il faut le pourvoir d'engins de gymnastique.

Les engins de jeu modernes se font généralement en acier, car l'acier n'absorbe pas l'humidité,

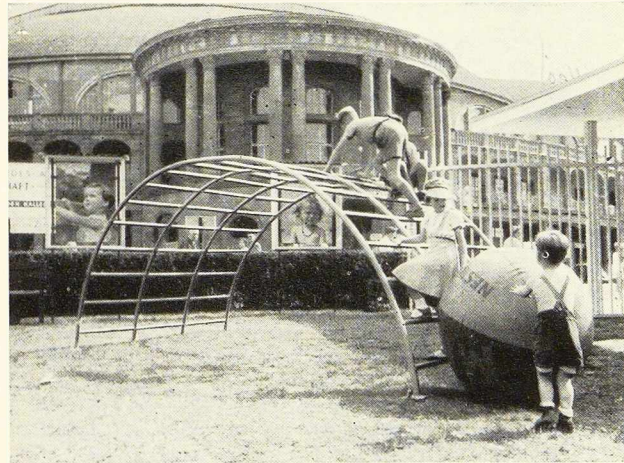
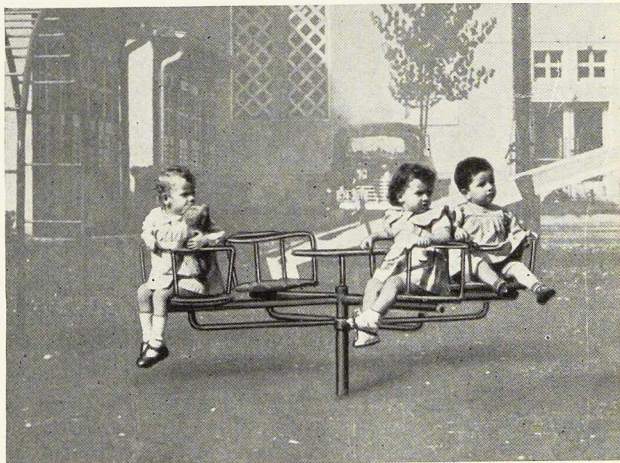
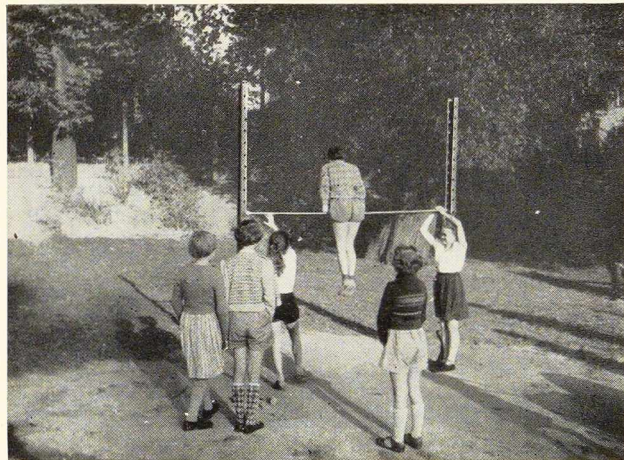
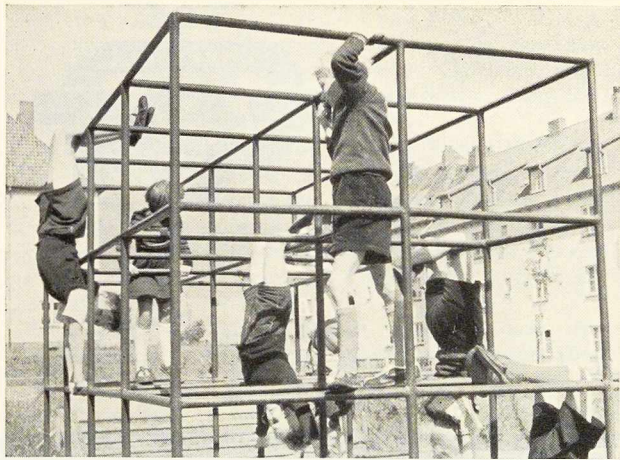
ne présente pas d'éclats, ne se rompt pas et ne pourrit pas : le tube d'acier est particulièrement indiqué pour cet usage. Les avantages du matériel en tubes d'acier sont : grande solidité, résistance aux intempéries, longue durée, montage simple et rapide, entretien peu coûteux. La soudure présente l'avantage complémentaire de n'avoir aucun bord tranchant ou tête de boulon en saillie, qui peut blesser les enfants; d'autre part une construction soudée ne peut être démontée par les enfants.

Les figures 1 à 5 montrent quelques réalisations d'engins déjà en service sur de nombreux terrains de jeu.

Pour le montage d'un engin en construction tubulaire, il y a lieu de tenir compte des remarques suivantes :

- a) Les parties enterrées doivent être bien protégées par une couche de peinture;
- b) Les fondations doivent être basées sur de grosses pierres;
- c) L'engin doit être monté et maintenu dans sa position définitive par des cales;
- d) Les trous de fondation seront remplis de béton vibré;
- e) Les engins doivent être protégés contre tout déplacement pendant la prise du ciment (3 à 4 jours);
- f) La mise en service peut avoir lieu après ce délai.





Clichés Beratungsstelle für Stahlverwendung.  
Photos Turmeyer-Werke.

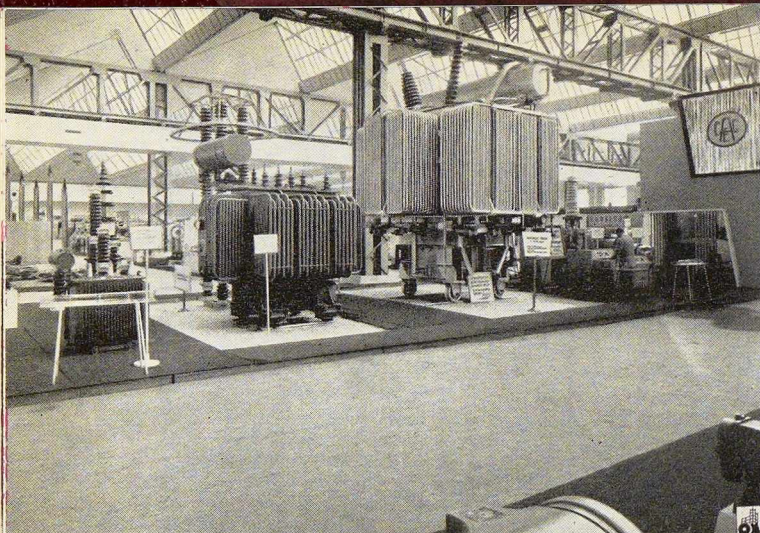


Fig. 1.

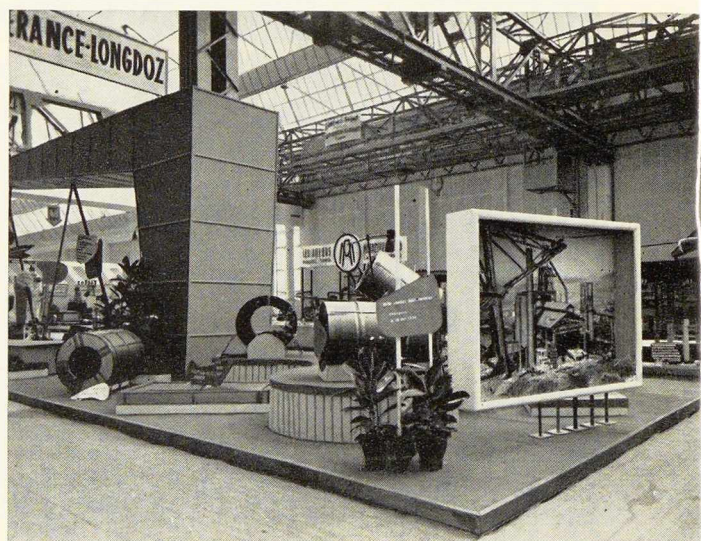


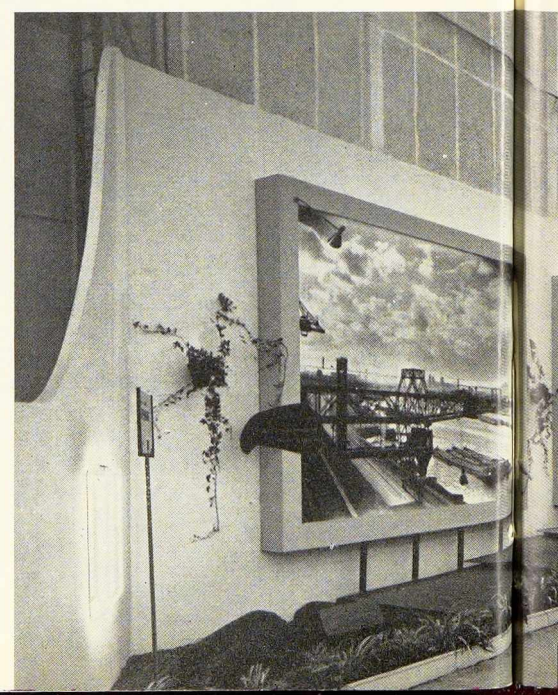
Fig. 2.

La première Exposition Internationale Technique et Industrielle qui s'est tenue à Charleroi du 18 septembre au 3 octobre 1954 a connu le plus franc succès. Logée dans l'imposant Palais des Expositions, œuvre de l'architecte J. André, édifié à cette occasion, cette manifestation a reçu des milliers de visiteurs de divers pays.

Plus de 800 exposants, répartis en huit grandes sections : Mines et Carrières, Sidérurgie et Industries métallurgiques, Constructions métalliques et mécaniques, Electricité et Electronique, Verreries, Industries chimiques, Céramique, Production et Distribution de l'Energie, participaient à l'Exposition.

Les sidérurgistes de la région de Charleroi ont installé un stand commun présenté par l'Association des Maîtres de Forges du Hainaut (fig. 7).

Fig. 5 à 7.

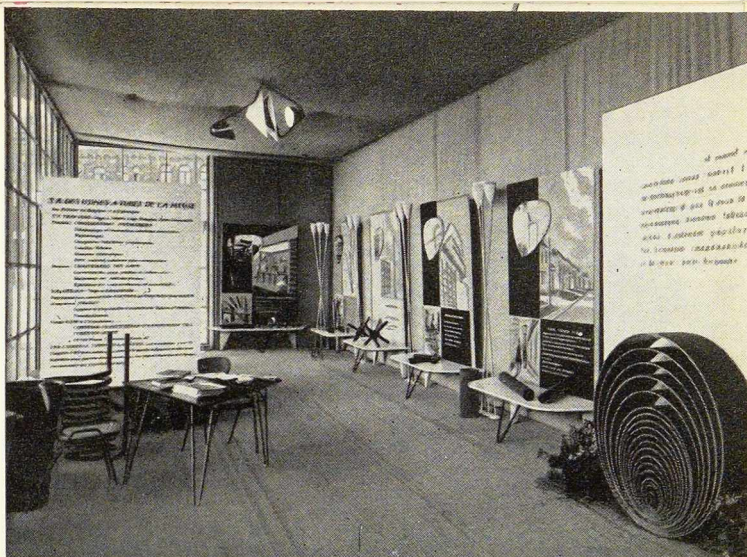




La pièce maîtresse de ce stand étant constituée par une grande maquette montrant la synthèse d'une usine type de la région de Charleroi, supposée reliée à un canal à grande section du genre du canal de Charleroi à Clabecq.

Le thème du stand de la S. A. Ougrée-Marihaye (fig. 6) était la nouvelle ligne de laminage. Rappelons que l'ensemble des laminoirs de cette Société est constitué d'un puissant laminoir dégrossisseur blooming-slabbing, d'un train quarto à tôles fortes de 3,350 m de largeur de table.

La Société John Cockerill présentait dans son stand, garni de grandes colonnes construites avec



← Fig. 3.

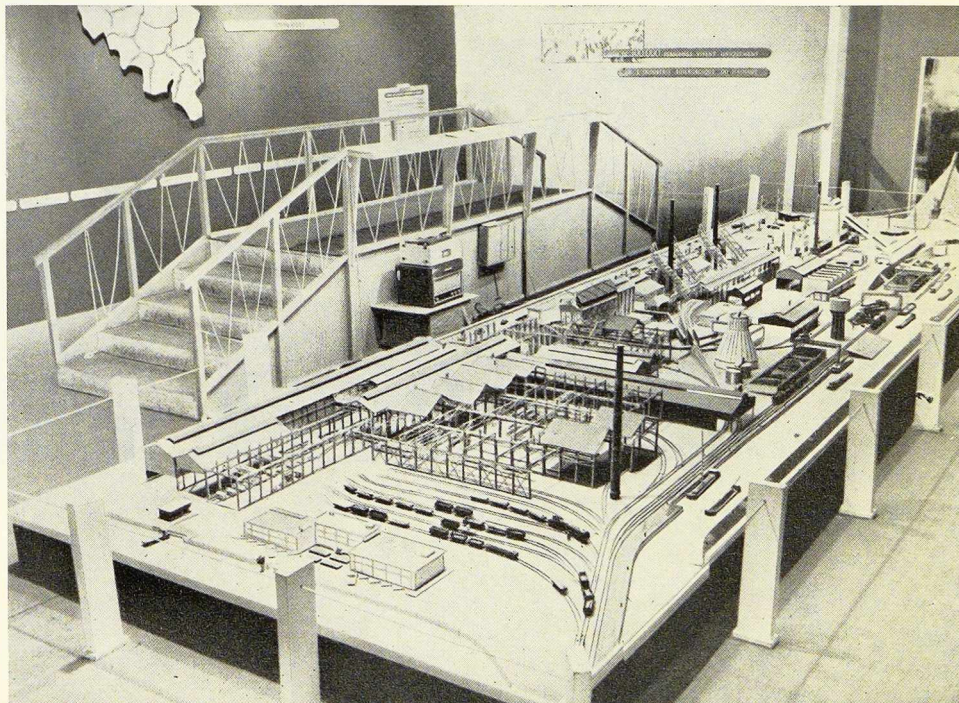
Fig. 4.

des profils spéciaux pour cadre de mine, un moteur Diesel de 300 CV, un palan assemblé en monorail avec cabine, ainsi que la production des Usines Ferblatil (fig. 5).

La S. A. des Forges de la Providence en dehors de sa participation au stand de l'Association des Maîtres de Forges du Hainaut, avait construit un stand pour les produits de ses Tréfileries de Fontaine-l'Évêque (fig. 3). On pouvait y voir les différents produits de cette division : fils, clous, vis, rivets, quincaillerie de bâtiments, etc.

La S. A. des Usines à Tubes de la Meuse (U. T. M.) a exposé, en un pavillon privé, situé sur la grande esplanade, la gamme complète des produits de sa fabrication (fig. 4). Cette participation constituant une synthèse très suggestive

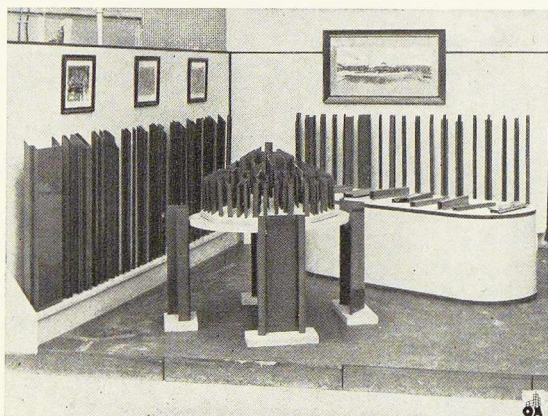
Les photos sont de Daniel (fig. 2, 4, 6), Boval (fig. 7), Gregorius (fig. 3).





de la place occupée par le tube d'acier dans toutes les activités de la vie moderne.

La participation de la S. A. Espérance-Longdoz était axée sur les applications de la tôle fine laminée à froid (fig. 2). On remarquait également au stand de cette Société une photographie du nouveau haut fourneau, inauguré en mai 1954.



Les Ateliers de Constructions Electriques de Charleroi (A. C. E. C.) présentaient dans leurs deux stands un aperçu des fabrications de leurs différentes divisions dont notamment la Division « Electronique » (fig. 1). A signaler également le robot électronique « Assek » qui a suscité un vif mouvement de curiosité (fig. 10).

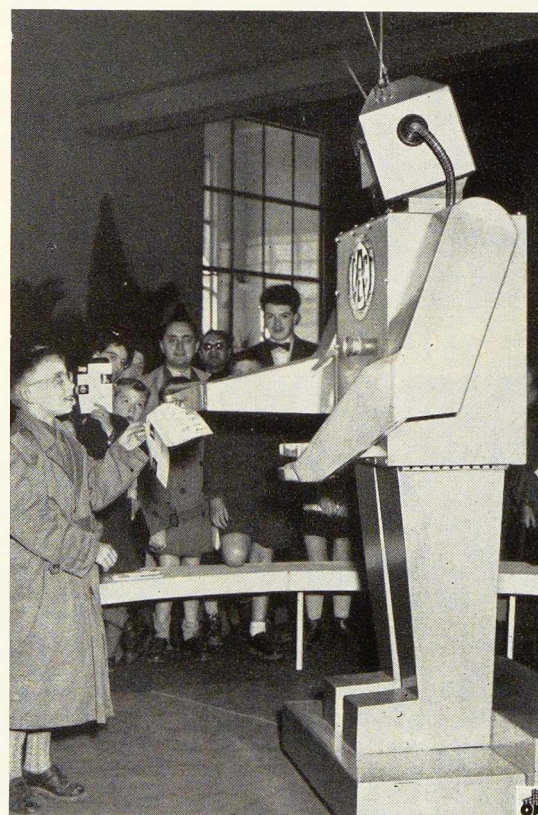
De nombreuses autres firmes industrielles ont assuré par leur présence le succès de la première Exposition Internationale Technique et Industrielle de Charleroi.

Citons notamment les Laminoirs de Longtain (fig. 9), les Ateliers de Construction de Jambes-Namur, les Ateliers Métallurgiques de Nivelles, la S. A. Baume et Merpent, etc.

Avant de clore ce bref compte rendu de la manifestation carolorégienne, soulignons le succès remporté par la Maison dite C. E. C. A. des architectes L. Palm et W. Vandermeeren (fig. 8). Pour la description de cette intéressante réalisation nous renvoyons les lecteurs au numéro 9-1954 de *L'Ossature Métallique*.

← Fig. 8.

Fig. 10. ↓



## Echelle tubulaire pour la récolte des fruits

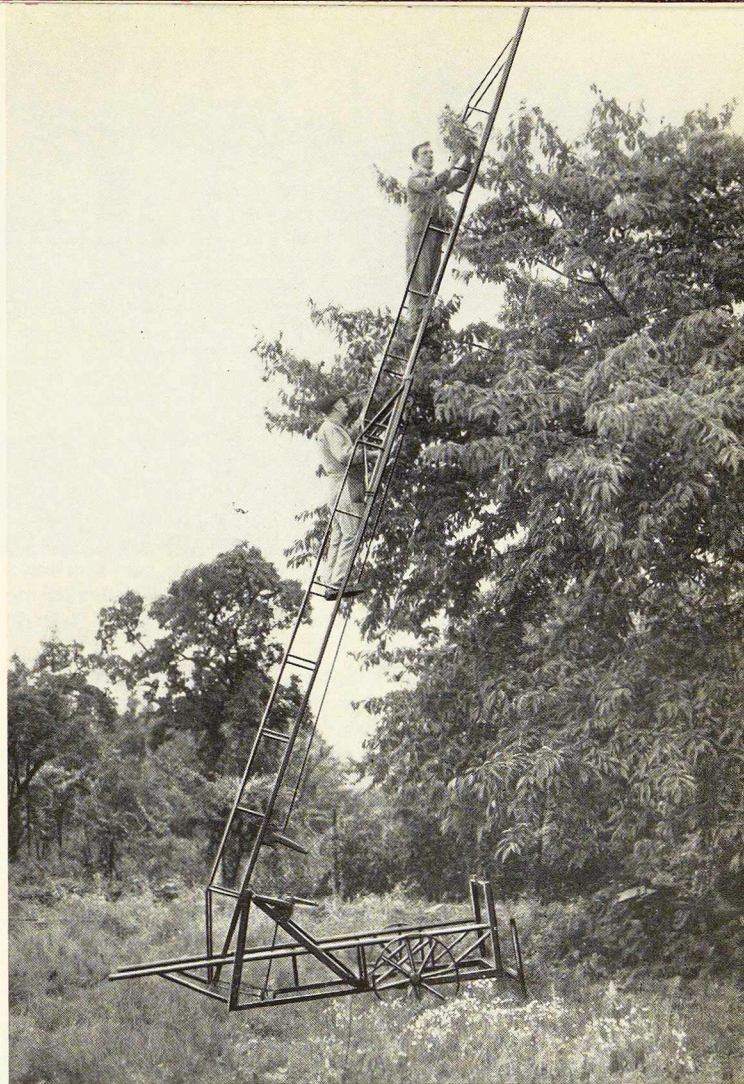
On sait que les producteurs de fruits belges font actuellement face à des difficultés susceptibles de mettre en péril cette importante branche de l'économie nationale. La question du prix de la main-d'œuvre pour l'entretien des arbres et la récolte des fruits devient déterminante pour l'avenir même de l'arboriculture. Il n'est pas rare de voir les fruits pourrir sur les arbres en raison du prix exigé pour leur récolte.

Beaucoup de plantations sont négligées devant le déséquilibre fréquent entre le coût de l'exploitation et la valeur de la production au sortir du verger.

Dans le cas particulier de la récolte des fruits, il est nécessaire d'abandonner l'ancienne méthode des échelles ordinaires et de les remplacer par un outillage pratique et rapide qui trouvera son emploi, non seulement pour les arbres, mais aussi pour les multiples usages de la ferme.

Utilisant les ressources des constructions tubulaires, les Ateliers Hubert Simon, de Seraing, ont mis sur le marché une échelle dont la légèreté et la maniabilité sont telles que le prix de revient de la récolte est réduit de près de 50 %. Il s'agit d'une échelle aérienne, ne s'appuyant pas sur les branches et qui, de la base s'oriente sans effort vers toutes les parties de l'arbre.

Pour l'entretien (élagage, taille et pulvérisation), l'opérateur est commodément installé et accède aisément à toutes les parties de l'arbre. L'échelle est montée sur un chariot en tubes d'acier. Deux petits treuils permettent le développement plus ou moins élevé par coulissement



Document « Le Tube d'Acier ». — Photo J. Putz.

des tronçons d'échelle et leur donnent les inclinaisons voulues. L'ensemble replié se manœuvre comme une simple brouette.

Toute la construction est réalisée en tubes d'acier ronds soudés électriquement, variant de 20 à 50 mm de diamètre. La hauteur standard est de 9 m, en complet déploiement. Elle peut se réduire à 4 m par simple manivelle. Le poids de l'ensemble est d'environ 125 kg, se répartissant en 50 kg pour l'échelle et 75 kg pour le chariot. Revêtu d'une peinture de protection, ce matériel peut subir les intempéries et se conserver intact pendant de nombreuses années.

