

# 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> 6

JUIN 1954

## S O M M A I R E

Quelques problèmes actuels de la construction en acier, par W. Wolf . . . . .	293
La raffinerie Esso à Anvers . . . . .	299
Grands réservoirs et tours de raffinerie de pétrole, par F. Guyot . . . . .	302
Pont sur le Hollandse Diep à Moerdijk . . . . .	306
La couverture du bassin de giration du Ministère de la Marine à Paris . . . . .	307
La 6 <sup>e</sup> Foire Internationale de Liège . . . . .	310
« Industrial Design » . . . . .	312
Exposition « La Beauté de l'Acier » . . . . .	313
Essais d'adaptation et de stabilisation plastique sur les poutrelles laminées, par Ch. Massonnet . . . . .	318
Quelques considérations sur les turbines à gaz indus- trielles (Première partie), par A. L. Jaumotte et L. R. Beduwé . . . . .	329
BIBLIOTHÈQUE . . . . .	340
CHRONIQUE . . . . .	341

La couverture est une créa-  
tion Keiffer.

La polychromie en haut  
donne une vue d'un nou-  
veau hall de la Fabrique de  
Fer de Charleroi.

Constructeur : S. A. Baume  
& Marpent.

La photo inférieure repré-  
sente le montage du pont  
Sud sur le Rhin à Dussel-  
dorf.

Constructeur : Hein Leh-  
mann A.G.

Photo Exter.

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 Indus-  
tries of Belgium & Luxembourg, 30 Rockefeller Plaza, New York 20, N. Y.

**Autres pays** : 350 francs belges.

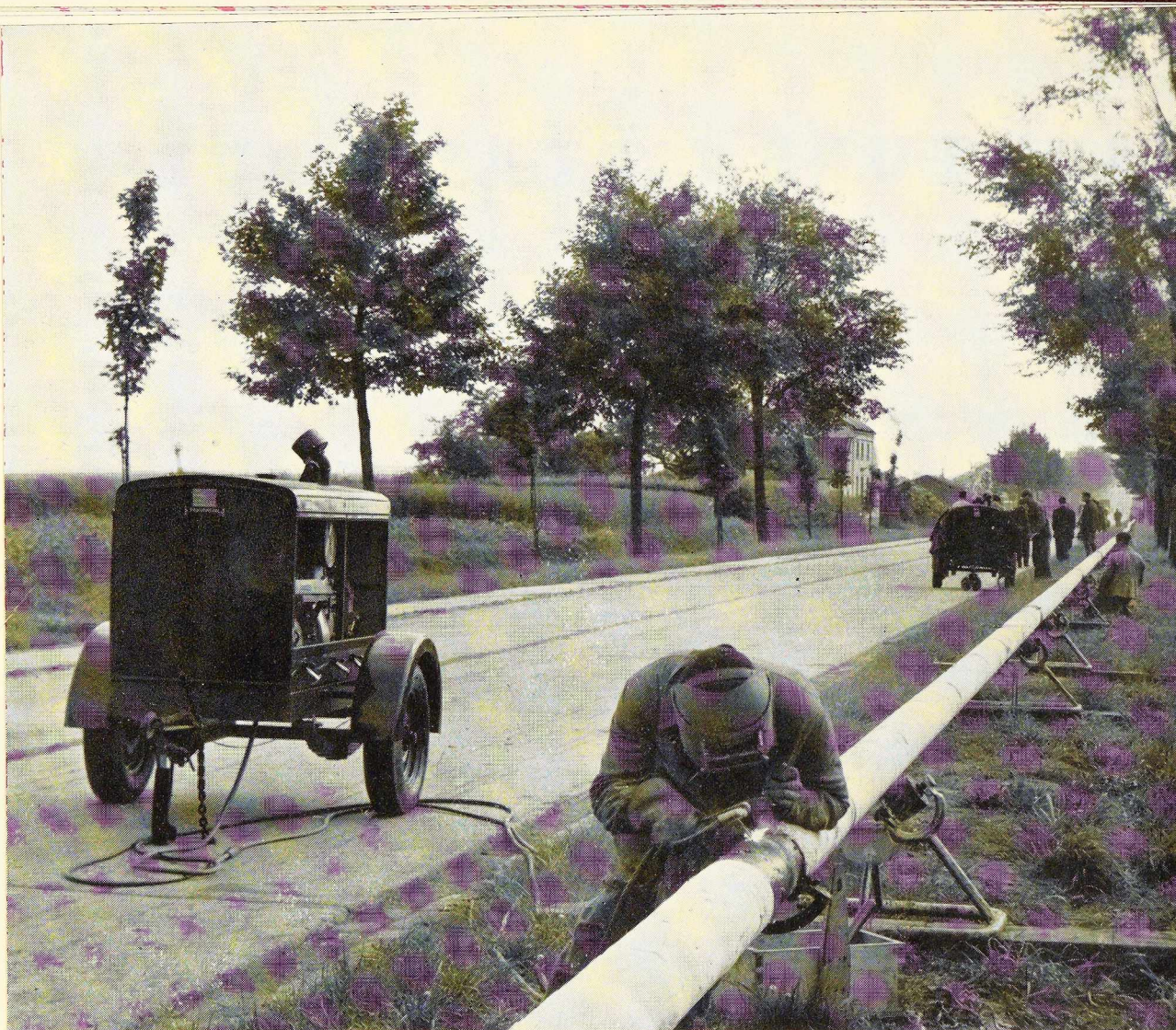
Tous les abonnements prennent cours le 1<sup>er</sup> janvier.

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**.



Soudage  
de la conduite  
de gaz  
à haute pression  
CHARLEROI-  
NAMUR  
exécuté  
par la

ÉLECTRODES

\*comète verte

ET

GROUPES DE SOUDAGE

DE

SOUDOMETAL

S. A. **DISTRIGAZ**

et contrôlé par

**l'A. I. B.**

83, CHAUSSÉE DE RUYSBROECK  
FOREST - BRUXELLES

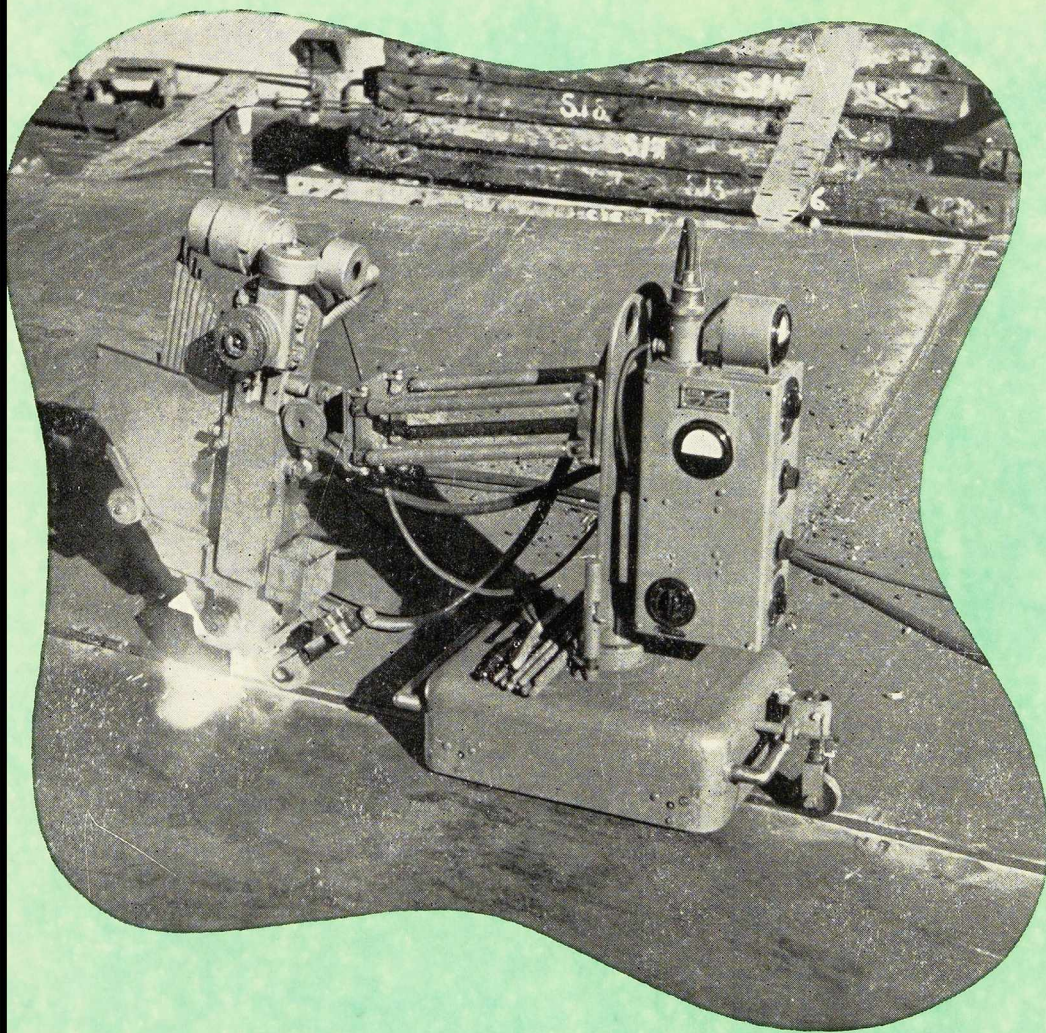
TÉL. : 43.45.65

44.09.02

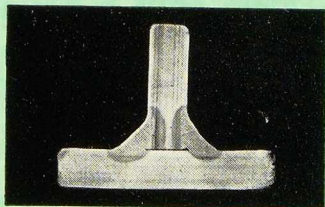
43.99.34

# ASEASVETS

ASEA  
SVETS

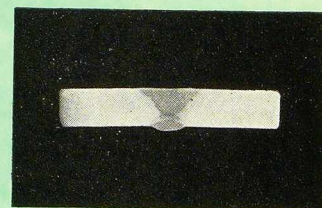


- A ssemblage parfait
- S implicité
- E conomie
- A telier \* chantier
- S ouplesse
- V élocité
- E xclusivité
- T ransport aisé
- S écurité



Macrographie de soudures  
exécutées ensemble par 2 mach.  
S V A B Electrodes Z 12 P.

SOUDURE AUTOMATIQUE  
MACHINE TYPE S V A B

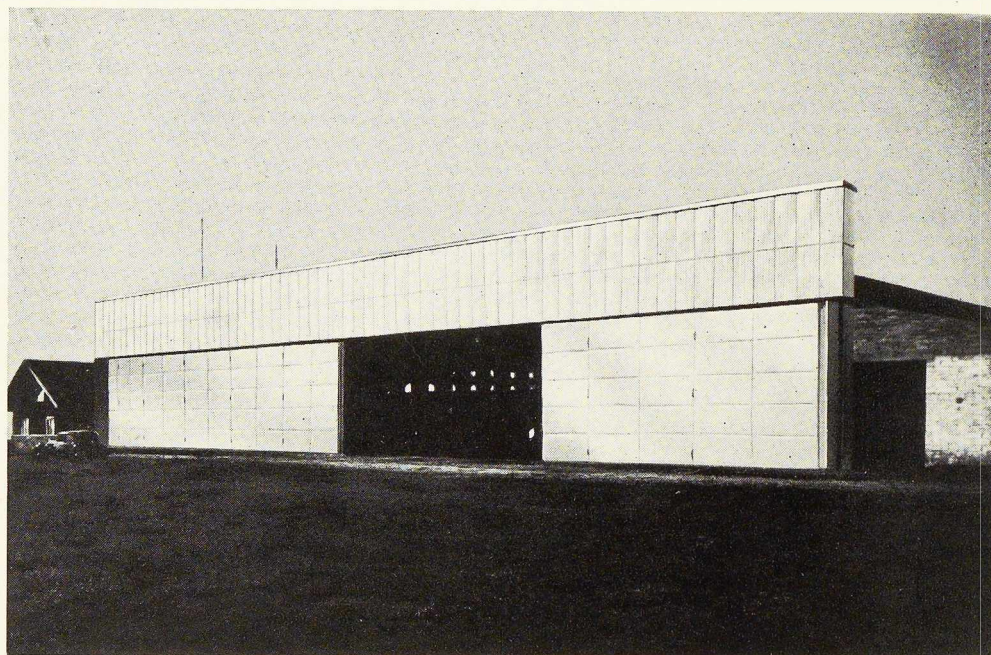


Macrographie d'une soudure  
bout à bout exécutée par mach.  
S V A B Electrodes Z 12 P.

*La machine préférée*  
*des* Chantiers Navals Suédois

# ASEA

Société Belge d'Electricité ASEA  
30, Place Saintelette, 30 • Bruxelles  
Tél. : 26 49 73 - 74 - 75 • Télégrammes : ASEA - Bruxelles



Hangars pour avions

**ATELIERS DE**  
**BOUCHOUT & THIRION RÉUNIS S. A.**

CHAUSSÉE DE VLEURGAT, 249, À BRUXELLES

**USINE A VILVORDE**

192, CHAUSSÉE DE LOUVAIN, VILVORDE  
Téléphone : Bruxelles 15.20.96, Vilvorde 51.00.36

**USINE A BOECHOUT**

27, HEUVELSTRAAT, BOECHOUT-LEZ-ANVERS  
Téléphone : Anvers 81.27.99

PONTS, CHARPENTES, CHAUDRONNERIE,  
TANKS, MATÉRIEL POUR HUILERIES,  
USINES À CAOUTCHOUC, SÉCHOIRS À  
CAFÉ, MAISONS PRÉFABRIQUÉES.

TÔLES GALVANISÉES, ARTICLES DE  
MÉNAGE, CHÂSSIS MÉTALLIQUES  
TUBES D'ACIER NOIR ET GALVANISÉS

# L'OSSATURE MÉTALLIQUE

REVUE MENSUELLE DES APPLICATIONS DE L'ACIER

19<sup>e</sup> ANNÉE - N<sup>o</sup> 6

JUIN 1954

Dr. W. Wolf,

Directeur  
de l'Association allemande  
de la construction métallique

## Quelques problèmes actuels de la construction en acier

Partout en Europe, la construction en acier se trouve en compétition aigüe avec le béton armé et spécialement avec le béton précontraint. Il paraît intéressant, dans ces conditions, d'examiner la situation actuelle de la construction en acier tant sur le plan théorique, que dans le domaine de l'exécution et du montage, en faisant appel à des exemples pour faciliter la compréhension. Les questions et les problèmes énumérés ci-après montrent le développement de la construction métallique depuis la deuxième guerre mondiale.

Dans le présent article nous parlerons en premier lieu des ponts en acier parce que, jusqu'à présent, ceux-ci ont constitué le domaine classique de la construction en acier. De plus les connaissances acquises lors de la construction des ponts ont été utilisées dans d'autres secteurs de la construction en acier, par exemple dans les constructions industrielles, les halls, les ossatures, les ouvrages maritimes, les pylônes, etc.

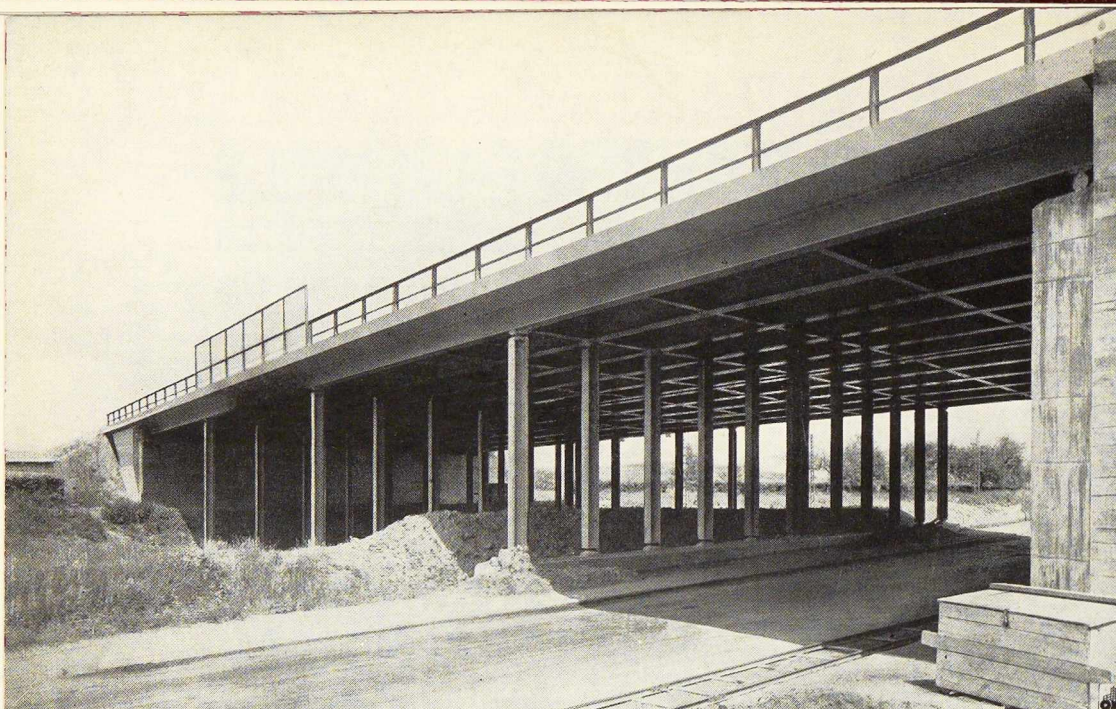
Chaque projet d'ouvrage en acier comprend d'abord un calcul de statique. L'ancienne statique classique présentait la caractéristique suivante : chaque élément de la construction a une fonction bien déterminée; pour un pont-route, par exemple, les forces sollicitantes étaient tout d'abord reprises par l'élément porteur de la chaussée, puis par les longrines, de là par les entretoises, ensuite par les maîtresses-poutres, pour finalement être transmises aux culées par l'intermédiaire des appuis.

Mais en réalité, dans la construction même, les divers éléments assument plusieurs fonctions, ce dont on ne tenait pas compte dans les calculs. Une approximation plus grande fut atteinte en faisant appel à la continuité. Le système plan est une conséquence de cette considération.

Dans les calculs, on tend donc, de plus en plus à considérer l'ouvrage dans son ensemble. Dans cet ordre d'idées beaucoup de choses nouvelles seront certainement apportées dans les prochaines années tant dans le domaine théorique que dans le domaine constructif, notamment en ce qui concerne les constructions dans l'espace. Cette évolution, jusqu'à nos jours, eut lieu de la manière suivante :

On passa de la considération de parties d'ouvrage n'assumant qu'une seule fonction, à celle d'éléments accouplés. Le résultat fut l'étude de la poutraison sans l'effet de coopération de la dalle de la chaussée (fig. 1). Ensuite on tint compte de l'intervention de cette dalle réalisée, soit en acier soit en béton armé. La conception de la construction mixte, dans son sens le plus large, était ainsi établie. La considération de la continuité fit alors considérer la chaussée en acier comme dalle anisotrope.

La difficulté du calcul tenant compte de cette continuité résida dans le fait qu'il nécessita tout d'abord un travail préparatoire considérable de résolution d'équations de base, avec une détermination laborieuse des constantes; cette détermination peut être considérée comme réalisée



**Fig. 1.** Pont d'autostrade à Ditzingen.

par les travaux des ingénieurs Cornelius et Homberg. Le nouvel élément porteur, dans cette méthode de calcul, est la dalle d'acier, qui reçoit uniquement une couche d'usure en asphalte coulé. On ne pouvait évidemment penser à remplacer la dalle en béton armé par une dalle en acier isotrope d'épaisseur constante. La poutraison devait évidemment subsister et il fallait en tirer profit pour le nouveau but poursuivi. Il fallait abandonner l'ancienne théorie classique pour se tourner vers la dalle en acier. Deux réseaux de poutres se croisant à angle droit et ayant leurs semelles supérieures liaisonnées entre elles par une tôle d'acier de façon à résister au glissement, peuvent être considérées comme une dalle orthogonale et anisotrope pour la détermination des sollicitations et des dimensions. La raideur à la flexion des deux réseaux orthogonaux n'étant, en général, pas la même dans chaque sens, le comportement élastique de la dalle est différent dans les deux directions. On dit alors

qu'il y a anisotropie.

Un exemple typique de l'emploi d'une plaque anisotrope se présente dans le grand pont sur le Rhin, de Cologne - Mülheim qui fut reconstruit en 1950-1951. Grâce au nouveau mode de construction, le poids du nouveau pont suspendu est environ la moitié de celui

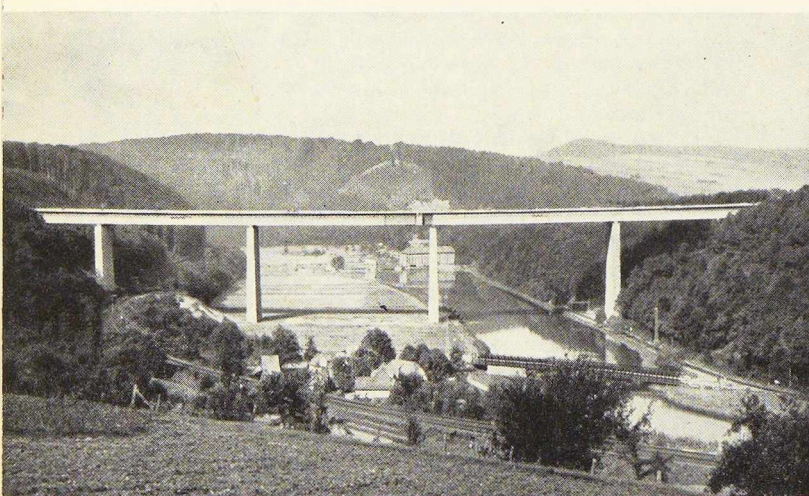
du pont précédent, pour une portée et une largeur utile identiques et une surcharge mobile plus élevée. La figure 3 montre une vue inférieure du pont.

Un autre moyen de tirer profit de l'effet de surface d'une charpente est d'utiliser la construction mixte. Dans ce cas la dalle de chaussée en béton armé est rendue solidaire des longrines, entretoises et poutres principales au moyen de goujons ou de fer s'opposant au glissement; elle est ainsi obligée de reprendre une partie de l'effort de compression agissant sur la membrure supérieure.

Une substantielle réduction de la section des poutres peut être obtenue ainsi. Presque tous les grands ponts sont aujourd'hui érigés, soit en envisageant la dalle anisotrope, soit en considérant la construction mixte.

Dans cet ordre d'idée on peut indiquer qu'il est parfaitement possible de sous-tendre une poutre en acier par des câbles en acier à hautes caractéristiques mécaniques et d'absorber ainsi les efforts de traction par ces câbles, tandis que les efforts de compression sont repris par l'acier courant.

Dans le domaine de la construction en acier, on accorde, dans tous les pays, une attention particulière aux problèmes de stabilité; dans la plupart des cas, les constructions en acier



**Fig. 2.** Pont d'autostrade sur la Werra près de Hedemünden.

**Fig. 3.** Vue inférieure du pont de Cologne-Mülheim sur le Rhin.

sont menacées de flambement ou de voilement sous l'action des efforts de compression. Des prescriptions furent édictées dans ce but, relatives à la sécurité au flambage, au déroboement et au voilement; ce sont ces prescriptions qui ont rendu possible l'apparition des constructions légères en acier.

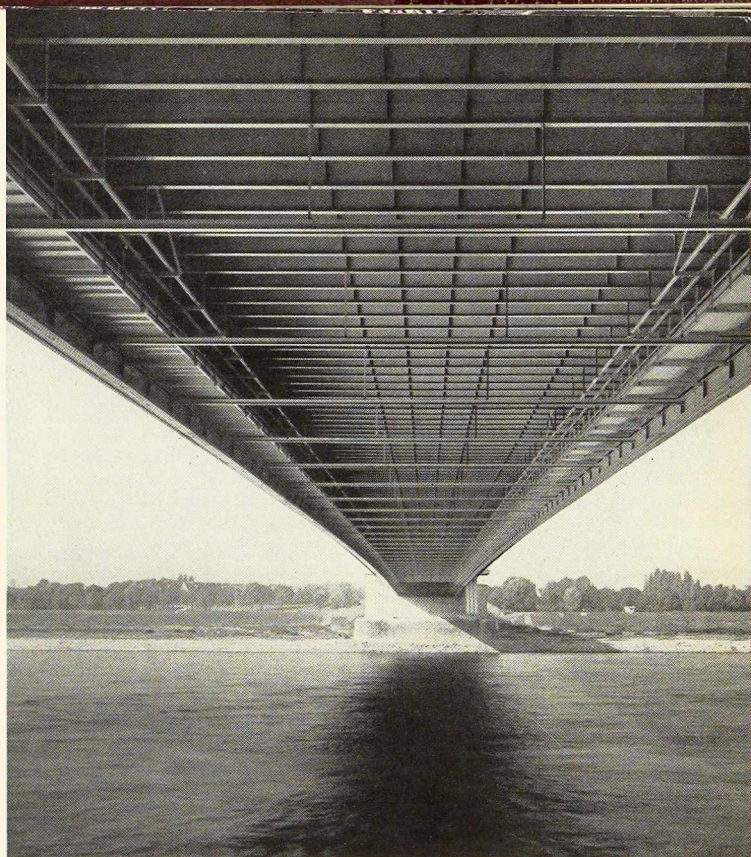
Toutes ces considérations théoriques ont naturellement eu comme conséquence l'apparition de méthodes nouvelles dans le domaine constructif; une contribution supplémentaire a été apportée à la construction métallique par la soudure. Alors qu'au début, le cordon de soudure était utilisé uniquement pour remplacer le rivet, on s'aperçut bientôt que la soudure pouvait apporter d'insoupçonnables possibilités d'amélioration constructive dans la construction métallique. L'homogénéité, envisagée dans le calcul en faisant appel à la continuité, devenait une réalité. La réalisation d'un ouvrage « d'un seul jet, d'une seule coulée » était rendue possible. L'exemple d'un cadre illustre clairement ce qui vient d'être dit; la même construction fut réalisée en rivé, ensuite en soudé. Dans le second cas l'économie de poids fut de 22 % environ.

Les développements ultérieurs de la technique de la soudure, l'expérience acquise à la suite de certains déboires, le perfectionnement des connaissances sur le danger des ruptures fragiles et sur les moyens de les éviter, l'amélioration des électrodes et des procédés de soudure, ont rendu possible, en liaison avec les développements théoriques décrits plus haut, l'érection des constructions modernes en acier que nous avons vu apparaître, partout en Europe, après la deuxième guerre mondiale.

Il est, par exemple, actuellement possible d'assembler par soudure et sans difficulté, pour un même élément de construction, des aciers de différente résistance, si bien que la membrure supérieure et la moitié supérieure de l'âme d'une poutre fléchie peut être en A 37, tandis que la partie inférieure de la même poutre, sollicitée en traction, est en acier A 52 à caractéristiques mécaniques élevées.