(D'après *Le Tube d'Acier*.)

Architecte  
Jean Fayeton

## Bâtiment à usage de bureaux à Puteaux

Une entreprise parisienne de construction métallique et de serrurerie, désirent montrer le parti que l'on peut tirer de l'emploi généralisé de l'acier en construction immobilière, a essayé d'en faire un emploi généralisé pour ses nouveaux bureaux construits à Puteaux, sur un terrain de configuration d'ailleurs peu favorable du fait de son irrégularité.

La solution adoptée a cependant permis une bonne utilisation de l'emplacement choisi. Comme le montrent nos illustrations, l'ensemble du bâtiment, extérieurement et intérieurement, présente un aspect équilibré, clair et original, dénué de la sévérité que l'on peut redouter pour ce genre de construction.

Le parti adopté par l'architecte évite en effet la servitude imposée par la parcelle, en libérant la construction des alignements au voisinage de l'angle des deux rues, et en assemblant adroitement deux volumes réguliers dont tous les angles sont orthogonaux. Ainsi on a pu donner aux

pièces principales une forme rectangulaire favorable à l'installation intérieure.

\*  
\*\*

La souplesse d'emploi de l'acier facilitait cette disposition. L'ossature métallique est essentiellement constituée par des poteaux réalisés par soudure de deux fers U de 100 mm présentant ainsi un profil tubulaire d'un aspect agréable; les cordons de soudure ont été soigneusement meulés; les poteaux sont donc parfaitement lisses après peinture et sont d'ailleurs la plupart du temps apparents. Ils supportent les poutres principales: au point d'assemblage on a grugé les ailes des fers des poutres afin d'en permettre l'ajustage par encastrement sur les poteaux, l'ensemble étant fixé par boulonnage. Les poutres principales sont dédoublées en moises afin de permettre le passage des colonnes du chauffage central.

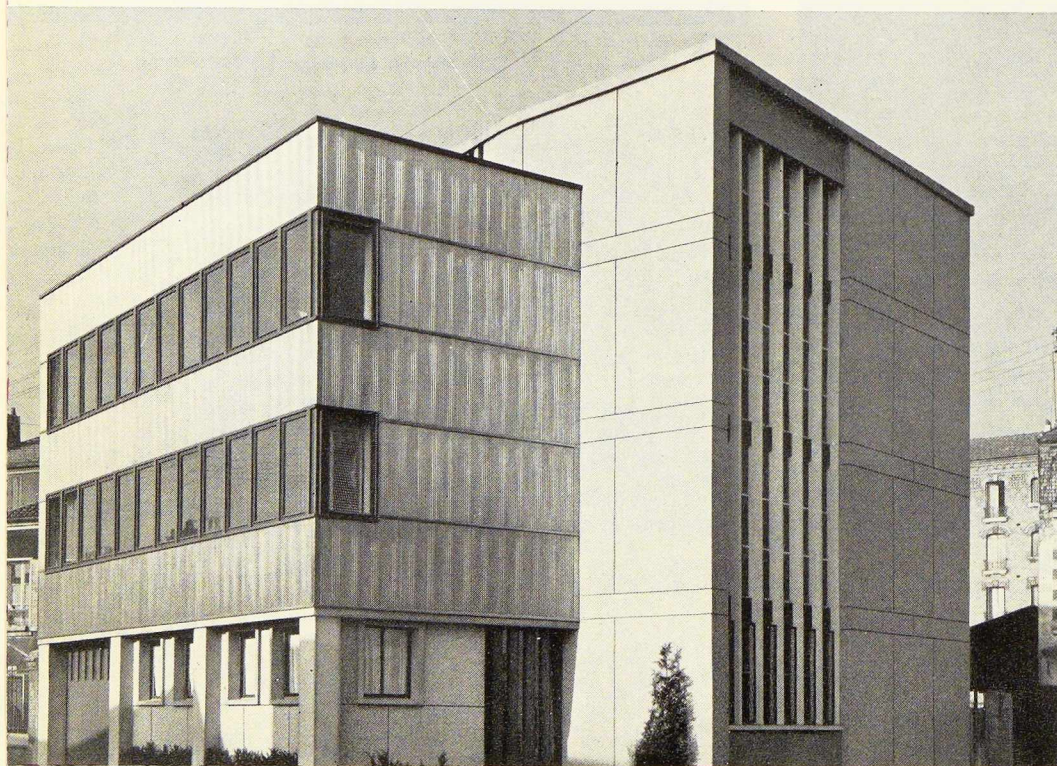


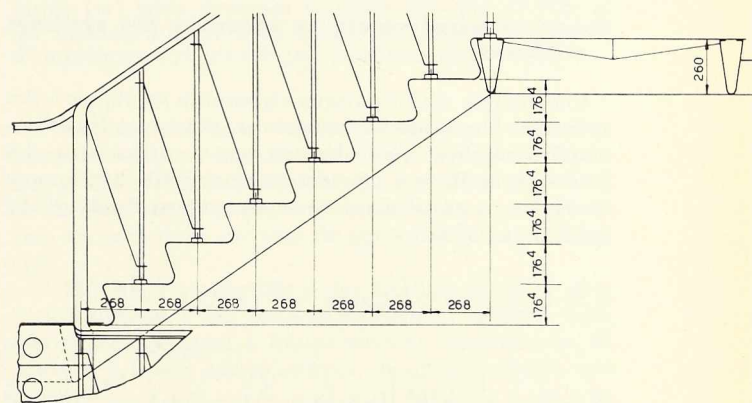
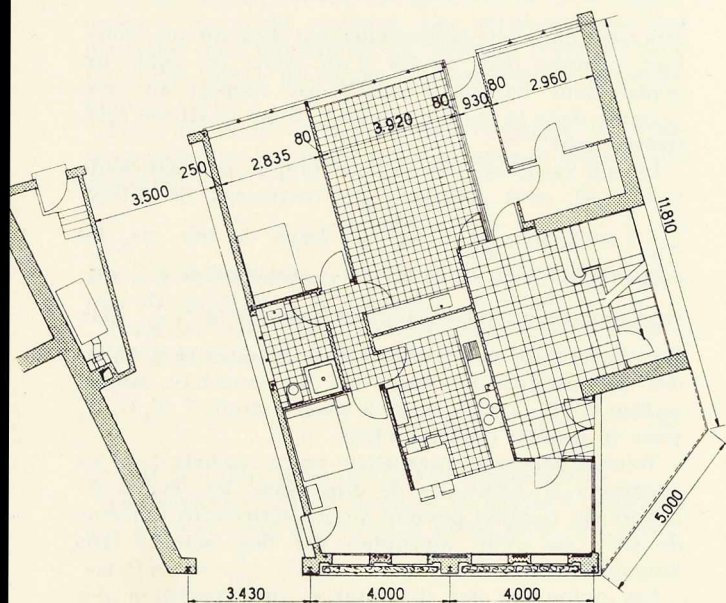
Fig. 1. Façade de l'immeuble de bureaux construit à Puteaux.

Photos H. Lacheroy.

**Fig. 2.** Escalier en tôle pliée et soudée.

Le plancher est métallique avec un hourdis en béton léger de machefer et une chape de ciment grillagée. L'escalier est construit en tôle pliée et soudée; il est indépendant de l'ossature à laquelle il n'est relié à chaque palier que par deux tubes. Il a été entièrement fabriqué en usine par étage complet et mis en place avant le montage de la verrière. Le tapis de caoutchouc le recouvrant peut être déplacé par glissement: il est maintenu par des nez de marches en bronze; les sols ont été recouverts de caoutchouc Souplegomme.

Les murs extérieurs sont constitués par un remplissage du pan de fer en briques creuses;



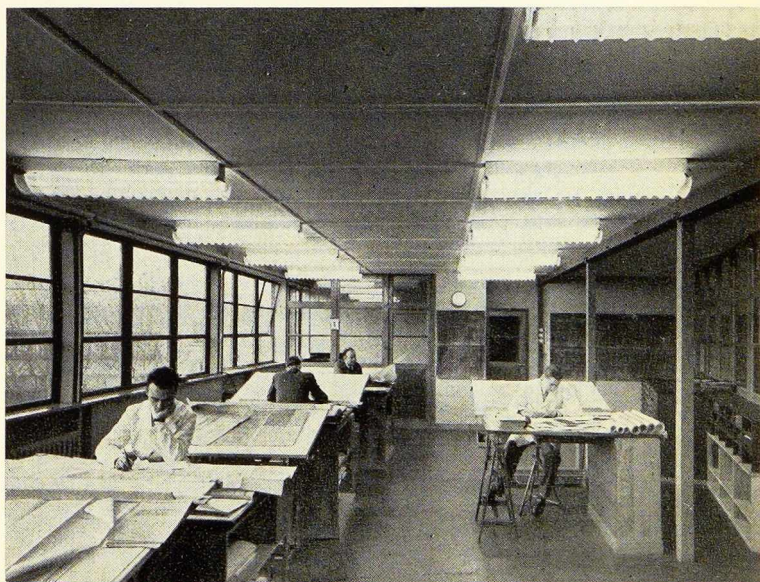
**Fig. 4** (ci-dessus). Schéma de l'escalier en tôle.  
**Fig. 5** (ci-contre). Vue en plan du rez-de-chaussée.

La charpente métallique a été fournie et montée par les Etablissements Beau et ses Fils, à Puteaux.

les contre-parois sont en carreaux de plâtre. Les parements extérieurs sont des panneaux ondulés d'acier inoxydable 18/8; toutefois, le revêtement des façades Nord et Est est constitué par un enduit de mignonnette lavé. Ces revêtements donnent un aspect original et moderne à l'ensemble du bâtiment.

Au point de vue des menuiseries, on a installé des blocs-croisés en tôle pliée, les fenêtres étant posées au nu extérieur et s'ouvrant à l'intérieur; les stores vénitiens sont en alliage léger.

**Fig. 3.** Vue de la salle de dessin.



D<sup>r</sup> D. B. Steinman,  
Ingénieur-Conseil,  
New-York

## Le problème aérodynamique des ponts suspendus et sa solution

Deuxième partie (1)

### Equations aérodynamiques générales des systèmes oscillants

Une analyse mathématique rigoureuse appliquée à des principes physiques fondamentaux, donne les équations aérodynamiques générales suivantes définissant les forces (L et M) qui agissent sur un profil quelconque se déplaçant ou oscillant dans un courant fluide relatif quelconque (13).

$$L = L_0 + \frac{1}{2} \rho V^2 b \left[ C_1 s_1 \left( \alpha - \frac{\dot{\eta}_1}{v} \right) - C_3 s_3 \left( \frac{b \ddot{\alpha}}{2V} \right) \right] + m_a (V \dot{\alpha} - \ddot{\eta}_1) \quad (17 a)$$

$$M = M_0 + \frac{1}{2} \rho V^2 b^2 \left[ C_2 s_2 \left( \alpha - \frac{\dot{\eta}_1}{v} \right) - C_4 s_4 \left( \frac{b \ddot{\alpha}}{2V} \right) \right] - I_a \ddot{\alpha} \quad (17 b)$$

expressions dans lesquelles  $L_0$  et  $M_0$  sont la portance et le moment initiaux appliqués à la section au repos avec l'angle d'incidence initial;  $\dot{\eta}_1$  et  $\ddot{\eta}_1$  sont la vitesse et l'accélération verticales;  $\alpha$ ,  $\dot{\alpha}$ ,  $\ddot{\alpha}$  le déplacement angulaire, la vitesse et l'accélération;  $s_1$  et  $s_2$  sont les inclinaisons des diagrammes statiques de poussée verticale et de moment relevés sur le modèle *droit* ordinaire;  $s_3$  et  $s_4$  sont les inclinaisons des diagrammes statiques de poussée et de moment relevés sur un modèle *incurvé*;  $m_a$  et  $I_a$  sont la masse et le moment d'inertie polaire du cylindre d'air enveloppant le profil;  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$ ,  $C_4$  sont des facteurs de correction de phase tenant compte du retard dans le temps entre tout changement de position ou de mouvement du profil et les pressions résultantes, sur la largeur du profil. Tous les moments sont pris autour du centre de la largeur  $b$  (13).

Les équations 17 sont d'une importance fondamentale. L'application des équations 17 n'est soumise à aucune restriction en ce qui concerne la nature du mouvement ou de l'oscillation du profil (uniforme, irrégulier ou harmonique). Mieux encore, le profil peut

être tenu immobile horizontalement dans un vent constant (comme dans le cas d'un pont) ou subir un déplacement horizontal relatif par rapport au vent (comme dans le cas d'un avion).  $V$  est la vitesse relative du vent.

Dans le cas d'oscillations harmoniques les coefficients  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$ ,  $C_4$  sont fonctions du coefficient de vitesse  $\frac{V}{Nb}$  (ou de  $k = \frac{wb}{2V} = \frac{\pi Nb}{V}$ ). Dans de tels cas, les coefficients  $C$  sont de la forme vectorielle  $C = F - iG$ ; représentant un retard angulaire égal à  $\text{tg}^{-1} \frac{G}{F}$ . Les valeurs de  $F$  et de  $G$  peuvent être calculées et déduites des diagrammes de répartition des pressions sur la section ( $F_1$ ,  $F_2$ ,  $G_1$  et  $G_2$  pour le modèle droit;  $F_3$ ,  $F_4$ ,  $G_3$ ,  $G_4$  pour le modèle incurvé) (13).

Tous les termes et paramètres entre crochets dans les équations 17 n'ont pas de dimension; les termes en dehors des crochets peuvent aussi s'écrire sous la forme de  $\rho V^2 b$  ou  $\rho V^2 b^2$  multipliés par des facteurs sans dimension.

Les ordonnées des diagrammes de répartition des pressions sont désignées par  $y_1$  pour le modèle droit,  $y_3$  pour le modèle incurvé. Chaque ordonnée de pression  $y_1$  ou  $y_3$  est en retard de  $\varphi$  sur le déplacement ou la vitesse qui l'a produite.

Pour chaque vecteur  $C_s$  de force ou de moment,  $F_s$  est la composante en cosinus et  $-iG_s$  la composante en sinus. Le retard angulaire du vecteur force ou du vecteur moment est  $\text{tg}^{-1} \left( \frac{G}{F} \right)$ . En conséquence pour les vecteurs forces :

$$F_1 = \frac{\int_0^1 y_1 \cos \varphi dx}{\int_0^1 y_1 dx (= s_1)} \quad G_1 = \frac{\int_0^1 y_1 \sin \varphi dx}{\int_0^1 y_1 dx (= s_1)} \quad (18 a)$$

(1) Voir le début de cette étude dans le n° 10-1954 de *L'Ossature Métallique*. Le texte de cette première partie sera envoyé gratuitement à nos lecteurs sur demande adressée au C. B. L. I. A.

avec des expressions similaires pour  $F_3$  et  $G_3$ . Pour les vecteurs moments :

$$F_2 = \frac{\int_0^1 y_1 \left( \frac{1}{2} - x \right) \cos \varphi dx}{\int_0^1 y_1 \left( \frac{1}{2} - x \right) dx (= s_2)}$$

$$G_2 = \frac{\int_0^1 y_1 \left( \frac{1}{2} - x \right) \sin \varphi dx}{\int_0^1 y_1 \left( \frac{1}{2} - x \right) dx (= s_2)} \quad (18 b)$$

avec des expressions similaires pour  $F_4$  et  $G_4$  (13).

Les diagrammes en F et en G, fonctions de  $\frac{V}{Nb}$ , sont déduits, pour tout profil, des diagrammes de répartition des pressions par les équations (18).

En égalant les forces aérodynamiques données par les équations (17) aux résistances dynamiques données par les équations générales des systèmes oscillants, on obtient les formules générales des forces appliquées à un profil oscillant. Ces dernières équations générales (non reproduites ici) donnent la clé des solutions des divers problèmes des oscillations aérodynamiques (13).

Pour des oscillations purement verticales, les équations générales des forces donnent pour le degré d'amplification :

$$\delta_1 = -\frac{\mu}{4} (F_1 s_1) \frac{V}{Nb} \quad (19)$$

qui est identique aux équations 12 et 9, avec le facteur  $F_1$  ajouté pour la correction de phase.

Pour des oscillations purement angulaires, les équations générales des forces donnent le degré d'amplification :

$$\delta_2 = -\frac{\mu}{8} \frac{b^2}{r^2} \left( \frac{C_2}{k} s_2 + F_4 s_4 \right) \frac{V}{Nb} \quad (20)$$

qui est la forme finale corrigée de l'équation 14.

Les équations 19 et 20 donnent les degrés d'instabilité qui peuvent donc être notés *a priori* pour des valeurs variables de  $\frac{V}{Nb}$  (13).

En écrivant les équations de la poussée verticale et du moment sous leur forme générale et en substituant les valeurs moyennes résultantes des inclinaisons  $s_1 s_2 s_3 s_4$  dans les équations (19) et (20) on obtient des équations permettant de déterminer les amplitudes verticales et angulaires limites pour diverses valeurs du coefficient de vitesse  $\frac{V}{Nb}$ . Des procédés numériques et graphiques existent pour déterminer *a priori* les courbes d'amplitude (13).

On déduit également des équations générales des forces, la solution complète du problème des oscillations verticales et angulaires combinées, correspondant au « battement » dangereux des ailes et des plans directeurs d'un avion. La figure 22 montre un diagramme type d'instabilité en oscillations combinées, établi d'après mes formules pour une section réelle  $\left( \frac{d}{b} = 0,02 \right)$  (13).

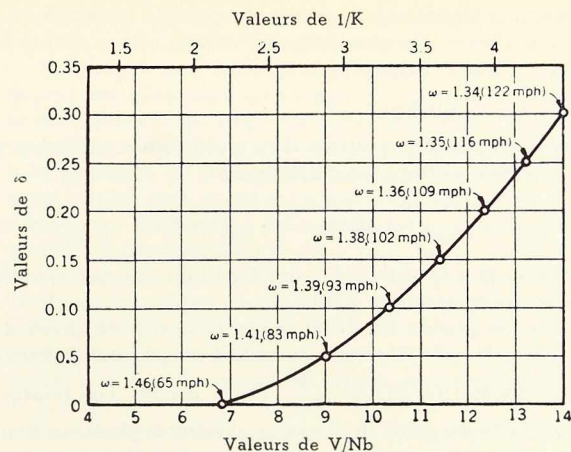


Fig. 22. Diagramme d'instabilité pour des oscillations verticales et angulaires combinées donnant l'incrément logarithmique ( $\delta$ ) et la fréquence combinée ( $\omega$ ) pour diverses vitesses de vent ( $V/Nb$ ) et les vitesses critiques ( $V/Nb$ ) pour divers degrés ( $\delta$ ) d'amortissement structural (sections  $d/b = 0,02$ ).

L'analyse dont nous venons d'esquisser le développement constitue une théorie générale de l'aérodynamique des systèmes oscillants; elle constitue également la théorie aérodynamique des oscillations des ponts avec les caractères suivants de généralité bien marquée (13).

1° Elle n'est pas limitée à des feuillettes au tracé aérodynamique ou à des plaques idéalement minces, mais elle s'applique aussi à toutes sections transversales de ponts et à toutes autres sections de quelque forme que ce soit.

2° Elle n'est pas limitée aux oscillations combinées (comme dans le battement d'un avion) mais elle s'étend aux oscillations verticales et aux oscillations angulaires (qui sont les formes connues de l'instabilité des ponts).

3° Elle n'est pas limitée à la détermination des vitesses critiques correspondant à un battement mais elle prévoit et calcule toutes les vitesses de vent critiques pour les oscillations verticales et angulaires, donnant de plus les degrés d'amplification, les amplitudes limites et l'amplitude des réactions pour toute vitesse du vent.

4° Elle n'exige pas, pour chaque problème, la réalisation d'essais sur modèles oscillants à grande échelle, coûteux et longs, mais déduit toutes les constantes nécessaires pour une section quelconque de simples essais statiques sur des modèles à échelle réduite.

#### Critères devant assurer la stabilité aérodynamique (7) (12)

En l'absence d'une étude scientifique tendant à améliorer les caractéristiques aérodynamiques de la section transversale, et en l'absence d'autres mesures de stabilisation ou de raidissement, la stabilité aérodynamique peut être assurée en donnant simplement une

hauteur adéquate aux poutres de rigidité en treillis ou à âme pleine. Comme premier critère, on a établi la clause simple suivante :

#### Première condition

La hauteur des poutres de rigidité en treillis ou à âme pleine ne sera pas inférieure à :

$$l \left( \frac{1}{120} + \frac{l}{1000^2} \right) \text{ en pieds ou } \frac{l}{1000} \left( 8,33 + \frac{l}{3,55} \right) \text{ en m}$$

à moins que la stabilité aérodynamique ne soit assurée d'une autre manière (12).

Pour la portée de 2 800 pieds (853 m) du pont de Tacoma, la clause ci-dessus aurait exigé une hauteur de 31 pieds (9,5 m) ou  $\frac{1}{90}$  de la portée. Les poutres de rigidité du pont de Tacoma avaient 8 pieds de hauteur (2,4 m) soit seulement  $\frac{1}{350}$  de la portée. C'était de loin, le pont suspendu le plus flexible des temps modernes.

Dans les ponts suspendus comportant des treillis de rigidité, une hauteur de poutre plus faible que celle indiquée ci-dessus peut donner la raideur requise et l'amortissement s'il satisfait à la dernière condition.

#### Deuxième condition

Le système de rigidité d'un pont suspendu doit avoir une valeur de EI qui ne soit pas inférieure à  $\frac{bl^4}{60\sqrt{f}}$  à moins que la stabilité aérodynamique ne soit assurée d'une autre manière (12).

Si cette clause, facile à appliquer, n'est pas satisfaisante, on doit procéder à un examen plus approfondi des constantes aérodynamiques du profil. Toute déficience peut être supprimée par des mesures spéciales ou corrigée par des dispositifs spéciaux.

La constante la plus importante dans les études aérodynamiques d'une construction quelconque est la « constante élastique » ou *coefficient de rigidité* K. Il mesure la résistance aux oscillations et détermine la fréquence propre des oscillations harmoniques de toute longueur. La valeur numérique de K peut être calculée aisément et exactement pour toute construction, existante ou projetée, de dimensions connues. Le type d'oscillation  $n=2$  (la travée principale oscillant en deux segments avec un nœud à mi-portée) est le mieux indiqué pour le calcul de K, attendu que le type fondamental ( $n=1$ ) ne donne que rarement une valeur plus faible. Pour toutes les valeurs paires de  $n$  (vibrations, antimétriques) K est donné rapidement, d'une manière précise par la formule simple (12).

$$K = \frac{\pi^2 n^2}{l^2} \times H + \frac{\pi^4 n^4}{l^4} \times EI \quad (21)$$

où H est la composante horizontale de la traction du câble sous poids mort. Cette valeur de K, pour  $n=2$ , varie de 124 pour le malheureux pont de Tacoma à 2 164 pour le pont de Williamsburg. De faibles valeurs de K s'associent à l'instabilité aérodynamique mais K seul ne caractérise pas tout.

Les deux termes de la formule ci-dessus en K (le terme en H et le terme en EI) représentent respectivement les contributions du câble porteur et de la poutre de rigidité. Le rapport du terme de la poutre au total est le rapport de raidissement R. Il détermine principalement l'amortissement interne de la construction. La valeur de R varie de 0,015 au pont accidenté de Tacoma à 0,780 au pont de Williamsburg. Les faibles valeurs de R (inférieures à 0,25) s'associent à l'instabilité aérodynamique (7, 12).

Une autre constante dimensionnelle importante est le facteur de largeur B, égale à  $\frac{b^2}{w}$  où  $w$  est le poids de la travée par pied courant. L'instabilité aérodynamique augmente suivant la racine carrée de B. La valeur de B (avec  $w$  compté pour toute la largeur hors tout) est sensiblement constante et égale à 0,25 pour la plupart des ponts suspendus. Pour les ponts très larges avec poids normal ou réduit par pied carré, la valeur de B est plus grande, parfois même doublée, comme au pont Bronse-Whitestone, ce qui ajoute 41 % au degré d'instabilité. Contrairement à certaines idées émises, l'*étroitesse* du « Tacoma Narrows Bridge » n'a pas été la cause de sa ruine (la présence du mot « Narrows » (étroitures) dans le nom du pont a peut être contribué, inconsciemment, à cette conclusion hâtive et erronée). Si le pont avait été plus large, il eut été plus vulnérable aux actions aérodynamiques avec amplitudes d'oscillation plus grandes et plus rapidement croissantes. Son instabilité eut été plus difficile à freiner ou à supprimer.

Toutes les formules d'instabilité aérodynamique (12) contiennent, le facteur dimensionnel  $\sqrt{\frac{B}{K}}$ . Les trois caractéristiques de l'instabilité sont le degré d'amplification, les vitesses critiques (dans la zone dangereuse) et les amplitudes maxima. Les considérations de ces trois caractéristiques conduisent à la même conclusion (12).

La sécurité par rapport à l'instabilité aérodynamique est proportionnelle à  $\sqrt{\frac{K}{B}}$ .

Cette relation donne un critère simple, formé rationnellement sur la base de statistiques, pour évaluer rapidement le degré de stabilité aérodynamique d'un projet de pont :

#### Premier critère

Le module de rigidité  $\frac{K}{B}$  doit être supérieur à 1 200, à moins que la stabilité aérodynamique ne soit assurée d'une autre manière (12).

La valeur de  $\frac{K}{B}$  varie de 468 pour la travée de Tacoma à 16 028 pour le pont de Williamsburg. A l'exception du pont George Washington, pour lequel  $\frac{K}{B} = 1 376$ , aucun pont d'un  $\frac{K}{B}$  supérieur à 1 200 n'a jamais, à notre connaissance, montré aucune trace d'instabilité aérodynamique. D'autre part, tous les ponts d'un  $\frac{K}{B}$





inférieur à 1 200 ont manifesté à divers degrés, leur instabilité aérodynamique.

Un critère plus précis et mieux discriminant, tenant compte des variations du degré d'amortissement structural que le coefficient de raidissement R représente, s'énonce simplement :

#### Deuxième critère

La constante de stabilité aérodynamique  $R \sqrt{\frac{K}{B}}$  doit dépasser 10 (à moins que la stabilité aérodynamique ne soit assurée d'une autre manière) (12).

Les valeurs de  $R \sqrt{\frac{K}{B}}$  varient de 0,4 pour le pont de Tacoma à 100 pour le pont de Williamsburg. Tous les ponts ayant des valeurs de  $R \sqrt{\frac{K}{B}}$  inférieures à 10 ont subi des oscillations aérodynamiques. Tous les ponts pour lesquels cette constante était plus grande que 10 se sont montrés aérodynamiquement stables.

Un critère encore plus scientifique, plus discriminant dans les cas limites et plus sûr dans les cas anormaux tient compte de la variation de l'instabilité potentielle suivant la forme et les proportions de la section transversale. J'ai pointé et calculé les valeurs ( $\delta$ ) que donnent les formules d'instabilité potentielle angulaire et verticale pour diverses valeurs du coefficient de section  $\frac{d}{b}$ . La valeur de l'amortissement positif  $\delta_s$  a été ensuite comparée, pour des constructions données, aux valeurs correspondantes maxima de  $\delta$ . Le rapport définit le *coefficient de sécurité à l'instabilité dynamique*.

Ce rapport varie de 0,02 pour le pont de Tacoma à 5,3 pour le pont de Williamsburg. Tous les ponts pour lesquels le rapport est inférieur à l'unité ont subi des oscillations aérodynamiques, avec de hauts degrés de vulnérabilité et de danger. Tous les ponts pour lesquels le rapport est supérieur à l'unité se sont montrés aérodynamiquement stables (7, 12).

Le diagramme déduit des formules et des essais en tunnel facilitent cette comparaison. Tous les ponts dont les points représentatifs tombent sous la courbe d'instabilité sont instables, et ceux dont les points représentatifs tombent au-dessus de la courbe sont stables. Le degré de stabilité (ou le coefficient de sécurité) est représenté par le rapport de l'ordonnée du point représentatif à l'ordonnée correspondante du diagramme. Cette comparaison, rapide et spectaculaire, conduit à mon troisième critère de la stabilité aérodynamique.

#### Troisième critère

La constante de stabilité aérodynamique  $R \sqrt{\frac{K}{B}}$  (ou la valeur correspondante  $\delta_s \sqrt{\frac{K}{B}}$ ) dépassera la valeur exigée pour le profil, calculée et pointée sur un diagramme applicable à différents coefficients de section et à diverses formes de sections (7, 12).

Nous avons donc deux conditions simples et pratiques et nous avons le choix entre trois critères d'exactitude

scientifique croissante pour nous permettre de chiffrer rapidement le degré de stabilité d'un projet de pont.

On a ainsi une réponse à la question qui se posait depuis un siècle aux constructeurs de ponts : *quel est le raidissement qu'exige un pont suspendu?* Tout pont suspendu muni d'un système de rigidité qui satisfait à la première ou à la deuxième condition, ou au premier critère sera aérodynamiquement stable. Si le EI donné par les poutres de rigidité en treillis ou à âme pleine, ne satisfait pas à la deuxième clause, un raidissement supplémentaire devra être assuré par des haubans ou d'autres moyens de manière à satisfaire au deuxième critère. Autrement le profil doit être modifié de manière à éliminer ou à réduire l'instabilité aérodynamique jusqu'à ce que le troisième critère soit satisfait (1, 2, 4, 7, 12).

On notera que la première et la deuxième conditions sont formulées de manière à n'entraver aucun progrès, mais au contraire à encourager l'initiative et à récompenser l'abondance des moyens et les études scientifiques (7, 12).

#### Comment prévenir l'instabilité aérodynamique et comment y remédier

Le désastre du pont de Tacoma a donné une leçon importante aux ingénieurs. *Les auteurs de projets de ponts suspendus doivent dorénavant se préoccuper de la stabilité aérodynamique de leurs ouvrages.*

Par ses écrits et par ses travaux (1840-1869) John A. Roebling fut le premier à reconnaître le problème de la stabilité aérodynamique. Sans bénéficier des connaissances scientifiques et mathématiques modernes, mais guidé par son intuition, il construisit ses ponts avec des dispositifs spéciaux de raidissement et les rendit ainsi aérodynamiquement stables. Nous avons repris le problème au point où Roebling l'avait laissé et, avec beaucoup plus de moyens qu'il n'en avait à sa disposition, nous avons donné une solution d'application pratique directe (4, 6).

Il est évidemment facile, surtout pour les petites portées, d'assurer la sécurité aérodynamique par de larges raidisseurs, sans égards pour l'économie et l'esthétique. Mais le vrai problème est d'assurer la stabilité aérodynamique sans gaspiller la matière dans un raidissement excessif et en sauvegardant les proportions esthétiques.

Les principaux moyens d'assurer ou d'introduire la stabilité aérodynamique sont les suivants (6) :

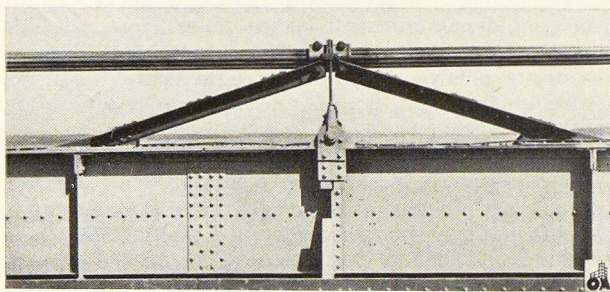
1. Augmenter la rigidité de la construction;
2. Augmenter l'amortissement positif;
3. Modifier la section transversale.

Les constantes les plus caractéristiques de l'ouvrage, en ce qui concerne la *résistance* aux effets dynamiques sont le coefficient de rigidité K et le rapport de raidissement R (rapport de la rigidité due aux éléments raidisseurs, poulies, haubans, etc., à la rigidité totale). La valeur de R intervient largement dans l'amortissement structural (12).

Presque toutes les méthodes qui accroissent la rigidité ont aussi une action efficace directe sur l'augmentation du degré d'amortissement interne. La rigidité et l'amortissement structural, facteurs de résistance à

l'instabilité aérodynamique, tant *verticale* qu'*angulaire*, peuvent être augmentés de montants précalculés par l'emploi de poutres raidisseurs, en treillis, ou à âme pleine, de plus grande hauteur; par la mise en œuvre de haubans en câbles, attelés aux pylônes d'appui ou établis entre les câbles porteurs et les poutres dans la partie centrale ou en des points intermédiaires de la travée; par l'emploi de poutres continues et de câbles de retenue droits. De plus, la rigidité et l'amortissement qui doivent résister à l'instabilité *angulaire* peuvent être augmentés de montants précalculés par l'emploi de haubans diagonaux transversaux, par l'emploi d'un double contreventement horizontal (à la base et au sommet); ou encore en augmentant la rigidité à la torsion des pylônes; en relevant les points d'attache des sustentés et en abaissant le centre de gravité de la section (par exemple en montant la chaussée à la base des poutres) (6, 12).

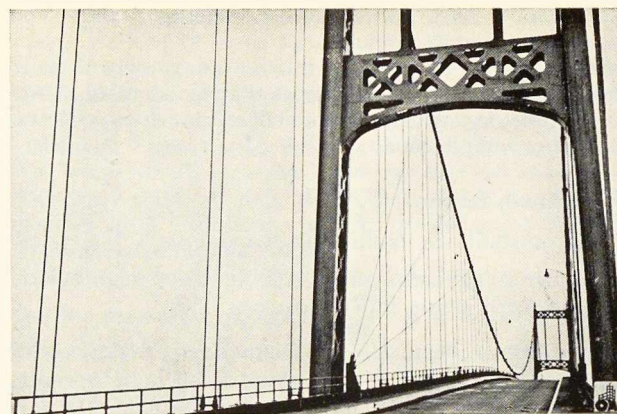
En ce qui concerne les amplitudes d'oscillation, la grandeur de l'énergie cinétique accumulée et l'importance des tensions dans l'ouvrage, des oscillations angulaires en deux *demi-ondes* (un nœud, ou  $n = 2$ ) sont généralement la manifestation la plus dangereuse de l'instabilité aérodynamique. Ce fut le cas pour le Brighton Chain Pier (1836) et pour le pont de Tacoma (1940). Un moyen très efficace de prévenir de telles oscillations angulaires en deux demi-ondes, d'y remédier ou d'y résister, consiste à établir un haubannage central bien proportionné (fig. 23) ou tout autre dispositif s'opposant à un mouvement longitudinal relatif du câble porteur et de la structure suspendue, au milieu de la portée.



**Fig. 23.** Haubans centraux évitant les oscillations angulaires. Leur installation aux ponts « Thousand Islands » et « Deer Isle », 1938.

Nous avons appliqué de tels haubans centraux, en 1938, à trois ponts suspendus (barres en cornières rigides). Au pont de Tacoma, les haubans centraux en câbles n'ont pu résister aux efforts alternés; et se sont dérobés (le matin de l'accident) ce qui a permis la production d'oscillations dangereuses qui ont ruiné l'ouvrage (3).

Un autre procédé économique consiste à mettre en œuvre des haubans obliques longitudinaux, inclinés dans l'un ou l'autre sens, dans le plan des câbles por-



**Fig. 24.** Haubans obliques pour réduire les oscillations aérodynamiques. Leur installation aux ponts « Thousand Islands » et « Deer Isle », 1938.



**Fig. 25.** Pont sur le détroit de Messine, pour relier la Sicile à l'Italie. Travée principale de 5 000 pieds, qui sera la plus longue du monde. Type rigide de treillis raidisseur et système radiant de haubans en câbles pour assurer la stabilité aérodynamique (projeté par l'auteur).

**Fig. 26.** Haubans intermédiaires pour réduire les oscillations aérodynamiques. Leur installation au pont de « Deer Isle », dans le Maine, 1943.

teurs (fig. 24). De tels haubans peuvent être montés soit au-dessus soit au-dessous de la chaussée. Ils peuvent s'attacher à des points choisis sur le câble, ou à des points de la poutre de rigidité, ou aux deux. Roebling a développé et appliqué ce principe à ses ponts suspendus.

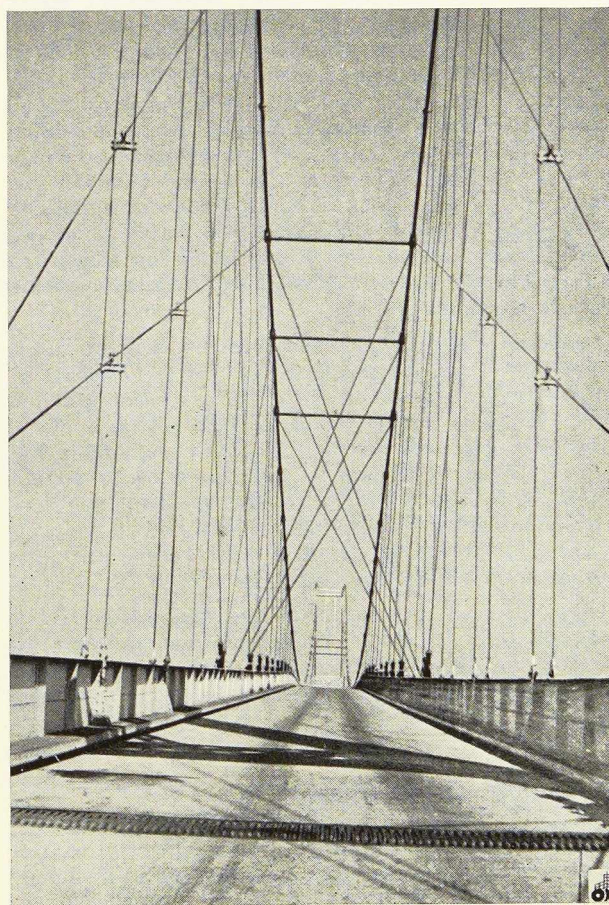
Le point d'attache peut être au sommet des pylônes, à condition que ceux-ci soient rigides (pylônes en maçonnerie du pont de Brooklyn). Ce type de haubans devient inefficace quand les pylônes sont flexibles; ils forment alors un système triangulé dont tous les points se déplacent dans le même sens, ce qui annihile l'ancrage. De plus, un système radiant de haubans est plus sûr qu'un hauban unique équivalent parce que chaque point d'attache peut former un nœud dans certains modes d'oscillations (17).

Pour obtenir le maximum d'efficacité, les deux systèmes peuvent être combinés : haubans entre poutre et câble et haubans attelés aux pylônes. Dans le cas du pont de Tacoma, j'avais calculé qu'une telle combinaison appliquée vers les deux extrémités de la travée pouvait augmenter  $K$  de 124 à 1 204 et accroître en même temps  $R$  de la valeur très faible de 0,015 à la valeur très élevée de 0,900. Ceci aurait amené les constantes aérodynamiques du pont de Tacoma à des valeurs présentant une large marge de sécurité (6, 12).

Le développement le plus étendu de ma mise en œuvre de haubans s'incorpore dans le projet de pont sur le détroit de Messine, pour relier la Sicile à l'Italie avec une travée principale de 5 000 pieds (1 525 m) qui sera la plus longue du monde (fig. 25). Un beau système radiant de haubans en câbles incorpore au projet un élément calculé scientifiquement pour éviter les oscillations et assurer la stabilité aérodynamique (17).

Pour raidir un ouvrage flexible, les haubans en câbles aux extrémités de la travée et les haubans au milieu de la portée peuvent être complétés par un système de haubans intermédiaires, également dans le plan des câbles porteurs (fig. 26). Mes formules permettent de les prévoir scientifiquement de manière à donner tout accroissement désirable à la valeur de  $K$  (6, 12).

Une méthode économique et radicalement efficace de prévenir ou de supprimer les oscillations angulaires, qui peut s'ajouter aux haubans longitudinaux obliques ou les remplacer, consiste à monter des haubans diagonaux transversaux (fig. 27) entre des tiges de suspension en regard, à des points choisis de la travée. Des étançons ou des tirants horizontaux transversaux



**Fig. 27.** Haubans diagonaux transversaux pour empêcher les oscillations angulaires. Leur installation au pont de « Deer Isle » (Maine), 1943. Trois paires de haubans transversaux vers le quart de la portée. Etançon ajouté au sommet pour augmenter l'efficacité.

entre les câbles peuvent être ajoutés à ce système de haubans pour lui donner une plus grande efficacité encore. Au pont de Tacoma, des haubans diagonaux de un pouce carré (6,45 cm<sup>2</sup>) seulement par panneau auraient augmenté de plus de cinquante fois la résistance angulaire, faisant croître K de 124 à 7 064 beaucoup plus que nécessaire pour assurer la stabilité angulaire. Le pont de Dear Isle (sur la côte du Maine) a été pourvu d'un tel dispositif en vue d'éviter toute possibilité d'oscillations angulaires sous l'action de vents de tempête de plus de 80 nœuds (129 km/h) déjà souvent observés en cette région côtière (6,12).

Une autre méthode très efficace d'augmenter la résistance aux oscillations angulaires est de munir l'ouvrage de deux contreventements horizontaux au droit ou près des membrures des poutres de rigidité, à âme pleine ou en treillis; afin de bénéficier intégralement de la résistance à la torsion d'une section rectangulaire creuse. Ce procédé, appliqué au pont de Tacoma, sous forme de deux contreventements relativement légers (de 5 à 20 pouces carrés (32 à 129 cm<sup>2</sup>) de section horizontale équivalente de treillis) aurait augmenté K de 100 à 400 % et multiplié R par 35 à 50 (d'où une augmentation correspondante de l'amortissement structural). Ces hautes valeurs de K et de R auraient évité les oscillations angulaires et la destruction de l'ouvrage dans le vent de 42 nœuds (35 km/h). En fait, ils auraient assuré la stabilité angulaire sous un vent de plus de 100 nœuds (160 km/h). Si la hauteur des poutres avait été deux fois plus grande, l'accroissement numérique de K par l'addition des contreventements eut été quadruplé (6, 12).

Quoique l'addition de deux contreventements horizontaux soit très efficace pour réduire les oscillations angulaires, ce procédé est encore surpassé, en économie et en efficacité, par la simple installation de haubans diagonaux transversaux (fig. 27). Avec des câbles diagonaux ayant seulement le cinquième de la section supposée des contreventements cités ci-dessus, les haubans transversaux produiraient une augmentation cinquante fois plus grande de K, donc aussi une plus grande augmentation correspondante de R (6, 12).

Ces mises en œuvre de haubans, simples et économiques, interviennent efficacement pour prévenir les oscillations aérodynamiques de ponts projetés aussi bien que pour supprimer l'instabilité aérodynamique de ponts existants.

### La solution aérodynamique

En augmentant la hauteur, la rigidité et le contreventement; en ajoutant des haubans centraux, longitudinaux ou transversaux obliques, ou autres; en introduisant des dispositifs artificiels d'amortissement, on peut porter à tel degré voulu la résistance à l'instabilité aérodynamique. Ces procédés résistent aux effets mais n'éliminent pas la cause.

Le procédé le plus scientifique comporte l'application de principes et de méthodes aérodynamiques au choix

et à l'amélioration de la section transversale de manière à réduire ou à supprimer sa vulnérabilité.

Les inclinaisons des diagrammes de poussée verticale et de moment (déduits d'essais au tunnel sur des modèles à petite échelle) mesurent l'instabilité potentielle. Une inclinaison positive révèle une section *stable* avec des oscillations limitées aux faibles vitesses de vent (sous la vitesse critique) en général négligeables et amorties. Une inclinaison négative révèle une section *instable* avec une zone catastrophique illimitée d'oscillations au-dessus de la vitesse critique du vent. Le diagramme idéal de poussée verticale ou de moment devrait s'approcher d'une droite horizontale, ce qui correspondrait à une section stable à toutes vitesses de vent et sous tous les angles d'attaque. La courbure des diagrammes affecte ou détermine les amplitudes limites en fixant la réduction que subit l'inclinaison moyenne quand l'amplitude augmente. Les diagrammes déduits des essais statiques au tunnel sont donc un moyen de diagnostiquer, de prévoir et de régler pour toute section (12, 14, 15).

En ménageant des ouvertures oblongues en des points déterminés sur la largeur de la chaussée (fig. 28) les

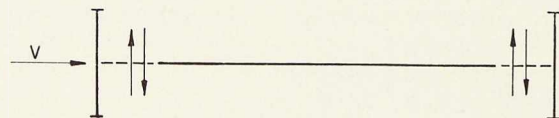


Fig. 28. Des ouvertures oblongues dans le platelage des ponts conduisent à une section aérodynamiquement stable. Fait adopté dans les projets ou la reconstruction de tous les grands ponts suspendus.

forces aérodynamiques qui causent l'amplification des oscillations peuvent être éliminées ou réduites. La partie qu'il est le plus important de laisser ouverte est celle située entre les bordures de la chaussée et les poutres ou les câbles de rigidité. L'ouverture de ces zones latérales réduit définitivement l'instabilité aérodynamique et peut même l'éliminer. Des essais de 1940 sur modèles ont démontré que la stabilité aérodynamique peut être acquise en ouvrant les surfaces latérales. Plus tard, la création d'ouvertures oblongues latérales a été adoptée dans la construction ou dans la reconstruction de tous les grands ponts suspendus, y compris la reconstruction du pont Bronx-Whitehouse (1945) et le projet définitif du nouveau pont de Tacoma (1950).

Il est démontré actuellement que la stabilité ou l'instabilité aérodynamique d'une section, fonction de sa forme et de ses proportions, peut être réglée en ménageant des ouvertures bien situées et bien proportionnées dans sa largeur horizontale. Les sections transversales des ponts peuvent être projetées ou modifiées de manière à assurer la stabilité aérodynamique (6, 16).