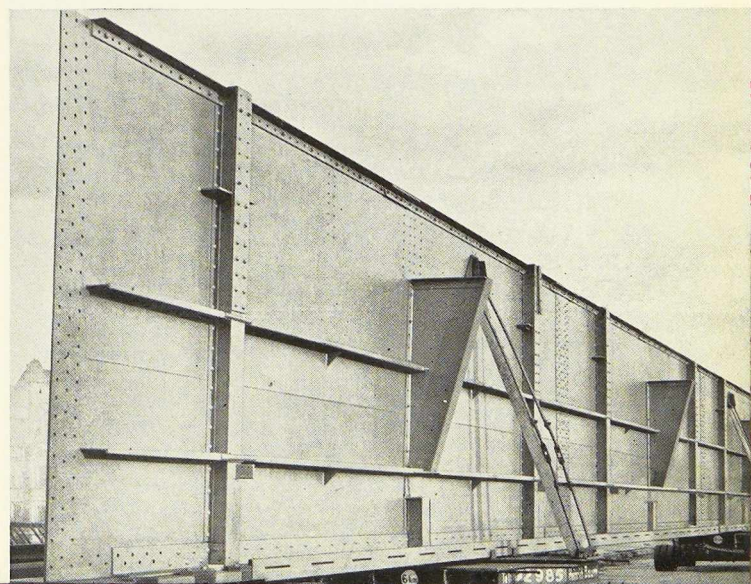
L'application de toutes ces connaissances a eu des conséquences d'une très grande portée pour l'exécution des ouvrages en acier tant en atelier qu'au montage, car actuellement des éléments de

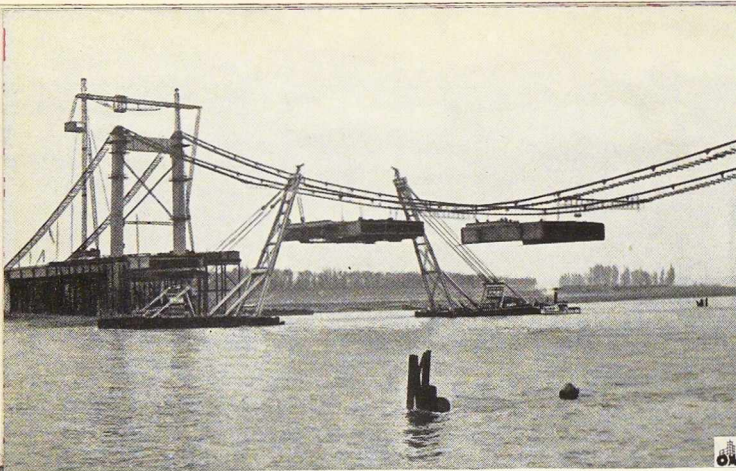
**Fig. 4.** Transport d'une poutre de raidissement du pont suspendu de Cologne-Mülheim.



construction de très grandes dimensions et d'un poids élevé peuvent être préparés, transportés et montés. On peut, à titre d'exemple, considérer un élément de chaussée du pont de Cologne-Mülheim. Mentionnons à ce sujet les soudures des nervures raidisseuses sur la tôle porteuse et l'utilisation d'un procédé automatique de soudure, comme par exemple le procédé Ellira, rendant cette opération économique. Le transport de telles pièces, anormalement grandes, exige l'emploi de véhicules spécialement étudiés dans ce but (fig. 4).

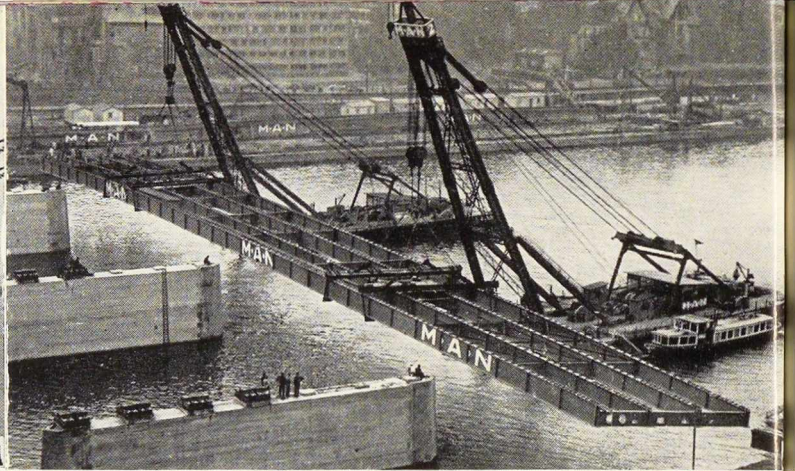
C'est enfin dans le domaine du montage que





**Fig. 5.** Montage du pont suspendu de Cologne-Mülheim.

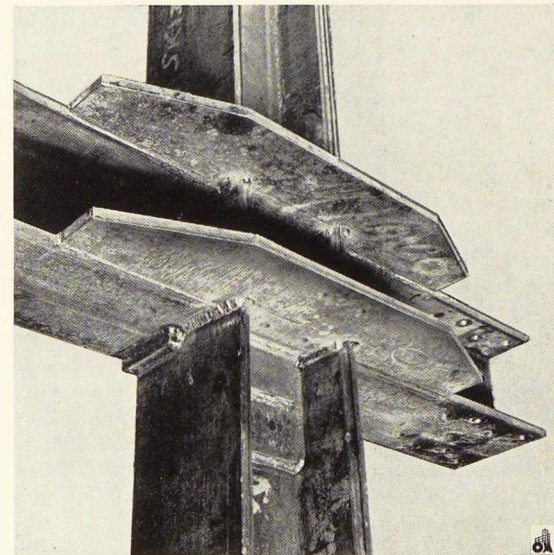
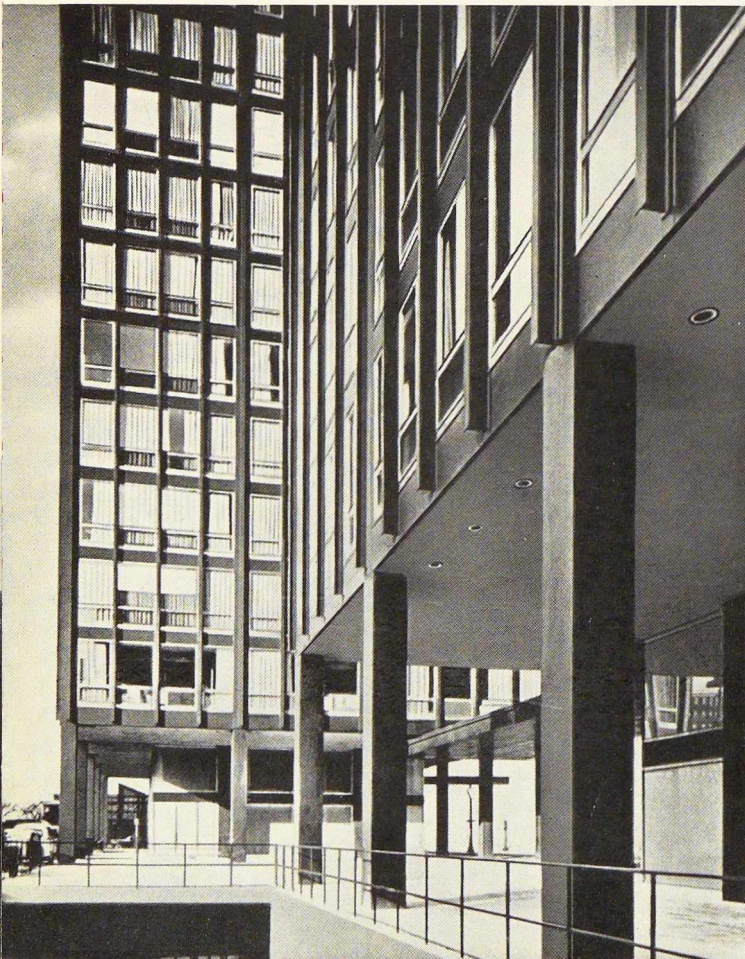
des méthodes révolutionnaires firent leur apparition. Pour le pont, déjà souvent cité, de Cologne-Mülheim, des parties de chaussée, y compris les poutres raidisseuses, d'un poids de 350 t et d'une longueur de 43 m furent mises en place à l'aide de deux grues flottantes de 200 t de capacité chacune, et cela sans entraver la navigation (fig. 5). De la même manière, toute une série de ponts furent montés avec une ou deux grues flottantes; citons tout spécialement, le pont de la Paix à



**Fig. 6.** Montage du pont de la Paix à Francfort-sur-Main.

Francfort-sur-Main où un tronçon de pont comprenant 4 poutres principales et les entretoises, d'une longueur totale de 135 m, fut amené du chantier d'assemblage de la rive, sur le fleuve et directement placé sur les appuis (fig. 6).

Les tubes et, plus généralement, les sections creuses, sont bien connus pour la bonne résistance qu'ils offrent aux efforts de compression. Ici encore la technique de la soudure permet la fabrication de sections étanches présentant une



**Fig. 7** (ci-dessus). Nœud de charpente du bâtiment Gerling à Cologne.

**Fig. 8** (ci-contre). Détail du rez-de-chaussée d'un immeuble aux Etat-Unis, œuvre de l'architecte Mies van der Rohe.



**Fig. 9.** Halle de Westphalie à Dortmund.

grande sécurité à la corrosion, profils actuellement très souvent employés pour les ponts, les ossatures et les pylônes. En plus de l'élégance de leur forme, les profils creux sont également intéressants au point de vue économie, grâce à la faible épaisseur de leur paroi. Des colonnes creuses remplies de béton voient leur capacité portante augmenter d'au moins un tiers; la sécurité au feu est également notablement plus élevée.

Le domaine d'application le plus vaste de la construction en acier se trouve aujourd'hui, sans conteste, dans les ossatures de bâtiment et les constructions industrielles. Les connaissances acquises dans la construction des ponts peuvent s'appliquer ici également, et il importe d'y faire appel pour lutter contre la concurrence d'autres matériaux.

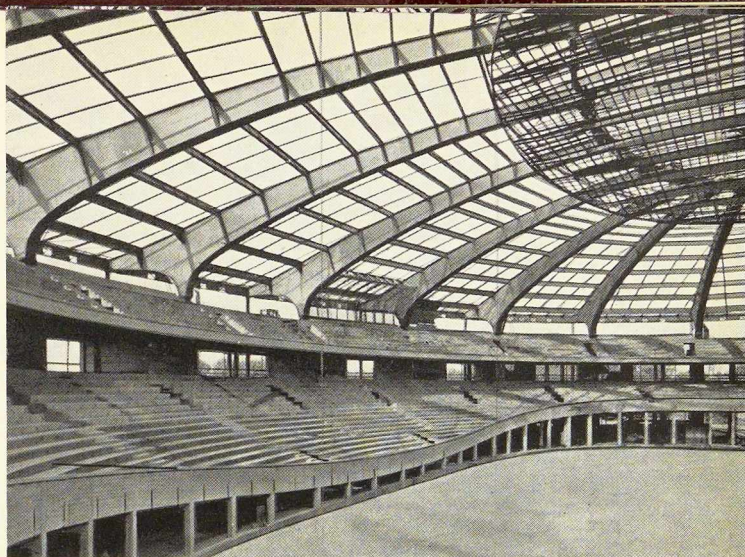
De notables économies peuvent être réalisées par l'emploi de cadres articulés ou à étages comme éléments porteurs de l'ossature, par l'incorporation des hourdis dans une construction mixte, servant en même temps d'élément raidisseur vis-à-vis des efforts horizontaux, ou par l'emploi des hourdis creux en acier. Les assemblages par soudure et par boulons à haute résistance conviennent également pour ériger des ossatures dans un délai très court.

Signalons comme très intéressante, la solution adoptée pour les nœuds de cadre d'un bâtiment de 15 étages du Gerling-Konzern à Cologne (fig. 7); les béquilles et les traverses ont les deux membrures découpées partiellement pour recouvrir les poutres. Les sollicitations sont ainsi transmises par des éléments calibrés soudés aux poutres.

Les boulons à haute résistance soumis à une précontrainte obtenue par un moment de torsion, sollicitent les pièces à assembler au frottement; ils présentent l'avantage de permettre un montage facile et silencieux, d'assurer une plus grande sécurité au glissement de l'assemblage et de ne demander qu'un calcul très simple. En effet, sur la base d'essais entrepris en Allemagne, le cisaillement et la pression diamétrale dont il est question dans les assemblages normaux avec rivets ou boulons ne sont plus déterminants; on peut tenir compte de la section totale des pièces assemblées.

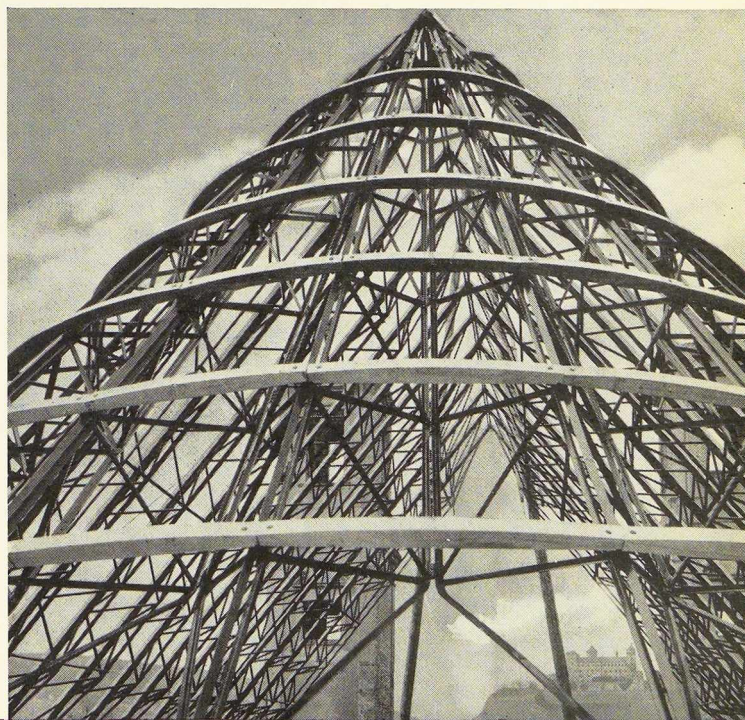
On devra s'efforcer, dans l'avenir — comme

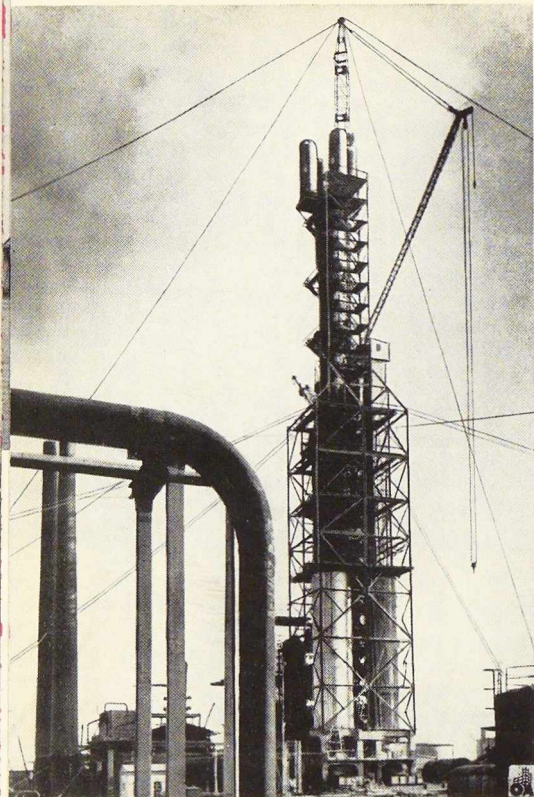
**Fig. 10.** Charpente métallique « en accordéon » de la toiture de l'église Saint-Stephane à Duisbourg.



cela se fait déjà aux Etats-Unis — à rendre apparente, extérieurement, l'ossature d'une construction en acier, sans la revêtir par un autre matériau et employer pour les parois extérieures, des éléments préfabriqués réalisés avec des matériaux à faible densité et à grand pouvoir isolant tant thermique qu'acoustique. En bref, à réaliser une construction sèche qui, grâce à sa rapidité d'exécution, ses possibilités de modifications et de reconstruction et sa configuration architectonique ne peut être dépassée par aucune autre. Un exemple d'une telle construction est donné à la figure 8.

En ce qui concerne la construction des halls, citons la Westfalenhalle de Dortmund, déjà mentionnée à plusieurs reprises dans cette revue (fig. 9). Cette réalisation remarquable dont la section en plan est une ellipse ayant 117





**Fig. 11.** Tour de cracking pour une raffinerie de pétrole.

et 98 m comme longueurs d'axes, possède comme éléments porteurs 20 fermes en caisson s'élançant en encorbellement vers le centre du hall. Le

porte-à-faux de chacun de ces arcs, tous identiques, est de 30 m. Ils soutiennent la coupole centrale qui est entièrement réalisée en acier soudé <sup>(1)</sup>.

Des projets, devenus réalités, reprenant le système appliqué dans les ponts suspendus, font porter le plafond et le toit de grands halls par des câbles d'acier; cette façon de construire rencontrera certainement un grand crédit dans l'avenir. Ici encore on peut réaliser de grandes économies, car les éléments tendus sont fabriqués en câble d'acier à haute résistance, tandis que les éléments comprimés peuvent être prévus en un matériau ayant des propriétés mécaniques moins élevées.

Le nombre de constructions à usage industriel que l'on peut ériger en acier est trop grand pour que l'on puisse faire autre chose qu'effleurer la question. Ce genre de construction s'est engagée dans des voies nouvelles comme des halls de laminoir. Signalons encore un engin géant servant à l'enlèvement des déblais d'une exploitation de lignites, d'un poids de 5 600 t et d'une capacité horaire de production d'environ 6 000 m<sup>3</sup>. La longueur de ce pont mobile monté sur chenilles est de 170 m.

Non moins intéressante est la construction d'une tour de cracking pour une raffinerie de

pétrole. Des procédés entièrement nouveaux de soudure durent être utilisés dans ce cas, pour pouvoir souder des aciers spéciaux dont l'emploi était rendu nécessaire pour résister à de très hautes températures (fig. 11). Le montage de cette tour fut également très remarquable; il fut exécuté à l'aide d'un derrick de 130 m de hauteur, les différents éléments à soulever pesant environ 30 t.

Les constructions hydrauliques furent également fort influencées par la technique de la soudure; les portes d'écluses, les conduites forcées importantes, etc., n'auraient pas atteint, sans cette technique, le développement qu'elles connaissent aujourd'hui.

Dans la construction des ossatures et des halls, l'acier remplit presque exclusivement la fonction d'éléments porteurs, laissant à d'autres matériaux le soin de réaliser le remplissage des espaces restés libres. Dans les réservoirs au contraire, l'acier intervient principalement comme parois étanches. Pour l'emmagasinage des liquides et des matières gazeuses, l'acier est pratiquement le seul matériau vraiment adéquat.

Un domaine d'utilisation de l'acier riche de promesses doit être, dans un proche avenir, celui des constructions légères. Il a déjà été mentionné que, grâce à la résolution de problèmes de stabilité, la construction en éléments légers a été rendue possible. L'emploi de profils spéciaux, par exemple les tôles pliées, joue ici un rôle très important.

Un exemple typique de ces constructions légères est fourni par les « Faltdächer » qui ont trouvé utilisation dans les grandes toitures escarpées (fig. 10). Le poids d'une telle toiture est d'environ 15 kg par m<sup>2</sup> de surface horizontale couverte.

L'évocation des nombreux problèmes soulevés par la construction moderne en acier n'a pu être qu'effleuré étant donné le cadre de cette étude. Nous espérons toutefois avoir montré que la précieuse matière qu'est l'acier possède des possibilités encore non exploitées. On y arrivera par une amélioration des méthodes de calcul, par de meilleurs procédés de construction, et par un perfectionnement des méthodes de montage qui jusqu'à présent n'ont pas été utilisées comme elles pouvaient l'être.

Les progrès obtenus dans ce sens ne sont pas terminés, si bien que l'on peut s'attendre dans l'avenir à de nouvelles améliorations, amenant une économie plus grande dans la construction en acier.

W. W.

(1) Voir *L'Ossature Métallique*, n° 5, 1953.

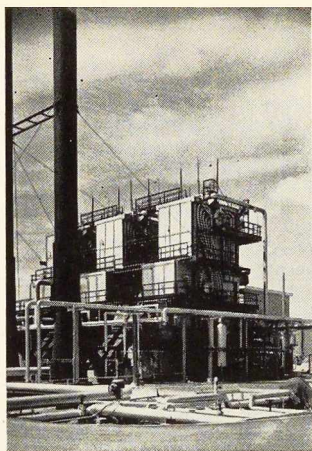


Photo F. Claes.

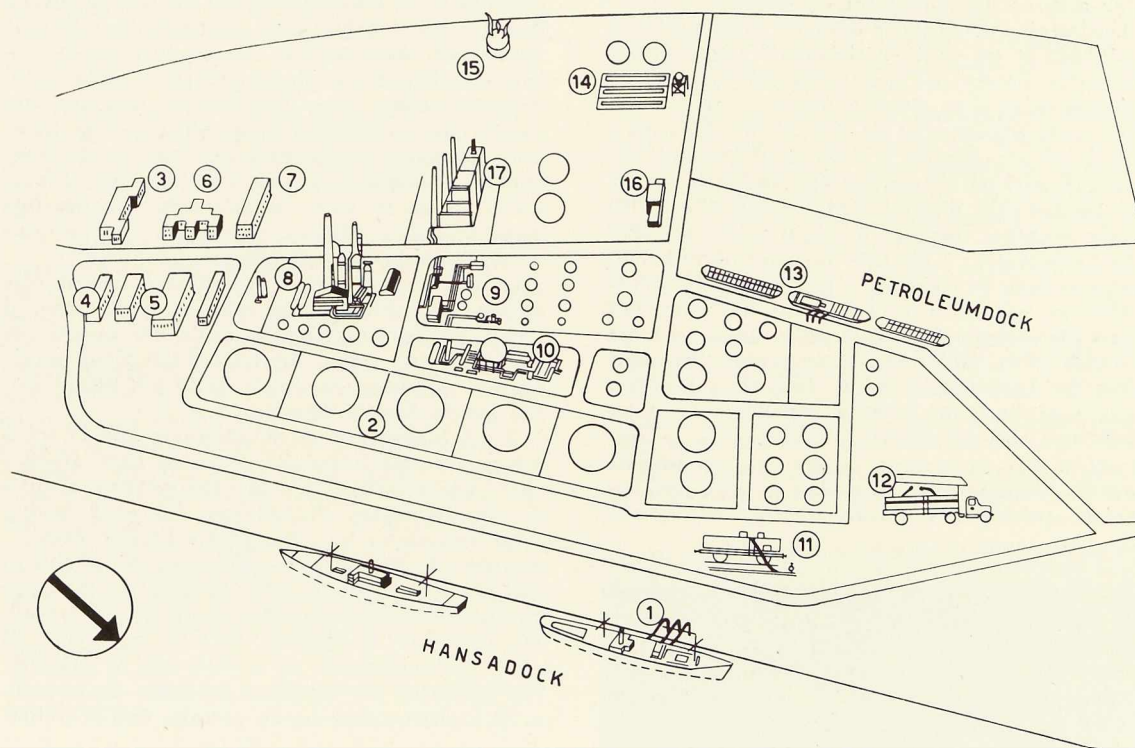
## La raffinerie Esso à Anvers

Le développement d'une industrie pétrolière, d'une capacité suffisante pour les besoins du marché intérieur belge, ne fut envisagé que peu après la seconde guerre mondiale.

La Belgique étant essentiellement un pays dont la richesse est due en ordre principal à ses indus-

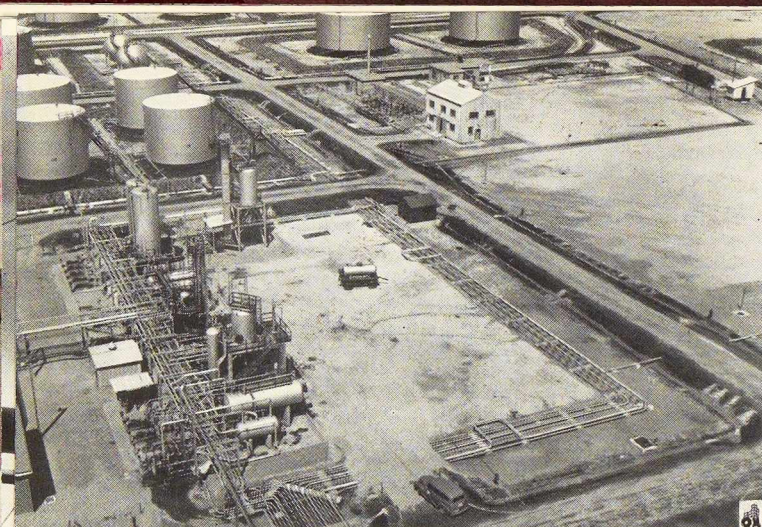
tries de transformation, le Gouvernement s'intéressa rapidement à ces projets et collabora de façon active à leur réalisation.

La situation géographique du port d'Anvers, son accès facile et ses installations modernes firent que cette ville fut choisie comme centre



**Fig. 2.** Plan des installations de la raffinerie Esso à Anvers.

1. Déchargement de pétrole brut. - 2. Tanks d'entreposage du pétrole brut. - 3. Bâtiment administratif. - 4. Vestiaire. - 5. Ateliers. - 6. Cantine. - 7. Laboratoire. - 8. « Combination Unit ». - 9. Unité de traitement chimique. - 10. Installation de mélange. - 11. Chargement des wagons-citernes. - 12. Chargement des camions-citernes. - 13. Chargement des allèges. - 14. Séparateur d'huile. - 15. Torche. - 16. Station de pompage des eaux. - 17. Chaudières.



Photos F. Claes.

pour la nouvelle industrie. L'Administration du port entama l'étude des besoins portuaires nouveaux que posaient les projets.

Il importait de choisir des emplacements suffisamment séparés des installations existantes pour assurer un maximum de sécurité.

Les terrains marécageux devaient cependant être aménagés et un port spécialement conçu devait permettre l'accès des grands tankers modernes. L'entrée de ce port pétrolier devait permettre aux navires de manœuvrer en dehors du Hansadock afin de ne pas entraver le trafic maritime normal. Enfin ce port devait pouvoir être isolé du restant des bassins afin d'éviter toute propagation d'incendie éventuel. Le port tel qu'il existe actuellement comprend : à l'entrée, un pont-route basculant avec voie de chemin de fer, un bassin d'évolution des navires et le bassin pétrolier muni des quais d'accostage. La construction de ce port fut exécutée en un temps record de trente et un mois selon les instructions de la Direction des Travaux maritimes de la ville d'Anvers. Au total 10 000 000 m<sup>3</sup> de terres furent dragués et servirent à l'aménagement de 200 ha environ de terrains propices à la construction. Deux dragues furent utilisées à ce travail.

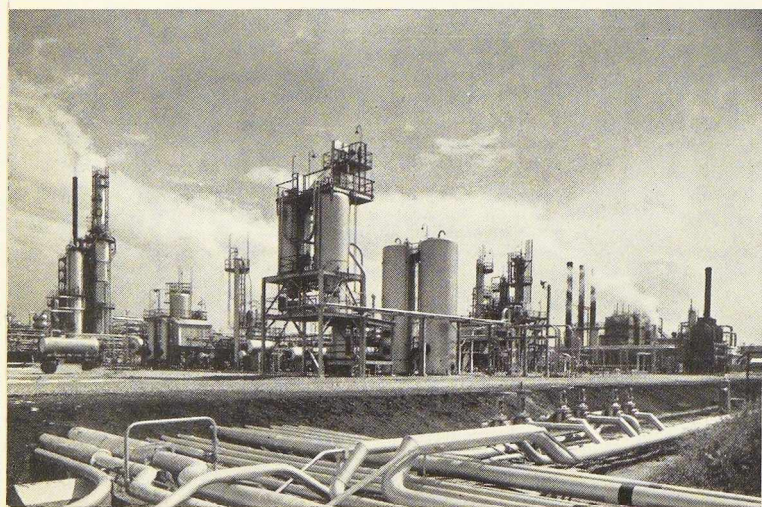


Fig. 3. Vue d'une partie de l'installation de « treating », tanks intermédiaires et, à l'arrière-plan, des tanks de produits finis.

La construction des murs de rive du bassin d'évolution et des darses pétrolières fut réalisée notamment par le battage de 6 400 palplanches métalliques et 3 275 pieux en béton. Ce port pétrolier d'une profondeur d'eau de 13,75 m et muni de 3 km environ de quais est directement accessible aux plus grands tankers et l'est également par route et par chemin de fer.

Les terres draguées pour l'aménagement de ce port pétrolier furent utilisées pour surélever de 5,50 m les terrains destinés à servir d'emplacement pour les nouvelles raffineries.

A ce moment-là, le terrain de la future raffinerie Esso se présentait comme une surface de sable marécageux, sur laquelle des tuyaux déversaient les terres draguées véhiculées par courant d'eau. Dans les accords intervenus entre la *Standard Oil Company* (New Jersey), le Gouvernement belge et l'Administration du port d'Anvers, il avait été convenu que la nouvelle raffinerie Esso serait, dans toute la mesure du possible, réalisée avec le concours de l'industrie et de la main-d'œuvre belges, avec toutefois le concours des techniciens américains. C'est ainsi que la *Lummus Company*, responsable des travaux de construction délégua à Anvers un état-major d'ingénieurs. D'autre part, la *Standard Oil Development Company* délégua, elle aussi, quelques-uns de ses ingénieurs en Belgique.

Le terrain sur lequel la raffinerie devait être érigée étant constitué de sable et d'alluvions, il fallait établir pour chaque unité des massifs de fondation sur pieux. Au total 4 160 pieux représentant une longueur totale de 52 km furent battus par la Société Auxeltra.

Il est intéressant de mentionner que le sol à cet endroit est imprégné d'eau de mer. D'autre part, toute raffinerie comporte certains risques de contamination du sol par des eaux acides. Pour immuniser les pieux contre l'action destructive de ces éléments, on fit usage d'un ciment métallurgique sulfaté. Afin de rabattre la nappe aquifère aux environs des endroits de travail, 110 filtres et 15 pompes de tous types ont dû être continuellement en activité sur le chantier. Les conduites d'évacuation des eaux de la raffinerie avaient été posées en premier lieu et purent

Fig. 4. Vue partielle de la raffinerie. Au premier plan, l'impressionnant réseau de « pipes », destinées au chargement des produits finis dans les wagons-citernes.

**Fig. 5.** L'unité combinée de distillation et de cracking catalytique, vue du parc de tanks intermédiaires, où les produits sont stockés avant de passer au traitement chimique.

servir à l'évacuation des eaux filtrées provenant des rabattements.

Pour la pose souterraine de 145 km de tuyaux d'acier, 30 km de canalisations de cuivre et 16 km de canalisations de fonte, il a fallu déplacer 120 000 m<sup>3</sup> de terre; 25 000 m<sup>3</sup> supplémentaires furent déplacés pour établir les fondations en sable et *cutback* des tanks de stockage et pour aménager autour de ceux-ci des digues capables de retenir au total une capacité de stockage d'environ 200 000 m<sup>3</sup>.

En dehors des bâtiments on construisit 3 600 m de clôtures en béton et plaça plus de 4 km de voies ferrées pour l'évolution des wagons-citernes dans l'enceinte de la raffinerie.

La construction des installations de fabrication proprement dites a soulevé certaines difficultés.

Une certaine adaptation a été nécessaire, non seulement pour la main-d'œuvre, mais également pour les ingénieurs et techniciens responsables, qui durent s'imprégner des nouvelles exigences.

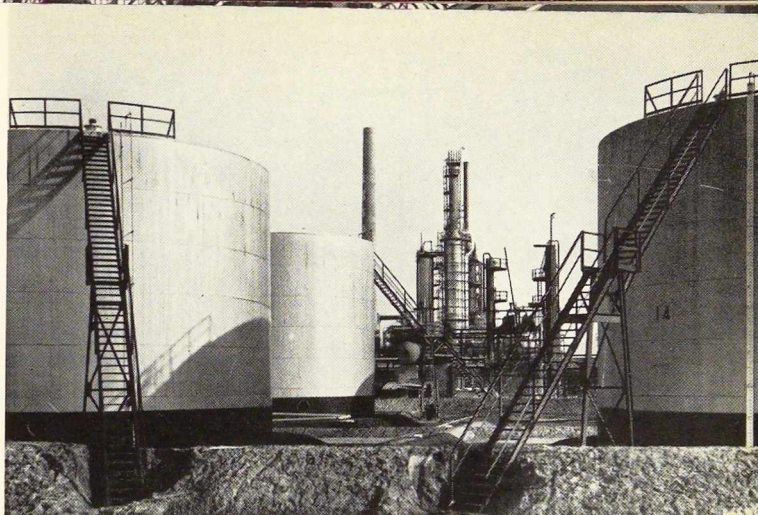
Les Ateliers Métallurgiques de Nivelles n'étant pas raccordés à une voie navigable, et les chemins de fer se trouvant dans l'impossibilité de transporter les grosses unités de la *combination unit*, tout ce matériel fut véhiculé par la route de Nivelles à Anvers.

Ce transport posa évidemment des problèmes complexes à la fois dans l'enceinte de l'usine productrice et sur la route. Le passage notamment du « reactor » de 65 t du wagon à la remorque dura un jour. Deux grues durent unir leur capacité de levage et la porte de sortie de l'usine dut être démolie. En de multiples endroits, les fils de tramways durent être soulevés au passage du convoi, les routes empruntées durent souvent être fermées à la circulation et au passage du grand « reactor » à Malines, le pont de cette ville dut être renforcé par des barges munies de vérins.

Des problèmes similaires ont été posés à plus ou moins grande échelle chez d'autres constructeurs comme la S. A. John Cockerill qui a fourni notamment les grands réservoirs et les échangeurs thermiques (1).

(1) Voir la description de ces réservoirs, pp. 302-306 du présent numéro.

**Fig. 6.** Vue d'ensemble de la « Combination Unit » où s'effectuent la distillation et le cracking catalytique. A l'avant-plan, la salle de contrôle. A l'arrière-plan, le bassin de la Hanse.



Photos F. Claes.

Quant aux producteurs de matériel électrique, ceux-ci étaient préparés et équipés pour entreprendre la construction du matériel requis. C'est ainsi que la firme S. E. M. a pu mettre des principes de construction en application, pour l'élaboration des tableaux de commande.

Les A. C. E. C. ont fourni les nombreux moteurs du type antidéflagrant. Les Ateliers et Fonderies Moens & C<sup>ie</sup> ont équipé de châssis de fenêtres en fonte « Zelith » tous les bâtiments de la raffinerie.

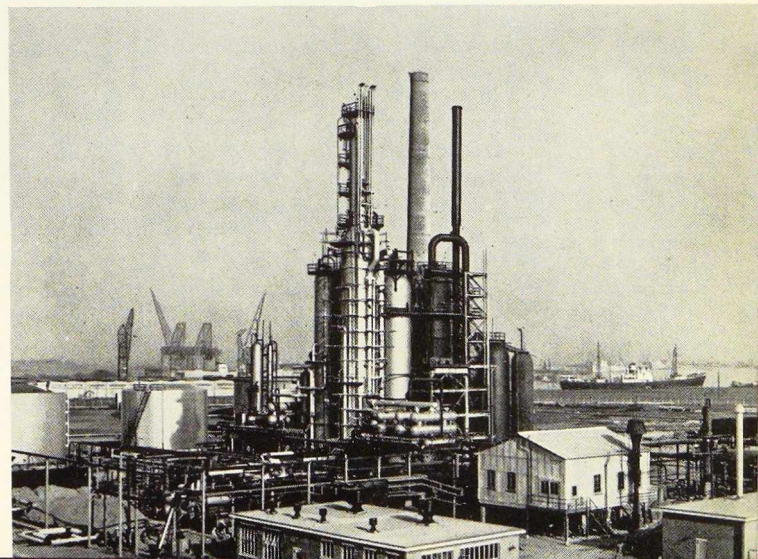
La *Mercantile Marine Engineering & Graving Docks* fut chargée du montage de toutes les unités (1) et d'une façon plus générale de toute la partie mécanique et métallique. Cette firme dut acquérir pour ce faire un équipement spécialisé et entreprit d'ailleurs, elle-même, la construction de certaines machines. Ce fut notamment le cas d'une machine à plier les tubes à froid. Celle-ci

(1) A la raffinerie Esso à Anvers trois installations de raffinage, qui auparavant opéraient toujours séparément, sont combinées en une seule unité.

Dans la première installation, le pétrole brut est distillé et séparé en différentes fractions.

Dans la seconde, une de ces fractions est soumise au cracking thermique pour la production d'essence à haut degré d'octane.

Dans la troisième installation, la fraction « gasoil » est mise en contact avec une poudre appelée catalyseur et est ainsi transformée en un produit de haute qualité.



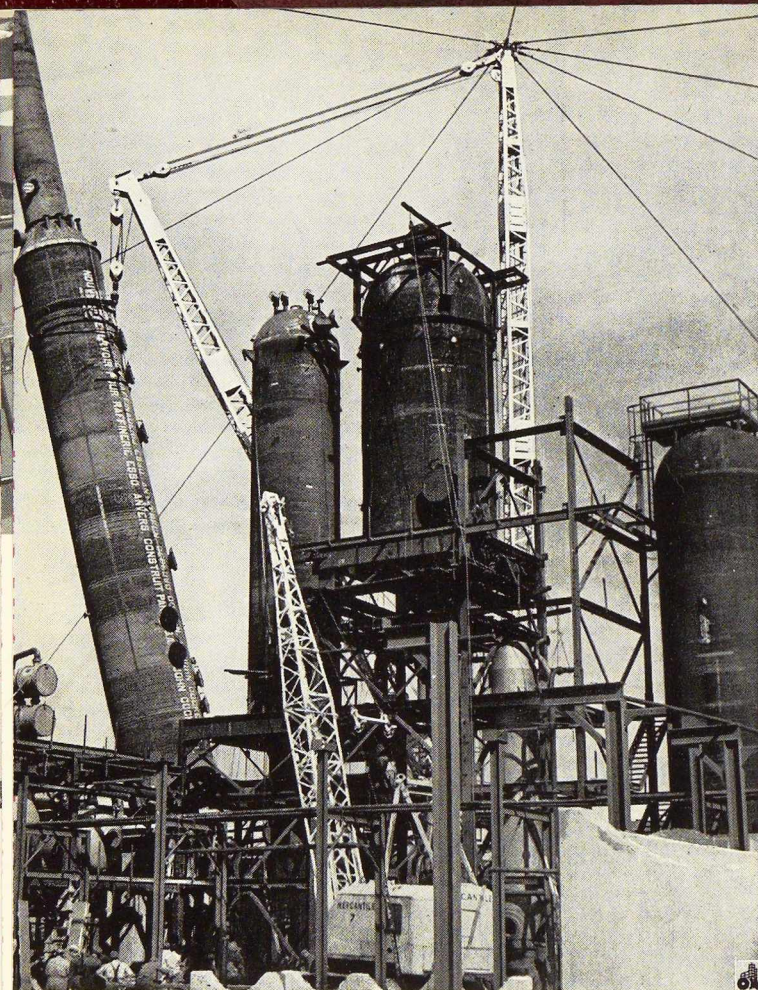


Photo A. Pelegrie.

**Fig. 7.** Montage d'une tour de la « Combination Unit ».

permet le pliage à froid de tubes de 6" de diamètre et d'une épaisseur de 3/8" en acier au Cr-Ni. Cette machine seule a plié, pendant les travaux de montage, jusqu'à quarante-quatre tuyaux de 2" par jour ou vingt-cinq tuyaux de 6" en même temps.

Toutes les tuyauteries de diamètre de 24" et moins furent soudées (Electrodes Philips); quatre-vingts soudeurs furent à certains moments occupés sur le chantier. Quinze groupes électrogènes et quatre-vingts transformateurs de soudure furent utilisés simultanément.

L'important matériel de chantier utilisé par la *Mercantile Marine Engineering & Graving Docks* comportait principalement une grue de 35 t, une grue de 30 t, sept grues de différentes capacités, cinq body trucks, six camions à chenilles, etc.

Ces grands travaux de construction et de montage d'un caractère inaccoutumé n'ont pu être réalisés que grâce à la présence à Anvers d'un corps de techniciens et d'ouvriers qualifiés.

\*  
\*\*

La Raffinerie Esso, une des plus modernes de Belgique, travaille aujourd'hui à plein rendement. Sa capacité en pétrole brut est de 25 000 barils par jour. Cette installation approvisionne en carburants pour moteurs et en huiles de chauffage les trois pays de Benelux.

F. Guyot,  
Ingénieur  
à la S. A. John Cockerill

## Grands réservoirs et tours de raffinerie de pétrole

A l'occasion de l'anniversaire de l'installation d'une grande raffinerie de pétrole à Anvers par la firme ESSO, il n'est pas sans intérêt de mettre l'accent sur les impressionnantes constructions métalliques qu'elle a suscitées.

Ces constructions appartiennent en ordre principal à la technique des réservoirs de forme cylindrique.

Les réalisations auxquelles il sera fait allusion

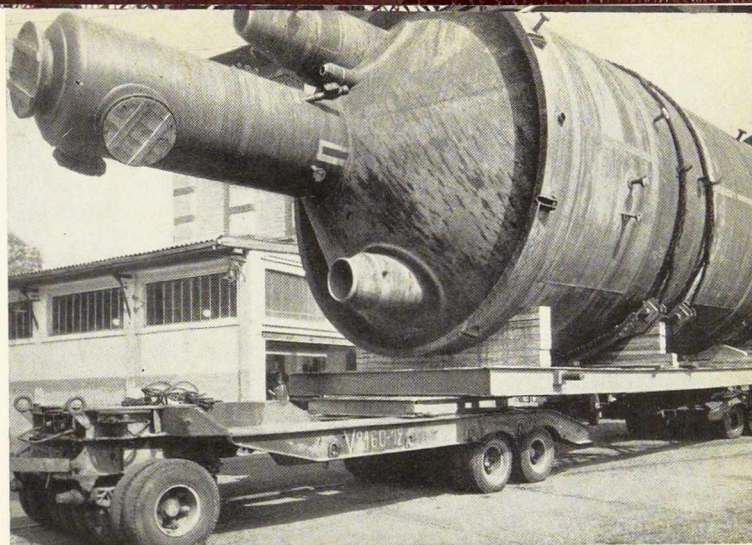
dans cet article (fig. 8 et 9) sont remarquables non pas qu'elles soient nouvelles, ni qu'elles comportent des problèmes constructifs non résolus jusqu'à présent, mais bien parce qu'elles ont exigé de la part de nos grandes usines de construction une adaptation de leurs moyens de production, de leurs cadres techniques d'étude et de fabrication à un niveau nettement plus élevé que celui de la routine habituelle.

**Fig. 8.** Régénérateur en tôle de 12 mm, de 8 600 mm de longueur de corps sur 4 925 mm de diamètre. Longueur hors tout : 14 565 mm. Poids : 43 tonnes.

Les problèmes posés par la construction de réservoirs et de tours de raffinerie résident en effet dans la grandeur des appareils, dans la précision relativement sévère exigée pour la localisation des détails et pour les dimensions d'ensemble, dans la qualité de forme et des assemblages et en particulier dans la maîtrise des déformations entraînées par la mise en œuvre exclusive de la soudure comme moyen de liaison des différentes parties.

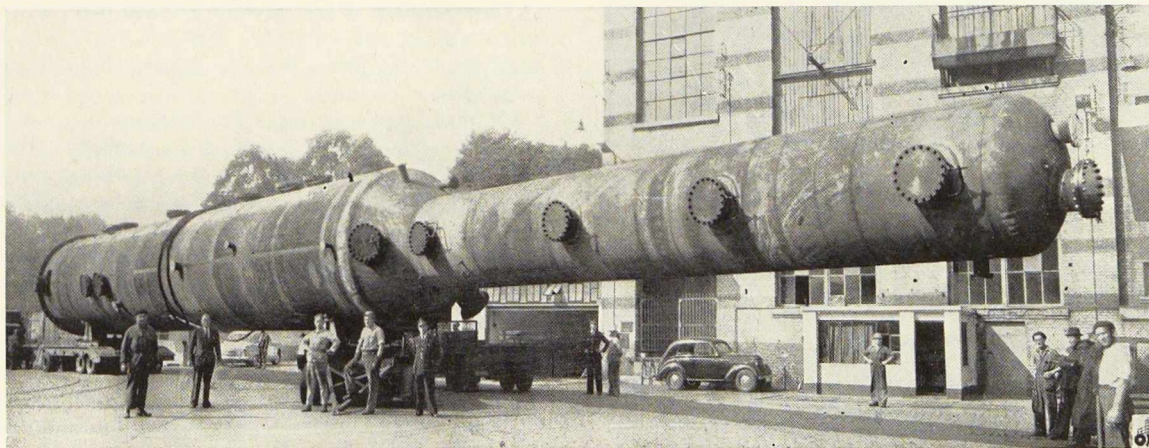
Le climat particulier instauré dans l'usine recevant de telles commandes prend naissance au bureau d'étude dès que s'impose le dépouillement des plans primitifs remis par les bureaux techniques de la raffinerie. Ces plans, le plus souvent indicatifs, sont de facture américaine et doivent être remplacés par des plans d'exécution propres au constructeur. Cette transposition est ardue et exige de la part du bureau d'étude une grande souplesse et une attention soutenue. Elle entraîne de nombreux échanges de vue avec les délégués du client et une adaptation très serrée de nos possibilités techniques aux exigences imposées.

La confrontation, sur le plan technique, de l'esprit américain et de l'esprit belge a provoqué, au début, de part et d'autre, certains étonnements, certaines mises au point nécessaires. Une bonne volonté réciproque a eu tôt fait de roder le mécanisme des relations.



Cependant, à priori, un certain scepticism, une certaine méfiance de la part des techniciens américains vis-à-vis de nos méthodes et de notre savoir-faire, a conduit ces derniers à instaurer un système de vérification, de surveillance extrêmement serré et complet. L'expérience fut d'ailleurs concluante et depuis longtemps déjà l'industrie belge a acquis droit de cité auprès des grandes firmes productrices de pétrole.

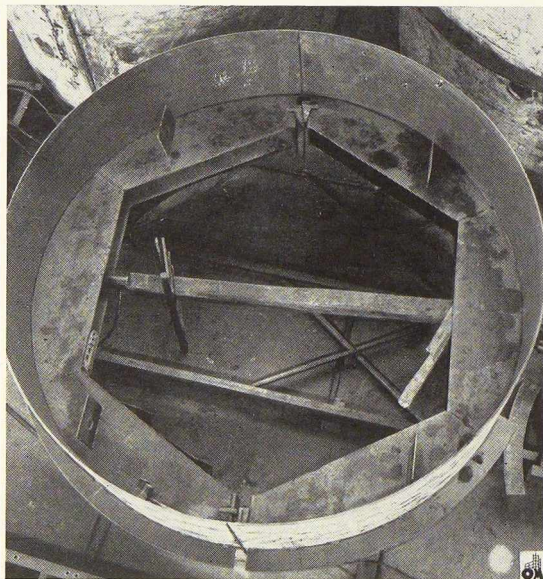
Parallèlement à la mise au point des plans d'exécution au bureau d'étude, le contact s'établit entre le service d'inspection du client et les services de fabrication. Un programme minutieux et complet est établi en vue de procéder à l'agrément des matières de base, des électrodes de soudure, des procédés de soudure et des soudeurs.



**Fig. 9.** Tour de fractionnement en tôles de 13, 15 et 19 mm, tapissée intérieurement par du « lining » en tôles d'acier à 12 % de Cr. Longueur hors tout : 42 482 mm. Poids : 55 t.

L'ensemble de ces agrégations donne lieu à un rapport détaillé qui constituera un document officiel de garantie des moyens et du matériel mis en œuvre. Par la suite, les délégués du service contrôle exerceront une surveillance quasi permanente de la fabrication et effectueront la réception de chaque ensemble au point de vue qualité et conformité dimensionnelle.

Outre l'inspection visuelle et surveillance des moyens mis en œuvre, les inspecteurs contrôlent la prise des radiographies et procèdent à leur examen. Lorsque les appareils doivent être recuits, tous les détails inhérents à cette opération doivent être étudiés minutieusement et approuvés par les inspecteurs, en vue d'éviter toute déformation à chaud et de réaliser une isothermie suffisante de l'ensemble selon un programme thermique imposé.



**Fig. 10.** Constitution d'une grande virole en deux pièces. Diamètre : 4 925 mm.

Lorsque les plans d'exécution ont reçu l'approbation des services techniques de la raffinerie et que les diverses agrégations ont été menées à bonne fin, la mise en fabrication peut être déclenchée.

Outre l'étude détaillée de la fabrication, on doit établir un planning en accord avec les délais imposés pour l'expédition. Ces délais sont toujours rigoureux puisqu'ils découlent eux-mêmes d'un

vaste programme d'édification des installations de la nouvelle raffinerie. Cela signifie que, quels que soient les retards subis dans l'approvisionnement des matières premières ou dans la fourniture des pièces commandées à l'extérieur, la date d'expédition doit être respectée, sous peine de compromettre les opérations d'ensemble sur chantier.

Cela implique une organisation parfaite de tous les services d'étude, d'approvisionnement, de fabrication en vue de réaliser chaque opération à la date prévue au planning et dans les conditions prédéterminées.

Le problème de la main-d'œuvre qualifiée est particulièrement important. Nous faisons surtout allusion aux soudeurs dont le nombre nécessaire varie depuis le début de la fabrication jusqu'à la fin. A une certaine époque, il faut disposer d'un contingent maximum de soudeurs dûment agréés.

A cette époque également, on est amené à disposer d'un nombre suffisant d'installations de radiographie, de façon à ne pas retarder le rythme de la fabrication.

Quels sont donc ces problèmes inusités posés par la construction des grands appareils de raffinerie ?

Comme nous l'avons déjà fait remarquer au début de ces notes, les difficultés de réalisation viennent des grandes dimensions et de la haute qualité imposée. Considérons, à titre d'exemple, les opérations, toutes simples apparemment, de cintrage des viroles et de leur accostage les unes avec les autres, ainsi que la constitution d'un fond hémisphérique.

### 1<sup>o</sup> Constitution d'une grande virole (fig. 10)

La virole est posée debout sur un chantier de poutrelles.

Elle est constituée de 2 demi-viroles.

Pour réaliser une virole parfaitement cylindrique, on emploie des secteurs intérieurs dont la courbure extérieure correspond au rayon théorique. Des coins sont enfoncés aux 2 joints diamétralement opposés jusqu'à obtention du cercle nominal. La virole ainsi recalibrée colle parfaitement sur les secteurs intérieurs. Afin d'éviter toute déformation ultérieure, on procède au montage d'un cercle renfort extérieur à mi-hauteur de la virole. Ce cercle est constitué de tronçons réunis les uns aux autres par des plats couvre-joints (fig. 10).

Au droit des joints longitudinaux, on laisse une ouverture pour permettre le soudage continu des joints.



**Fig. 11.** Assemblage des grandes viroles entre elles. Diamètre : 4 925 mm.

A ce moment, on peut enlever les secteurs intérieurs et procéder au soudage des joints longitudinaux.

### 2° Assemblage des viroles entre elles (fig. 11)

Les viroles sont placées sur des supports à galets, lesquels reposent librement sur un chantier de poutrelles plan et bien de niveau.

L'accostage des joints circulaires s'effectue à l'aide de clames et de broches coniques qui permettent le réglage de l'écartement des tôles et leur mise en coïncidence. Dès que cet accostage est réalisé, on peut déposer des petits tronçons de soudure définitifs, puis procéder à l'enlèvement des clames.

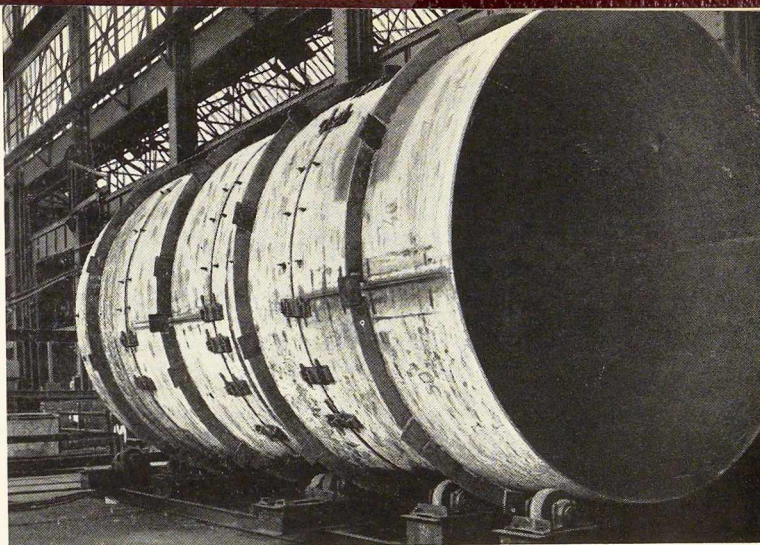
### 3° Montage d'un fond hémisphérique (fig. 12)

Le fond est constitué de plusieurs secteurs et d'une calotte sphérique. Il est donc nécessaire de procéder à l'assemblage de ces diverses pièces à l'aide d'un mannequin.