En 1946-1947, j'ai entrepris l'exploration des propriétés aérodynamiques de sections transversales de ponts, de diverses formes et proportions, ainsi que des modifications diverses proposées pour de telles sections. A cette fin, j'ai pu m'assurer la collaboration du professeur F. J. Maher et utiliser le tunnel de la soufflerie

de l'Institut Polytechnique de Virginie. Grâce à un subside de la « Research Corporation » des essais ont été étendus et amplifiés. Ils ont couvert une large zone de coefficients de section et diverses modifications des sections, comprenant une chaussée à claire-voie, des ouvertures oblongues sur les côtés ou au centre de la chaussée, ainsi que l'addition d'ailerons extérieurs; de tels ailerons peuvent être formés par des consoles en cantilever portant les trottoirs ou d'autres aménagements. Ma suggestion première relative aux ailerons (en 1941) résultait de considérations aérodynamiques simples. Les recherches ultérieures ont montré qu'aucun pont connu muni de consoles extérieures ou de trottoir en porte à faux n'a jamais montré d'instabilité aérodynamique (16).

Les essais au tunnel, en 1947; ont révélé qu'en combinant les ouvertures latérales et les ailerons extérieurs dans une proportion convenable, on pouvait supprimer complètement ou prévenir l'instabilité aussi bien verticale qu'angulaire.

La figure 29 présente les tracés, basés sur les essais ci-dessus au tunnel, de quelques sections de pont, aérodynamiquement stables — (limitées à des sections en H à éléments pleins). Les sections ainsi aménagées présentent une complète stabilité aérodynamique aux oscillations verticales, angulaires ou combinées, sous tous les angles d'incidence et à toutes les vitesses de vent (16).

La figure 30 montre l'application des principes précédents à une section transversale, pratique, de pont. C'est la section adoptée pour le pont du détroit de Mackinac, de 3 800 pieds (1 158 m) de portée : Les caractéristiques du projet : larges ouvertures latérales (entre la chaussée et les sustentés), large ouverture centrale (deux bandes de roulement intérieures sur caillebotis) treillis ouvert d'une haute poutre de rigidité; treillis ouverts des poutres sous platelage, conduisent à une section hautement favorable. Des essais au tunnel de

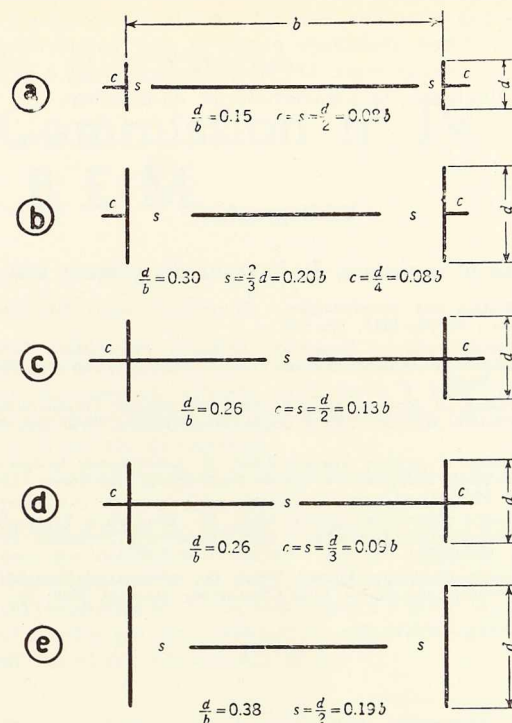


Fig. 29. Sections de ponts aérodynamiquement stables. Des combinaisons d'ouvertures et d'ailerons assurent une stabilité aérodynamique complète.

soufflerie confirment la grande stabilité aérodynamique et indiquent qu'il s'agit ici de la section la plus aérodynamiquement stable qui ait jamais été projetée. De plus, un double contreventement horizontal (au sommet et à la base) procure une grande rigidité à la torsion, de sorte que la stabilité aérodynamique du pont est doublement assurée (18).

On peut résister à tel degré voulu aux effets de l'instabilité aérodynamique par divers procédés de raidissement et de contreventement. On peut supprimer la cause de l'instabilité par une étude scientifique de la section transversale, appliquant les principes et les découvertes de l'aérodyna-

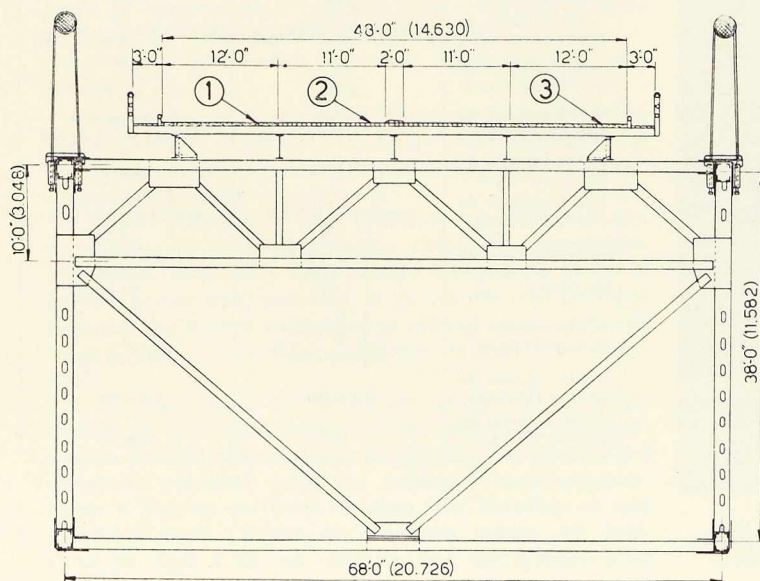


Fig. 30. Section transversale, aérodynamiquement stable, adoptée pour le pont du détroit de Mackinac (Michigan), 1953. Des ouvertures latérales, des ouvertures centrales, des treillis ouverts, des poutres évidées sous platelage, des contreventements au sommet et à la base assurent la stabilité aérodynamique. Les essais au tunnel de soufflerie confirment qu'il s'agit là de la section transversale de pont la plus stable qui ait jamais été projetée (projetée par l'auteur).

1. Asphalté. — 2. Grillage ouvert. — 3. Grillage fermé.

mique. Les premières méthodes mettent l'accent sur la création d'une résistance accrue à une caractéristique inhérente, dangereuse. Les deuxièmes tendent à éviter ou à améliorer la caractéristique dangereuse.

D. B. S.

### Bibliographie

#### Articles et ouvrages de l'auteur du présent article

- (1) « Bridges and Aerodynamics », *Proceedings*, Amer. Toll Bridge Assoc., March, 1941, pp. 1-9.
- (2) « Aerodynamics of Suspension Bridges », *Proceedings*, Thirty-Second Annual Roads School, Purdue University, January, 1946, pp. 26-38.
- (3) « Design of Bridges Against Wind. I. General Considerations. Aerostatic Stability », *Civil Engineering*, October, 1945, pp. 469-472.
- (4) « Design of Bridges Against Wind. II. Aerodynamic Instability. Historical Background », *Civil Engineering*, November, 1945, pp. 501-504.
- (5) « Design of Bridges Against Wind. III. Elementary Explanation of Aerodynamic Instability », *Civil Engineering*, December, 1945, pp. 558-560.
- (6) « Design of Bridges Against Wind. IV. Aerodynamic Instability. Prevention and Cure », *Civil Engineering*, January, 1946, pp. 20-23.
- (7) « Design of Bridges Against Wind. V. Criteria for Assuring Aerodynamic Stability », *Civil Engineering*, February, 1946, pp. 66-68.
- (8) « The Tacoma Bridge Report », *Engineering News-Record*, August, 14, 1941, pp. 59-61.
- (9) « Wind Tunnel Tests Reveal Serious Inadequacy of Present Bridge Specifications », *Civil Engineering*, October, 1947, pp. 35-38.
- (10) « Problems of Aerodynamic and Hydrodynamic Stability », *Proceedings*, Third Hydraulics Conference, Bulletin no 31, State University of Iowa Studies in Engineering, Iowa City, Iowa, 1947, pp. 136-164.
- (11) « Pipeline Bridge Stabilized with Diagonal Rope Stays », *Civil Engineering*, March, 1952, pp. 25-27.
- (12) « Rigidity and Aerodynamic Stability of Suspension Bridges », *Transactions*, Am. Soc. C. E., Vol. 110, 1945, pp. 439-580.
- (13) « Aerodynamic Theory of Bridge Oscillations », *Transaction*, Am. Soc. C. E., Vol. 115, 1950, pp. 1180-1260.
- (14) « Simple Model Tests Predict Aerodynamic Characteristics of Bridges, Part I. Response Curves Computed from Pressure, Distribution Graphs », *Civil Engineering*, January, 1947, pp. 20-23.
- (15) « Simple Model Tests Predict Aerodynamic Characteristics of Bridges, Part II. Response Curves Computed from Static Lift and Torque Graphs », *Civil Engineering*, February, 1947, pp. 77-79.
- (16) « Wind Tunnel Tests Yield Aerodynamically Stable Bridge Sections. Tests Provide Data on Effects of Slots and Fins on Stability », *Civil Engineering*, December, 1947, pp. 40-43.
- (17) « The Messina Straits Bridge », *Columbia Engineering Quarterly*, Columbia University, January, 1951, pp. 8-30.
- (18) « Engineering Report on Mackinac Straits Bridge », *Report to the Mackinac Bridge Authority*, State of Michigan, February 20, 1953, pp. 1-18.

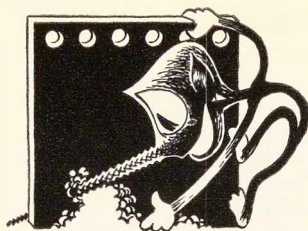


Fig. 31. Pont suspendu sur le détroit de Mackinac aux Etats-Unis (projeté par l'auteur).

### Conversion des formules en unités métriques

On trouvera ci-après la conversion en unités métriques des formules et expressions établies avec le pied et la livre comme unités.

	Unités pied-livre	Unités ks-mètre
p. 496 colonne de droite 36 <sup>e</sup> ligne	$0,0766 \frac{b^2}{w}$	$1,226 \frac{b^2}{w}$
p. 500 colonne de droite expre s.(12)	$\delta_1 = 0,02 B \cdot A \frac{V}{Nb}$	$\delta_1 = 0,307 B \cdot A \frac{V}{Nb}$
p. 500 colonne de droite 22 <sup>e</sup> ligne	0,25	0,015
p. 501 colonne de droite express.(14)	$\delta_2 = 0,02 \frac{b^2}{2 r^2} BA \frac{V}{Nb}$	$\delta_2 = 0,307 \frac{b^2}{2 r^2} BA \frac{V}{Nb}$
p. 544 colonne de gauche 24 <sup>e</sup> ligne	$\frac{bl^4}{60 \sqrt{f}}$	$\frac{bl^4}{1400 \sqrt{f}}$
p. 544 colonne de gauche 50 <sup>e</sup> ligne	K pour n = 2 varie de 124 à 2 164	K pour n = 2 varie de 605 à 10 570
p. 544 colonne de droite 15 <sup>e</sup> ligne	6,25	0,015
p. 544 colonne de droite 45 <sup>e</sup> ligne	K doit être supérieur à 1 200	K doit être supérieur à 94 000
p. 544 colonne de droite 48 <sup>e</sup> ligne et suivantes	$\begin{cases} 468 \\ 16\ 028 \\ 1\ 376 \\ 1\ 200 \end{cases}$	$\begin{cases} 36\ 600 \\ 1\ 250\ 000 \\ 108\ 000 \\ 94\ 000 \end{cases}$
p. 545 colonne de gauche 9 <sup>e</sup> ligne	$R \sqrt{\frac{K}{B}}$ doit dépasser 10	$R \sqrt{\frac{K}{B}}$ doit dépasser 90
p. 545 colonne de gauche 11 <sup>e</sup> ligne	0,4 à 100	3,5 à 890
p. 545 colonne de gauche 14 <sup>e</sup> ligne	10	90



## Rapport d'activité de la Commission n° IV de l'A. B. E. M.

La Commission n° IV (Protection contre la Corrosion) de l'A. B. E. M. vient de publier son Rapport d'activité pour l'exercice 1953.

Nous extrayons de l'intéressant Rapport technique établi par M. D. Bermane, chargé de Recherches à l'A. B. E. M. IV, les principaux passages concernant les essais en cours et le programme des nouveaux essais.

O. M.

### Essais atmosphériques

Les éprouvettes peintes ont été exposées en août 1952 dans les trois stations expérimentales d'Ostende, de Ruisbroek et de Butgenbach.

La station d'essai d'Ostende est installée en bord de mer, à l'entrée même du port. Elle est exposée à l'action des embruns tout en étant à l'abri de l'action directe des vagues et des coups de mer.

On a observé à Ostende que la plupart des éprouvettes recouvertes de peintures à base de poudre de zinc étaient fortement dégradées avec un indice de corrosion voisin ou supérieur à DIN 2, soit de l'ordre de 5 à 10 % de la surface peinte.

Le tableau I donne les résultats de l'inspection finale des éprouvettes peintes exposées à Ostende, effectuée après la tempête du 1<sup>er</sup> février 1953, c'est-à-dire après six mois de vieillissement naturel.

L'examen du tableau I permet les remarques suivantes :

1. On constate tout d'abord que toutes les éprouvettes peintes exposées à Ostende sont corrodées et qu'aucune peinture ne peut après six mois être considérée comme intacte.

2. Pour procéder à une première classification des peintures, on a considéré que l'état de dégradation maximum admissible était atteint lorsque 10 % de la surface peinte était corrodée, il en résulte que les deux tiers des peintures examinées n'offrent plus après six mois et dans les conditions d'essais, de protection suffisante.

3. Si l'on classe les peintures selon les pigments utilisés et que l'on compare leur indice de corrosion moyen à celui du minium de plomb, on observe les meilleurs résultats pour les mélanges multi-pigmentaires à base de chromate de zinc. Sur les vingt et une peintures dont l'indice de corrosion moyen est inférieur ou égal à 10, on constate que dix d'entre elles

sont à base de chromate de zinc, sept sont pigmentées au minium de plomb, trois sont à base de sulfate basique de plomb et une d'entre elles est pigmentée au chromate de baryum.

4. Lorsqu'on choisit les liants comme critère de comparaison et que l'on rapporte leur indice de corrosion moyen à celui de l'huile de lin crue (H 1) on constate que les meilleurs résultats ont été observés pour les deux liants P 2 et P 4, soit deux résines penta-érythryptaliques modifiées l'une à l'huile de lin (P 2) et l'autre par un mélange en quantités égales d'huile de lin et d'huile de soja (P 4).

### Comparaison avec les résultats observés dans les autres stations

Pour les stations de Ruisbroek et de Butgenbach, les indices de corrosion moyens observés après vingt mois d'exposition aux intempéries sont respectivement de l'ordre de 5 à 7 % dans la première et de 1 à 2 % de la surface peinte dans sa seconde station.

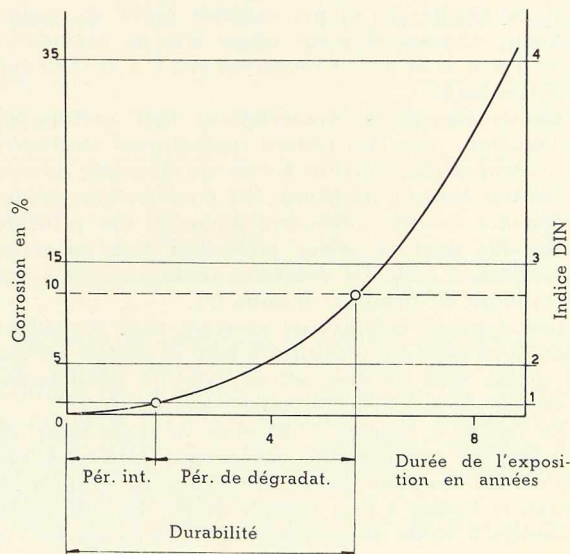


Fig. 1. Evolution de la corrosion d'une éprouvette peinte.

Pourcentages de corrosion moyens observés à la station d'Ostende.

	Minium de plomb		Min. Pb + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Sulf. b. Pb + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cyan. Pb + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Chrom. Ba + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Chrom. Zn + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Zn + ZnO	Chromate de zinc			
	32,5 %	34,0 %							ZnO + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ZnO + TiO <sub>2</sub>	ZnO + TiO <sub>2</sub> +Asb.	
H <sub>1</sub>	8,46	8,3										8,9
	10											
H <sub>2</sub>		4,6	6,7	15	15,7	5,9	37,7	34				17,1
P <sub>1</sub>		32,7	22,7	25,8	33,4	21,8	19,7	52,5	10	9,5	7	23,5
P <sub>2</sub>			2	3,3	11,3	10,4		43,2			0,9	11,8
P <sub>3</sub>			23,9	11,8	41,5	36,8		46,6			6,5	27,8
P <sub>4</sub>			6,2	2	17,3	10,2		28,1			4,3	11,3
P <sub>5</sub>			25,7	22,3	45,2	31,4		41,9			2,4	28,2
P <sub>6</sub>			11,7	5,3	29,2	24		35,2			4,1	18,2
S <sub>1</sub>		16,5	31,6	16	21,3	41,4	17,3	25,2	11,5	7	4,6	19,2
S <sub>2</sub>			46,4	34,7	43,9	40,3		52,6			15,5	38,9
	9,2	15,5	19,7	15,1	28,8	24,7	24,9	39,9	10,7	8,3	5,7	

Tableau 1 — Indice de corrosion moyen des pigments

Indice de corrosion moyen des liants

La station atmosphérique d'Ostende doit être considérée comme très agressive. Un pourcentage de corrosion de l'ordre de 10 par exemple après six mois à Ostende, correspond à un même état de dégradation après  $3 \times 6 = 18$  mois à Ruisbroek et à  $7 \times 6 = 42$  mois à Butgenbach.

L'ensemble de ces constatations font prévoir que l'utilisation, dans des résines synthétiques améliorées, de mélanges pigmentaires à base de chromate de zinc, de sulfate basique de plomb, ou pour certains usages, de poudre de zinc, permettra d'obtenir des peintures antirouille dont la valeur protectrice sera au moins équivalente à celle des peintures traditionnelles à base de minium de plomb et d'huile (1).

Les résultats satisfaisants observés dans les mêmes conditions pour les peintures à base de sulfate basique de plomb sont en bon accord avec les constatations faites par le « British Corrosion Committee ».

La figure 2 montre l'influence de l'épaisseur des couches sur la durabilité des deux peintures à base d'huile de lin crue pigmentée l'une au minium de plomb et l'autre à base d'oxyde de fer. En diluant ces peintures à l'aide de quantités connues de solvant, on

a pu déposer des films dont l'épaisseur ne représentait plus que les deux tiers, la moitié ou le quart de la valeur normale; on a constaté que, dans ces conditions, la durabilité variait selon l'allure des courbes de la figure 2.

La figure 3 donne la répartition des pourcentages de corrosion observés à Ostende en fonction de l'épaisseur totale des couches appliquées. La durée de la protection est conditionnée par l'épaisseur des couches.

#### Essais de laboratoire

Au cours de l'exercice écoulé, on a entrepris ou poursuivi diverses investigations en laboratoire, on s'est attaché à la poursuite des essais de vieillissement accéléré et à la mise au point de la nouvelle machine d'essais, installée au début de l'année 1953; une partie des travaux de laboratoire a été consacrée à ces essais de contrôle chimique des soixante-sept peintures soumises aux essais de vieillissement naturel, ainsi qu'à des essais de stockabilité.

De l'avis de la Commission n° IV, on ne peut accorder aux résultats des essais de vieillissement accéléré exécutés en laboratoire, ni la même signification ni la même valeur qu'aux conclusions d'essais systématiques de longue durée.





Les essais de vieillissement accéléré permettent de déterminer le comportement ou la résistance « probable » des peintures vis-à-vis d'un certain nombre de sollicitations déterminées et de les classer rapidement en fonction de ce comportement.

Utilisés avec prudence les essais de vieillissement accéléré peuvent donner des indications très satisfaisantes, rendre d'appréciables services et constituer un auxiliaire précieux pour l'examen des peintures.

En dehors des essais marins <sup>(1)</sup>, la Commission n° IV se propose d'entreprendre, au cours des prochains mois, les études suivantes :

#### a) Essais atmosphériques

Les essais atmosphériques qui seront organisés au cours des prochains mois porteront simultanément l'examen de peintures déjà exposées une première fois à Ostende en août 1952 et l'examen de peintures nouvelles obtenues soit par incorporation de matières premières qui n'avaient pu être utilisées précédemment soit par variation du rapport pigment-liant.

#### b) Essais de laboratoire

L'organisation des études marines et les nouveaux essais atmosphériques de complément impliqueront de nombreuses investigations de laboratoire; il faudra notamment procéder à l'analyse chimique des peintures et des matières premières mises en œuvre, soumettre un grand nombre d'échantillons à des essais de vieillissement accéléré et à des essais de détermination de leurs propriétés physiques et mécaniques.

Le tableau II permet de comparer la classification des diverses méthodes de préparation ainsi que les rapports  $\frac{P_d}{P_i}$  déterminés pour l'une et l'autre méthode d'examen.

Un grand nombre de peintures de fond ont été examinées au laboratoire et les résultats obtenus ont été comparés aux observations faites dans les diverses stations expérimentales.

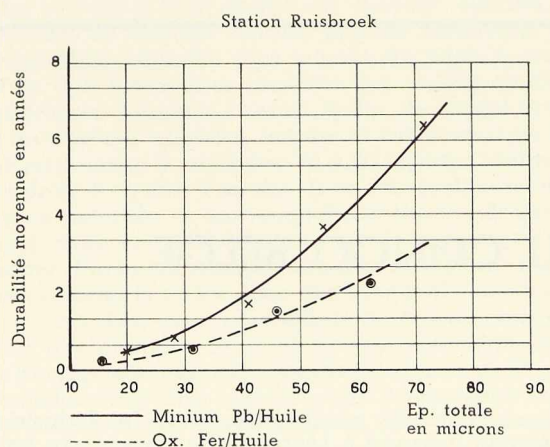


Fig. 2. Influence de l'épaisseur des couches.

Tableau II

Essais	Préparation surface	Vieillissement naturel			Vieillissement accéléré		
		Durabilité (mois)	Classi- fication	$\frac{P_d}{P_i}$	Rés. stance (cycle)	Classi- fication	$\frac{P_d}{P_i}$
A	Tôle rouillée : brossage . . .	22	2	1,38	7	1	1,37
B	Tôle rouillée et calaminée : brossage . . .	18	1	0,40	9	2	0,42
C	Décapage à la flamme . . .	30	3	0,90	12	3	0,71
D	Oxydat. natu- relle suivie de brossage . . .	37,5	4	0,80	16	4	0,77
E	Décapage acide	48	5	0,92	18	5	0,8
F	Sablage . . .	48	6	0,78	18	6	0,8

Le tableau III donne les classifications observées au laboratoire et dans les stations expérimentales.