Ce mannequin est constitué d'une plaque centrale où viennent converger une série de bras en cornières, d'une couronne extérieure et de goussets découpés à la forme intérieure du fond hémisphérique.

Les différents secteurs sont appliqués sur le mannequin, d'une part sur la couronne de base munie de butées, d'autre part, sur les goussets supérieurs. Ces butées sont réparties le long d'un cercle tracé sur la couronne de base, en tenant compte du retrait des divers joints de soudure. La base des secteurs doit coïncider exactement avec cette trace circulaire; pour ce faire, on emploie des coins en acier entre les butées et la tôle.

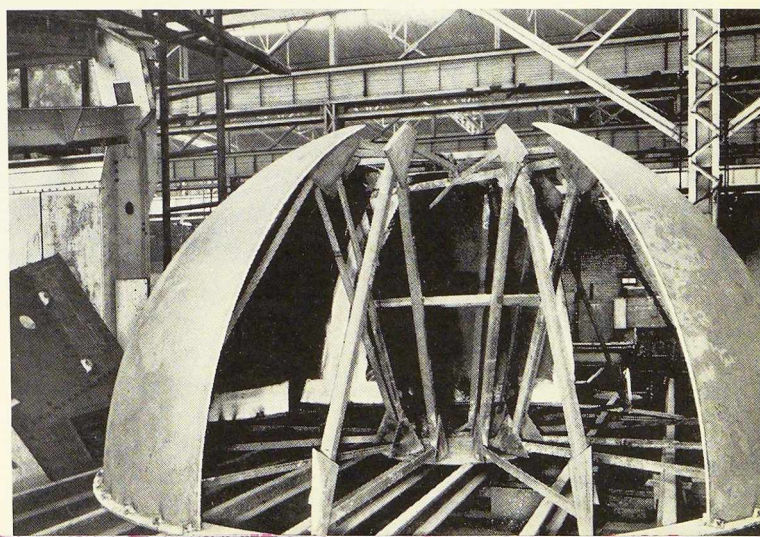
On peut constater, par ces brèves descriptions, que l'obtention de la qualité imposée est assurée par la mise en œuvre de dispositifs d'outillage et de gabarits convenables. Une autre difficulté particulière suscitée par le poids et la grandeur des dimensions des réservoirs par rapport à l'épaisseur des tôles de virole est d'empêcher le défoncement localisé des parois au droit des galets de rotation. En effet, la fréquence des manœuvres de rotation imposée par les opérations de soudage non seulement des joints circulaires mais aussi des nombreuses tubulures et des accessoires mul-



tiples intérieurs et extérieurs entraîne une empreinte de plus en plus marquée dans la tôle. Ce phénomène acquiert de la gravité lors du remplissage du réservoir en vue de l'épreuve hydraulique. Il est donc nécessaire de prévoir des galets de rotation en nombre suffisant répartis judicieusement le long du réservoir et, en certains cas critiques, d'une largeur de 3 à 400 mm, ou même de larges plats épais cintrés interposés entre les galets et les viroles. Nous citerons également le cas de la pénétration dans le corps cylindrique des réservoirs d'énormes tubulures dont la grande section impose presque toujours l'emploi de renforts de compensation. La grande quantité de métal de soudure nécessaire pour réaliser l'assemblage donne lieu à des tensions de retrait telles qu'il est très difficile d'éviter une déformation locale. Celle-ci consiste en un défoncement du corps cylindrique, autrement dit à une ovalisation localisée incompatible avec les tolérances imposées.

Lorsqu'un assez grand nombre de telles tubulures se situent le long d'une même génératrice, il faut craindre l'apparition d'une flèche de l'ensemble du réservoir.

Les moyens employés pour prévenir de telles déformations doivent être énergiques. Les meil-



**Fig. 12.** Constitution d'un grand fond hémisphérique. Diamètre : 4 925 mm.

leurs consistent en vérins hydrauliques de 50 tonnes appliqués le long du diamètre passant par le centre des tubulures ou bien encore en secteurs intérieurs à forme pressés énergiquement de part et d'autre de chaque tubulure.

On ne peut passer sous silence les problèmes posés par l'emploi des aciers spéciaux soit pour certaines parties des réservoirs, soit en tant que recouvrement de protection intérieure contre la corrosion.

Dans le réservoir de la figure 8, deux fonds supplémentaires intérieurs sont en acier EM. 7 à 5 % Cr et 0,5 % Mo. Dans le réservoir de la figure 9, 15 m du corps cylindrique sont tapissés intérieurement d'un lining de protection en bandes circulaires de 100 mm de largeur soudées les unes aux autres de façon à former un doublage continu.

Ces bandes qui ont 3 mm d'épaisseur sont en acier à 12 % de Cr. La soudure de ces aciers spéciaux est réalisée par des soudeurs d'élite, selon un programme soigneusement étudié et par l'emploi d'électrodes austénitiques.

Signalons aussi l'influence parfois considérable des retraits de soudure sur les dimensions du réservoir et la localisation correcte des divers accessoires. On ne peut pallier ces effets du retrait que par un contrôle permanent de toutes

les phases du montage et par l'application de mesures compensatrices.

Le dernier problème à résoudre dont nous voulons dire quelques mots a trait à la manutention et au transport des réservoirs vers la raffinerie.

Si l'on veut bien se référer aux figures 8 et 9 on se rendra compte que de telles dimensions et de tels poids ne sont pas manipulables sans difficultés. Le trajet que doivent suivre ces énormes appareils depuis l'atelier de fabrication jusqu'au port Cockerill où a lieu l'embarquement doit être minutieusement étudié au point de vue nivellement, section de passage et courbes de braquage.

Les engins de transport le long de ce trajet doivent être particulièrement efficaces. Dans les deux cas considérés, le transport s'est effectué sur une remorque spéciale pourvue d'une plate-forme tournante et de supports à forme, tirée dans un sens ou dans l'autre par un puissant tracteur.

L'embarquement au port s'effectue dans un bateau de 49 m de long au moyen d'une grue Cockerill de 125 tonnes.

Il est réconfortant de constater que l'industrie belge a pu en un temps remarquablement court comprendre, étudier, réaliser avec succès de tels engins et selon des normes sévères imposées par l'expérience étrangère.

F. G.

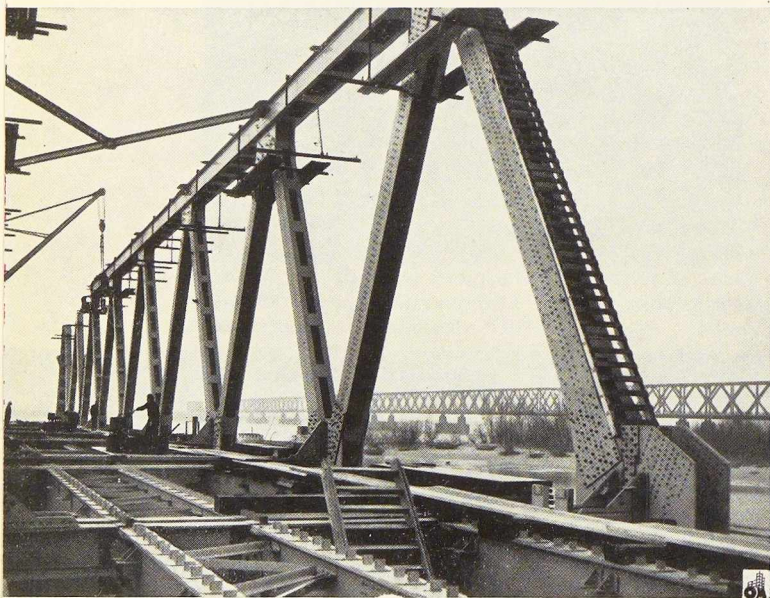
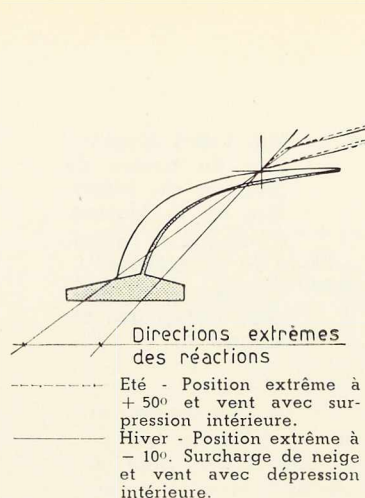


Photo Anpfoto.

### Pont sur le Hollandse Diep à Moerdijk

Deux firmes néerlandaises sont actuellement occupées à la mise en place d'un deuxième pont de chemin de fer à Moerdijk. Ce pont doit être posé sur les piles du pont déjà existant, car à la construction de celui-ci en 1871, il fut tenu compte d'une double voie éventuelle. Du côté nord du pont-route sont construites trois piles auxiliaires sur lesquelles viendra s'appuyer le nouveau pont à construire. Les tronçons de pont seront assemblés sur ces piles. Des dix travées que le pont comprendra, deux travées sont actuellement montées. A cet effet 2 200 t d'acier ont dû être amenées par chaland.

On espère terminer le pont pendant l'été 1955; le réseau hollandais aura alors un pont-rail à double voie sur le Hollandse Diep.



## La couverture du bassin de giration du Ministère de la Marine, Boulevard Victor, à Paris

La couverture du bassin de giration pour l'étude des formes de carène, situé boulevard Victor à Paris, présentait certaines difficultés dues à ce que rien n'avait été prévu à l'origine pour la supporter.

Le bâtiment existant comprenait un bassin d'essai d'un diamètre de 64,50 m et d'une profondeur de 5,50 m entouré d'un quart de tore en béton armé, d'un diamètre extérieur de 77 m, constitué par 41 consoles en béton armé, supportant un voile mince avec quelques traverses circulaires, formant couverture, en forme d'auvent, du trottoir concentrique au bassin proprement dit.

Pour ne pas entraîner des travaux de reprise en sous-œuvre d'un prix excessif, il fallait établir une couverture aussi légère que possible, soutenue par une charpente métallique d'un poids minimum et dont les résultantes de charge pas-

sent aussi près que possible du centre des embases des consoles existantes.

Cette condition devait être réalisée à peu près pour toutes les températures que l'ouvrage devait supporter, soit dans la région parisienne : — 10° à + 50°.

La solution a été réalisée par l'emploi d'une couverture en zinc supportée par une coupole conique de 61 m de portée entre rotules, comportant 41 poutres en treillis, correspondant à chacune des 41 consoles en béton armé existantes et assemblées en leur centre sur une forte ceinture chaudronnée de 5,50 m de diamètre, formant lanterneau d'éclairage et de ventilation et support de plate-forme photographique.

En fonction des effets extérieurs (température, neige, vent) l'inclinaison des arbalétriers varie : d'où un changement dans la direction de la résultante des poussées.

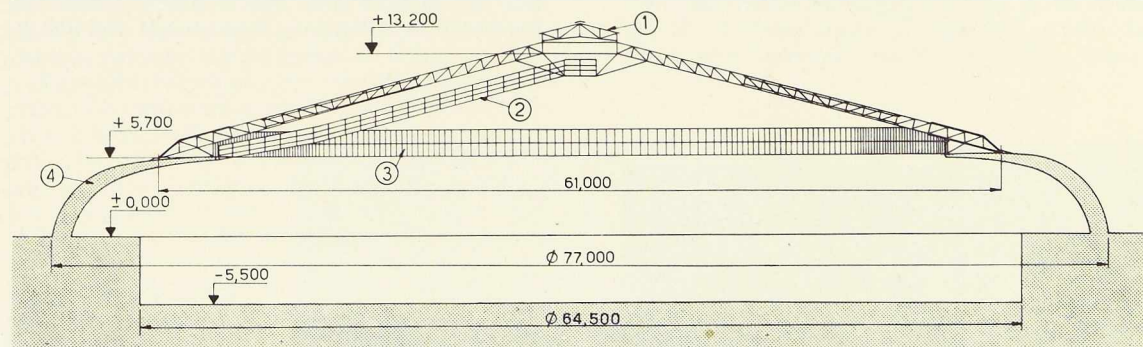
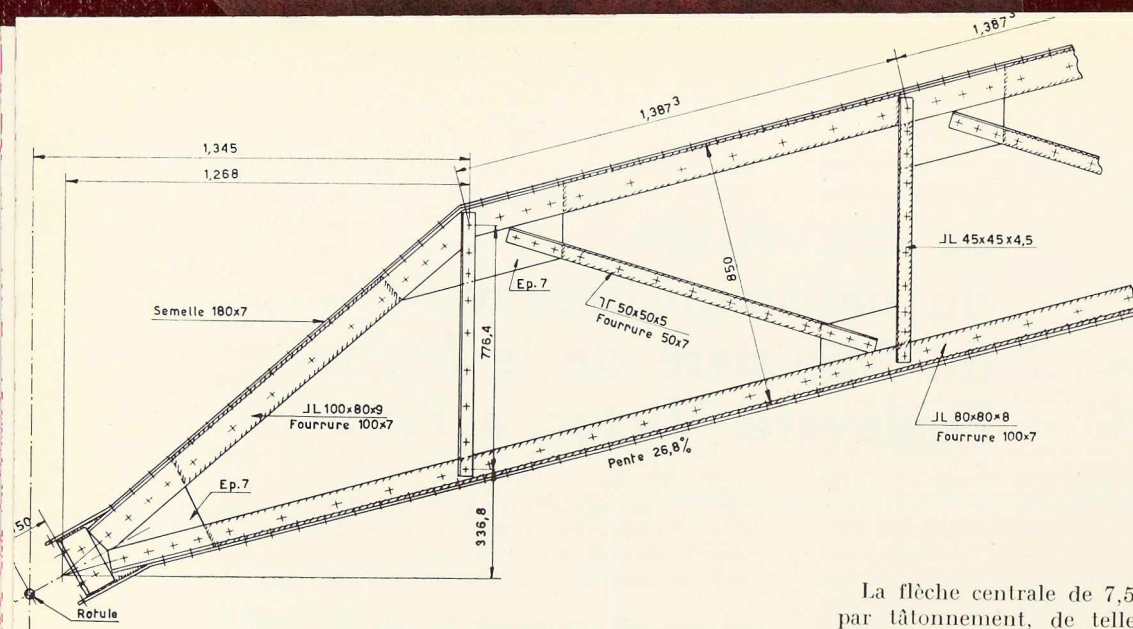
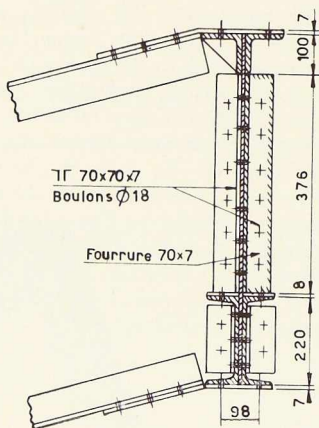
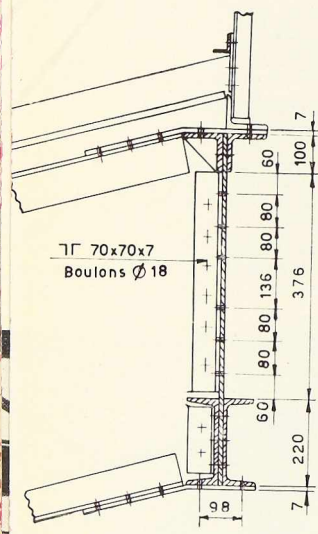


Fig. 2. Elévation de la couverture du bassin de giration.

1. Lanterneau central. — 2. Passerelle d'accès à la plate-forme de photographie. — 3. Vitrage latéral. — 4. Béton armé en forme de quart de tore.



**Fig. 3 et 4.** Couverture du bassin de giration du Ministère de la Marine. Ci-contre, détail d'un arbalétrier. Ci-dessous (à gauche), détail des attaches.



La flèche centrale de 7,50 m a été déterminée par tâtonnement, de telle façon que dans les deux cas extrêmes considérés les résultantes soient symétriques par rapport au centre de gravité de la console en béton armé.

Deux hypothèses ont été envisagées, en fonction des températures extérieures :

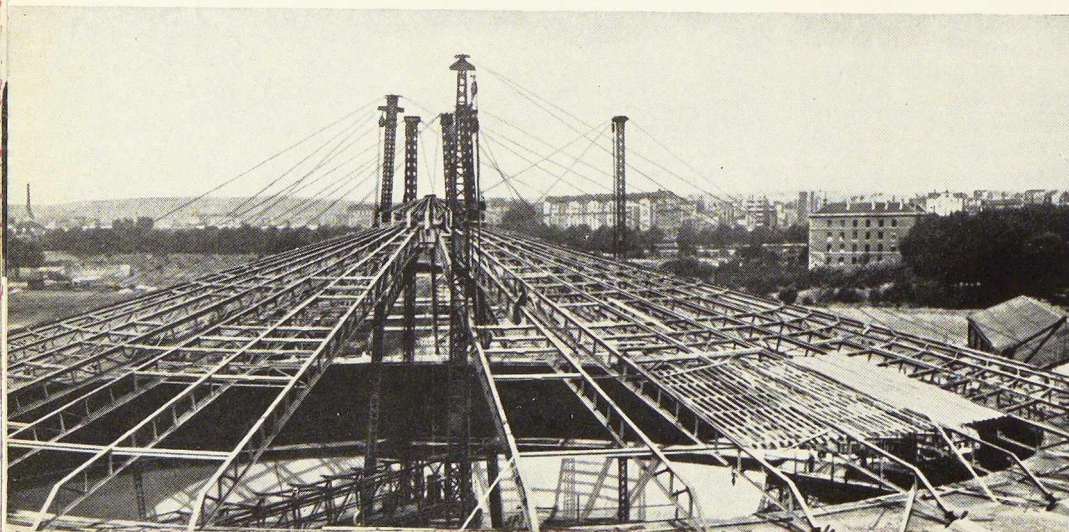
**1° Hiver par - 10°**

La coupole se trouve surbaissée à son maximum et couverte de 50 cm de neige avec vent maximum.

**2° Été par + 50°**

La coupole est dilatée au maximum et soumise seulement à l'action du vent.

Une autre difficulté non moins importante consistait à construire la coupole de façon telle que la libre dilatation du béton de soubassement put être assurée ainsi que la libre dilatation de l'ossature métallique sans nuire à la rigidité des arcs.



**Fig. 5.** Vue supérieure de la coupole du bassin de giration du Ministère de la Marine, boulevard Victor, à Paris.

**Fig. 6.** Pièce d'appui avec joint de dilatation.

Deux dispositifs ont permis de réaliser ces conditions. Tout d'abord, chacun des arcs prend appui sur une rotule sphérique de telle façon que l'on soit bien certain qu'aucun effort secondaire ne vienne les gauchir à sa naissance.

A chacun des joints de dilatation du béton armé du quart de tore, l'appui se fait par une rotule reposant sur un système dont une partie fixe est assujettie sur une des lèvres de la coupure de joint, tandis que l'autre joue librement sur un système de rouleaux assurant la libre dilatation du béton.

Pour maintenir les poutres dans un plan rigoureusement vertical, quelle que soit la température, la coupole a été décomposée en 41 secteurs triangulaires. Chacun des secteurs comprend un arbalétrier principal, un faux arbalétrier situé le long de l'arbalétrier voisin et un système de contreventement horizontal et vertical triangulé, assemblé rigidement sur son arc propre, mais jouissant d'une certaine liberté à l'égard de l'arc voisin sur lequel il s'assemble par boutonnères.

De cette façon, chaque secteur se dilate indépendamment des voisins et les gauchissements des arbalétriers sont absolument évités.

Ce système empêche également la mise en spirale de toute la coupole dans le cas d'un cyclone à forme tourbillonnaire dont le centre se trouverait par hasard dans l'axe de la coupole.

#### **Conduite du calcul**

Malgré la rigidité de la ceinture centrale, il a été admis que chacun des arbalétriers se comportait comme une poutre droite, reposant sur la rotule extérieure et sur une rotule fictive située au centre de la ceinture. Ceci a permis de déterminer très exactement les efforts dans les diverses barres, par une simple épure de Crémone.

La ceinture centrale a été calculée comme subissant une compression provenant des poussées des divers arcs, mais pour tenir compte de l'incertitude du calcul, en ce qui concerne les cas de surcharges dissymétriques, la contrainte maximum ne pouvait pas dépasser  $5 \text{ kg/mm}^2$ .

Pour le calcul des arbalétriers, le cas le plus défavorable a été celui où l'arc étant surbaissé à son maximum, supporte une surcharge de neige de 50 kg. En outre, il a été admis à ce moment,

**Fig. 7.** Vue de la coupole, dont le diamètre atteint 60 m.

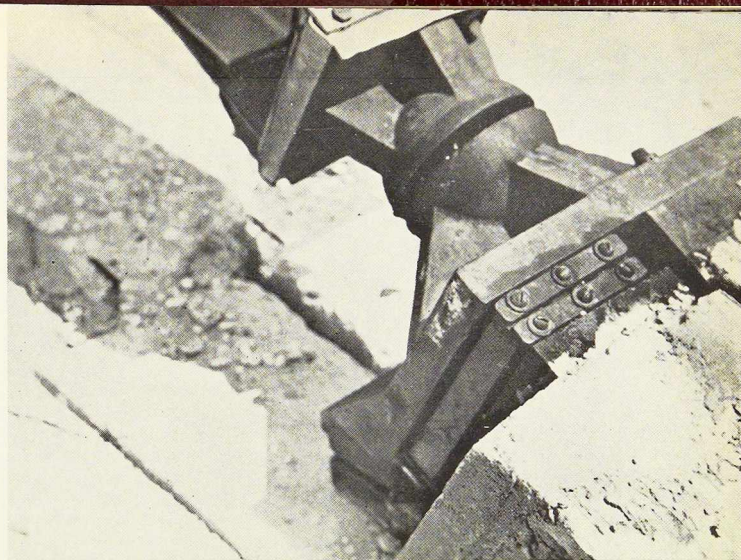


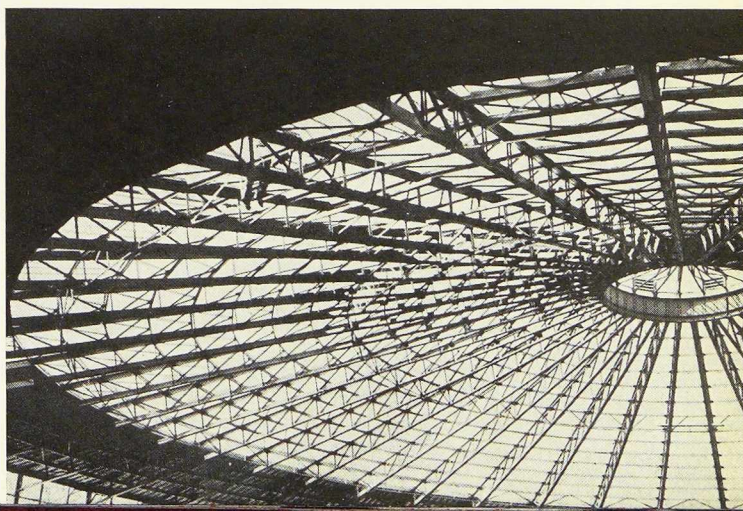
Photo M. Bourgeois.

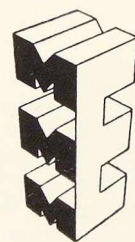
une succion intérieure maxima, sans tenir compte de la succion exercée par le vent sur l'intérieur de la couverture, succion qui diminue le poids apparent de celle-ci et soulage les arbalétriers.

Depuis sa construction, l'ouvrage a été soumis à de fortes tempêtes et à de grosses différences de température, toutefois le fait qu'aucune des vitres qu'il comporte, tant à son pourtour que sur la coupole elle-même, n'a été fêlée, semble indiquer que les dispositifs réalisés ont joué leur rôle et que l'ouvrage est d'une stabilité absolue jointe à une rigidité excellente.

Le béton armé du soubassement examiné à la fin de l'été dernier n'a fait apparaître aucune fissure, ce qui démontre que les appareils de dilatation ont rempli la fonction qui leur avait été assignée.

Cette charpente fabriquée et montée par les Ateliers de Constructions de Paimbœuf en leur usine de Colombelles, près de Caen, a été étudiée par M. Cordeau, Ingénieur des Arts et Manufactures, sous le contrôle du Ministère de la Marine.





## 6<sup>e</sup> Foire Internationale

**Fig. 1.** Usines à Tubes de la Meuse (U. T. M.).  
Thème : matériel tubulaire pour le traitement  
et l'utilisation de l'eau.

1

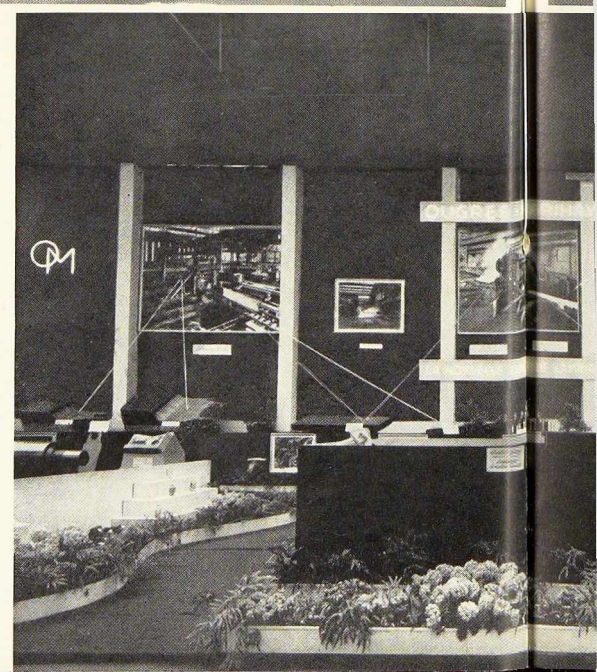
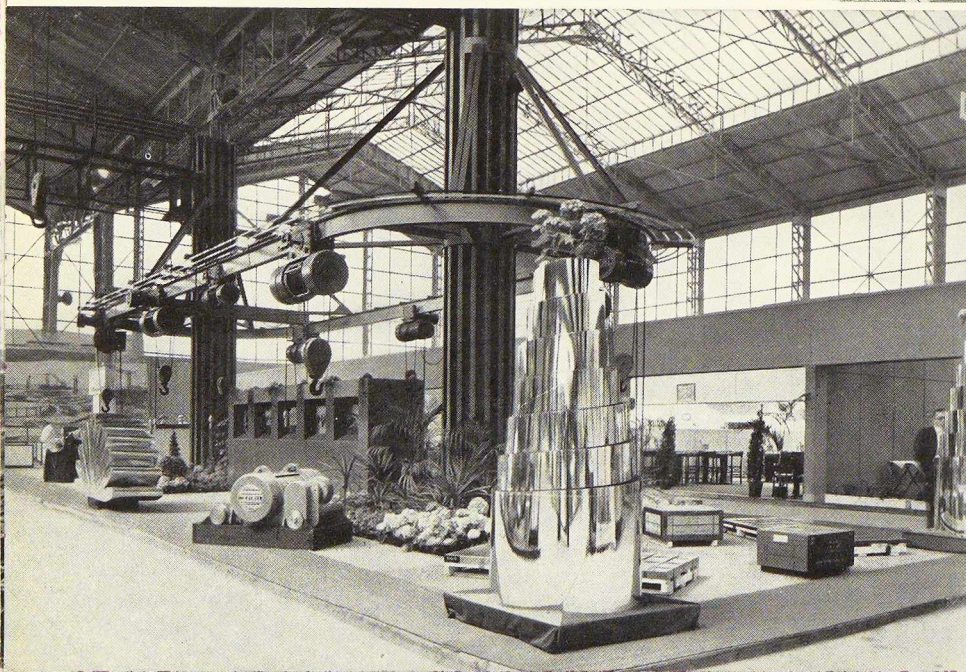
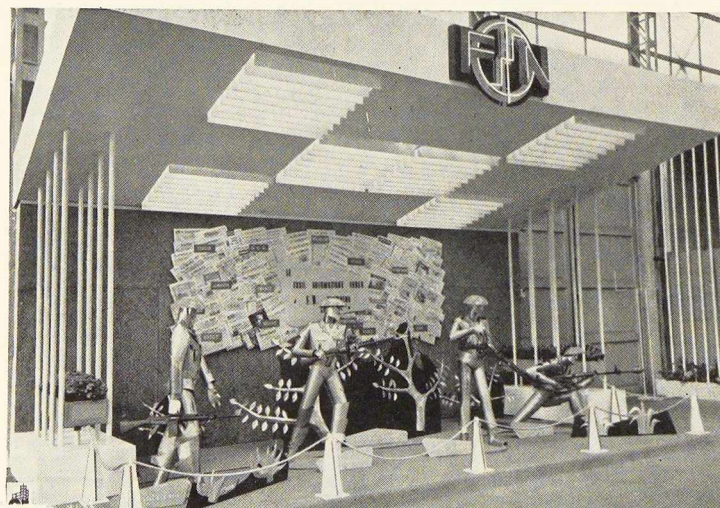
4

5

**Fig. 3.** Le stand original de la F. N. montre des soldats armés du nouveau fusil automatique léger.

**Fig. 4.** Stand de la société « L'Air Liquide ». Matériel de soudage, d'oxycoupage et de métallisation.

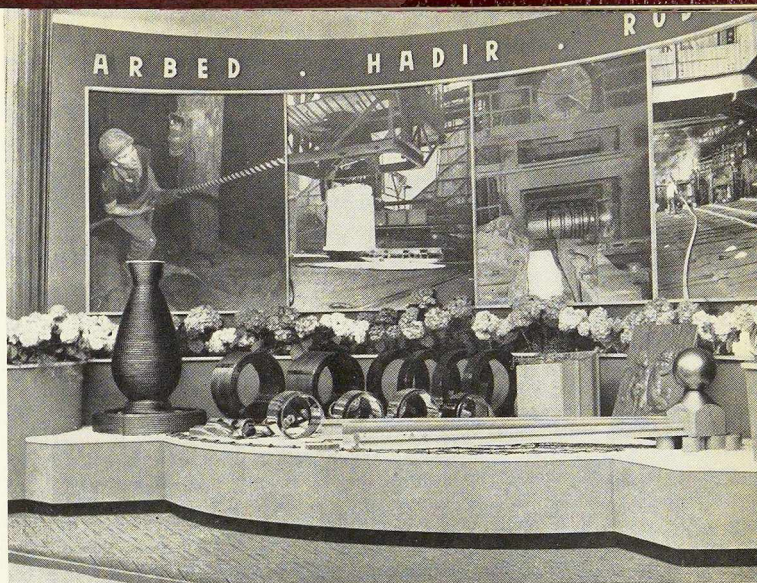
**Fig. 5.** S. A. John Cockerill. Stand présentant quelques produits de cette société : palans électriques, locomotives industrielles Diesel, boggies en acier coulé, etc.



# ationale de Liège

2

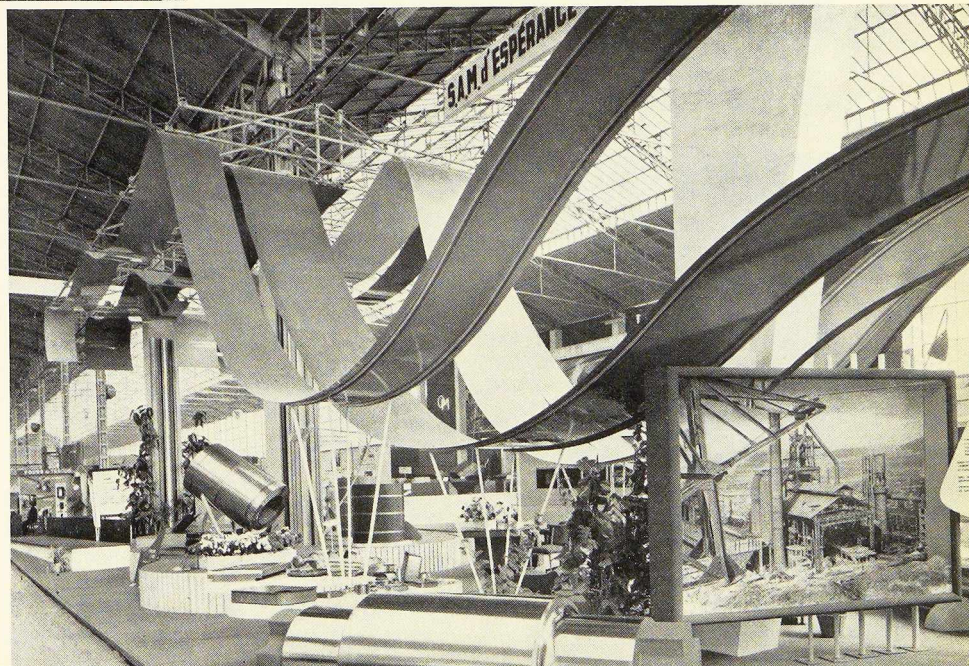
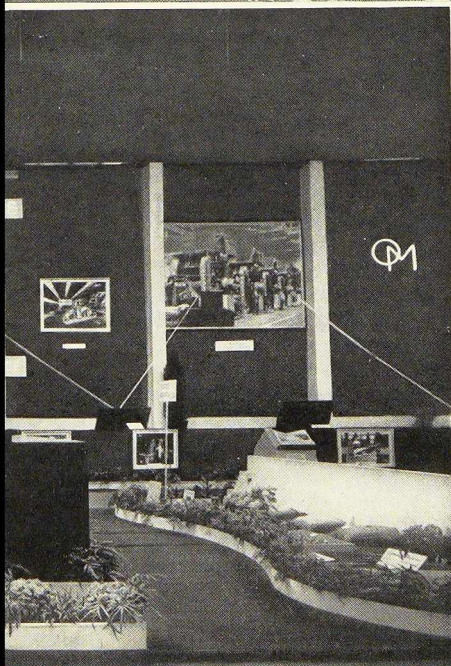
**Fig. 2.** Stand collectif de la sidérurgie luxembourgeoise : Arbed, Hadir, Rodange. Exposition de la vaste gamme des produits de ces usines.



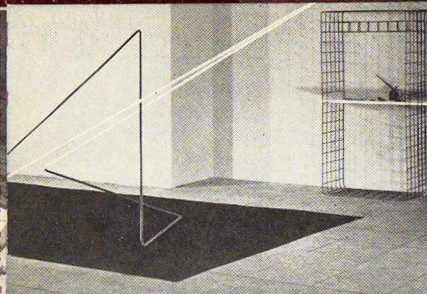
**Fig. 6.** Stand de la S. A. d'Ougrée-Marihaye montrant l'aboutissement de ses efforts et de ses travaux dans le domaine du laminage.

**Fig. 7.** S. A. M. d'Espérance-Longdoz. Le stand, présentant les divers produits de la société, était couvert par quatre bandes de tôles juxtaposées formant un toit métallique.

Les photographies sont de **D. Daniel** (fig. 6) et **Nemerlin** (fig. 7).



# Industrial Design



« Vitesse dans l'espace »  
par Kricke



H. Van de Velde



R. J. Neutra



P. Mahlberg

Parlant de H. Van de Velde, précurseur des « formes nouvelles » dans l'industrie, l'architecte P. Mahlberg, au dernier Congrès des Centres d'Information de l'Acier, s'exprima comme suit :

« ... il ne voulait pas admettre comme satisfaisant l'accomplissement purement technique des propriétés de la matière et de l'adaptation fonctionnelle. Il recherchait simultanément dans les objets, si simples fussent-ils, la beauté. »

Cette phrase définit fort bien ce que, à défaut d'un terme français adéquat, on appelle aujourd'hui « Industrial Design ». L'idée née chez nous a dû, comme bien d'autres, passer par l'Amérique pour mûrir. Elle nous est revenue, après des décades, pour donner naissance un peu partout à des associations, des revues, des congrès qui prouvent pour le moins sa fécondité.

Le grand architecte Richard Neutra vient de publier un ouvrage que le C. B. L. I. A. possède en sa bibliothèque Survival through Design (Le design : moyen de survivre)<sup>(1)</sup>. Tout comme P. Mahlberg, Neutra est convaincu de ce que dans un monde bouleversé et inquiet, l'humanité aspire au calme, au confort, à la beauté et que le « design » est appelé à contribuer pour une large part au bonheur qu'elle souhaite.

Un extrait de l'ouvrage de Neutra figure dans le n° 1 de la nouvelle et magnifique revue Industrial Design publiée à New-York, depuis février dernier. Cette publication s'adresse aux spécialistes de la « création industrielle ». Dans ses deux premiers numéros nous remarquons notamment un article de Wheelock Freeman, sur la genèse des carrosseries Studebaker (designer : R. Loewy), une étude sur les armures du chevalier moyenâgeux, d'autres sur les appareils photographiques, le mobilier scolaire, les tracteurs agricoles, etc.

Si en Belgique l'idée d'industrial design a trouvé peu d'écho jusqu'ici, il a suffi cependant que soit annoncée l'Exposition La Beauté de l'Acier et que paraisse dans le n° 4-1954 de notre Revue l'article R. L. Delevoey « Industrial Design et Esthétique industrielle » pour que nous parvenions de tous côtés des témoignages d'intérêt et que fut mise sur pied, le 3 mai à Liège, une Journée internationale de l'Industrial Design. Citons parmi les orateurs de ce colloquium :

M. Stijnen, directeur de l'École nationale supérieure d'Architecture et des Arts décoratifs, qui prôna un enseignement particulier visant à former des créateurs industriels;

M. Sanders, directeur de l'Institut néerlandais d'Industrial Design qui parla de l'expérience hollandaise : après un échec dû à des conceptions trop théoriques, l'Institut néerlandais rend aujourd'hui des services reconnus.

Le Dr. Kalf, General Art Director de Philips N. V., Eindhoven, qui exposa sa carrière personnelle et la manière de travailler d'un staff de 45 designers qu'il dirige. Son équipe comporte des chefs, généralement « self-made men », des artistes, des ingénieurs, des économistes, des ouvriers, d'une culture différente mais tous spécialistes dans leur domaine propre et ayant passé par une formation pratique prolongée.

Le Dr. Mahlberg, à l'encontre de certaines remarques faites lors des discussions libres, souligna que les produits belges ne sont pas, à priori, de mauvais goût, que dans l'exposition préparée par lui figurent de nombreux objets belges remarquables et que la Belgique possède donc des designers qualifiés.

On peut tirer de ces échanges de vue quelques leçons : pour l'industriel, la nécessité de se soucier plus que par le passé, de l'industrial design, pour les autorités responsables de l'enseignement, la nécessité d'incorporer dans les programmes des académies, mais aussi des écoles moyennes et des écoles industrielles, des cours ad hoc; pour les groupements professionnels, de faire, dans leurs revues, dans les expositions et par tous autres moyens, une propagande visant à former le goût du public.

J.-J. T.

(1) Nous rappelons que les ouvrages et revues de notre bibliothèque peuvent être empruntés par nos abonnés.



# Exposition " La Beauté de l'Acier " à Liège

J. Vienot,  
Paris

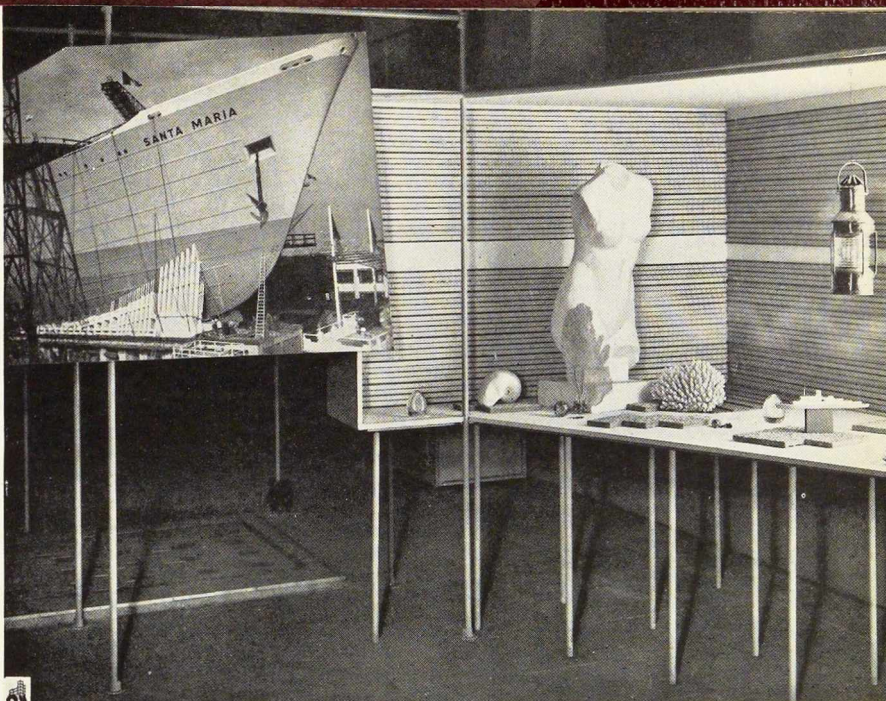


Fig. 1. Vue de la proue du paquebot Santa Maria, construit par le chantier naval John Cockerill, dont la belle ligne a suggéré à l'architecte une comparaison avec la statue d'Aphrodite.

Que le machinisme envahisse notre vie chaque jour davantage est un truisme; que l'acier en soit la base essentielle en est un autre. Mais que ce machinisme et cet acier puissent, asservis par des mains expertes, n'être pas hostiles et, bien au contraire, servir la cause de l'esthétique de notre temps, est une vérité qui ne s'est imposée que depuis peu. C'est à la démontrer que les Organisateurs de l'Exposition : *Beauté de l'Acier* se sont employés, avec un plein succès, dans le cadre de la 6<sup>e</sup> Foire Internationale de Liège.

L'architecte Dr P. Mahlberg, dont nous avons remarqué le talent de metteur en scène lors de l'exposition de Darmstadt en 1952, chargé de la présentation d'une sélection importante de modèles exécutés en acier, sut traiter ce thème (rigide en apparence) avec autant de distinction que de fantaisie.

Malgré le désir du C. B. L. I. A. d'internationaliser son exposition, se furent plus spécialement des produits venant de Belgique et d'Allemagne qu'il nous fut donné de considérer, la France s'étant abstenue de tout envoi, à l'exception de Brandt qui présentait sa nouvelle machine à coudre, gris perle, créée par le bureau Technes.

C'est avec un rare bonheur que le Dr Mahlberg sut faire voisiner des produits n'ayant entre eux souvent qu'un seul point commun : celui d'être faits de la même matière : l'acier, et destinés aux

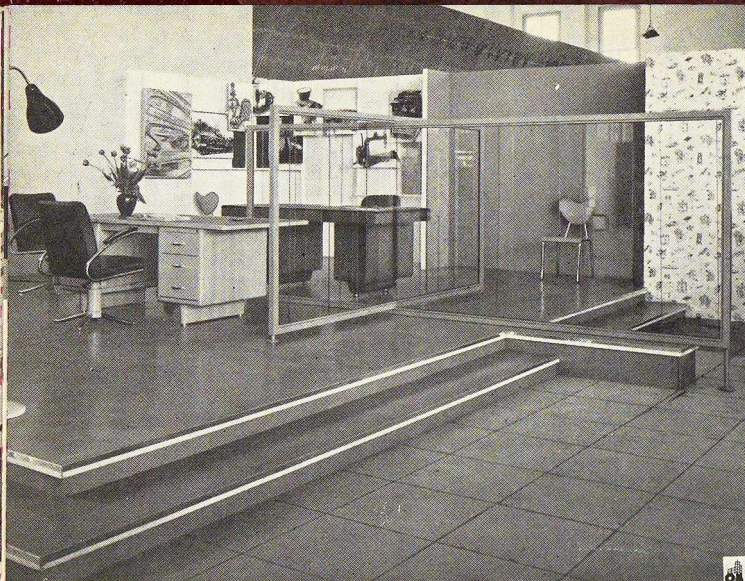
usages les plus diverses, qu'il s'agisse du fusil de chasse Francotte, ou du broc à vin en acier inoxydable, fabrication pacifique des usines Krupp, ou de la carrosserie en acier embouti, fort spectaculaire, d'Alfa-Roméo.

Mais n'anticipons pas et saluons d'abord à l'entrée la grille monumentale réalisée d'après l'idée originale du Dr P. Mahlberg par M. Paquay, *Designer* des Usines à Tubes de la Meuse (1). Des milliers de sections tubulaires de différents diamètres ont été assemblés par points de soudure, rappelant les profondeurs sous-marines. Vient ensuite le très attachant symbole de la vitesse de Kricke, exprimé avec les moyens les plus sobres que l'on puisse concevoir : un simple tube d'acier peint partiellement en blanc et partiellement en brun et qui, traité avec un don d'interprétation remarquable, contient un potentiel d'élan et de pénétration dans l'espace qui mérite nos hommages.

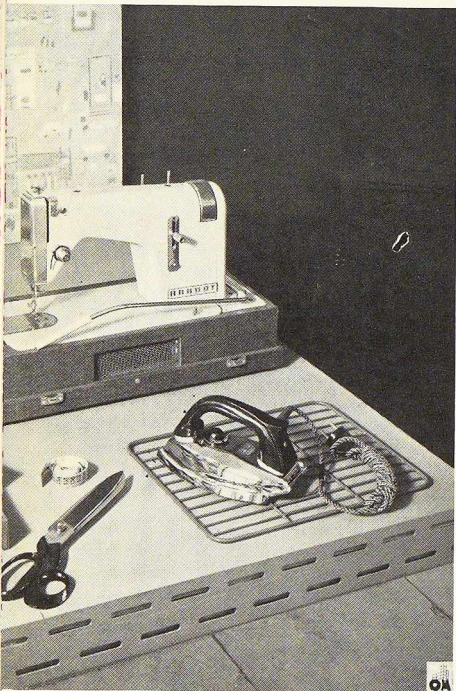
Ce symbole est le seul qu'il nous soit donné de voir et d'admirer, et ce sont immédiatement les réalisations objectives et utiles qui sollicitent notre attention.

Si, en effet, une autre construction métallique nous arrête, elle a pour objet de supporter les

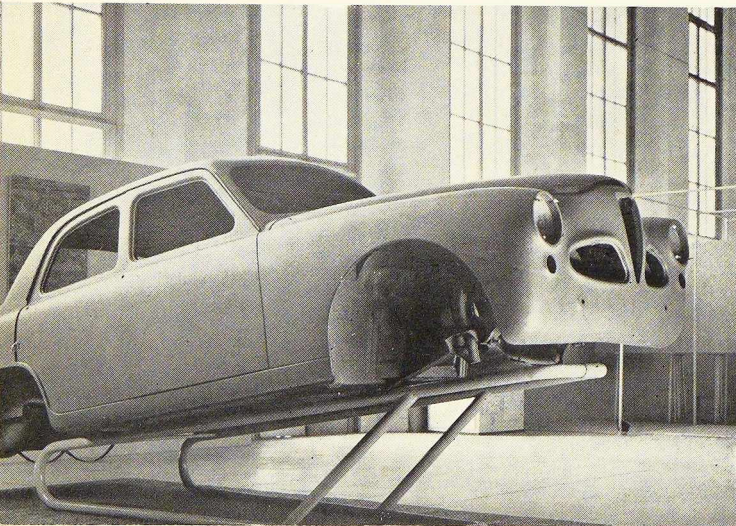
(1) Rappelons que la S. A. des Tubes de la Meuse et M. Paquay sont, en outre, intervenus dans la création et la réalisation de plusieurs ensembles en tubes d'acier.



**Fig. 5.** Le bureau de l'Exposition garni de meubles métalliques Desoer et Mauser. A l'arrière-plan, des photographies de constructions et d'appareils du siècle passé.



← **Fig. 2.** Machine à coudre Brandt, modèle créé par le bureau Technes. A l'avant-plan, un fer à repasser Kalorik.

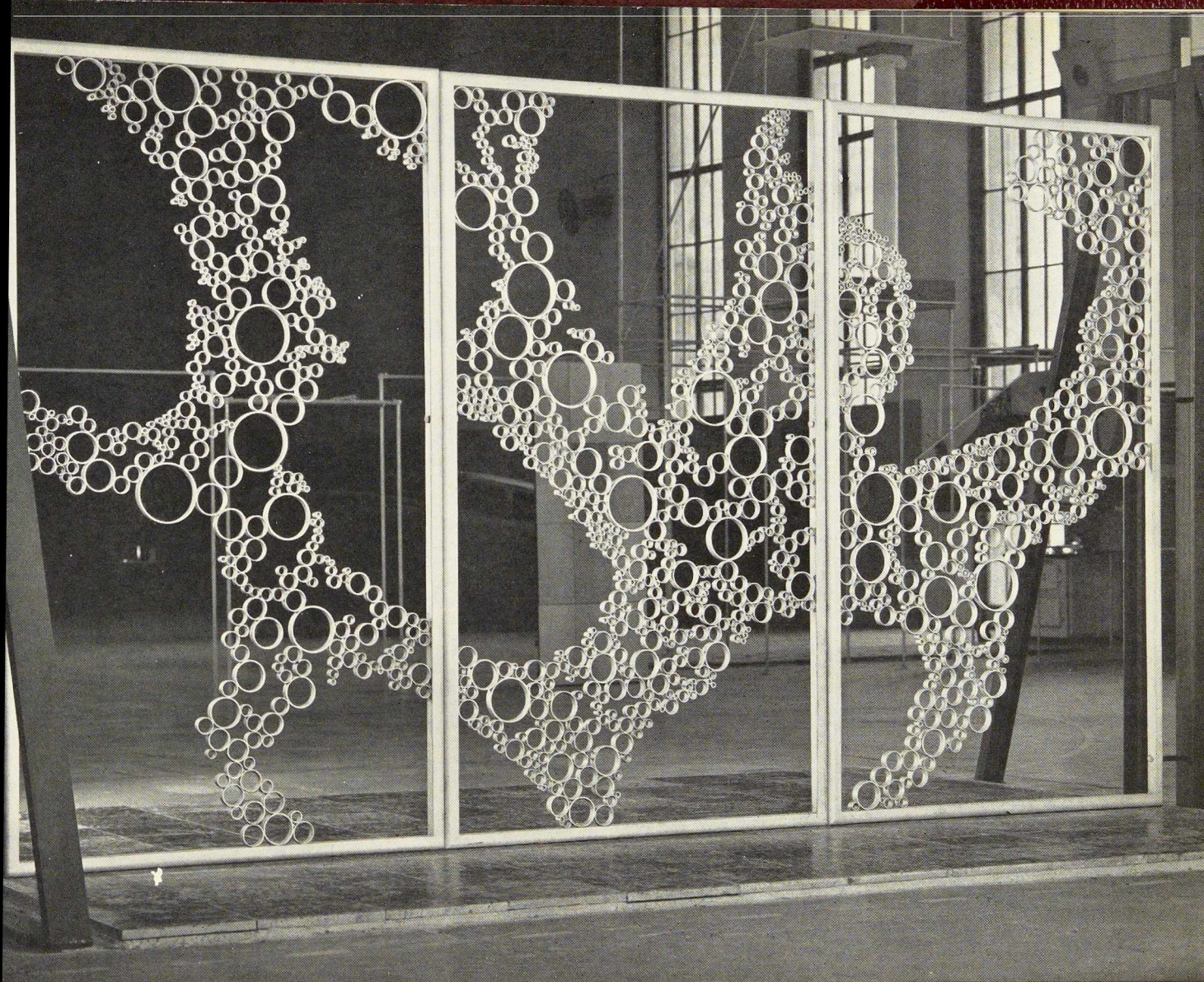


**Fig. 3.** Batterie de casseroles en acier émaillé de couleurs vives, prêtée par les Grands Magasins « A L'Innovation ». (Fabricant : Laminoids Thiméon, Menin.)

**Fig. 4.** Coque de voiture Alfa-Roméo, montée aux Usines de la S. A. Impéria, Nessonvaux.



**Fig. 6.** Grille en éléments tubulaires soudés par points. Les tubes ont été fournis par les Usines à Tubes de la Meuse. La grille, construite par les Ateliers J. Delbrouck, a été métallisée au zinc par la Métallisation Liégeoise.



câbles à haute tension : pylône en tube rempli de béton vibré, système Motorcolombus suisse, dont l'élégante silhouette est parfaitement adaptée à l'emploi.

L'Amérique est représentée par quelques modèles de sièges de Knoll que nous connaissons bien, par du matériel de cuisine excellent, notamment le bloc Crosly, par le mixer Kenwood, qui a fait certainement l'objet d'une étude de formes attentive, mais n'est pas cependant à l'abri de toute critique.

Parmi les réalisations belges qui méritent une considération particulière, citons tout d'abord le navire *Santa Maria*, des constructions navales Cockerill que nous ne pouvons malheureusement

pas admirer en nature. Sans doute la photo pallie-t-elle cette absence, mais elle fait en même temps regretter de ne pouvoir apprécier les constructions monumentales de cette très puissante société dont le matériel roulant ou de levage aurait sans doute mérité d'être à l'honneur.