Tableau III

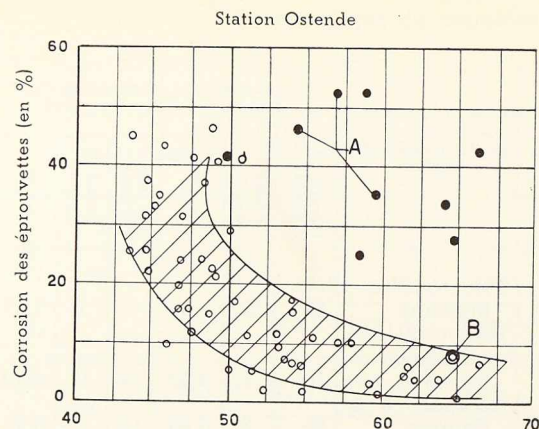
Comporte- ment observé	Vieillissement naturel			Vieillissement accéléré	
	Classification			Comporte- ment probable	Classi- fication
Marly	Bruxelles	Butgenb.			
Médiocre	126	126	126	Médiocre	124
	124	124	124		126
	123	123	123		123
Moyen	125	125	125	Moyen	125
Bon	121	121	121	Bon	121
	120	120	128		128
	128	128	120		120

Les essais de vieillissement naturel, entrepris en station d'essais permettent de comparer entre elles des peintures très différentes et d'en établir avec certitude, la durabilité à l'action dégradante des intempéries et de l'atmosphère. Ces essais nécessitent toutefois une organisation très poussée et présentent l'inconvénient d'être de très longue durée.

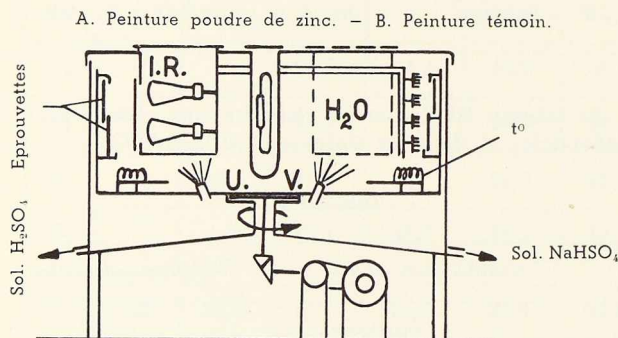
Aussi est-il normal que l'on fasse, de plus en plus,

<sup>(1)</sup> L'Administration de la Marine a mis à la disposition de la Commission n° IV un peül bassin d'une quinzaine de mètres de longueur situé dans le chenal du port d'Ostende.





**Fig. 3.** Epaisseur totale des peintures en microns (une couche de fond + une couche de finition).



**Fig. 4.** Appareil utilisé par l'A. B. E. M. pour les essais de vieillissement accéléré.

I. R. Infra-rouges. — U. V. Ultra-violets.

appel à des méthodes d'examen en laboratoire, en particulier à des essais dits accélérés.

La Commission n° IV utilisait pour ses essais de vieillissement accéléré un appareillage dérivant de la

roue de Gardner et basé sur le principe d'un cycle d'épreuves.

Malgré diverses modifications apportées au cours des études, cette dernière méthode n'avait pas donné les résultats escomptés.

De nouveaux essais systématiques ont été entrepris afin d'étudier séparément l'influence de chacune des sollicitations constituant le cycle sur l'évolution générale du vieillissement. Ces essais ont montré notamment que les facteurs principaux à mettre en œuvre pour obtenir une détérioration rapide de la peinture sont :

- Exposition prolongée aux ultraviolets;
- Forte humidité (supérieure à 70 %);
- Emploi de solutions agressives ou de brouillards agressifs;
- Variations des sollicitations opératoires.

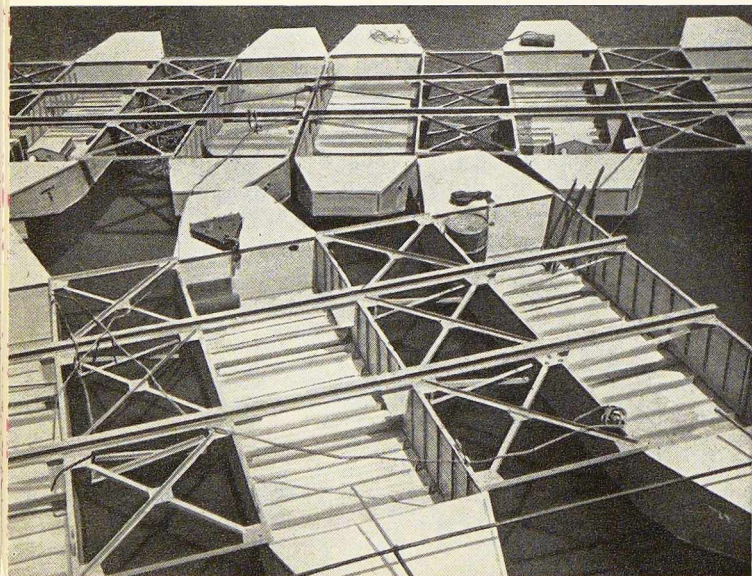
On a pu mettre au point une méthode de vieillissement accéléré convenant à l'examen des peintures anti-rouille, méthode au cours de laquelle les éprouvettes peintes sont soumises à la répétition quotidienne d'un cycle d'épreuves comportant :

- Des rayonnements ultraviolets (U. V.) et infra-rouges (I. R.) prolongés;
- Une forte humidité;
- L'emploi de solutions diluées d'acide sulfurique rendues plus agressives par la présence de  $SO_2$ ;
- De brusques variations de conditions opératoires.

La mise en œuvre de ce cycle est réalisée au moyen d'un appareil comportant une cuve thermostatique et un cylindre porte-épreuves tournant lentement autour d'un axe central. Le fonctionnement entièrement automatique de cet appareil permet d'assurer une excellente reproductibilité des conditions d'essais.

La figure 4 schématise le nouvel appareil de vieillissement utilisé actuellement pour la mise en œuvre du cycle d'altération accélérée.

Il est intéressant de déterminer pour chaque peinture le rapport  $\frac{P_d}{P_i}$  de la période de dégradation à la période intacte.



## AU CONGO BELGE

Pontons construits au Chantier Naval et Industriel du Congo (Chanic) à Léopoldville, servant au passage des rivières congolaises.

Photo A. Da Cruz.

R. J. Mouton,  
Ingénieur A. I. Br.

## Les Electrodes modernes à hautes performances

### I. Introduction

L'évolution des procédés de soudage après la guerre s'est faite dans le sens d'une augmentation sensible de la productivité de la main-d'œuvre. Les salaires de plus en plus élevés, le poids toujours croissant des charges sociales, la nécessité de pouvoir développer rapidement la capacité de production des ateliers sans devoir passer par la formation de nouveaux soudeurs, tous ces facteurs économiques ne permettaient plus au constructeur de se contenter uniquement des méthodes de travail classiques avec électrodes standards.

C'est ainsi que nous avons vu se développer aux U. S. A. le procédé de soudage avec arc submergé, applicable principalement aux aciers doux et aux rechargements durs, et le procédé de soudage sous argon avec électrode consommable, qui s'impose de plus en plus nettement pour l'assemblage des métaux non ferreux et aciers spéciaux. L'augmentation de productivité considérable permise par l'un et l'autre de ces procédés résulte essentiellement de deux facteurs : a) la mise en œuvre d'une énergie électrique beaucoup plus élevée par suite de l'amenée du courant à faible distance de l'arc; b) l'alimentation continue en métal d'apport avec les possibilités d'automatisation correspondante.

Cependant, il est apparu rapidement que ces nouveaux procédés de soudage à l'arc étaient d'une application infiniment moins souple que l'électrode manuelle.

Tout d'abord, le soudage sous flux ne peut s'employer qu'en position horizontale, d'où la nécessité de munir les ateliers de positionneurs et de renoncer le plus souvent à leur emploi sur chantier. Ensuite, les procédés de soudage continu précités nécessitent une préparation beaucoup plus soignée des joints à souder et se sont avérés plus sensibles aux conditions atmosphériques (humidité et vent). Enfin, ils exigent l'achat d'installations spéciales, lourdes et coûteuses, que l'on ne peut songer à multiplier ou à transporter facilement au droit des joints à souder. Il en est résulté une limitation naturelle de leur emploi aux travaux de grande série dans les ateliers d'entreprises importantes. De même, l'industrie européenne, très diversifiée, n'a pu leur réserver la même place que l'industrie américaine.

Il s'est donc posé le problème de trouver une solution intermédiaire du point de vue économique entre le soudage avec électrodes standards et le soudage automatique. C'est ainsi que sont nées les électrodes super-enrobées à hautes performances.

Ces baguettes, caractérisées par un enrobage sensiblement plus épais que celui des électrodes standards,

permettent également, quoique dans une mesure moindre que les procédés de soudage automatique dont nous avons parlé, de mettre en œuvre des énergies électriques plus élevées et d'augmenter la productivité des soudeurs, tout en simplifiant l'exécution de leur travail. Elles sont également d'application moins universelle que les électrodes standards correspondantes tout en pouvant cependant être utilisées par la plupart des constructeurs sans nécessiter les investissements et méthodes de travail particulières requis par le soudage automatique. Il s'agit donc, répétons-le, d'une véritable solution intermédiaire entre l'électrode standard et l'appareil à soudage continu, solution qui présente pour l'industrie européenne un intérêt tout particulier. Nous allons donc étudier plus en détail ces électrodes à hautes performances en nous limitant aux types qui conviennent pour le soudage des aciers courants jusqu'à 52 kg/mm<sup>2</sup> de résistance.

### II. Développement, définition et application des électrodes à hautes performances

Nous avons déjà dit que ces baguettes se caractérisent toutes par un enrobage particulièrement épais. Alors que pour les électrodes standards, de 4 mm par exemple, on ne dépasse généralement pas un rapport

$$K_e = \frac{D = \text{diamètre d'enrobage}}{d = \text{diamètre du fil}} = 1,6$$

les électrodes à hautes performances présentent habituellement des rapports d'enrobage variant de 1,7 à 2,15. En ce sens, leur apparition s'inscrit logiquement dans l'histoire de l'électrode dont les performances et

	Electrodes standards (4 mm)	Electrodes à hautes performances (4 mm)
Faiblement enrobées	$K_e = 1,30$ $P_e = 0,17 \text{ g/cm}$ ex. : type oxydant	$K_e = 1,70$ $P_e = 0,60 \text{ g/cm}$ ex. : type basique à 115 % rendement
Moyennement enrobées	$K_e = 1,40$ $P_e = 0,29 \text{ g/cm}$ ex. : type rutile volatile	$K_e = 1,95$ $P_e = 0,70 \text{ g/cm}$ ex. : type rutile volatile à forte pénétration.
Fortement enrobées	$K_e = 1,60$ $P_e = 0,53 \text{ g/cm}$ ex. : type neutre	$K_e = 2,15$ $P_e = 1,28 \text{ g/cm}$ ex. : type neutre à 160 % de rendement



L'épaisseur d'enrobage n'ont fait que croître simultanément depuis le début du siècle. Pour fixer les idées, voici quelques chiffres relatifs au poids  $P_e$  d'enrobage par centimètre de fil pour différents types de baguettes (voir tableau page précédente).

Les électrodes à hautes performances ont fait leur apparition sur le marché européen depuis la fin des hostilités et leurs applications n'ont fait que se développer depuis lors, particulièrement en construction navale. Actuellement, le brillant avenir réservé à ce type de baguettes ne fait plus aucun doute pour les spécialistes, ainsi qu'en témoigne par exemple J. H. Paterson, ex-Président de l'« Institute of Welding », membre fondateur et conseil de la « British Welding Research Association », dans l'article « Future problems to be faced in the development of metallic arc electrodes » publié par *The Welder*, avril-juin 1953. Il me paraît intéressant de donner ci-après la traduction libre de quelques phrases significatives de cet exposé :

« Si l'on étudie la littérature en brevets concernant les électrodes pour acier doux, on constate le fait que dans les dernières années il y eut seulement deux changements importants en ce qui concerne les compositions d'électrodes : l'un est l'extension de l'emploi de poudre de fer comme produit d'enrobage et l'autre la production de baguettes fortement enrobées contenant souvent de la poudre de fer. Le poudre de fer fut à l'origine utilisée et brevetée en ce qui concerne cet emploi par Murex Welding Processes Ltd., en 1932. Son action dans les électrodes à forts enrobages peut être dû à l'accroissement de la conductivité thermique, assurant une fusion plus régulière, et aussi, naturellement, à l'augmentation du poids de métal déposé par chaque électrode. »

« Les électrodes très fortement enrobées peuvent se prévaloir d'une grande facilité d'emploi, l'extrémité de la baguette étant maintenue en contact avec l'ouvrage, tout en étant très rapides, en déposant un métal de haute qualité et en étant utilisables en toutes positions. D'anciens types d'électrodes Murex convenaient pour le soudage en contact et furent utilisées dès 1928.

» Quelques électrodes à enrobage épais produites récemment donnent une très forte pénétration (beaucoup plus forte que le type cellulosique standard) et une zone de fusion suffisamment étroite présentant de bonnes propriétés mécaniques lorsqu'il s'agit d'acier doux. Je suis personnellement de l'opinion que ce type d'électrodes verra ses applications se développer dans l'avenir car la forte dilution du métal de soudure par le métal de base ne constitue pas un facteur important pour autant que ce métal de soudure en lui-même soit débarrassé d'inclusions de laitier ou de traces d'éléments nocifs. »

Avant d'aller plus loin, je préciserai que j'entends par « électrode à haute performance » toute baguette super-enrobée (D enrobage égal ou supérieur à 6,60 mm pour un fil de 4 mm) permettant d'effectuer un travail de soudage déterminé dans un temps plus court qu'avec l'électrode standard comportant un enrobage de même nature métallurgique.

Par ailleurs, selon la définition adoptée par l'Institut

International de Soudure, j'entendrai par électrode à forte pénétration une baguette susceptible de permettre le soudage en deux passes opposées de tôles non chanfreinées placées bord à bord sans écartement et telles que leur épaisseur en millimètres soit au moins égale à  $(2d + 2)$  mm,  $d$  étant le diamètre de l'âme de l'électrode. Enfin, je nommerai « rendement » d'une électrode le rapport entre le poids de métal déposé et le poids correspondant de fil fondu. Rappelons que pour les électrodes standards ce rendement varie habituellement entre 75 et 95 % selon le diamètre, le type d'enrobage et les conditions de soudage.

Les électrodes à hautes performances n'en sont encore qu'aux premiers stades de leur développement mais cependant, à l'heure actuelle, certains types bien définis se sont imposés depuis plusieurs années et sont généralement agréés par la plupart des organismes de contrôle tels que le Lloyd's Register of Shipping, le Bureau Veritas, l'American Bureau of Shipping, etc. Je me bornerai à parler des types en question que je décrirai comme suit :

Type 1 : *électrodes à forte pénétration* (ex. « Comète Rouge » Soudométal) à enrobage « rutile semi-volatil » présentant en 4 mm un diamètre voisin de 8 mm et donnant une tension d'arc de 45/50 volts (1).

Type 2 : *électrodes à rendement moyen* (100-105 %) présentant en 4 mm un diamètre d'enrobage voisin de 7 mm et qui comprennent :

a) Une qualité à enrobage « rutile semi-volatil » que nous désignerons par 2a (ex. « Comète Verte » Soudométal);

b) Une qualité à enrobage « basique » que nous désignerons par 2b (ex. « Comète Jaune » Soudométal).

Type 3 : *électrodes à rendement élevé* (135-160 %) présentant en 4 mm un diamètre d'enrobage voisin de 8,50 mm et qui comprennent :

a) Une qualité à enrobage « rutile non volatil » que nous désignerons par 3a (ex. « Comète Bleue » Soudométal);

b) Une qualité à enrobage « oxyde de fer et/ou de manganèse » que nous désignerons par 3b (ex. « Comète Blanche » Soudométal).

Les principaux champs d'application de ces électrodes sont les suivants (acier doux, courant alternatif ou continu).

TYPE 1 (à forte pénétration):

Position de soudage : à plat;

Diamètres les plus utilisés : 4 et 5 mm;

Applications :

— Reprises à l'envers sans goujage préalable, avec talon jusqu'à 5 mm de hauteur;

— Soudage en deux passes opposées de tôles non chanfreinées, placées bord à bord, de 8 à 16 mm d'épaisseur;

(1) Le lecteur particulièrement intéressé aux applications de ce type d'électrode peut se référer aux publications suivantes :

— R.-J. MOUTON, « Soudage en forte pénétration », *L'Ossature Métallique*, 2-1950.

— R.-J. MOUTON, « Soudage dans l'angle en position verticale descendante », *Revue de V. B. S.*, 1-1951.

- Soudage en chanfrein (soudures en Y ou en X avec talon jusqu'à 12 mm de hauteur);
- Pointage de pièces lourdes;
- Soudage d'angle avec pénétration positive jusqu'à 6 mm.

*Remarques.* — Les limites d'épaisseur indiquées sont celles qui permettent de réaliser industriellement des soudures tout à fait irréprochables sans disposer de postes spécialement appropriés.

**TYPE 2a** (rendement moyen à enrobage rutile semi-volatil):

Position de soudage : verticale, plafond, corniche;  
Diamètres les plus utilisés : 3,25 à 5 mm;

Applications :

- Soudage de cordons d'angle en descendant sur tôles d'épaisseurs moyennes (4-8 mm);
- Soudage en positions difficiles sur tôles de fortes épaisseurs.

**TYPE 2b** (rendement moyen à enrobage basique):

Convient pour toutes les applications des électrodes basiques standards.

**TYPES 3a ET 3b** (rendement élevé à enrobage rutile ou oxyde de fer):

Position de soudage : horizontale et à plat;

Diamètres les plus utilisés : 5 et 6 mm;

Applications :

- Remplissage de chanfreins, à partir de la 2<sup>e</sup> ou de la 3<sup>e</sup> passe (principalement type 3a);
- Soudage dans l'angle pour cordons de 3,5 à 7 mm de hauteur en une passe (principalement type 3b).

On voit, sauf en ce qui concerne le type 2b, qui tend de plus en plus à se substituer à l'électrode basique standard dans tous ses emplois, que les électrodes à haute performance sont des baguettes étroitement spécialisées qui ne surclassent nettement les électrodes classiques que dans certaines applications bien déterminées. Celles-ci sont cependant très loin d'être négligeables.

### III. Caractéristiques d'emploi et avantages correspondants des électrodes à hautes performances

La forte épaisseur d'enrobage des électrodes que nous étudions entraîne la formation au bout de la baguette d'un cratère large et profond assurant une protection et un guidage exceptionnellement favorables de l'arc de soudure. Il en résulte les conséquences ci-après :

1. Les pertes par projection et l'arc apparent sont très sensiblement réduits en comparaison avec les électrodes standards correspondantes.

2. La longueur d'arc peut-être réduite au minimum, l'électrode touchant éventuellement la pièce, sans aucun risque de collage.

Il en résulte que, contrairement à ce que l'on observe avec des baguettes standards lorsque l'on cherche à réduire le temps de soudage en utilisant de plus grands diamètres, le recours aux électrodes à hautes performances s'accompagne d'une réduction de la fatigue du

soudeur et d'une amélioration de la régularité des cordons de soudure.

En ce qui concerne les facteurs électriques, la présence de poudre de fer en quantité notable dans les enrobages a pour effets :

1<sup>o</sup> De régulariser l'arc et de faciliter son réamorçage;

2<sup>o</sup> De permettre, pour le même débit en gr/min de métal déposé, l'utilisation de courants plus faibles que ceux requis par les électrodes standards;

3<sup>o</sup> D'améliorer le facteur de puissance.

Pour les électrodes des catégories 2 et 3, le constructeur obtiendra donc de meilleurs résultats que ceux qu'il obtenait avec des baguettes classiques quand la tension d'amorçage des postes est basse, tandis que, par ailleurs, il pourra réduire le temps de travail en utilisant les mêmes intensités.

Les électrodes à forte pénétration méritent une mention particulière car l'arc doit présenter une stabilité suffisante sous une tension de 45/50 V, environ double de celle correspondant aux électrodes standards. Les transformateurs convenables présenteront une tension à vide minimum de 70 V et un rapport courant de court-circuit/courant de soudage sous 45/50 V inférieur à 130 %, ceci à la position de réglage convenable. En général les postes de 350 A et plus permettent de souder dans de bonnes conditions des Comètes Rouges de 4 mm avec des intensités de 220/230 A.

Un facteur essentiel en ce qui concerne l'emploi des électrodes à forte pénétration est le réglage précis du courant de soudage. En cours de travail, les variations du courant moyen ne doivent pas dépasser plus ou moins 3 % de la valeur optimum soigneusement déterminée à l'origine. Dans ce but, il est indispensable que le soudeur dispose d'un ampèremètre et d'un dispositif de réglage continu du courant.

Il en est de même, quoique dans une moindre mesure, pour les électrodes à rendement élevé (type 3). Nous retrouvons ici l'une des exigences particulières au soudage automatique sous flux ou sous argon.

### IV. Intérêts économiques des électrodes à hautes performances

Dans le calcul du prix de revient d'un travail de soudage à l'arc, on doit faire intervenir logiquement les trois facteurs principaux ci-après :

a) Le prix du métal d'apport et de l'énergie électrique nécessaires;

b) Le coût de la main-d'œuvre et des frais généraux imputés correspondants;

c) Les frais particuliers requis par la méthode de soudage adoptée, c'est-à-dire organisation et contrôle du travail, préparation des joints à souder, opérations intermédiaires telles que préchauffage, pointage et burinage à la racine et, enfin, corrections ultérieures éventuelles (recuit, redressage des pièces déformées, etc.).

Nous allons voir comment l'emploi des électrodes à hautes performances est susceptible d'influencer ces

trois facteurs, ceci en comparaison avec le soudage à l'aide d'électrodes standards.

1. Les prix des électrodes à hautes performances sont toujours, et parfois sensiblement, plus élevés que ceux des baguettes standards. On comprend facilement que l'enrobage constitue une part importante du prix de revient d'une électrode et que, par conséquent, une baguette coûte d'autant plus cher qu'elle est fortement enrobée.

Cependant, et ceci est le seul facteur qui intéresse le constructeur, les prix des électrodes à hautes performances sont généralement fixés à un niveau tel que la dépense globale en métal d'apport nécessaire à l'exécution d'un travail déterminé ne se trouve nullement augmentée si l'on y fait appel au lieu d'utiliser des baguettes standards.

En d'autres termes, le coût du métal d'apport par mètre de joint à souder n'est pas modifié dans une mesure appréciable.