Passant à une autre échelle de fabrications, nous citerons les très correctes menuiseries métalliques en tôle pliée perforée Mecafer, l'élégant fer à repasser Kalorik, les remarquables écrémeuse et machine à traire de la firme Mélotte, les radiateurs ou plutôt les éléments de radiateur d'un excellent module, exécutés en tôle emboutie soudée par points, de la Sogaz. Nous aurons garde de ne pas oublier un excellent modèle

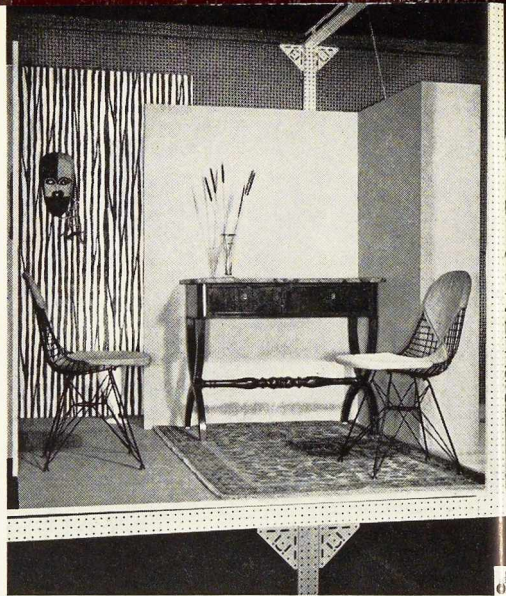
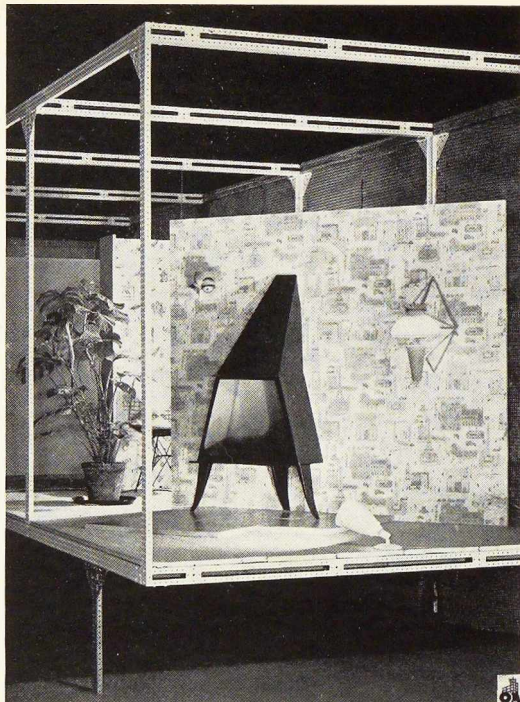
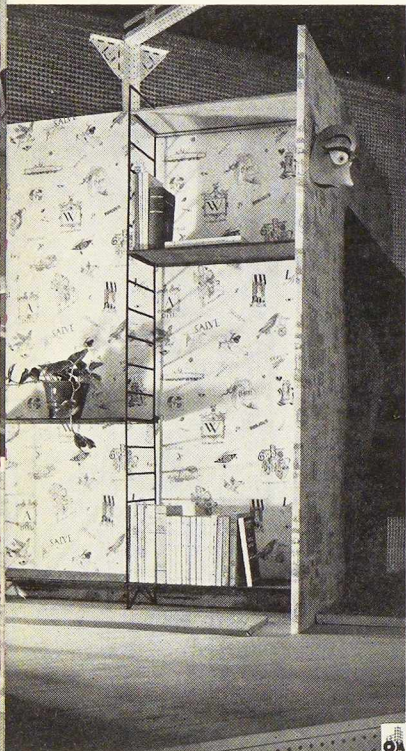


Fig. 7 à 9. Dans des vitrines réalisées en Mécafer, l'architecte a présenté une étagère en fils de fer, un foyer transportable et des chaises métalliques dont les lignes modernes sont en parfaite harmonie avec celles d'un meuble ancien.

d'armoire en tôle, étroite et haute, pourvue de quatre portes montées sur charnières à ressort d'un maniement parfait, de la Société Apro. Quant à l'appareil de photo Robot, il nous paraît plus intéressant du point de vue technique qu'esthétique.

Les objets en tôle émaillée, extérieur noir, intérieur bleu foncé : ingénieuse cocotte à couvercle réversible, moules, poêles, etc. de la firme Nahrath, inaugurent une harmonie nouvelle fort heureuse, en réaction contre la démagogie des couleurs claires et voisinent avec la machine à tailler le jambon de Bizerba et les couverts, parmi lesquels la pelle à tarte, simple lame d'une forme idéale, de Hessische Metallwerke, demeu-

raera une de nos impressions fortes de cette exposition, non loin de la machine à coudre Messerschmitt qui a cru bien faire en adoptant le vert devenu international (on ne sait trop pourquoi) depuis que Elna a donné l'exemple.

Le cadre de ce compte rendu ne permet pas de commenter longuement les mobiliers de bureau Mauser et Desoer; le feu de bateau belge, de la Sogaz; la bascule de Berkel, fort intéressants, etc., mais je voudrais mentionner cependant le panneau de grillage auquel M. Mahlberg a fixé une douzaine de truelles de formes ou de dimensions toutes différentes, bien qu'ayant toutes exactement le même objet (triangulaires, trapézoïdales, ovales, etc.) différentes cependant parce qu'elles sont toutes destinées à des pays différents... la main de l'homme a ses habitudes (ou ses manies) selon les races et les climats.

Evoquons encore les rétrospectives photographiques soit de la machine à écrire ou à coudre, soit de la charpente métallique (Dufayel) toujours attrayantes, pour citer en dernier lieu, le stand dans lequel P. Mahlberg a réuni, avec une pointe d'esprit surréaliste, un modèle de cheminée mobile en tôle créé par lui, un appareil d'éclairage, dont l'abat-jour est d'ailleurs à la limite

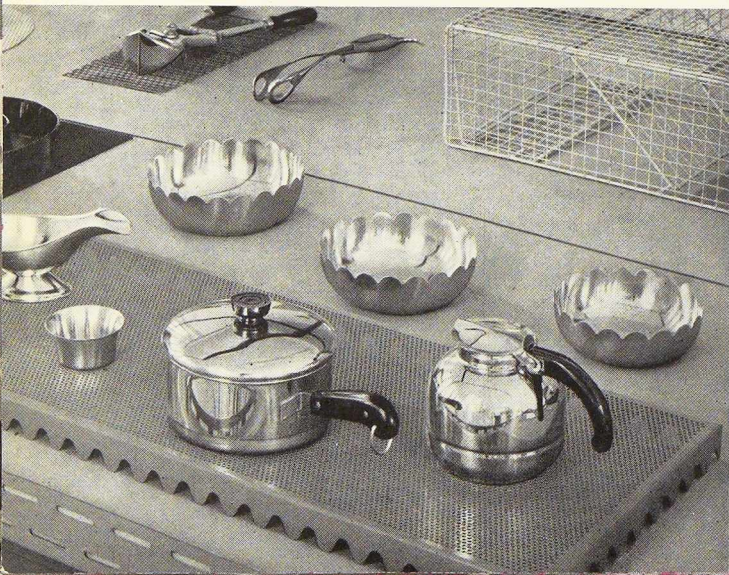


Fig. 10. Série d'objets en acier inoxydable de la « Republic Steel Corp. », prêtés par Sartel (Liège) et Sidérur (Bruxelles).

**Fig. 11.** Pergola en tubes portant une colonne ionique, vue à travers la grille. Une partie de la pergola porte un revêtement en tôle émaillée.

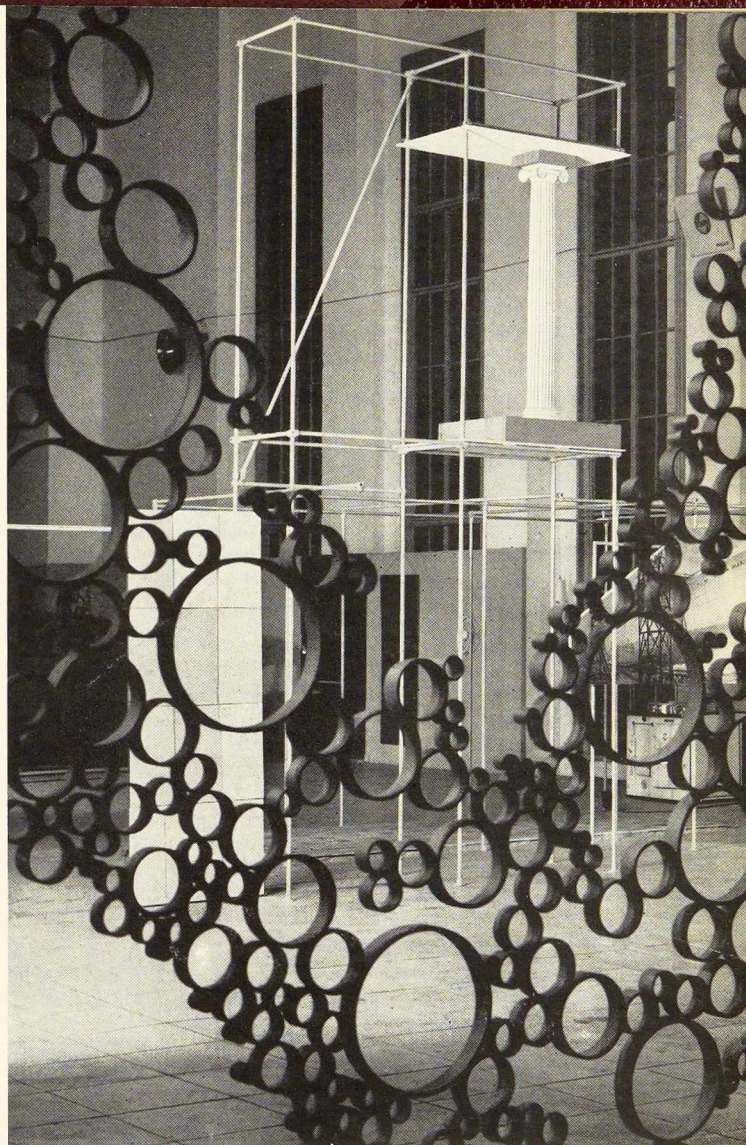
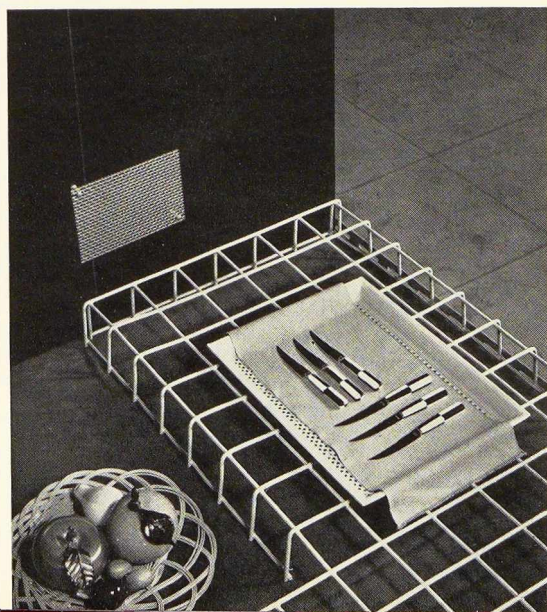
du *kitsch*, et un masque qui constituent une attraction accrochante.

Le mélange des origines apparaît dans certains groupements d'objets qui n'ont été réunis qu'en vue d'obtenir d'heureux effets de présentation. On trouvera ainsi dans certains blocs constituant des vitrines ouvertes : des patins, une boîte comode en métal émaillé pour conserver le pain, d'ingénieux appareils d'éclairage, et un séchoir à assiettes, puis des appareils de chirurgie, des moules à gâteaux, des couverts suédois (meilleurs dans les petits modèles que dans les grands) qui représentent à eux seuls une petite Société des Nations.

P. Mahlberg a su d'autre part effectuer des groupements spectaculaires en constituant des stands composés d'objets souvent hétéroclites, mais rapprochés et présentés de manière spirituelle tel ce jardin ou voisinant des panneaux de voirie, des instruments de culture et de jardinage de la firme Wolff, un fauteuil métallique et la machine universelle Trumpf avec laquelle nous ne sommes d'ailleurs pas complètement d'accord malgré ses couleurs (corps gris, pieds en tôle soudée bleus), le moteur notamment gagnerait en effet à être intégré.

Sans doute l'exposition Beauté de l'Acier, présentée dans le cadre de la Foire Internationale de Liège, n'a-t-elle pas un caractère limitatif. Il s'agit d'une présentation de prototypes choisis parmi d'autres, selon le bon vouloir d'exposants qui n'ont pas toujours compris l'intérêt d'une semblable initiative que nous ne saurions, quant à nous, trop approuver.

**Fig. 12.** Couteaux à dessert en acier inoxydable.



Il est bien certain en effet, qu'à un moment où l'humanisation du machinisme est une question qui se pose dans le monde, qu'à un moment, d'autre part, où les producteurs d'acier qui voient certains de leurs produits remplacés par des métaux légers facilement moulables, ou par des matières plastiques d'un prix inférieur, la sidérurgie a intérêt à montrer les produits finis mettant en évidence les qualités techniques et esthétiques que peuvent présenter — que doivent présenter — les ouvrages dont la fabrication est basée sur l'emploi de cette matière de base qui conditionne le développement de notre civilisation mécanicienne : l'acier.

J. V.

Les photographies sont de **Hugo Schmölz**.

Charles Massonnet,  
Professeur  
à l'Université de Liège

# Essais d'adaptation et de stabilisation plastique sur des poutrelles laminées

Les essais qui font l'objet de la présente étude ont été exécutés par le Laboratoire de Résistance des Matériaux de l'Université de Liège, dans le cadre du programme des travaux de la *Commission pour l'Etude de la Construction Métallique (C. E. C. M.)*.

La C. E. C. M., qui a été fondée en Belgique par les dirigeants des industries de la Sidérurgie et de la Construction métallique, a pour objet la recherche de moyens susceptibles de conduire à la réalisation d'importantes économies dans la construction des ouvrages en acier. Le plan de travail, établi en commun, montre le souci des promoteurs de relier le plus étroitement possible les deux aspects fondamentaux du problème : la connaissance du matériau d'une part et son utilisation rationnelle d'autre part. D'une manière générale, il comporte des recherches sur les propriétés mécaniques et la soudabilité des aciers courants de construction, l'étude des conditions de livraison des produits laminés et de l'allègement des profilés laminés, l'analyse expérimentale de détails constructifs, l'auscultation approfondie de plusieurs ponts métalliques en service, ainsi que la publication de notes techniques relatives au calcul et à l'exécution des constructions.

La réalisation de ce programme a été rendue possible grâce à l'intervention financière des industriels, aux subsides de l'Etat accordés par l'intermédiaire de l'Institut pour l'Encouragement de la Recherche Scientifique dans l'Industrie et l'Agriculture (I. R. S. I. A.) et à l'appui de grandes administrations.

Les travaux sont répartis dans divers groupes d'étude réunissant les délégués des producteurs et des utilisateurs d'acier; ils sont exécutés dans les laboratoires universitaires et industriels, sous l'égide du Centre de Recherches Scientifiques de l'Industrie des Fabrications Métalliques (C. R. I. F.) et avec la collaboration du Centre National de Recherches Métallurgiques (C. N. R. M.).

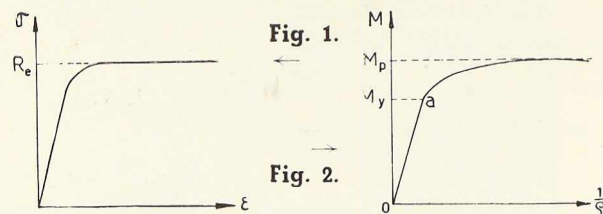
Je remercie les industriels et les hautes personnalités qui les représentent au sein des divers comités de la C. E. C. M.; ils ont rendu possible le travail scientifique des professeurs et ingénieurs dont les résultats sont exposés dans le présent rapport.

Fernand FRENAY,  
Président du Comité exécutif  
de la C. E. C. M.

## 1. Concepts fondamentaux

La nécessité d'économiser l'acier a poussé depuis une trentaine d'années certains chercheurs à abandonner la méthode classique de dimensionnement qui considère qu'une construction est mise hors service quand la tension de comparaison maximum  $\sigma$  atteint la limite apparente d'élasticité du métal. Ces chercheurs ont montré que les déformations plastiques étaient accompagnées de certains phénomènes d'égalisation des moments fléchissants dont on pouvait tenir compte pour accroître les charges admissibles.

Si l'on admet que le métal a un diagramme tensions-dilatations à palier indéfini (fig. 1), il est facile de



montrer que le diagramme  $(M, \frac{1}{\rho})$  donnant la courbure d'une barre soumise à la flexion pure en fonction du moment fléchissant appliqué (fig. 2) présente une forme analogue au diagramme de la figure 1. Ce diagramme est linéaire tant que  $M$  est plus petit que  $M_p = R_e \cdot \frac{I}{V}$ . Au-delà de cette valeur, les courbures croissent plus vite que les moments et tendent vers l'infini quand le moment tend vers la valeur  $M_p$  appelé *moment plastique ultime*. Dès que la courbure devient appréciable, l'écart entre le moment réel et  $M_p$  devient négligeable. L'expérience montre que, dans une poutre hyperstatique soumise à des charges croissant proportionnellement l'une à l'autre, les déformations plastiques se concentrent au voisinage immédiat des sections droites où le moment fléchissant est maximum.

Dans la *théorie des rotules plastiques*, on idéalise ce résultat. On admet pour simplifier que, dans les sections dangereuses  $mn$ , le moment prend exactement la valeur  $M_p$  et de plus que les déformations plastiques se produisent uniquement dans ces sections  $mn$ .

Au voisinage d'une section  $mn$ , tout se passe donc



comme si les deux tronçons adjacents de la poutre étaient articulés autour d'une rotule placée en  $mn$  et qui ne pourrait pas transmettre un moment supérieur à  $M_p$ . On dit qu'une rotule plastique s'est formée dans la section  $mn$ .

Supposons que le système étudié soit  $n$  fois hyperstatique. Au fur et à mesure que les charges augmenteront (proportionnellement l'une à l'autre, rappelons-le), de nouvelles rotules plastiques vont naître successivement. Au moment précis où la  $n$  plus unième rotule plastique se formera, le système se transformera en un mécanisme à un degré de liberté, qui prendra sous charge constante des déformations considérables et sera mis hors service.

On appelle *charge d'adaptation plastique*, la charge qui correspond à l'apparition de la  $(n+1)^{me}$  rotule (1). C'est la charge la plus élevée que puisse supporter le système sans être mis hors service. Les protagonistes de la théorie de la plasticité appliquée aux constructions recommandent d'adopter cette charge comme charge de référence qui, divisée par le coefficient de sécurité, donnera la charge de service.

Dans les systèmes hyperstatiques, cette charge d'adaptation peut être considérablement supérieure à la *charge maximum élastique* pour laquelle la tension maximum dans le système atteint juste la limite apparente d'élasticité. La conception des rotules plastiques et de la charge d'adaptation conduirait donc à d'importantes économies d'acier.

Malheureusement, il se fait que la théorie brièvement résumée ci-dessus prête le flanc à une critique importante. Elle suppose, en effet, que les forces extérieures appliquées grandissent toutes proportionnellement. Or dans un grand nombre de constructions, cette condition n'est pas remplie. Considérons, par exemple, une longrine de pont-rail continue sur trois appuis; au moment où un convoi passe sur cette longrine, on peut avoir successivement les trois mises en charge représentées aux figures 3a, b et c. Les diagrammes des moments fléchissants sont représentés au-dessous de chaque mise en charge. Supposons que la charge  $P$  ait une valeur moindre que les deux charges d'adaptation correspondant aux mises en charge a ou b, mais supérieure cependant aux deux charges maxima élastiques correspondantes (2). Voyons les phénomènes qui vont se passer si un train passe sur le pont. Quand la première roue sera en D (mise en charge a), les tensions dépasseront la limite apparente dans la section D, où se produira une légère déformation plastique. Quand la longrine supportera deux roues (mise en charge b), le moment sera maximum sur l'appui central B, où se produira une seconde déformation plastique. Enfin, quand la seconde roue

sera en E, c'est la section E qui se déformera plastiquement.

Nous venons de constater que, sous le passage d'un train, il s'était formé un cycle de charges et un cycle de déformations permanentes dans la poutre. Au passage d'un second train, les mêmes phénomènes vont se répéter. Il peut très bien se faire qu'au bout d'un nombre suffisant de cycles, ces déformations plastiques prennent une importance telle que la longrine soit mise hors service, alors qu'elle n'a supporté à aucun moment des charges égales à celles d'adaptation plastique.

Il résulte de cette analyse que le bénéfice que l'on veut tirer de la ductilité de l'acier peut se trouver compromis dans le cas des constructions soumises à des charges variables indépendamment l'une de l'autre entre certaines limites bien déterminées. Pour dimensionner de telles constructions, il est indispensable de connaître la grandeur maximum des charges qu'on peut y appliquer un nombre indéfini de fois dans un ordre quelconque, sans provoquer leur mise hors service par accumulation de déformations plastiques.

En d'autres termes, il faut étudier les conditions sous lesquelles les déformations plastiques finissent par cesser, en sorte que la construction finit par se comporter élastiquement, quels que soient le nombre et l'ordre de répétition des charges. Lorsque ceci se produit, nous dirons que la construction *s'est stabilisée*.

Le processus de stabilisation est intimement lié à l'existence de moments résiduels provoqués par les déformations plastiques. En effet, à un stade quelconque de la mise en charge, il existe dans la construction une certaine distribution de moments qui diffère, en général, de la distribution que les mêmes charges auraient provoquée si la construction s'était comportée élastiquement. Nous définirons le *moment résiduel*  $m$  dans toute section comme le moment fléchissant qui ajouté au moment fléchissant élastique  $M_e$  (3) donne le moment fléchissant réel  $M$ .

Si la construction est destinée à se stabiliser, elle doit être capable d'atteindre un état de moments résiduels tels que toutes les variations ultérieures des charges entre leurs limites fixées produisent un comportement purement élastique de la construction. Il

(1) Remarquons que, dans certains cas, il est possible qu'une partie du système portant soit mise hors service à la suite de l'apparition d'un nombre de rotules plastiques moindre que  $(n+1)$ . Nous excluons de notre analyse ce cas exceptionnel.

(2) Il est clair par symétrie que les charges d'adaptation sont identiques pour les cas a et c. La même conclusion vaut pour les charges maxima élastiques correspondant à ces cas.

(3) Nous appelons moment fléchissant élastique celui qui se serait produit sous les charges considérées si toute la construction s'était comportée élastiquement.

Fig. 3a.

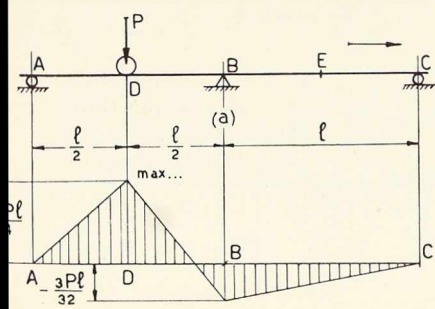


Fig. 3b.

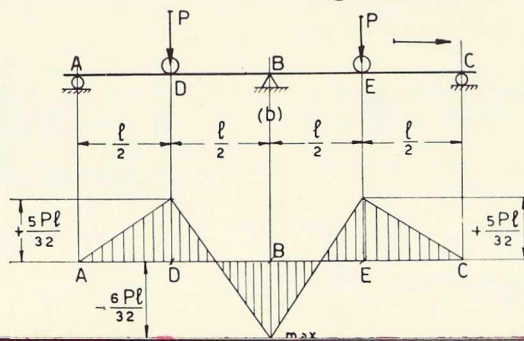
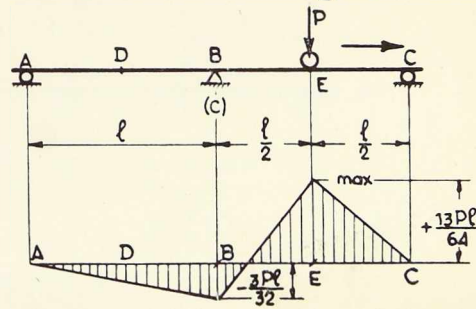


Fig. 3c.



est possible de calculer, par les méthodes classiques, les valeurs limites des moments élastiques qui peuvent se produire dans toute section sous l'effet de toutes les combinaisons possibles des charges maxima.

*Le moment résiduel dans toute section doit être tel que, si on l'ajoute aux valeurs extrêmes, positives et négatives, du moment fléchissant élastique, on obtient un moment résultant insuffisant pour produire une déformation plastique.*

### Conclusions

La prise en compte des phénomènes de stabilisation plastique aurait pour double effet :

a) De compliquer considérablement la méthode de dimensionnement des constructions prenant en considération les phénomènes plastiques;

b) De diminuer dans une proportion appréciable le bénéfice apporté par la théorie simple de l'adaptation plastique.

Il est dès lors compréhensible que les protagonistes de cette dernière théorie aient tendance à diminuer l'importance pratique des phénomènes de stabilisation, voire même à leur dénier tout effet pratique (cf. *Bibliographie* [5] et [6]). A notre avis, la légitimité de cette procédure n'est pas suffisamment étayée par les expériences de Klöppel [4] et des Laboratoires du Bâtiment de Paris (*Bibliographie* [5] et [6]). Il s'imposait d'effectuer des expériences plus étendues.

## 2. Recherche des charges d'adaptation et de stabilisation dans le cas d'une poutre continue sur trois appuis à deux travées égales, chargée de deux forces concentrées

### A. Généralités

Nous nous proposons d'étudier expérimentalement le phénomène de la stabilisation progressive des déformations plastiques dans une poutre continue sur trois appuis à deux travées égales, soumise à des cycles de charge semblables à ceux sollicitant la longrine envisagée au paragraphe 1 (fig. 4).

Comme il est difficile de réaliser des charges rou-

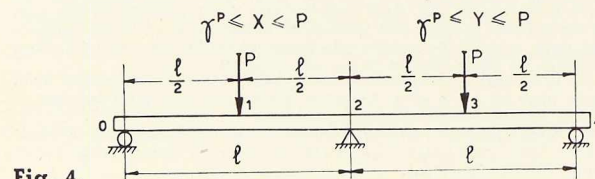


Fig. 4.

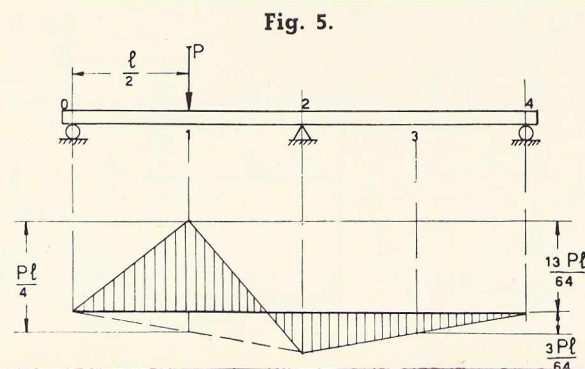


Fig. 5.

lantes expérimentalement, on a décidé de remplacer ces charges par des charges fixes, appliquées au milieu des travées et s'exerçant simultanément ou successivement. Dans l'analyse ci-après, on supposera que chacune de ces charges peut varier indépendamment entre un maximum P et un minimum  $\gamma P$ , où  $\gamma$  est un paramètre compris entre 0 et 1.

### B. Etude de la poutre en régime élastique

La distribution des moments fléchissants en régime élastique s'obtient par les méthodes classiques de la résistance des matériaux. Les figures 5 et 6 donnent les diagrammes des moments nécessaires pour notre étude.

### C. Calcul de la charge élastique maximum de la poutre chargée de deux forces égales

Le moment maximum que la poutre puisse supporter élastiquement s'obtient en égalant le moment sur l'appui central au moment  $M_y$ , d'où l'on déduit

$$P_{\text{maximum élastique}} = \frac{16}{3} \frac{M_y}{l}. \quad (1)$$

### D. Calcul de la charge d'adaptation plastique de la poutre

Le cas le plus défavorable pour la charge d'adaptation est évidemment celui où les charges X, Y, appliquées aux deux travées, atteignent simultanément leur valeur maximum P.

La charge d'adaptation sera atteinte au moment où des rotules plastiques se seront développées dans les sections 1, 2, 3. A cet instant, les moments fléchissants dans ces trois sections seront égaux à  $M_p$  (fig. 7).

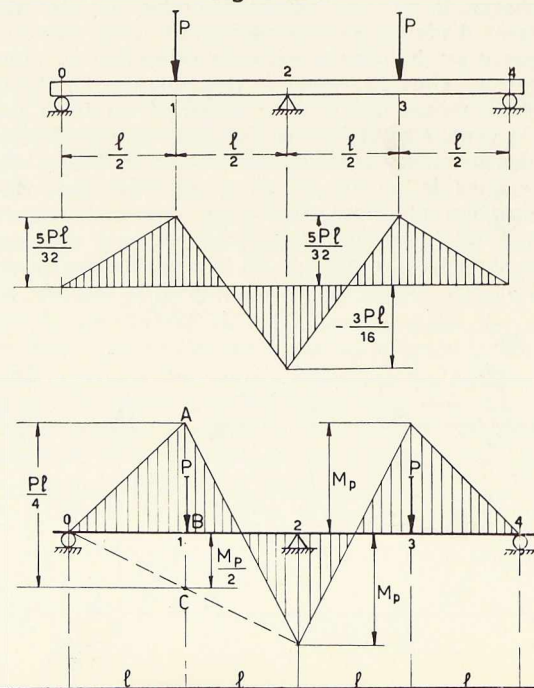
La figure montre qu'on a

$$\overline{AB} = \overline{AC} - \overline{BC} = M_p, \text{ c'est-à-dire } \frac{Pl}{4} - \frac{M_p}{2} = M_p$$

d'où l'on tire

$$P_{\text{adaptation}} = \frac{6 M_p}{l} \quad (2)$$

Fig. 6 et 7.





### E. Calcul de la charge de stabilisation par la méthode de Bleich (4)

En 1932, H. Bleich [1] a énoncé le critère suivant, qui permet de calculer la charge de stabilisation plastique d'une construction hyperstatique : s'il est possible de trouver un système quelconque de moments résiduels en équilibre qui permettent à toutes les variations ultérieures des charges appliquées d'être supportées élastiquement, alors la construction se stabilisera. En fait, H. Bleich n'a démontré ce principe que dans les conditions très restrictives que voici : systèmes une ou deux fois hyperstatiques; courbe moment-courbure à palier horizontal indéfini. Le principe a été récemment étendu par Neal [3] à des constructions hyperstatiques de degré quelconque, faites d'un matériau écrouissable idéalisé qui représente de beaucoup plus près la réalité.

Le moment fléchissant total existant dans une section de la poutre ne peut pas dépasser la valeur  $M_p$ , sans quoi la poutre se déformerait plastiquement; il peut atteindre cette valeur sans provoquer de déformations plastiques, si des sollicitations antérieures subies par la poutre ont développé dans la section considérée un moment résiduel de sens opposé au moment extérieur et de grandeur suffisante. Nous obtiendrons donc la charge de stabilisation en écrivant que les moments totaux les plus défavorables dans les sections 1, 2, 3 de la poutre atteignent simultanément la valeur  $M_p$ ; cela s'écrit (fig. 8)

$$\frac{13 Pl}{64} - \frac{3}{64} \gamma Pl + \frac{m_2}{2} = \frac{3}{16} Pl - m_2 = M_p$$

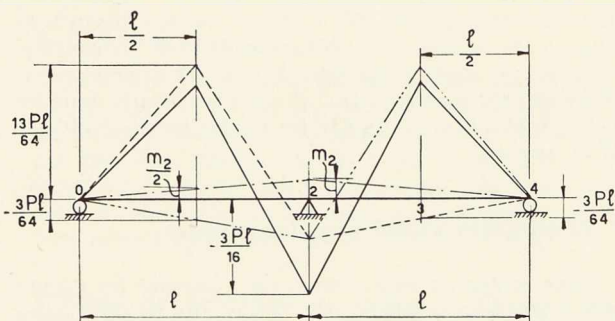


Fig. 8.

En résolvant ce système de deux équations à deux inconnues, on obtient les expressions de la charge de stabilisation

$$P_{\text{stabilisation}} = \frac{96 M_p}{l(19 - 3\gamma)} \quad (3)$$

et du moment résiduel maximum

$$m_2 = \frac{3\gamma - 1}{19 - 3\gamma} \cdot M_p \quad (4)$$

(4) Les méthodes permettant de calculer la charge de stabilisation sont assez complexes et leur compréhension complète ne peut s'obtenir que par une étude approfondie. Dans le paragraphe ci-après, on s'est borné à donner de façon très condensée les concepts fondamentaux. Pour l'exposé complet de cette question, nous renvoyons au rapport détaillé publié dans le XIII<sup>e</sup> volume des *Mémoires de l'Association Internationale des Ponts et Charpentes*, pp. 239 à 282.

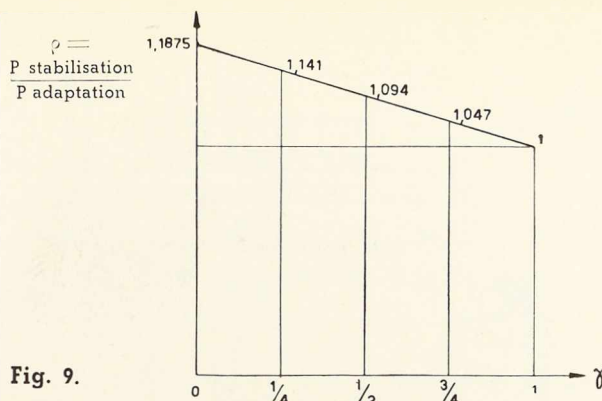


Fig. 9.

En divisant membre à membre les égalités (2) et (3), on obtient

$$\rho \equiv \frac{P_{\text{adaptation}}}{P_{\text{stabilisation}}} = \frac{19 - 3\gamma}{16} \quad (5)$$

On constate que le rapport  $\rho$  dépend linéairement de  $\gamma$ . Pour  $\gamma = 1$ , il se réduit à l'unité, comme cela doit être puisque, dans ce cas, la charge de stabilisation ne diffère pas de la charge d'adaptation. Le diagramme  $\rho = f(\gamma)$  est donc une droite qui joint les points ( $\gamma = 0$ ,  $\rho = \frac{19}{16} = 1,1875$ ) et ( $\gamma = 1$ ,  $\rho = 1$ ). Cette droite est représentée à la figure 9.

### 3. Organisation générale des essais

Il était prévu d'effectuer d'abord deux essais d'adaptation plastique sous deux charges égales ( $\gamma = 1$ ), puis 4 séries de 4 essais de stabilisation, correspondant respectivement aux valeurs 0, 1/4, 1/2 et 3/4 du paramètre  $\gamma$ . Dans chaque essai de stabilisation, on a soumis la poutre d'essai PN n° 12 à une série de cycles de charge du type représenté à la figure 10. Chaque cycle comporte donc quatre mises en charge successives.

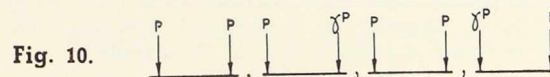


Fig. 10.

Les expériences avaient pour but :

- 1° De comparer le rapport  $\frac{P_{\text{stabilisation}}}{P_{\text{adaptation}}}$  déterminé expérimentalement au même rapport déterminé par la théorie, pour les 4 valeurs de  $\gamma$  indiquées ci-dessus;
- 2° De déterminer à quelles flèches et quelles déformations plastiques du métal correspondaient les charges mises en jeu;
- 3° De déterminer le nombre de fois qu'on peut appliquer une charge dépassant la charge théorique de stabilisation avant que la poutre ne soit hors service, et d'apprécier ainsi plus clairement l'utilité pratique de la théorie de la stabilisation.

### 4. Equipement utilisé pour la mise en charge des poutres d'essai

Le montage utilisé est représenté aux figures 11



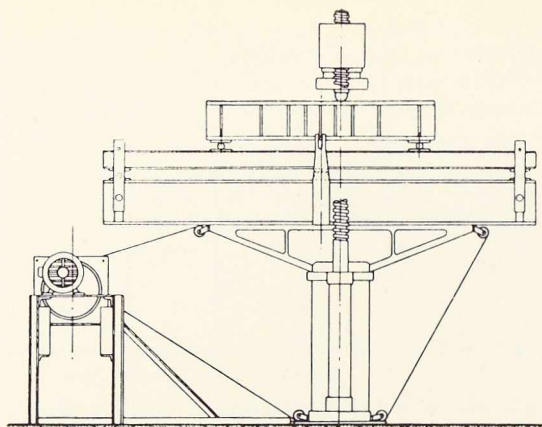


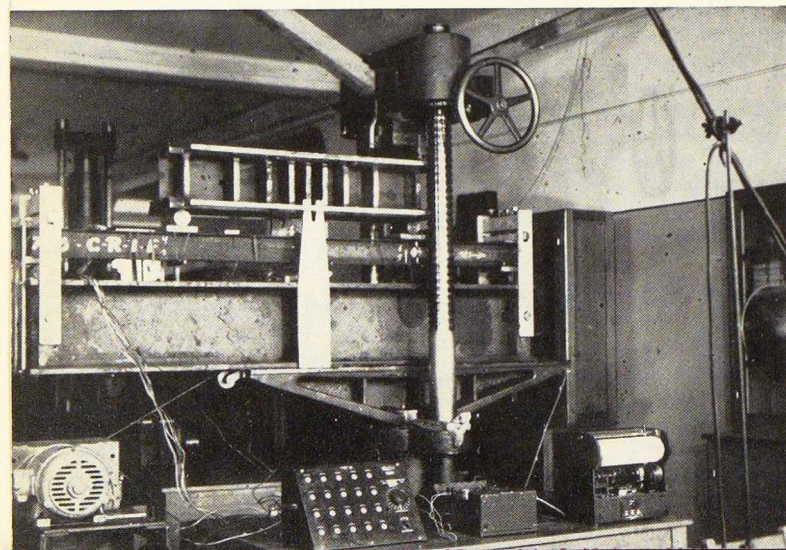
Fig. 11.

et 12. Il comprend essentiellement une machine hydraulique de 150 t Amsler, munie d'une poutre de flexion sur laquelle on a disposé un ensemble mobile pouvant glisser à frottement doux sur cette poutre. Le piston de la machine, placé à la partie inférieure, peut soulever cet ensemble mobile et l'appliquer contre l'appui supérieur à rouleau.

L'ensemble mobile comprend de bas en haut :

- a) Une poutre de support très rigide (DIN n° 34);
- b) La poutrelle d'essai (PN n° 12) qui repose sur la poutre de support par l'intermédiaire d'un appui central cylindrique fixe et de deux appuis d'extrémités à rouleau;
- c) La poutre de répartition (DIR n° 24), reposant sur la poutrelle d'essai par l'intermédiaire de deux appuis à rouleau placés au milieu des travées de la poutrelle d'essai;
- d) Des pièces de guidage et des pièces de solidarisation, qui ont pour but de guider avec un minimum de jeu la poutre c entre les colonnes de la machine et d'empêcher cette poutre de rouler sur la poutrelle d'essai au moment du démarrage de l'ensemble.

Fig. 12.



Le mouvement de glissement dans les deux sens de l'ensemble mobile sur la poutre de flexion de la machine d'essai est assuré par un câble sans fin amarré à la poutre du support et s'enroulant sur un tambour rainuré actionné par un moteur électrique et un réducteur au centième, muni d'un inverseur automatique de sens de marche. La manœuvre consiste à donner à l'ensemble un déplacement tel que l'un des neuf raidisseurs de la poutre de répartition vienne au droit de l'appui supérieur fixe de la machine d'essai. Ces raidisseurs sont disposés de façon que la charge appliquée par l'appui supérieur de la machine se décompose, selon le cas, en deux charges  $P$  égales (raidisseur central) ou bien  $P$  et  $3P/4$ ;  $P$  et  $P/2$ ;  $P$  et  $P/4$ ;  $P$  et  $0$ .

De plus, dans les cas  $\gamma = 1/4$ ,  $\gamma = 0$ , où la poutre d'essai devait tendre à se soulever sur l'un ou l'autre appui d'extrémité, il était prévu de la maintenir par des contre-appuis en forme de cadre tournant autour d'axes passant par des paliers ménagés aux extrémités de la poutre de répartition. Les contre-appuis sont visibles sur les figures 12 et 13.

Les charges étaient appliquées à la poutrelle d'essai par deux rouleaux. L'appui central et les quatre rouleaux dont question ci-dessus n'étaient pas en contact direct avec la poutrelle d'essai, mais les pressions étaient réparties sur cette dernière par des plaques d'acier.

Dans une première série d'expériences, neuf poutrelles ont été essayées sans guidage autre que les appuis décrits ci-dessus. Ces poutrelles ont manifesté en général d'importantes déformations horizontales accompagnées parfois de torsion et allant jusqu'à la mise hors service par déversement. On a constaté qu'elles se déplaçaient peu à peu latéralement sur leurs appuis; c'est pourquoi il a été nécessaire, dans les essais ultérieurs, de guider les poutrelles au droit des trois appuis.

## 5. Equipement utilisé pour les mesures

Dans toutes les expériences, on a mesuré les flèches prises par la poutrelle d'essai. Dans une partie d'entre elles, on a en outre mesuré les déformations du métal dans un certain nombre de sections droites.

### A. Fleximètres

Les fleximètres employés ont été de deux types. Dans la section médiane de la travée droite, on a mesuré les flèches à l'aide de comparateurs au centième de millimètre de part et d'autre de la poutrelle. Ces comparateurs étaient montés de façon à se détendre au cours de la déformation de la poutrelle; ils étaient placés à fond de course au début de chaque essai. Dans la section médiane de la travée gauche, on a fixé, d'un côté seulement, un fleximètre enregistreur électronique. Ce fleximètre a été réalisé en transformant légèrement un enregistreur électronique de diagrammes forces-allongements de la marque Baldwin. L'appareil est visible sur la figure 14.

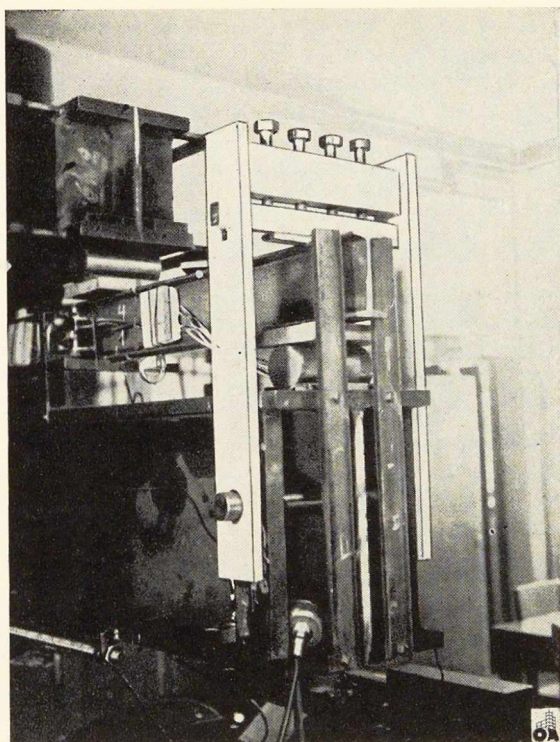


Fig. 13.

#### B. Tensomètres

On a utilisé normalement des tensomètres ohmiques Philips type GM 4473; aux endroits où l'on prévoyait de fortes déformations plastiques, ils ont été remplacés par des tensomètres Baldwin « post-yield ». Ces tensomètres fonctionnent jusqu'à des dilatations de 8 à 10 %, alors que les tensomètres ordinaires sont mis hors service après une dilatation de 1,5 à 2 %.

#### 6. Essais de définition de l'acier - Charges théoriques correspondantes d'adaptation et de stabilisation

On a prélevé des éprouvettes dans trois poutrelles différentes, numérotées 7, 15 et 16. Dans chacune de ces poutrelles, on a prélevé une éprouvette dans l'âme et une dans chaque semelle. Les dimensions des éprouvettes sont conformes aux normes I. B. N. Les valeurs moyennes obtenues sont résumées par le tableau ci-après.

Dans chacun des essais, on a enregistré électroniquement le diagramme forces-allongements. Les allongements étaient mesurés sur une base de 2 pouces et amplifiés 20 fois. Ces diagrammes amplifiés ont permis de mesurer avec précision la longueur du palier d'étirage de l'acier. La dernière colonne du tableau indique la valeur moyenne de cette longueur convertie en centièmes d'allongement proportionnel.

Endroit du prélèvement	$R_{ei}$	$R_{es}$	$R_r$	Allongements de rupture en %		Striction en % $S_t$	Longueur du palier en %
	en kg/mm <sup>2</sup>			$A_{5,65}$	$A_{8,16}$		
Semelles	24,4	25,5	36,4	39,5	34,1	63,7	3,10
Ames	26,2	28,0	36,8	36,8	31,2	58,0	3,50

Le module de flexion vaut, d'après les catalogues de profilés,  $I/v = 54,7 \text{ cm}^3$ . Par ailleurs, on a en moyenne :

$$R_{es \text{ semelles}} = 25,5 \text{ kg/mm}^2 ;$$

d'où  $M_y = 25,5 \times 54,7 \cdot 10^3 = 1\,394\,000 \text{ kgmm}$ .

La charge maximum élastique vaut, d'après la formule (1)

$$P_{\text{maximum élastique}} = \frac{16}{3} \cdot \frac{M_y}{l} = \frac{16}{3} \cdot \frac{1\,394\,000}{1\,145} = 6\,500 \text{ kg}.$$

Par ailleurs, la limite élastique supérieure à prendre en compte dans le calcul du moment plastique ultime  $M_p$  est une moyenne pondérée de celles de l'âme et des semelles.

Cette moyenne a été trouvée égale à

$$R_{es \text{ moyen}} = 26,1 \text{ kg/mm}^2.$$

Pour les profilés de la série normale, on peut d'ailleurs admettre que le rapport  $\frac{M_p}{M_y}$  vaut 1,20.

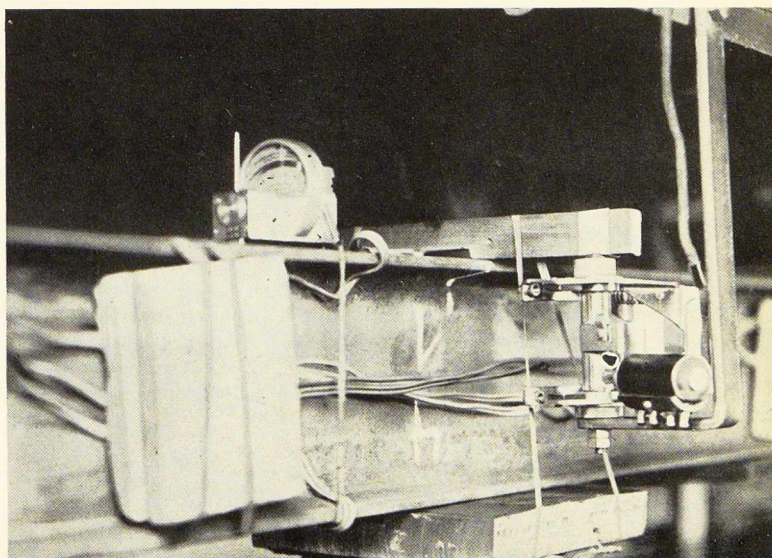
On a donc

$$M_p = 1,20 \times 26,1 \times 54,7 \cdot 10^3 = 1\,715\,000 \text{ kgmm}.$$

La charge d'adaptation plastique théorique vaut alors d'après la formule (2)

$$P_{\text{adaptation}} = \frac{6 M_p}{l} = \frac{6 \times 1\,715\,000}{1\,145} = 8\,990 \text{ kg}.$$

Fig. 14.



Enfin, en appliquant les coefficients de réduction indiqués au diagramme (fig. 9), on obtient, pour les charges de stabilisation théoriques

$$\begin{aligned} \gamma = 0 & : P_{\text{stabilisation}}^{\gamma=0} = \frac{8\,990}{1,1875} = 7\,570 \text{ kg}, \\ \gamma = 1/4 & : P_{\text{stabilisation}}^{\gamma=1/4} = \frac{8\,990}{1,141} = 7\,880 \text{ kg}, \\ \gamma = 1/2 & : P_{\text{stabilisation}}^{\gamma=1/2} = \frac{8\,990}{1,094} = 8\,220 \text{ kg}, \\ \gamma = 3/4 & : P_{\text{stabilisation}}^{\gamma=3/4} = \frac{8\,990}{1,047} = 8\,590 \text{ kg}, \end{aligned}$$

### 7. Critères adoptés pour définir les charges expérimentales d'adaptation et de stabilisation

Les théories de l'adaptation et de la stabilisation sont basées sur l'hypothèse d'un matériau présentant un palier de longueur indéfinie. En réalité, le métal se renforce par écrouissage, de sorte qu'on ne doit pas s'attendre à observer sous les charges d'adaptation ou de stabilisation théoriques des flèches infiniment grandes.

Nous n'avons trouvé nulle part de critère définissant avec précision le point de la courbe (P, f) donnant la charge expérimentale d'adaptation. Nous croyons être en accord avec les autres expérimentateurs en adoptant comme charge d'adaptation celle pour laquelle la déformation plastique est égale à la déformation élastique.

Si par le point correspondant de la courbe (P, f) (fig. 15), on mène la parallèle à la droite de Hooke, cette parallèle rencontre l'axe des f en un point dont l'abscisse est par définition la flèche permanente expérimentale d'adaptation.

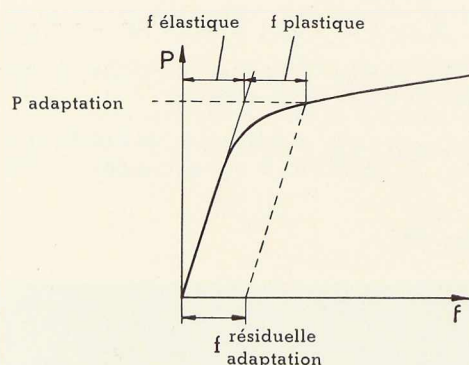


Fig. 15.

Il nous faut à présent adopter une définition analogue pour la charge de stabilisation, qui tienne également compte du phénomène d'écrouissage et qui soit compatible avec la définition ci-dessus de la charge d'adaptation quand le paramètre  $\gamma$  tend vers l'unité.

A ce propos, l'expérience montre que, si la charge P choisie ne dépasse pas 1,10 fois la charge d'adaptation expérimentale, la poutre tend à prendre une déformation stabilisée bien déterminée qu'elle atteint pratiquement après 10 à 20 cycles de charge. Compte tenu de cette constatation et après examen des différentes possibili-

tés, il est apparu que la définition la plus rationnelle de la charge de stabilisation était la suivante :

*La charge de stabilisation expérimentale est la charge pour laquelle la flèche résiduelle de la déformée stabilisée prise par la poutre est égale à la flèche permanente d'adaptation expérimentale.*

### 8. Essais d'adaptation

On a exécuté en tout quatre essais d'adaptation. Dans les deux premiers, la poutre n'était pas guidée latéralement. Les deux derniers ont été exécutés après les expériences de stabilisation, à l'aide de deux poutres les moins déformées, qui étaient guidées latéralement.

#### a) Premier essai sans guidage

La poutre a été mise hors service par déversement de la travée de droite, qui s'est produit sous la charge de 21 t.

#### b) Deuxième essai sans guidage

Le deuxième essai a été réalisé comme le premier, mais en réglant par tâtonnements la hauteur de l'appui central jusqu'à obtenir, sous faible charge (2 P = 6 t), un diagramme des moments théoriquement correct. La poutre a été mise hors service sous une charge de 22 t par déversement de la travée de droite.

#### c) Essais d'adaptation avec guidage latéral au droit des trois appuis

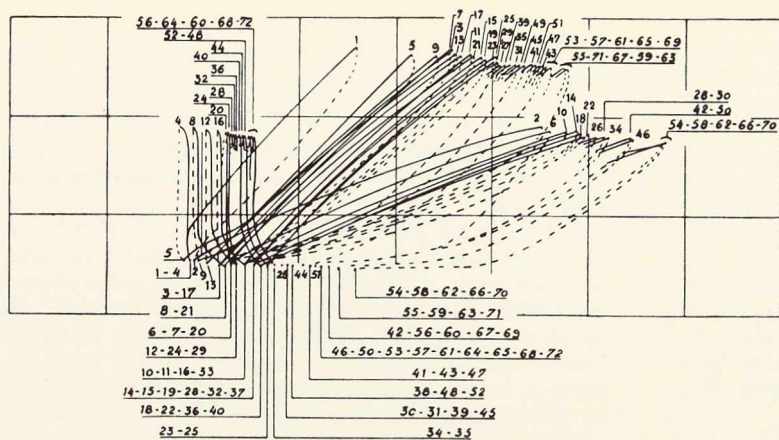
Ces essais ont été exécutés, après achèvement des expériences de stabilisation, sur les poutres n<sup>os</sup> 10 et 11 qui avaient subi de très faibles déformations permanentes.

Les résultats obtenus dans les quatre essais d'adaptation sont consignés au tableau ci-après.