Pendant de nombreuses années, l'indication du diamètre de l'âme a suffi pour donner avec une précision suffisante le poids de métal d'apport correspondant. La situation est évidemment complètement modifiée si l'enrobage comprend une forte proportion de métal d'apport ou si les propriétés particulières de la baguette (forte pénétration) permettent de réduire considérablement le poids de métal d'apport nécessaire par mètre de joint.

L'équivoque serait moins difficile à dissiper si les électrodes étaient, comme aux U. S. A., vendues au poids. En effet, d'une manière générale, électrodes à rendement moyen ou élevé comme électrodes standards, permettent de déposer environ 60 % de leurs poids.

On peut faire des constatations analogues en ce qui concerne les dépenses, d'ailleurs relativement peu importantes, en énergie électrique. Une électrode à haute performance demande pour fondre une puissance électrique supérieure à celle correspondant à une électrode standard. Par contre, les kWh à consommer par mètre de joint soudé sont cette fois-ci inférieurs.

En conclusion, le poste a) reste pratiquement inchangé.

2. Généralement, les électrodes à rendement moyen et élevé peuvent se fondre, moyennant le choix d'un courant approprié, dans le même temps que les électrodes classiques de même type. Dans ces conditions, le gain de temps de fusion en % par kg de métal déposé, est donné par l'expression

$$G = 100 \left( 1 - \frac{r}{R} \right)$$

où  $r$  = rendement de l'électrode standard;

$R$  = rendement de l'électrode à haute performance.

Si l'on applique la formule, on trouve un gain moyen sur le temps de fusion par kg de métal déposé de

15 % pour les électrodes du type 2 et de

35 % pour les électrodes du type 3.

Voici deux exemples précis :

	Electrode standard rutile semi-volatile 4 × 350 mm.	Electrode haute performance à rendement moyen de même type et dimensions
Poids de métal déposé (32 cm) . . .	27,4	33
Temps de fusion minimum et intensité maximum correspondante .	68"/180 A	69"/190 A
Vitesse de dépôt maximum en g/min. . . . .	24,2	28,7
Gain sur temps de dépôt en % . . . . .	—	15 %

	Electrode standard enrobage neutre 5 × 450 mm.	Electrode haute performance à rendement moyen de même type et mêmes dimensions
Poids de métal déposé (42 cm) . . .	56,5	90,7
Temps de fusion minimum et intensité maximum correspondante .	75"/290 A	79"/320 A
Vitesse de dépôt maximum en g/min. . . . .	45,2	69
Gain en % sur temps de dépôt .	—	35 %

Certains esprits conservateurs ont fait parfois remarquer que le recours à une électrode à enrobage d'apport est équivalent au choix d'une électrode standard de diamètre supérieur avec le gain sur vitesse de dépôt qui en résulte automatiquement. Cette opinion découle d'une vue superficielle des choses ainsi que je vais le démontrer ci-après.

Rappelons que le choix d'un diamètre d'électrode est généralement dicté par l'intensité de courant utilisable (poste de soudage disponible, échauffement des pièces à souder) et par certaines considérations quant au soudage des joints (éviter les défauts de pénétration ou les manques de fusion et obtenir des cordons d'aspect régulier sans morsure) et aux conditions d'exécution correspondantes (limiter les pertes par projection qui brûlent les vêtements des soudeurs et la trop grande fatigue provoquée par des arcs apparents trop importants). Or, les électrodes à enrobage d'apport :



— Fondent avec des intensités égales, ou tout au plus supérieures de 20 %, à celles que réclament les électrodes standards de même diamètre de fil;

— Donnent généralement une meilleure pénétration, des cordons plus réguliers et une fusion plus douce que les électrodes standards de diamètre supérieur permettant des vitesses de dépôt comparables.

Il résulte de ce qui précède :

a) Que les électrodes à rendement moyen pourront toujours être substituées avec avantage aux électrodes standards de même diamètre alors que l'emploi de baguettes plus grosses ne peut être pris en considération;

b) Qu'il en est de même pour les électrodes à rendement élevé sous réserve que l'épaisseur d'enrobage (soudage des premières passes dans l'angle) ou le volume du bain fondu (positions verticales ou au plafond) ne constituent pas des obstacles à leur emploi.

En pratique, les électrodes à rendement élevé sont principalement employées en position horizontale et en diamètres de 5 et 6 mm. Dans ces conditions, elles permettent d'obtenir des résultats incontestablement supérieurs aux électrodes standards de 6, 7 et 8 mm, d'ailleurs peu utilisées par suite de leurs propriétés de fusion médiocres et des fortes intensités à mettre en œuvre.

Si nous considérons maintenant les électrodes à forte pénétration en soudage bout à bout sans chanfrein de tôles de 8 à 16 mm d'épaisseur, les gains sur temps de fusion varient de 45 à 60 %: Il ne faut pas plus de 9 minutes en temps de fusion pour souder en deux passes opposées 1 m de joint de 12 mm d'épaisseur;

c) L'emploi d'électrodes à hautes performances permet de réduire, approximativement dans la mesure des gains sur vitesses de dépôt, le nombre de passes nécessaires au soudage d'un joint déterminé. Ceci a pour effet de simplifier l'organisation du travail, de diminuer les temps morts et d'amoindrir les déformations ou tensions. La plus grande quantité de métal fondu par unité de longueur de joint et de temps permet parfois de se contenter d'un préchauffage à plus basse température ou même de le supprimer.

Le recours aux électrodes à forte pénétration conduit à une préparation moins onéreuse des joints et à la suppression des opérations de goujage à la racine qui sont particulièrement coûteuses et aléatoires. Le pointage avant soudage de pièces lourdes peut se faire dans les meilleures conditions grâce à un minimum de petits cordons courts profondément pénétrés. Rappelons enfin que la seule contrepartie à tant d'avantages est un contrôle plus rigoureux du courant de soudage.

Nous en arrivons ainsi à la conclusion générale que l'utilisation d'électrodes à hautes performances permet des économies sensibles résultant principalement de gains sur le temps d'exécution.

Je voudrais insister sur le fait qu'il ne s'agit pas là de considérations théoriques mais bien de faits industriels vérifiés en pratique dans plusieurs pays différents.

Si l'on se réfère par exemple à l'excellent article publié par le Dr. Ing. Antonio Cerda, des chantiers navals Monfalcone dans la revue *La Saldatura Automatica*, mai-juin 1953, on constate, pour le soudage bout à bout de tôles de 6 à 26 mm d'épaisseur, que les temps requis en fonction du processus d'exécution s'établissent comme suit :

— Electrodes standards : 100 %;

— Electrodes à hautes performances : 25 à 60 %;

— Soudage automatique sous arc submergé : 11 à 17 %.

Ceci me paraît confirmer clairement ma proposition initiale, à savoir que l'emploi d'électrodes à hautes performances constitue économiquement un moyen terme entre le soudage à l'aide d'électrodes standards et le soudage automatique.

## V. Qualité des joints soudés avec des électrodes à hautes performances

1. L'utilisation d'électrodes à hautes performances, à l'exception du type basique 2b, rencontre encore des réticences de la part de certains constructeurs particulièrement soucieux de la qualité des soudures. Ceci est notamment le cas dans l'industrie des réservoirs et conduites sous pression, dont le caractère traditionnel est bien connu.

La situation est assez paradoxale car il ne fait aucun doute, comme nous allons le démontrer, que les électrodes à hautes performances permettent en réalité le soudage de joints d'une qualité égale ou supérieure à celle que l'on peut obtenir avec des électrodes standards de même nature métallurgique.

L'état de choses que nous venons de signaler peut être attribué aux facteurs ci-après :

— L'idée d'économie est fréquemment associée à celle d'une baisse de qualité;

— A quelques rares exceptions près, les fabricants d'électrodes à hautes performances ont surtout insisté sur l'intérêt économique de ces produits tandis que leurs concurrents mettaient l'accent sur la sécurité offerte par les baguettes classiques;

— La construction soudée en est encore à un stade où l'on peut difficilement prétendre que tous les facteurs intéressant la sécurité d'un ouvrage sont parfaitement contrôlés. En cas de difficultés imprévues, on aura naturellement tendance à incriminer en premier lieu tout autre facteur nouveau tel, par exemple, que l'emploi d'électrodes à hautes performances.

Il faut cependant souligner qu'en construction navale, où les problèmes de soudage sont particulièrement importants et difficiles à résoudre, les électrodes à hautes performances ont toutes été largement adoptées par certains constructeurs, après approbation des principaux organismes de contrôle tels que le Lloyd's Register of Shipping, le Bureau Veritas, l'American Bureau of Shipping et, sous certaines réserves, le Registro Italiano Navale.



2. Il est malheureusement bien difficile de parler de « qualité » des joints soudés car l'expérience pratique journalière démontre que les conceptions actuelles correspondantes, d'ailleurs en pleine évolution, sont encore très discutables. Le temps où l'on craignait de voir les soudures accuser une résistance inférieure aux aciers de base est définitivement révolu. Lorsqu'il s'agit d'aciers doux, on sait que les électrodes correspondantes déposent toujours un métal présentant une limite élastique et une résistance à la traction sensiblement plus élevées. La tendance moderne est de rechercher au contraire les baguettes et méthodes de soudage permettant d'obtenir des soudures dont la limite élastique est aussi proche que possible de celle du métal de base. En effet, des soudures « raides » entraînent des états de tension défavorables dans les zones de liaison. Par ailleurs, on attache une importance de plus en plus grande aux essais de fatigue dont les résultats sont influencés principalement par des discontinuités externes ou de forme (par ex. morsures) et internes (par ex. microfissures).

Le problème principal reste cependant d'améliorer la ductilité des soudures, c'est-à-dire leur aptitude à se déformer plastiquement sans rupture fragile prématurée. De là, l'importance qu'attache la majorité des utilisateurs aux valeurs de l'allongement et de la résilience du métal déposé. Cependant, comme nous l'avons déjà démontré bien antérieurement (1), les essais pratiqués habituellement ne reproduisent nullement les conditions réelles d'élaboration et de sollicitation des soudures. Ces essais conventionnels conduisent ainsi à des conclusions parfois démenties par l'expérience.

Par ailleurs, tout praticien sait qu'un cordon de soudure ne cède généralement que lorsqu'il présente des fissures ou des microfissures. Les premières se produisent à haute température, aux environs de 1 200° C, et sont notamment influencées par les tensions de retrait. Les secondes apparaissent à basse température (en dessous de 300° C) et dépendent principalement de la vitesse de refroidissement.

Est-il besoin de souligner qu'à l'heure actuelle il n'existe aucun test officiel satisfaisant permettant d'éprouver les soudures quant à leur sensibilité aux fissures et aux microfissures ?

Cette brève entrée en matière permet de voir combien il est difficile de traiter sérieusement de la « qualité » du métal déposé par une électrode. Nous nous efforçons cependant de dégager clairement ce qui distingue à cet égard les électrodes à hautes performances des baguettes classiques, en nous bornant aux tests couramment pratiqués.

3. Soulignons tout d'abord que les électrodes à hautes performances sont fabriquées exactement avec les mêmes matières que les électrodes standards. La poudre de fer ne se distingue du fil que par une analyse généralement plus favorable et plus régulière ainsi qu'en témoigne le tableau ci-après :

	Fil acier doux pour électrodes		Poudre de fer pour électrodes	
	minimum	maximum	minimum	maximum
C	0,07	0,10	0,07	0,09
Mn	0,40	0,50	—	—
Si	—	0,03	—	—
S	—	0,03	—	0,01
P	—	0,03	—	0,02
Na	—	0,012	—	0,008

En outre, compte tenu de la présence de métal d'apport dans l'enrobage, les formules adoptées constituent de simples transpositions des compositions choisies pour les baguettes normales.

Il en résulte que les teneurs en C, Mn, Si, pourront être ajustées de la même manière et que les impuretés nuisibles telles que S et P se trouveront en quantités comparables dans le métal déposé. De même, la nature des inclusions, un des facteurs déterminants de qualité, ne sera pas modifiée.

Cependant, si l'on considère la composition chimique du joint soudé, il convient de faire intervenir le facteur pénétration qui conditionne la dilution du métal de base.

L'épaisseur d'enrobage des électrodes à rendement moyen et élevé est sans doute un élément favorable à l'obtention d'une bonne pénétration. Mais c'est loin d'être le seul facteur d'influence et la pénétration de ces électrodes ne sera pas nécessairement plus élevée que celle des baguettes classiques correspondantes. En outre, la meilleure concentration d'arc a pour effet de réduire la dilution pour une profondeur de pénétration déterminée. En pratique, nous n'avons jamais constaté que les électrodes à enrobage d'apport soient entachées d'une plus grande sensibilité à la qualité du métal de base que les électrodes classiques.

Le cas est évidemment tout différent pour les électrodes à forte pénétration. Dans ce cas, l'acier de base fondu peut constituer 70 % et plus de la matière du joint. Une conséquence favorable de cet état de choses est une adaptation automatique de la qualité du joint à celle de l'acier de base. On pourrait cependant craindre une influence désastreuse dans le cas d'aciers particulièrement riches en éléments tels que le carbone ou le soufre. Mais n'en est-il pas de même en ce qui concerne les propriétés de la zone de liaison lorsque ces aciers sont soudés en une passe avec des électrodes normales ? Toujours est-il que les conditions spéciales d'analyse que nous prescrivons pour l'acier de base en vue de l'utilisation de nos électrodes à forte pénétration, à savoir :

$$\begin{aligned} C & \left\{ \begin{array}{l} \leq 0,23 \% \text{ (aciers effervescents)} \\ \leq 0,18 \% \text{ (aciers calmés)} \end{array} \right. \\ S & \leq 0,06 \% \\ \frac{Mn}{C} & \geq 3 \end{aligned}$$

(1) R.-J. MOUTON, « Etude expérimentale de la soudabilité des aciers », *Revue de la Soudure Oerlikon*, 1947.





sont à peu près les mêmes que celles correspondant à des électrodes standards de même type (enrobage rutile semi-volatil).

Notons que les « Comètes Rouges » sont employées sans incident depuis plus de quatre ans dans un chantier naval belge qui met en œuvre des aciers conformes aux prescriptions citées.

4. On sait que l'enrobage a pour but essentiel de protéger le métal d'apport lors de son transfert dans l'arc et que la teneur en gaz des soudures exerce une influence très nette sur leur qualité. Il suffit de rappeler que les électrodes basiques, universellement considérées comme de qualité supérieure, déposent aussi le métal le plus pauvre en oxygène, azote et hydrogène, à l'inverse des électrodes oxydantes réservées aux travaux d'importance secondaire. On admet généralement qu'une basse teneur en oxygène (c'est-à-dire un métal pauvre en inclusions) conduit à des résiliences élevées et une basse teneur en azote à une faible sensibilité au vieillissement.

Un des avantages importants des électrodes super-enrobées à hautes performances est d'assurer une meilleure protection du métal déposé.

Voici quelques données expérimentales à ce sujet :

Teneurs en gaz du métal déposé	Enrobage rutile semi-volatil 4 x 350 mm.		Enrobage neutre 4 x 450 mm.	
	Electrode standard	Electrode haute performance à rendement moyen	Electrode standard	Electrode haute performance à rendement élevé
Oxygène %	0,074	0,055	0,114	0,088
Azote %	0,022	0,016	0,027	0,015

On peut donc s'attendre à ce que les électrodes à hautes performances présentent des résiliences plus élevées, particulièrement après vieillissement.

5. On oublie très souvent qu'une électrode n'est que du métal déposé « en puissance » et que les caractéristiques mécaniques dépendent pour une grande part des conditions de soudage, notamment en ce qui concerne la longueur d'arc, le courant, l'épaisseur des couches successives et les cycles thermiques correspondants. Rappelons à ce sujet que l'élévation de température de la pièce soudée dépend en ordre principal de la quantité d'acier fondu par unité de temps (« heat input »).

Si nous comparons électrodes à hautes performances et baguettes standards sous ce rapport, nous constatons :

— Que les premières présentent l'avantage de faciliter, sans danger de collage, le maintien régulier d'un arc court. Il en résulte qu'elles permettront l'élaboration d'un métal de qualité plus constante, particulièrement si les soudeurs sont peu qualifiés;

— Que les secondes conduisent dans la pratique à travailler plus froid en couches plus minces, ce qui a pour effet d'augmenter la résistance à la traction et la limite élastique tout en accroissant les risques de microfissurations.

Dans le cas particulier des électrodes à forte pénétration, la structure de coulée des joints, cependant moins grossière que celle obtenue en soudage automatique, correspond à un métal présentant une résistance et une résilience au moins égales à celles du métal de base.

6. Après ces considérations générales, passons maintenant à l'examen des résultats d'essais.

La résistance à la traction et la limite élastique du métal déposé sont inférieures à celles des baguettes standards, particulièrement pour les électrodes à haut rendement. Il en est de même pour les joints soudés en forte pénétration sur acier extra-doux, les éprouvettes étant prélevées dans la longueur et comprenant de ce fait les zones de liaison. Rappelons que ces résultats sont favorables quant aux états de sollicitation de l'acier de base, généralement plus sujet que les soudures aux phénomènes de ruptures fragiles.

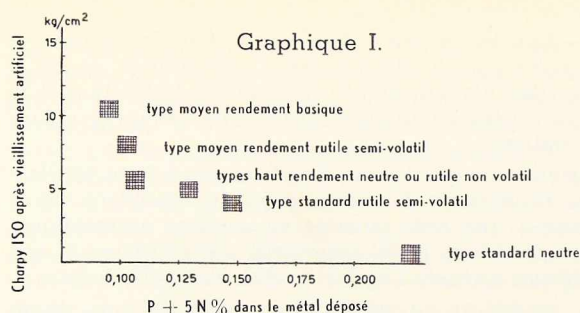
#### Essais classiques de traction simple

	Electrodes standards	Electrodes à haut rendement	Electrodes à forte pénétration
Enrobage neutre	L. E. = 39,5 kg/mm <sup>2</sup> C. R. = 49 kg/mm <sup>2</sup>	L. E. = 37 kg/mm <sup>2</sup> C. R. = 45 kg/mm <sup>2</sup>	— —
Enrobage rutile semi-volatil	L. E. = 46,5 kg/mm <sup>2</sup> C. R. = 55 kg/mm <sup>2</sup>	— —	L. E. = 30-38 kg/mm <sup>2</sup> C. R. = 42-52 kg/mm <sup>2</sup>
Enrobage rutile non volatil	L. E. = 45 kg/mm <sup>2</sup> C. R. = 53 kg/mm <sup>2</sup>	L. E. = 39,5 kg/mm <sup>2</sup> C. R. = 48,5 kg/mm <sup>2</sup>	— —

Les résultats s'entendent sur éprouvettes de mêmes dimensions soudées en 4 mm à raison d'une passe toutes les 4,5 minutes.

Les essais de fatigue en traction pulsatoire donnent pour les électrodes à enrobage d'apport sensiblement les mêmes chiffres que pour les électrodes standards correspondantes. Il en est de même pour les joints soudés en forte pénétration pour lesquels nous avons obtenu, sur éprouvettes non usinées présentant une légère morsure accidentelle, une limite de 16 kg/mm<sup>2</sup> pour 2 millions de pulsations. Par contre, sur éprouvette usinée, on a relevé des résultats remarquablement élevés (plus de 25 kg/mm<sup>2</sup>) démontrant l'absence de microfissures et une meilleure homogénéité des propriétés mécaniques du joint.

7. En ce qui concerne les caractéristiques de ductilité conventionnelles, allongement et résilience, les résultats sont au moins aussi bons que ceux des électrodes standards. Pour les baguettes à enrobage semi-volatil, les éprouvettes ont été soumises à un traitement de sta-



bilisation à basse température, sur la base des prescriptions étudiées par l'Institut International de Soudure, en vue d'éliminer l'influence momentanée et perturbatrice de l'hydrogène occlus.

#### Essais classiques de traction et résilience

	Electrodes standards	Electrodes à haut rendement	Electrodes à forte pénétration
Enrobage neutre	A 5 = 30 % KISO = 9 kgm/cm <sup>2</sup>	A 5 = 33 % KISO = 10 kgm/cm <sup>2</sup>	— —
Enrobage rutile semi-volatil	A 5 = 24,5 % KISO = 9,5 kgm/cm <sup>2</sup>	— —	A 5 = 20 à 30 % KISO = 7 à 10 kgm/cm <sup>2</sup>
Enrobage rutile non volatil	A 5 = 28,5 % KISO = 8,5 kgm/cm <sup>2</sup>	A 5 = 29,5 % KISO = 10 kgm/cm <sup>2</sup>	— —

Les résiliences Charpy après vieillissement artificiel (déformation par compression de 10 % suivie d'un traitement de 1/2 h à 250° C) mettent par contre très clairement en évidence les avantages des électrodes à enrobage d'apport dont les types acides se classent près des électrodes basiques normales (cf. graphique I).

Remarquons, pour terminer, que, sauf dans le cas exceptionnel d'aciers spécialement élaborés, la ductilité réelle des cordons de soudure est largement supérieure à celle du métal de base. Ceci s'applique même aux joints soudés en forte pénétration. Si l'on considère la sécurité de l'ensemble d'une construction en acier courant, il sera donc logique d'accorder la préférence aux métaux d'apport à basse limite élastique, même si leur ductilité n'atteint que des valeurs moyennes.

8. Faute d'essais standards, donnant des résultats chiffrés, il nous est impossible de donner des précisions quant aux tendances comparées des deux classes d'électrodes considérées aux phénomènes de microfissuration et de fissuration. Cependant, l'expérience pratique et nos considérations antérieures à ce sujet conduisent à penser que les électrodes à haute performance doivent être généralement supérieures. En particulier, les électrodes à forte pénétration sont les seules qui permettent d'éliminer radicalement par « re-fusion » les fissures de cratère toujours susceptibles de se produire accidentellement avec tous les types d'électrodes.

En outre, le refroidissement plus lent des soudures évite la formation des microfissures que l'on pourrait

observer dans certaines conditions de soudage (fortes épaisseurs, basses températures) avec des électrodes standards, mêmes basiques. Les électrodes à forte pénétration ne donnent jamais lieu à manques de liaison ou collages, défauts encore assez fréquents avec électrodes normales et beaucoup plus graves qu'un manque de pénétration accidentel situé à mi-hauteur de la section du joint. Ces manques de pénétration peuvent d'ailleurs être évités avec certitude en contrôlant rigoureusement l'intensité de courant ou en utilisant la baguette en deçà de ses possibilités maxima.

Enfin les électrodes à hautes performances donnent des soudures denses, exemptes de toute porosité, à condition que le soudage ait été fait avec un arc court. Lorsqu'il s'agit de chanfreins très fermés, les gros diamètres d'enrobage ne permettent pas de respecter cette condition, pour la première passe en particulier. Dans ce cas, il est préférable de passer à un diamètre inférieur ou d'utiliser une électrode standard.

9. En conclusion, cet examen détaillé des qualités comparées des électrodes normales et à hautes performances fait apparaître de nombreux avantages pour ces dernières sans qu'aucun point faible ne vienne amoindrir cette supériorité. La méfiance qu'inspire encore parfois ces nouveaux produits n'est donc pas justifiée et ne peut que s'effacer dans l'avenir.

#### V. Conclusion générale

Nous avons successivement passé en revue les définitions, applications, caractéristiques d'emploi, intérêt économique et qualités mécaniques des électrodes à hautes performances. Quoique nous ayons personnellement contribué dans une large mesure au développement de ces nouveaux types de baguettes, nous nous sommes efforcés d'exposer objectivement l'intérêt qu'ils présentent pour le constructeur soucieux d'abaisser ses prix de revient tout en améliorant la qualité de ses ouvrages. Je souligne encore une fois que les électrodes à hautes performances ne sont pas encore, exception faite des types à rendement moyen, d'application aussi universelle que la plupart des baguettes standards. Il n'empêche qu'elles sont déjà susceptibles de rendre d'importants services dans des cas bien déterminés.

L'industrie européenne, qui n'est pas toujours à même d'adopter les méthodes de production américaines, mais ne peut renoncer pour autant à augmenter sa productivité, se doit de faire appel aux électrodes à hautes performances dans toute la mesure de leurs possibilités.

Les chantiers navals, particulièrement en Belgique et en Hollande, ont déjà fait à cet égard œuvre de pionniers et l'expérience satisfaisante correspondante est, dès à présent, de nature à dissiper des craintes injustifiées.

Nous sommes donc persuadés que l'avenir récompensera par un succès croissant les efforts tentés par les fabricants d'électrodes en vue de mettre à la disposition de l'industrie des produits meilleurs et d'application plus économique.

R.-J. M.



# Bibliothèque

## Nouvelles entrées (1)

### Technique de la défense contre le bruit

par W. ZELLER

Un volume relié de 442 pages, format 16 × 24 cm, illustré de 258 figures. Edité par Eyrolles, Paris, 1954. Prix : 3 500 francs français.

Le rôle de la technique de la défense contre le bruit est de créer et de mettre en œuvre des mesures techniques auxiliaires qui préviennent autant que possible la production du bruit et lorsque celui-ci paraît inévitable, maintiennent sa propagation dans les limites qui excluent ses effets fâcheux sur l'organisme humain.

Le domaine de la défense contre le bruit englobe toute la technique.

Ce sont les différents aspects de cette technique que l'auteur étudie dans son excellent livre.

Celui-ci est divisé en trois parties. Les principes de la défense contre le bruit — La défense contre le bruit en construction mécanique — La défense contre le bruit dans la construction des bâtiments.

### The Steel Skeleton (L'ossature en acier), Vol. I

par J. F. BAKER

Un volume relié de 206 pages, format 18 × 26 cm, illustré de nombreuses figures. Edité par Cambridge University Press, Cambridge, 1954. Prix : £2.2.0.

Ce volume est le premier d'une série de deux ouvrages dont le but est de relater l'histoire des recherches, faites en Grande-Bretagne depuis un quart de siècle en vue d'étudier et de mettre à profit toutes les qualités du matériau de construction d'acier.

Le Professeur Baker décrit et commente dans cet ouvrage les essais sur le comportement des constructions à ossature métallique élastique en présence de diverses sollicitations.

Le volume II sera consacré au comportement plastique des constructions en acier. L'auteur y exposera également la méthode plastique conduisant à des constructions rationnelles et économiques.

### Sur la Métallographie électronique

par L. HABRAKEN

Un ouvrage de 164 pages, format 21 × 29 cm, illustré de 46 planches. Edité par le Centre National de Recherches Métallurgiques (C. N. R. M.), Liège, 1953.

Le but du travail de l'ingénieur Habraken est de présenter les études de métallographie électronique entreprises dans le cadre des travaux du C. N. R. M. (section de Liège).

Son exposé est subdivisé en trois parties :

— La première se rapporte à la discussion et à l'étude d'un mode de préparation des répliques;

— La seconde partie traite de l'application du dispositif expérimental de l'auteur à des études de structures de l'acier obtenues par voies isotherme et anésotherme;

— La troisième partie se rapporte à l'application du dispositif d'investigation à l'examen du comportement à chaud d'une nuance d'acier utilisée pour la fabrication notamment des tubes de chaudières.

### Metals and how to weld them (Comment souder les métaux)

par T. B. JEFFERSON & G. WOODS

Un volume relié de 322 pages, format 14,5 × 22,5 cm, illustré de nombreuses figures. Edité par la J. F. Lincoln Arc Welding Foundation, Cleveland (U. S. A.), 1954. Prix : \$2.50.

Cet ouvrage, rédigé par deux spécialistes américains donne des renseignements pratiques sur la façon de souder diverses nuances d'acier ainsi que des métaux non ferreux.

Il contient également des chapitres sur les propriétés mécaniques et physiques des métaux, la métallurgie des soudures, etc.

### Display (Etalages)

par George NELSON

Un volume relié de 190 pages, format 23 × 31 cm, illustré de nombreuses figures. Edité par Whitney Publications Inc., New York. Prix \$12.50.

Le très beau recueil de George Nelson fait partie de la collection d'ouvrages sur le « design » publiée par la revue américaine *Interiors*.

L'auteur y présente et commente l'œuvre de quelque 125 architectes et artistes dans le domaine d'étalages, vitrines de magasins, stands d'expositions, etc.

La richesse et la qualité des illustrations rehaussent encore l'intérêt documentaire de l'ouvrage.

### Stress Concentration Design Factors (Facteurs pour la détermination d'éléments soumis à des concentrations de tensions)

par R. E. PETERSON

Un volume relié de 155 pages, format 24 × 28 cm, illustré de 135 figures. Edité par John Wiley & Sons, Inc., New York, 1953. Prix : \$8.50.

Le but de cet ouvrage est de contribuer à l'amélioration des formes de certains éléments de machines et d'en augmenter par voie de conséquence la résistance. Les ruptures sont rarement dues à des matériaux défectueux : l'expérience montre que le remède réside généralement dans la modification de formes. Cet ouvrage constitue un outil de travail dont l'utilité est incontestable.

(1) Tous les ouvrages analysés sous cette rubrique peuvent soit être consultés en la salle de lecture du C. B. L. I. A., 154, avenue Louise à Bruxelles, soit être envoyés en communication sur demande.



**Statistical Year Book for 1953, Part I, United Kingdom** (Annuaire statistique 1953, Statistiques relatives au Royaume-Uni)

Un volume relié de 143 pages, format 20,5 × 25,5 cm. Edité par la British Iron & Steel Federation, Londres, 1954. Prix : 7 s. 6 d.

Cet ouvrage contient des statistiques complètes de l'industrie sidérurgique en Grande-Bretagne.

Les statistiques sont présentées sous forme de tableaux bien répertoriés et d'une consultation facile grâce à un index détaillé.

**Statistical Year Book 1954, Part II, overseas Countries** (Annuaire statistique 1954, 2<sup>e</sup> partie d'outre-mer)

Un volume relié de 426 pages, format 20,5 × 25,5 cm. Edité par la British Iron & Steel Federation, Londres, 1954. Prix : 15 shillings.

Cet ouvrage donne les statistiques relatives aux produits sidérurgiques et aux charbons pour les différents pays du monde (sauf le Royaume-Uni).

On y trouve des renseignements sur la production du charbon, des minerais, de la fonte, de l'acier-lingot ainsi que des importations et exportations des produits sidérurgiques.

**Résistance des Matériaux**

par René NAVET

Un volume relié de 332 pages, format 23,5 × 32,5 cm, illustré de nombreuses figures. Edité par l'auteur.

Le livre de l'ingénieur Navet est un recueil de cent problèmes de résistance des matériaux à l'usage des élèves d'écoles techniques.

Dans la table des matières de cet intéressant ouvrage, écrit par un praticien, on relève notamment les problèmes suivants : Flexion simple et composée — Flexion dans le domaine plastique — Cisaillement par effort tranchant — Déformations — Torsion et flexion — Treillis articulés — Lignes d'influence — Rivure — Soudure, etc.

**Zur genaueren Berechnung der Fahrbahn-Längsträger stählerner Eisenbahnbrücken** (Contribution au calcul plus précis des longrines de ponts-rails)

par C. POPP

Un ouvrage de 62 pages, format 20 × 28 cm, illustré de 26 figures et 8 planches. Edité par le Springer Verlag, Berlin, 1954. Prix : 12 DM

Cette brochure fait partie d'une collection de documents techniques édités par l'Association des Constructeurs métalliques allemands (D. St. V.).

Ce mémoire comporte deux parties :

1. Calcul des sollicitations dans les longrines dues aux charges principales verticales;
2. Calcul des sollicitations dans les longrines dues aux charges secondaires.

L'auteur envisage successivement la poutre continue à moment d'inertie constant sur appuis élastiques équidistants jusqu'au cas général à moment d'inertie variable et à portées différentes.

Il tient également compte de l'influence d'écart de température.

Deux exemples numériques se trouvent en fin du livre, qui rendra de grands services à tous les calculateurs de ponts métalliques.

**Stainless Iron and Steel, vol. II** (Fer et acier inoxydables, 3<sup>e</sup> édition)

par J. H. MONYPENNY

Un volume relié de 330 pages, format 14 × 23 cm, illustré de 173 figures. Edité par Chapman & Hall Ltd, Londres, 1954. Prix : £2.15.0.

Cet important ouvrage constitue un traité de métallurgie des aciers inoxydables et aciers résistant à chaud.

Les différents chapitres traitent des sujets suivants : Structure et constitution des alliages fer-chrome (avec ou sans carbone);

Fragilité des aciers inoxydables à haute température; Effet du nickel sur les propriétés des aciers au chrome; Corrosion intergranulaire des aciers inoxydables austénitiques;

Effet du manganèse sur les aciers à haute teneur en chrome, etc.

**Das blaue Profilbuch** (Album bleu des Profilés)

Un volume relié de 344 pages, format 12 × 18 cm, illustré de nombreux croquis. Edité par la S. A. Eisen- und Stahlhandel, Francfort sur le Main, 1953.

L'ancienne édition de cet album des profilés date de 1941. Tous les utilisateurs accueilleront avec intérêt cette réédition entièrement remise à jour, tenant compte des prescriptions et normes actuellement en vigueur.

Les divisions du catalogue traitent des matières premières, demi-produits et produits laminés (rails, poutrelles et barres, bandes et tôles, etc.), pièces de forge, tubes, etc.

Un dernier chapitre est consacré aux normes les plus importantes concernant la construction métallique.

**Produits métallurgiques P. & M. Cassart**

Un ouvrage relié de 174 pages, format 10 × 15 cm. Edité par la S. A. P. & M. Cassart, Bruxelles, 1954.

Le nouveau catalogue de la firme Cassart contient des tableaux qui donnent en même temps que le poids des poutrelles de chaque profil la charge uniformément répartie qu'elles peuvent supporter pour différentes portées.

**Gillette's World Construction Catalog, 1954** (Catalogue Gillette de la construction mondiale)

Un volume relié de 200 pages, format 21 × 28 cm, illustré de nombreuses figures. Edité par Gillette Catalog Service, Chicago (U. S. A.), 1954.

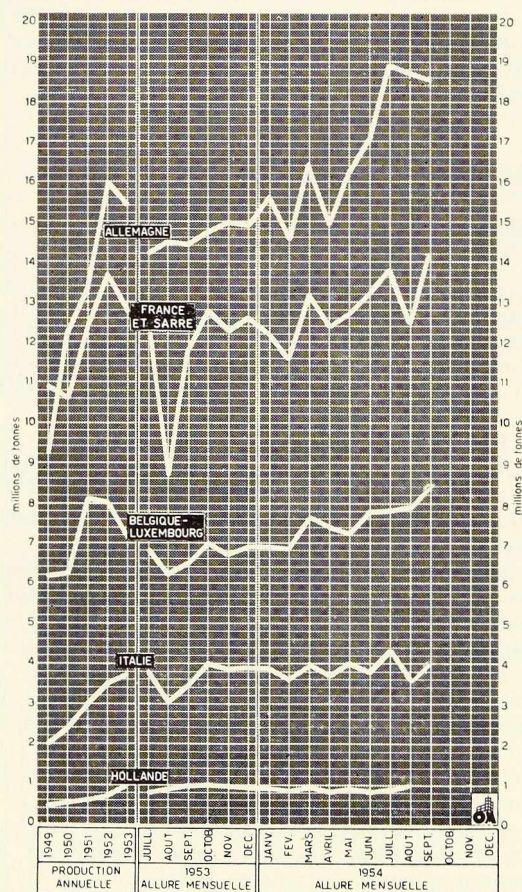
Ce catalogue (qui paraît pour la deuxième fois) est un recueil de monographies de firmes américaines spécialisées dans le matériel de travaux publics (routes, ponts, tunnels, bâtiments, constructions hydrauliques, etc.).



# CHRONIQUE

## Marché de l'acier pendant le mois de septembre 1954

	Acier lingots en tonnes		
	Belgique	Luxembourg	Total
Sept. 1954 . . .	431.639	258.376	690.015
Août 1954 . . .	414.299	246.416	660.715
Janv.-Sept. 1954 .	3.980.284	2.052.744	6.033.028
Janv.-Sept. 1953	3.340.732	2.034.578	5.375.310



C. E. C. A.

Les négociations amorcées par M. J. Monnet avec la Grande-Bretagne semblent progresser vers l'établissement d'un statut de collaboration; d'autre part le Japon a installé une délégation permanente auprès de la Haute Autorité afin de maintenir « des relations étroites et efficaces ».

Les crédits de la C. E. C. A. aux industries pour modernisations des équipements ou extensions, seront accordés sur l'avis de Commissions régionales de Crédit composées de techniciens, de représentants des services de la C. E. C. A. et des services gouvernementaux, ainsi que du représentant de l'organisme bancaire désigné par la Haute Autorité.

Ces Commissions ont pour rôle de donner leur avis sur l'intérêt technique et économique ainsi que sur la rentabilité des demandes de crédit adressées à la Haute Autorité. Elles ont aussi à rassembler les renseignements nécessaires sur la solvabilité des entreprises requérantes.

### Construction de maisons ouvrières

Le programme expérimental des maisons ouvrières, dû à l'initiative de la Haute Autorité va, avec son aide financière (1 000 dollars par maison), entrer dans sa phase de réalisation. Un premier chantier de 50 maisons a été inauguré en Belgique, à Leernes, dans la région de Charleroi, en présence de M. Wehrer, membre de la Haute Autorité. D'autres chantiers seront ouverts prochainement en France et en Allemagne. L'ensemble du programme porte sur 1 000 maisons.

### Marché commun

Le marché commun de la C. E. C. A. fonctionne régulièrement avec des prix, si non nivelés, du moins proches les uns des autres.

En Belgique, les transactions sont particulièrement actives en fil machine, en tôles fines, en ronds à béton et en profilés de petites dimensions. La demande en tôles galvanisées reste importante, elle est moindre en tôles fortes.

Fig. 1. Moyennes de production d'acier lingot des six pays de la Communauté Européenne Charbon-Acier (C. E. C. A.).

Le marché des ferrailles reste ferme; la dernière adjudication trimestrielle de la S. N. C. B. a même enregistré des prix en hausse de 50 à 100 francs la tonne. Tous les pays limitrophes, y compris le Grand-Duché de Luxembourg, viennent acheter sur le marché belge, les importations en provenance des pays tiers étant encore partout insuffisantes.

Le Gouvernement français poursuivant la libération progressive des échanges vient de libérer un certain nombre de produits métallurgiques en provenance des pays de l'O. E. C. E.: feuillards, tubes et tuyaux, et fils en fer ou en acier.

D'autre part, la sidérurgie française poursuit son programme d'extension et un four Martin de 70 t vient d'être inauguré aux aciéries de Thionville (Lorraine-Escout). Ce four qui doit donner 60 000 t par an, portera la production annuelle de l'usine à 150 000 t d'acier Martin.

Les sidérurgistes allemands étudient en ce moment avec les utilisateurs la possibilité d'accorder des rabais sur l'acier utilisé dans la fabrication des produits destinés à l'exportation. Actuellement de tels rabais ne sont en vigueur que pour les tôles de navires.

Ce rabais ne s'appliquerait qu'en exportation vers les pays tiers et le bénéfice en serait accordé à tous les utilisateurs d'acier des six pays de la C. E. C. A.

Beaucoup de détails sont encore à régler car tous les intéressés admettent qu'un contrôle réel et efficace exige la création d'un fonds financé par une redevance sur les chiffres d'affaires.

Si ce projet est approuvé par la Haute Autorité de Luxembourg, il pourrait entrer en vigueur vers la fin de cette année et, dans ce cas, l'acier allemand serait placé sous le régime d'un triple prix :

- a) Prix pour le marché commun;
- b) Prix pour les exportations vers les pays tiers (déterminé par le bureau de Bruxelles);
- c) Prix pour l'acier utilisé dans le pays même pour la fabrication de produits manufacturés d'exportation.

En Italie également la sidérurgie reste très active en raison de l'entrée en vigueur de la nouvelle loi comportant des mesures en faveur des industries navales.

La mise en chantier de 47 navires marchands, d'un ensemble de 135 000 t, est prévue; en y ajoutant les récentes commandes reçues de l'étranger, le programme immédiat de constructions navales atteint 200 000 t.

#### Marché extérieur

Les prix pratiqués à l'exportation vers les pays tiers restent fermes et ont même donné lieu à

l'application de suppléments de 2, 3 et 4 dollars sur certains produits : barres à béton, tôles fines et fil machine.

La demande vient en ordre principal des pays de l'U. E. P.: cependant, l'Australie a placé des ordres en Belgique et l'Allemagne a enregistré une commande de 12 000 t de palplanches à fournir au Canada.

#### Les fabrications métalliques en Belgique

La tréfilerie et la clouterie travaillent à plein rendement sous l'effet d'une demande mondiale très active et la situation va en s'améliorant dans les secteurs « forge et estampage » ainsi que « boulonnerie ». Les accessoires du bâtiment et la chaudronnerie connaissent aussi en ce moment un marché actif: la construction du matériel roulant par contre n'a enregistré que peu d'ordres nouveaux et les carnets de commandes s'épuisent graduellement. En armes et munitions, l'emploi et l'activité générale diminuent progressivement.

Toutes ensemble, les industries de fabrication métallique ont exporté au cours du mois d'août dernier pour 1 565 000 000 francs belges de marchandises.

#### La sidérurgie dans le monde

##### Grande-Bretagne

Le marché d'exportation, spécialement vers les pays du Commonwealth aussi bien que le marché intérieur sont très actifs. Malgré les récentes extensions des usines britanniques, les aciéristes font difficilement face à la demande de billettes et targetts provenant des relamineurs qui travaillent à pleine capacité.

Pour les poutrelles de 6" à 10", la demande est telle que certains utilisateurs ayant des contrats à respecter achètent sur le continent malgré les droits de douane de 33 1/3 %; aussi les prix intérieurs tendent-ils à remonter.

D'après la *Iron and Coal Trades Review*, beaucoup de consommateurs estiment que ces droits élevés devraient être suspendus jusqu'au moment où les aciéries pourront satisfaire à la demande.

D'autre part, la production de fer-blanc a retrouvé les niveaux record atteints durant le premier semestre. On estime que la production totale de l'année ne sera pas inférieure à 900 000 t, soit en augmentation de 17 % par rapport à la production de 769 000 t enregistrée en 1953.

Toutes les quantités disponibles sont entièrement absorbées. Les stocks des producteurs et consommateurs sont encore inférieurs à ce qu'ils devraient être.



## Etats-Unis

Pour les huit premiers mois de l'année la production d'acier a été de 57 420 229 t contre 76 627 189 t pendant la période correspondante de 1953.

La sidérurgie américaine ne travaille pas encore à pleine capacité et on se plaint de ce que la construction automobile ne commande pas aussi largement qu'on s'y attendait. Les stocks des revendeurs ne sont pas encore reconstitués, ce qui permet de prévoir une reprise très prochaine.

Le prix moyen des ferrailles a atteint, au cours du mois d'octobre le niveau le plus élevé de l'année : 32 dollars la tonne.

La fusion annoncée entre la *Bethlehem Steel Co.* et la *Youngstown Sheet and Tube Co.* ne se fera probablement pas : elle a été désapprouvée par l'attorney général sur la base du Clayton Act qui vise à empêcher la concentration dans un secteur industriel.

## Canada

Un raffermissement du marché se fait sentir depuis 3 ou 4 semaines : les usines prennent des ordres pour fournitures dans 2 ou 3 mois. On travaille en général à 80 % de la capacité, contre 75 % il y a quelques semaines.

La *Steel Company of Canada* vient d'augmenter le prix des aciers, suite à la récente hausse des salaires : les aciers laminés à froid sont majorés de 3 dollars à la tonne, et les laminés à chaud de 2 dollars.

La sidérurgie canadienne prétend avoir perdu le marché de la Colombie britannique en faveur de la concurrence étrangère à cause du tarif ferroviaire trop élevé.

Le Collège des Commissaires au Transport a en conséquence approuvé une diminution de tarif pour les produits d'acier transportés vers la côte du Pacifique.

## Colombie

La première aciérie colombienne, l'Acierie nationale de Paz de Rio, en grande partie financée et équipée par des intérêts français, a été inaugurée au courant du mois d'octobre.

Elle est située à 400 km au nord-est de Bogota et dans un rayon de 30 km elle disposera de mines de houille et de gisements de minerai.

Ces gisements sont évalués à 100 millions de tonnes de minerai de fer et à 2 milliards de tonnes de charbon.

La capacité de production sera de 122 000 t lingots par an : au début cependant on estime qu'on produira annuellement 100 000 t de produits finis : rails, barres, fil machine et un petit tonnage de tôles moyennes et fortes.

Ce complexe sidérurgique comprendra, outre une cokerie de 43 fours, un haut fourneau de 500 t et une aciérie comportant trois convertisseurs Thomas de 22 t, un four électrique et deux trains de laminaires. L'un de ces trains donnera par an 26 000 t de billettes et profilés, tandis que l'autre laminera annuellement 98 000 t de fer marchand et de fil machine.

Une tréfilerie munie des derniers perfectionnements est annexée à l'aciérie.

## Japon

D'après un contrat récemment signé, le Japon fournira à l'Argentine 100 000 t de produits sidérurgiques. Jusqu'à ce jour les contrats conclus avec l'Argentine se chiffrent à un total de 310 963 t comprenant 50 000 t de rails, 13 930 t de tubes, 130 000 t de demi-produits, 3 050 t de tôles fortes, 600 t de feuillards, 3 133 t de tôles fines et 100 000 t de fonte.

## Lancement d'un pétrolier à turbines

Le 23 octobre 1954 a eu lieu le lancement du pétrolier à turbines « Esso Antwerp », qui est en construction au Chantier naval John Cockerill à Hoboken.

Le nouveau pétrolier, dont la marraine était M<sup>me</sup> Ch. Speth, a les caractéristiques suivantes :

Longueur totale . . . . .	191,41 m
Longueur entre perpendiculaires . . . . .	182,88 m
Largeur hors membres . . . . .	25,15 m
Creux au pont principal . . . . .	12,95 m
Tirant d'eau en charge . . . . .	9,74 m
Déplacement . . . . .	34 540 t
Port en lourd . . . . .	26 650 t
Tonnage brut . . . . .	17 500 BRT
Volume huile de cargaison . . . . .	36 800 m <sup>3</sup>
Cargo tanks : 10 centraux, 20 latéraux . . . . .	30

Machines : 1 hélice, 1 groupe de deux turbines, type N. P. N., puissance en surcharge 13 750 S. H. P., 115 t/min, vitesse aux essais : 17 nœuds.

Chaudières : deux groupes générateurs de vapeur B & W, avec surchauffeur, pression nominale 60 kg/cm<sup>2</sup>, température de vapeur 450° C.

Auxiliaires : deux turbo-alternateurs de 400 kW et un groupe électrogène de 75 kW.

Pompes de chargement : quatre pompes à vapeur, capacité chacune 640 t/h.



Fig. 2.

## V<sup>e</sup> Congrès de l'Association Internationale des Ponts et Charpentes (A. I. P. C.)

Le V<sup>e</sup> Congrès de l'A. I. P. C. aura lieu à Lisbonne du 18 au 23 juin 1956.

Les thèmes prévus pour les séances de travail du Congrès 1956 sont :

### Questions générales

#### I. Sollicitations des ponts et des charpentes.

- a) Comportement des matériaux et des ouvrages sous les actions statiques de longue durée.
- b) Comportement des matériaux et des ouvrages sous les actions dynamiques (vibrations, fatigue, choc).

#### II. Voiles minces, dalles, parois minces (Flächentragwerke).

- a) Calcul général (élast. et plast.); méthodes expérimentales.
- b) Adaptation des méthodes de calcul aux constructions métalliques.



- c) Adaptation des méthodes de calcul aux constructions en béton armé.

### Constructions métalliques

#### III. Les constructions métalliques soudées.

- a) Etude systématique des formes constructives (théorie et expérimentation).
- b) Les aciers employés en construction soudée.
- c) Différents procédés de soudage utilisés dans la réalisation des assemblages.

#### IV. Constructions en acier et en alliages légers.

- a) Constructions légères en acier.
- b) Constructions en alliages légers.
- c) Ossatures diverses (pylônes, etc.).
- d) Entretien des constructions métalliques.

### Constructions en béton armé et en béton précontraint

#### V. Questions spéciales relatives au béton armé et au béton précontraint.

- a) Fissuration (utilisation des aciers à haute résistance ou à haute adhérence, ancrages, répartition des armatures, effort tranchant).
- b) Altération des constructions sous l'influence des agents atmosphériques et des variations de la température.
- c) Sécurité (calcul à la fissuration, à la rupture, etc.).

#### VI. Pratique du béton armé et du béton précontraint.

- a) Réalisation de la construction (échafaudages, coffrages, fabrication et contrôle du béton, transport du béton, liaison d'éléments préfabriqués, observation, contrôle et entretien des ouvrages).
- b) Développements nouveaux.

Les membres de l'A. I. P. C. qui désirent donner une contribution à la « Publication Préliminaire » sont priés d'envoyer au Secrétariat général de l'A. I. P. C. Ecole Polytechnique Fédérale à Zurich, Suisse, un court résumé jusqu'au 31 décembre 1954 et le manuscrit intégral jusqu'au 15 avril 1955. Chaque manuscrit doit être établi en double exemplaire écrit à la machine, les plans et dessins doivent être exécutés à l'encre de Chine et les textes correspondants au crayon, si possible sur une feuille séparée.

**Fig. 3.** Pose des panneaux de revêtement en aluminium au nouveau building de l'Aluminium Company of America à Pittsburgh. Ce gratte-ciel de 30 étages, d'une hauteur totale de 125 m, comporte une ossature en acier.

Photo **Authenticated News.**



## Institut Supérieur d'Esthétique Industrielle

Le 6 octobre 1954 au cours d'une conférence de presse M. L. Stynen, directeur de l'Ecole Nationale Supérieure d'Architecture et des Arts Décoratifs de la Cambre à Bruxelles, a annoncé la création d'un Institut d'Esthétique Industrielle.

Entouré de ses collaborateurs MM. A. De Poerck et R. L. Delevoy, M. Stynen a exposé les grandes lignes du programme du nouvel Institut et le but qu'il poursuit.

Les deux premières années seront centrées sur la préparation théorique, la fréquentation d'ateliers, usines et chantiers, etc.; la troisième année sera réservée à des stages dans l'industrie, à la préparation et à la présentation d'un travail de fin d'études mettant en évidence la maîtrise et la personnalité du candidat au diplôme de « créateur industriel » (Industrial Designer).

Des contacts étroits seront noués entre les milieux de formation et le milieu vivant, entre l'Ecole et l'usine.

En terminant M. Stynen s'est dit convaincu que l'Institut Supérieur de l'Esthétique Industrielle deviendra rapidement un centre qui attirera et provoquera des vocations qui s'épanouiront au service de la beauté des formes industrielles et apportera selon la formule célèbre de Bergson « ce supplément d'âme que le corps de l'humanité, démesurément agrandi, par les techniques, attend ».

## Concours de la Société Centrale d'Architecture de Belgique

La Société Centrale d'Architecture de Belgique (S. C. A. B.) ouvre entre tous les architectes et élèves architectes belges, un concours annuel de relevé, qui a pour objet le relevé d'un édifice, d'un fragment d'édifice antérieur au XIX<sup>e</sup> siècle dans la province de Brabant.

Ce concours a pour but, la formation d'une collection de documents devant constituer par la

**Fig. 4.** Le Mile High Center, gratte-ciel de 23 étages actuellement en construction à Denver, dans l'Etat du Colorado (U. S. A.). La charpente métallique de ce bâtiment a été assemblée en 82 jours ouvrables grâce à l'emploi des boulons en acier à haute résistance. Constructeur : Bethlehem Steel Company.

suite un fond d'architecture nationale; il est doté de Fr 5.000,— de primes.

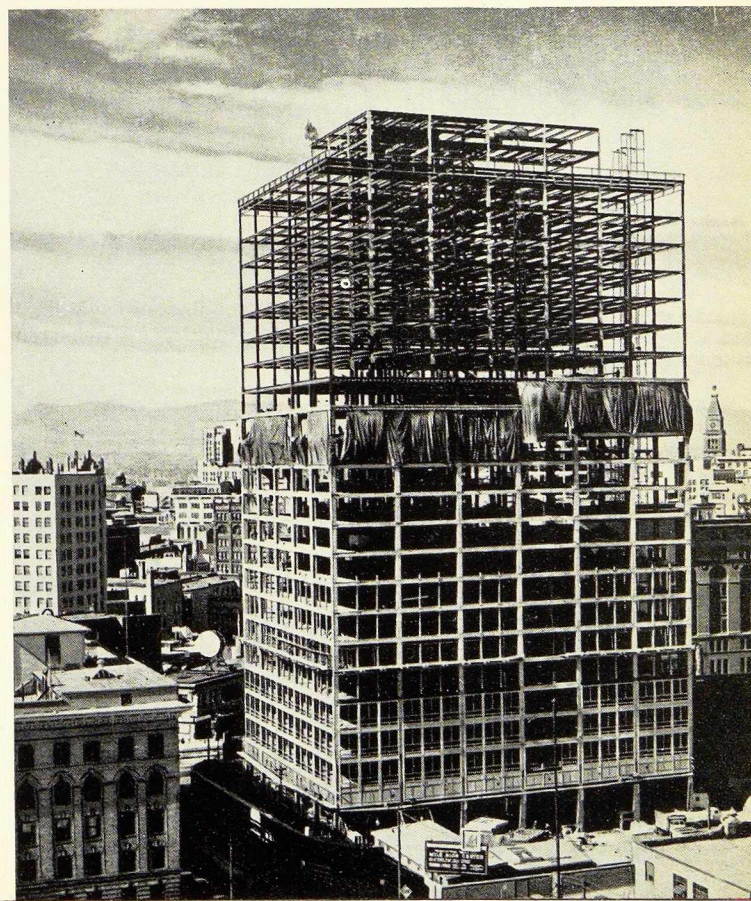
## Congrès International des Distributions d'Eau

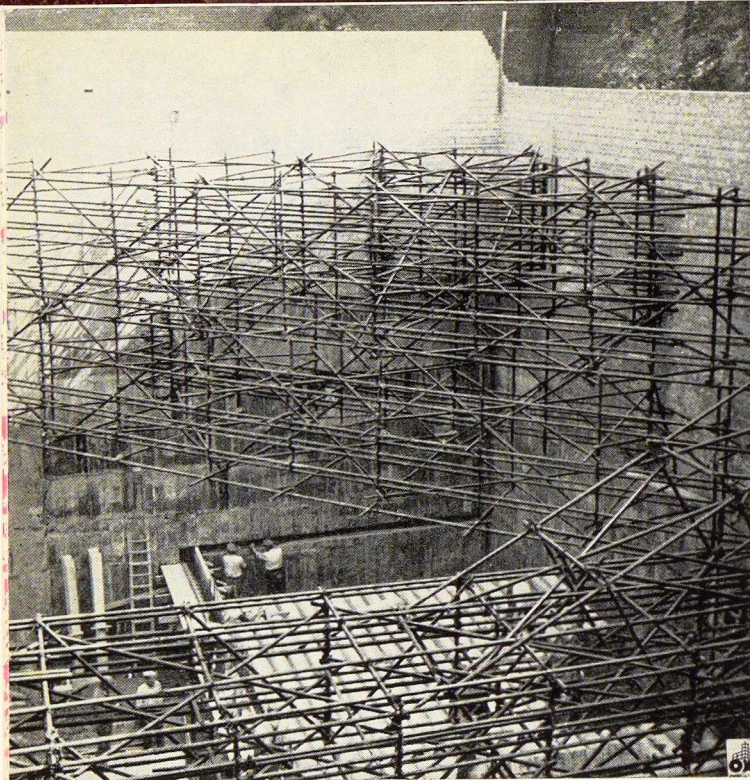
L'Assemblée Internationale des Distributions d'Eau (A. I. D. E.) tiendra son Congrès triennal à Londres en 1955.

Parmi les sujets qui seront traités à ce Congrès citons notamment les suivants :

- Equipement des stations de pompage;
- Conception et construction de réservoirs et château d'eau;
- Marge de sécurité à prévoir dans les installations d'adduction et de distribution d'eau;
- Application des procédés électroniques en distribution d'eau avec comme principal objet la détection des fuites sur les canalisations enterrées.

Pendant la durée du Congrès, une exposition réservée au matériel à utiliser dans les distributions d'eau se tiendra dans les locaux de la *Royal Horticultural Society*, Vincent Square, Londres, S.W.1., Siège du Congrès de l'A. I. D. E.





**Fig. 5.** Vue des constructions tubulaires formant blindage des fouilles allant jusqu'à 14 m sous le sol.

### Étançons en matériel tubulaire (fig. 5)

Pour la construction des garages et des tennis du « Centre Louise » à Bruxelles, on a mis en œuvre des étançons en matériel tubulaire, en vue de résister à la poussée des terres.

Ces ossatures tubulaires qui avaient une portée de 13 à 14 m (20 m dans les angles), et une section moyenne de 6 m<sup>2</sup> reprenaient des charges variant de 10 à 80 t. Ils ont été fournis par la firme A. Devis & C<sup>ie</sup>.

L'entreprise générale du « Centre Louise » a été confiée à la S. A. Entreprises Bleton-Aubert.

### Congrès de l'Institut International de la Soudure à Zurich

Le prochain Congrès de l'Institut International de la Soudure (I. I. S.) se tiendra à Zurich en septembre 1955.

Le thème de la séance publique sera consacré au sujet suivant : « Le Soudage dans la Construction de l'Équipement des Centrales Hydrauliques (conduites forcées, turbines, barrages et écluses) ».

Les mémoires destinés à ce Congrès doivent être communiqués aux organisateurs avant le 15 mars 1955.

### Note sur les résultats pratiques des recherches de la C. E. C. M.

Les recherches actuellement terminées abou-

tissent à des résultats concrets susceptibles de procurer des économies en construction métallique. Pour donner à ces résultats un caractère officiel, la C. E. C. M. va proposer de les prendre comme base des amendements à introduire dans les règlements de l'IBN.

#### 1. Tensions admissibles pour les aciers A 37 et A 42

Le règlement actuel ne fait pas de distinction pour ces nuances et fixe uniformément à 14 kg/mm<sup>2</sup> la tension admissible dans tous les cas.

L'étude statistique de ces aciers a montré que les valeurs moyennes de leur limite élastique sont décalées de 3 kg/mm<sup>2</sup> environ, tout en ayant une dispersion du même ordre de grandeur. L'acier A 42 est donc justiciable d'une tension admissible plus élevée que l'acier A 37.

Dans chacune de ces nuances la limite élastique augmente d'une manière significative avec la diminution d'épaisseur. En conservant les classes d'épaisseurs prévues par l'IBN on est donc en droit de leur appliquer une tension admissible différente. Si on maintient la tension de 14 kg/mm<sup>2</sup> pour l'acier A 37 et des épaisseurs supérieures à 16 mm, on obtient, par un raisonnement basé sur les probabilités de ruine, les nouvelles tensions admissibles suivantes :

	$e \leq 12$ mm kg/mm <sup>2</sup>	$12 < e \leq 16$ mm kg/mm <sup>2</sup>	$e > 16$ mm kg/mm <sup>2</sup>
A 37	15,3	14,8	14
A 42	17,1	16,5	15,6

ce qui représente un gain de 6 à 22 %, suivant les cas.

#### 2. Influence de la plasticité de l'acier

Les règlements actuels n'autorisent pas à tenir compte de la réserve de résistance à la flexion que procure la plasticité de l'acier.

Après une étude de la question, la C. E. C. M. propose les amendements suivants applicables aux *poutres fléchies soumises à des charges statiques ou quasi statiques*.

a) Majoration de 10 % du module de flexion pour tenir compte de l'influence favorable de l'adaptation plastique entre les fibres dans une même section;

b) Réduction de l'ordre de 10 à 15 % du moment sollicitant, uniquement dans les poutres continues pour tenir compte de l'égalisation des moments en phase plastique. Cette réduction est à cumuler avec la majoration précédente; ce qui peut donner au total environ 20 % d'économie.

### 3. Poutres à âme pleine

Le règlement actuel stipule que l'on peut déroger aux prescriptions restrictives, à condition de justifier par une méthode scientifique les dispositions proposées.

Les recherches de la C. E. C. M. ont permis de mettre sous une forme pratique une telle méthode en procurant, par rapport aux règles existantes, les avantages qui se résument comme suit :

a) Fixation des coefficients de sécurité, voisins de 1, basés sur les essais jusqu'à la mise hors service;

b) Déduction de renseignements précis sur l'utilisation rationnelle et combinée des raidisseurs verticaux et horizontaux, en vue de réduire l'épaisseur de l'âme des poutres;

c) Construction d'abaques permettant un calcul rapide.

Ces résultats doivent entraîner une refonte complète de l'article correspondant du règlement et conduiront à une conception économique de ce type de poutre, de plus en plus utilisée.

### 4. Fixation rationnelle des raidisseurs

D'après les essais statiques et de fatigue exécutés sur des poutres soudées, il n'est pas nécessaire de fixer les raidisseurs sur la semelle tendue (sauf au droit des appuis et des charges). Il n'est donc pas nécessaire d'ajuster ces raidisseurs entre les semelles, comme le prévoit le règlement actuel. Cette conclusion s'étend aux poutres rivées.

Une économie de main-d'œuvre appréciable peut ainsi être obtenue.

### 5. Calcul des ponts à tablier inférieur (Vierendeel, triangulés, Bowstring, arc à tirant)

Lorsqu'on dispose à chaque extrémité du tablier une poutre de grande raideur reliant les membrures inférieures et les longrines, on peut

**Fig. 6.** Vue du pont sur le Raritan River, dans l'État de New-Jersey (U. S. A.). La construction de cet ouvrage métallique, dont la longueur dépassera 1 300 m, a été confiée à la « Bethlehem Steel Co. ». La plus grande des travées a une portée de 80 m. Pour la construction du pont, il sera mis en œuvre 10 000 t d'acier.

répartir l'effort de traction d'ensemble entre ces éléments au prorata de leur section brute.

Si la dalle de revêtement est ancrée au tablier et réalisée sans joints avec des armatures continues, celles-ci reprennent également une partie de l'effort de traction d'ensemble.

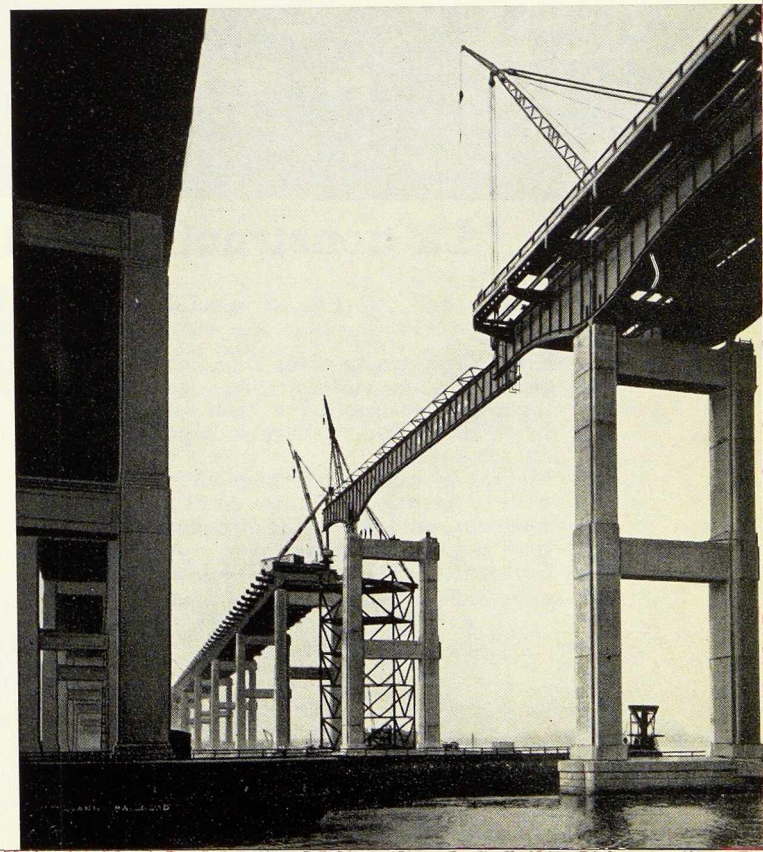
### 6. Flambement des colonnes

Les quelque 50 essais exécutés actuellement permettent de proposer une formule pour le calcul de la tension maximum qui entraîne, par rapport à la formule de l'IBN, une réduction qui varie de 10 à 50 % suivant le genre de sollicitation.

### 7. Poutres en acier précomprimé

Les essais montrent que de telles poutres, conçues et calculées suivant les méthodes actuellement mises au point, présentent le même degré de sécurité que les poutres classiques; les tensions admissibles dans les éléments sont celles autorisées habituellement; celles admises pour les fils ou barres en acier à haute limite élastique sont les mêmes que celles autorisées en béton précontraint.

Les avantages que ces poutres procurent dans certains cas justifient leur intérêt et par conséquent l'introduction de prescriptions particulières dans le règlement pour la construction des charpentes.



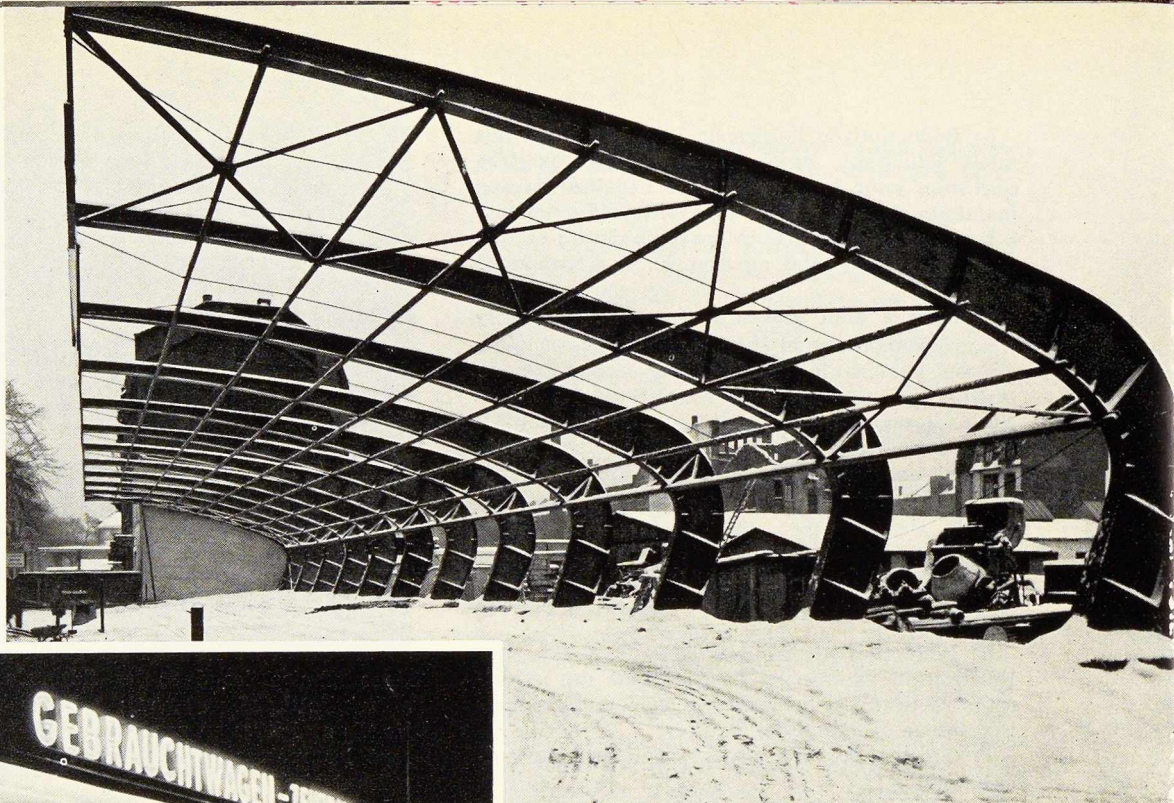


Fig. 1 et 2. Abri pour voitures d'occasion de la Société Opel à Francfort sur le Main.  
Constructeur : Wiesbadener Maschinenfabrik.

Photos W. Hartz.

## La construction métallique en Allemagne

Fig. 3. Ossature en acier d'un immeuble pour bureaux et habitations, actuellement en construction à Ludwigshafen. Le poids total de l'ossature soudée est de 126 t.

Malgré le très petit espace disponible pour le chantier au centre de la ville le squelette en acier a pu être monté en trois semaines à peine.

Constructeur : Stahlbau Peter Schäfer.

Photo Heinrich.