Numéro de l'essai	Travée de gauche		Travée de droite	
	2 P en tonnes	en f/100 de mm	2 P en tonnes	en f/100 de mm
1	19,7	300	18,5	247,5
2	18,9	300	18,5	269,0
3	19,7	420	18,9	262,5
4	18,7	340	18,4	265,0
Moyenne par travée	19,25	340	18,6	261
Moyenne génér.	18,9	300	—	—

On en retiendra deux données importantes :

Charge d'adaptation expérimentale moyenne  $P = 9,45$  t ;  
Flèche permanente d'adaptation expérimentale moyenne = 3,00 mm.



Stabilisation  
Fleximètre enregistreur  
 $\gamma = 1/4$        $P = 7,70 \text{ t}$

Fig. 16.

A l'aide de la charge d'adaptation expérimentale moyenne de 9,45 t, nous pouvons déterminer, par la relation

$$P_{\text{stabilisation}} = \frac{16}{19 - 3\gamma} \cdot P_{\text{adaptation}},$$

tirée de la formule (3) des valeurs des différentes charges de stabilisation qui ne sont ni purement théoriques, ni purement expérimentales. Nous les appellerons les valeurs mixtes. On a

$$\gamma = 0 : P_{\text{stabilisation}}^{\text{mixte}} = \frac{9,45}{1,1875} = 7,96 \text{ t},$$

$$\gamma = 1/4 : P_{\text{stabilisation}}^{\text{mixte}} = \frac{9,45}{1,141} = 8,28 \text{ t},$$

$$\gamma = 1/2 : P_{\text{stabilisation}}^{\text{mixte}} = \frac{9,45}{1,094} = 8,64 \text{ t},$$

$$\gamma = 3/4 : P_{\text{stabilisation}}^{\text{mixte}} = \frac{9,45}{1,047} = 9,03 \text{ t}.$$

### 9. Essais de stabilisation sans guidage latéral

On a enregistré les cycles de flèches à l'aide du fleximètre enregistreur et noté les flèches résiduelles marquées par les comparateurs à la fin de chaque cycle.

On a observé qu'au cours des cycles de charge, les poutrelles prenaient progressivement une déformation dans le plan horizontal, leur donnant la forme d'une ligne brisée dans ce plan. Tout s'est passé comme si les différents tronçons étaient au droit des trois rotules plastiques B, D, E, articulés autour d'axes verticaux.

Ce mouvement de serpentement a été probablement provoqué par une légère dissymétrie du montage d'essai, dissymétrie qui n'était cependant pas appréciable à l'œil nu.

C'est ce serpentement qui a entraîné la mise hors service de la plupart des poutrelles, alors que leurs déformations verticales étaient, dans certains cas, relativement modérées.

A titre d'exemple, on donne aux figures 16 et 17 des diagrammes flèches-charge pour un cas de stabilisation et un cas de non stabilisation. Ces deux figures correspondent à des expériences faites avec la valeur 1/4 du paramètre  $\gamma$ . La figure 16 correspond à l'essai sur la poutrelle n° 9 réalisé avec la charge  $P = 7,70 \text{ t}$ , dans lequel on a obtenu, après 18 cycles, la stabilisation pratique : flèches n'augmentant plus que de 0,5 centième de millimètre par cycle.

La figure 17, elle, correspond au premier essai  $\gamma = 1/4$ , réalisé avec la charge  $P = 8,11 \text{ t}$ , dans lequel aucune stabilisation n'était visible après 16 cycles. Bien que les flèches résiduelles verticales aient marqué une

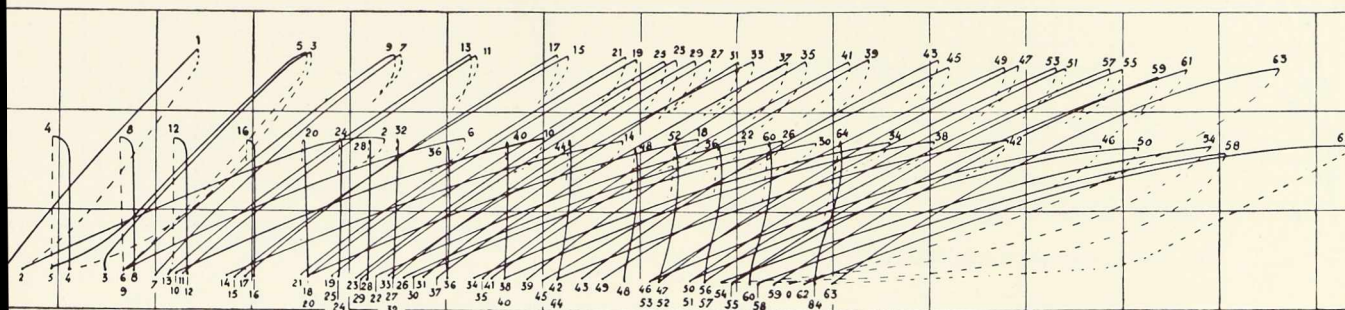


Fig. 17.

Stabilisation  
Fleximètre enregistreur  
 $\gamma = 1/4$        $P = 8,11 \text{ t}$

certaine tendance à se stabiliser, la poutre a pris des déplacements transversaux rapidement croissants qui ont fini par la mettre hors service (les valeurs des déplacements permanents à la fin du 16<sup>e</sup> cycle étaient - 5,5 mm en D et + 10,5 mm en E).

On peut conclure de ces essais que :

1<sup>o</sup> La charge expérimentale pour laquelle les déformations plastiques dans le plan de l'âme tendent à se stabiliser est sensiblement égale à la charge de stabilisation théorique;

2<sup>o</sup> Les déformations dans le plan de l'âme sont accompagnées de déformations horizontales qui finissent par mettre la poutrelle hors service, sûrement pour des charges supérieures aux charges de stabilisation théoriques et probablement dès que la charge dépasse 95 % des charges théoriques.

On notera spécialement l'importance des déformations horizontales que présentent toutes les poutrelles après l'essai. Ces déformations sont un effet absolument caractéristique et inattendu des cycles de charge appliqués à des poutrelles non maintenues latéralement.

#### 10. Essais de stabilisation avec guidage latéral

On a exécuté neuf essais de stabilisation sur des poutrelles neuves guidées latéralement au droit des appuis. Dans sept de ces neuf essais, on a muni la poutrelle de

six tensomètres ohmiques disposés sur les deux semelles, dans les trois sections où devaient se produire les rotules plastiques.

Ensuite, on a exécuté avec de très fortes charges, trois essais de stabilisation sur celles des poutrelles essayées antérieurement qui avaient subi les plus faibles déformations permanentes et en mesurant uniquement les flèches.

A titre d'exemple, on a reproduit aux figures 18 et 19, les diagrammes indiquant comment ont varié, dans les essais relatifs à  $\gamma = 0$ , et  $\gamma = 1/4$ , les flèches résiduelles lues aux comparateurs en fonction du nombre de cycles. On constate que les flèches verticales tendent généralement à se stabiliser, même pour des charges nettement supérieures à la charge théorique de stabilisation. *Cependant, cette stabilisation correspond pour les charges les plus élevées à des flèches inacceptables en service, de sorte que la poutrelle doit, malgré cette stabilisation, être considérée comme hors service.* Les diagrammes obtenus au fleximètre enregistreur présentent, selon le cas, un aspect semblable à celui des figures 16 ou 17; il est donc inutile de les reproduire.

Rappelons la définition de la charge expérimentale de stabilisation énoncée au paragraphe 7, d'après laquelle  $P_{\text{stabilisation}}$  correspond à une flèche

$$f_{\text{résiduelle stabilisation}} = f_{\text{permanente adaptation}} = 3,00 \text{ mm}.$$

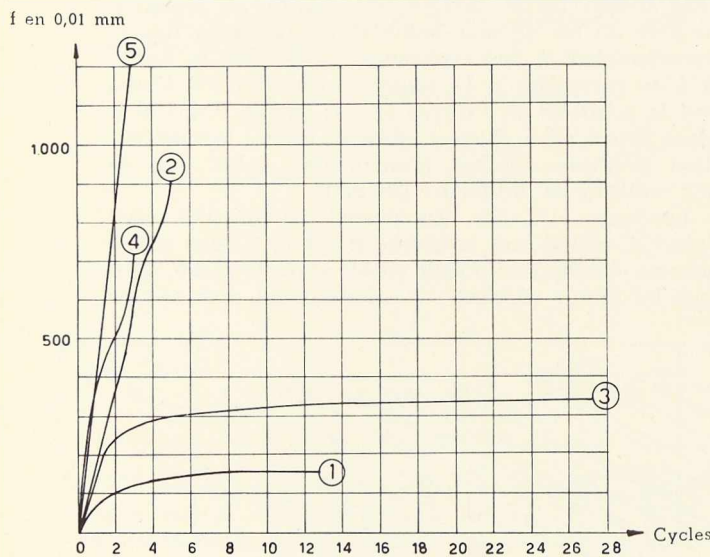


Fig. 18. Essais de stabilisation  $\gamma = 0$ .

1.  $P = 7,40 \text{ t}$ .
  2.  $P = 8,16 \text{ t}$ .
  3.  $P = 7,78 \text{ t}$ .
  4.  $P = 8,56 \text{ t}$  - Poutrelle n<sup>o</sup> 8.
  5.  $P = 8,96 \text{ t}$  - Poutrelle B.
- Avec guidage.

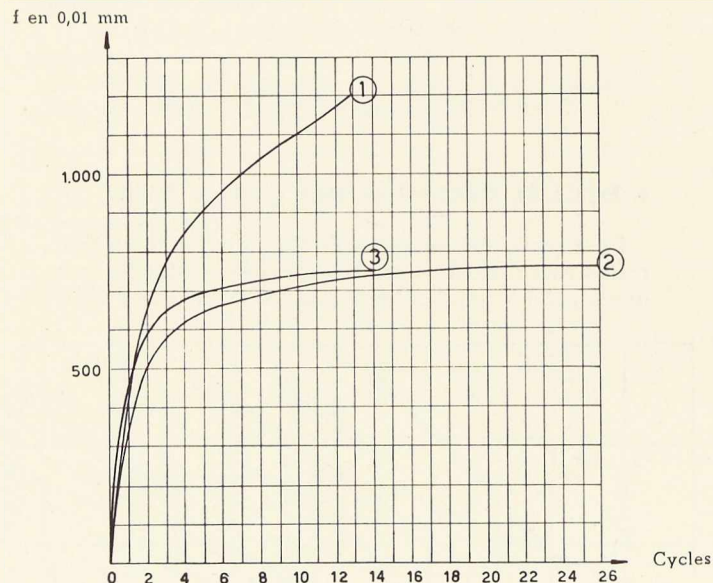


Fig. 19. Essais de stabilisation  $\gamma = 1/4$ .

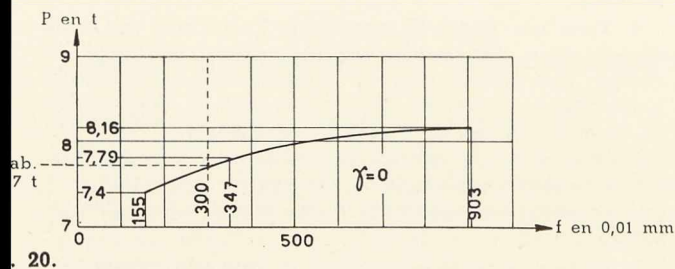
1.  $P = 9,33 \text{ t}$  - Poutrelle n<sup>o</sup> 5.
  2.  $P = 8,51 \text{ t}$ .
  3.  $P = 8,91 \text{ t}$ .
- Avec guidage.

En se basant sur cette définition, on peut déterminer les charges expérimentales de stabilisation en traçant les diagrammes donnant la flèche de stabilisation en fonction de la charge P :

a) Pour  $\gamma = 0$ , en utilisant les essais 13, 15, 19, on obtient le diagramme représenté à la figure 20.

On constate que

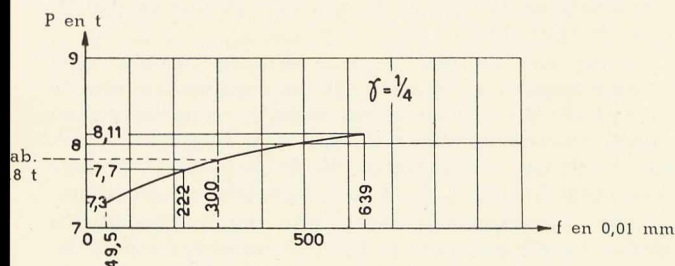
$$P_{\text{stabilisation}}^{\gamma=0} = 7,70 \text{ t ;}$$



20.

b) D'une façon analogue, on construira le diagramme relatif à  $\gamma = 1/4$ , en utilisant les essais n<sup>os</sup> 8, 9, 7, réalisés sans guidage latéral et les essais n<sup>os</sup> 16, 17 et 5 réessayé. Ce diagramme est représenté à la figure 21; il donne

$$P_{\text{stabilisation}}^{\gamma=1/4} = 7,80 \text{ t ;}$$



21.

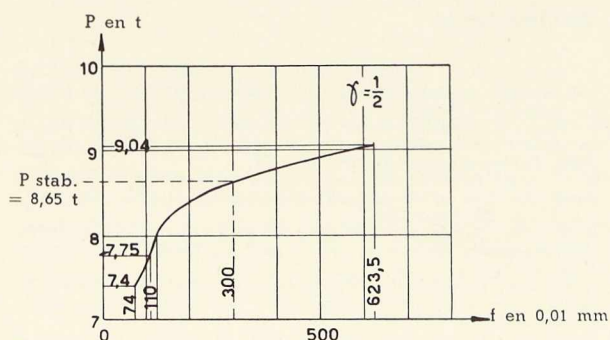


Fig. 22.

c) Pour  $\gamma = 1/2$ , les essais n<sup>os</sup> 5, 4 et 6, réalisés sans guidage latéral et l'essai n<sup>o</sup> 18 sur poutrelle guidée donnent le diagramme (fig. 22). On a abandonné l'essai n<sup>o</sup> 3, dans lequel l'absence de guidage a occasionné un déversement prématuré de la poutrelle. On a déduit du diagramme que

$$P_{\text{stabilisation}}^{\gamma=1/2} = 8,65 \text{ t ;}$$

d) Enfin, pour  $\gamma = 3/4$ , les essais n<sup>os</sup> 10, 11, 12 donnent le diagramme (fig. 23), d'où l'on déduit

$$P_{\text{stabilisation}}^{\gamma=3/4} = 8,60 \text{ t .}$$

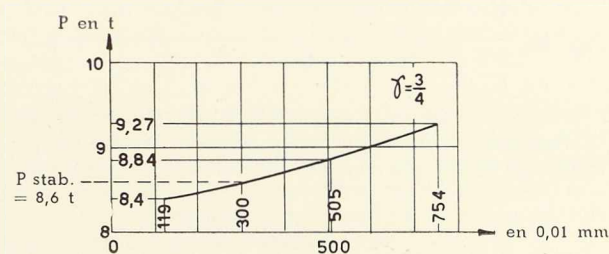


Fig. 23.

### 11. Diagrammes résumant les résultats obtenus

On peut résumer les principaux résultats obtenus jusqu'ici en construisant un diagramme (fig. 24) dans lequel on porte le paramètre  $\gamma$  en abscisses et les charges expérimentales de stabilisation en ordonnées. On a fait figurer en pointillé sur ce diagramme, la courbe théorique d'équation

$$P_{\text{stabilisation}} = \frac{96 M_p}{l(19 - 3\gamma)} = \frac{16 P_{\text{adaptation}}}{19 - 3\gamma} \quad (6)$$

déduite des équations (2) et (3), dans laquelle on a remplacé  $P_{\text{adaptation}}$  par la moyenne (9,45 t) des valeurs expérimentales.

Les points expérimentaux obtenus à l'aide de poutrelles non guidées sont représentés sur le diagramme par un petit triangle, et ceux correspondant aux poutrelles guidées latéralement par un petit cercle.

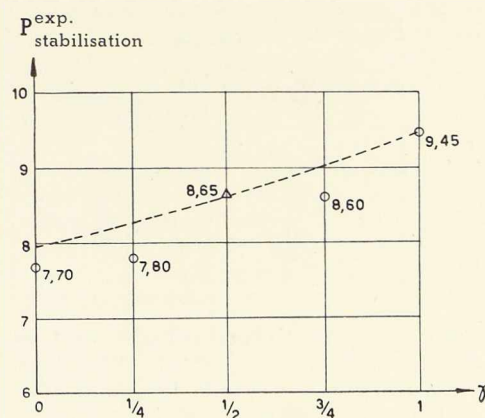


Fig. 24.

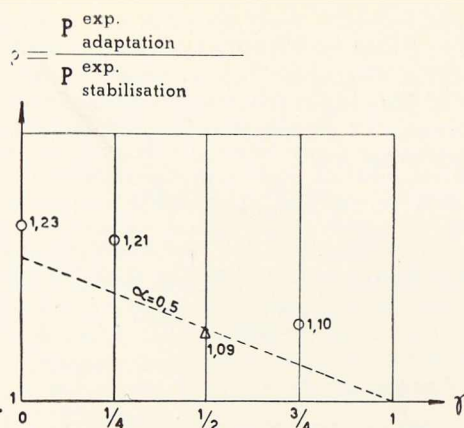


Fig. 25.

A la figure 25, on a reproduit à nouveau en pointillé le diagramme théorique de la figure 9, établi au paragraphe 2 et on y a reporté les valeurs du rapport

$$\rho = \frac{P_{\text{expérimentale adaptation}}}{P_{\text{expérimentale stabilisation}}}$$

correspondant respectivement à  $\gamma = 0, 1/4, 1/2, 3/4$  et 1.

Les diagrammes (fig. 24 et 25) montrent que les valeurs expérimentales du rapport  $\rho$  sont généralement supérieures aux valeurs théoriques, c'est-à-dire que les charges de stabilisation sont généralement moindres que celles calculées par la formule (3).

## 12. Conclusions générales

En condensant les résultats obtenus dans les paragraphes précédents, on peut formuler les cinq conclusions générales suivantes :

1. Les valeurs expérimentales des charges de stabilisation et d'adaptation plastique dépendent légèrement du critère expérimental admis pour définir ces charges. Avec les critères qui ont été adoptés dans la présente recherche (cf. § 7), on obtient les valeurs moyennes suivantes :

$\gamma$	Charges	
	expérimentales	théoriques
1	9,45	8,99
3/4	8,60	8,59
1/2	8,65	8,22
1/4	7,80	7,88
0	7,70	7,57

On constate que les charges expérimentales sont en général légèrement supérieures aux valeurs théoriques; cela est dû principalement à ce que la théorie néglige l'écroutissage de l'acier dans la zone des grands allongements.

On peut donc se fier en pratique aux valeurs théoriques.

2. Par contre, le rapport de la charge expérimentale de stabilisation à la charge expérimentale d'adaptation est généralement plus faible que celui prédit par la théorie et est inférieur à ce dernier d'environ 6 %.

3. La diminution de résistance due aux cycles de charge est sensible et indiscutable.

Contrairement à l'opinion émise par plusieurs auteurs, il est donc absolument nécessaire de prendre en considération l'effet de ces cycles dans les calculs de stabilité.

4. Pour une poutrelle en double T continue sur trois appuis, mais non guidée sur ces appuis, les cycles de charge provoquent progressivement des déformations horizontales excessives dès que la charge dépasse les 95 % de la charge de stabilisation théorique.

Il serait donc dangereux de vouloir appliquer la théorie de la flexion plastique à des poutres hyperstatiques qui ne sont pas convenablement maintenues latéralement.

5. La charge maximum élastique que peut supporter la poutre est 6,5 t. Si l'on compare ce nombre aux valeurs théoriques des charges d'adaptation et de stabilisation, on constate que la théorie de la flexion plastique permet, dans le cas actuel, d'augmenter les charges de service d'environ 38 % quand  $\gamma = 1$  et que ce chiffre se réduit à 16 % pour  $\gamma = 0$ .

## 13. Remerciements

Je tiens, en terminant, à remercier les hautes personnalités de la C. E. C. M. qui ont permis la réalisation de cette étude.

Je me fais un plaisir particulier de signaler que, comme toutes les recherches prévues au programme de la C. E. C. M., celle-ci a été réalisée en collaboration étroite et continue entre M. H. Louis, Inspecteur général des Ponts et Chaussées, M. F. Hebrant, Directeur technique de la C. E. C. M et le signataire de ces lignes.

Mes remerciements vont enfin au personnel du Bureau technique de la C. E. C. M., ainsi qu'à celui du Laboratoire, dont la collaboration dévouée a permis de mener cette étude à bonne fin.

## 14. Bibliographie

- [1] H. BLEICH, *Über die Bemessung statischunbestimmter Stahltragwerke unter Berücksichtigung des elastisch-plastischen Verhaltens des Baustoffes* (Bauingenieur, vol. 19/20, p. 261, 1932).
- [2] F. BLEICH, *Dimensionnement des systèmes hyperstatiques d'après la théorie de la plasticité* (2<sup>e</sup> Congrès de l'A. I. P. C., Berlin, 1936, Publication préliminaire, p. 135).
- [3] B. G. NEAL, *Plastic collapse and shake-down theorems for structures composed of strain-hardening material* (Journ. Aero. Sci., vol. 17, p. 297, mai 1950).
- [4] K. KLÖPPEL, *Sur la plasticité dans les poutres continues sollicitées dynamiquement* (2<sup>e</sup> Congrès de l'A. I. P. C., Berlin, 1936, Rapport final, p. 77).
- [5] J. DUTHEIL, *L'exploitation des phénomènes d'adaptation dans les ossatures en acier doux* (Ann. Inst. Techn. Bât. Trav. Publ., janvier 1949, p. 32).
- [6] J. DUTHEIL, *La conception des ossatures métalliques basée sur la déformation plastique* (L'Ossature Métallique, n° 3, 1949, p. 143).





# Quelques considérations sur les turbines à gaz industrielles

Première partie (1)

par

A. L. Jaumotte,  
Professeur  
à l'Université de Bruxelles

et

L. R. Béduwé,  
Directeur général  
de la Production du Groupe  
des Unions de Centrales

## I. TURBINES À GAZ FORMÉES UNIQUEMENT DE TURBOMACHINES

### 1. Turbines à gaz et turbines à vapeur

Dans tout moteur thermique, la puissance utile apparaît comme la différence de deux termes : la puissance produite par la détente d'un fluide compressible et la puissance absorbée pour l'introduction du fluide dans la source chaude.

Suivant le type de moteur envisagé, les travaux de détente et de compression sont effectués successivement dans le même organe ou simultanément dans des organes différents.

Ainsi dans un moteur Diesel, la détente et la compression sont toutes deux effectuées dans le cylindre, une fois par tour dans le moteur à deux temps, une fois tous les deux tours dans le moteur à quatre temps.

Dans les turbines à gaz comme à vapeur, la détente a lieu d'une manière continue dans la turbine de détente; le fluide s'échappe à la pression régnant à la source froide, l'atmosphère pour une turbine à gaz, le condenseur pour une turbine à vapeur (où la pression est de l'ordre de  $0,05 \text{ kg/cm}^2$ ).

Examinons pour ces deux cas la puissance absorbée par l'introduction du fluide dans la source chaude.

Pour la turbine à vapeur, le fluide sort du condenseur à l'état liquide et est introduit dans la source chaude (chaudière) par la pompe alimentaire. Dans la turbine à gaz, l'air, aspiré à l'atmosphère, est comprimé dans un turbo-compresseur et introduit dans la chambre de combustion.

Quelle que soit la nature du fluide (liquide ou gazeux), la puissance absorbée par la compression est donnée, pour l'unité de débit, par l'expression.

$$\int_{p_0}^{p_1} v dp$$

où  $v$  représente le volume spécifique du fluide.

A cause du faible volume spécifique de l'eau condensée ( $0,001 \text{ m}^3/\text{kg}$ ), la puissance absorbée par la pompe alimentaire n'est qu'une faible fraction de la puissance fournie par la détente : 1 à 1,5 % dans les installations à vapeur modernes à haute pression ( $66,88$  ou  $105 \text{ kg/cm}^2$ ). La pompe alimentaire est entraînée par un moteur séparé, en général un moteur électrique.

(1) La deuxième partie de cette étude paraîtra au prochain numéro

Dans une turbine à gaz, par suite du volume spécifique élevé de l'air aspiré (environ  $0,835 \text{ m}^3/\text{kg}$ ) et malgré la pression modérée à réaliser (4 à  $12 \text{ kg/cm}^2$  suivant les cas), la puissance absorbée par la compression représente une fraction importante de la puissance fournie par la détente : environ les deux tiers. Ainsi la puissance utile n'est-elle que le tiers de la puissance totale développée par la turbine de détente, les deux autres tiers étant absorbés par le compresseur directement entraîné par la turbine.

Cette particularité explique une caractéristique, à vrai dire un défaut, des turbines à gaz : l'extrême sensibilité au rendement propre de chacune des machines composantes.

D'autres différences entre turbines à gaz et à vapeur proviennent de la nature des fluides moteurs.

A égalité de puissance utile, le débit pondéral d'une turbine à gaz est beaucoup plus élevé que celui d'une turbine à vapeur, ce que l'on peut exprimer en disant que la puissance utile par unité de débit est beaucoup plus faible pour la turbine à gaz que pour celle à vapeur.

Pour la turbine à gaz, elle varie suivant le circuit de  $80$  à  $200 \frac{\text{kW sec}}{\text{kg}}$  tandis qu'elle atteint  $1\,000 \frac{\text{kW sec}}{\text{kg}}$  dans une turbine à vapeur moderne.

Considérons le débit en volume à l'échappement : il est de l'ordre de  $0,01$  à  $0,025 \text{ m}^3/\text{kW sec}$  pour une turbine à gaz à circuit ouvert, de l'ordre de  $0,02 \text{ m}^3/\text{kW sec}$  pour une turbine à vapeur. Ici les facteurs débit et volume spécifique à l'échappement variant en sens opposé, turbines à gaz et à vapeur se sont rapprochées et à égalité de puissance, les dimensions du dernier étage seront du même ordre pour une turbine à gaz et pour une turbine à vapeur.

Tant à cause du rapport de détente modéré que des caractéristiques du fluide, le rapport entre les débits volumétriques à l'entrée et à la sortie est beaucoup moins élevé pour les turbines à gaz que pour celles à vapeur : de 3 à 8 pour les premières, 500 et d'avantage pour les secondes.

Il résulte de ces particularités, grand débit volumétrique, faible rapport de détente, faible croissance du débit volumétrique, que :

1° Les turbines à gaz sont à aubes longues, c'est-à-dire que les aubes sont grandes par rapport au rayon

moyen (alors que ce cas ne se présente qu'aux derniers étages dans une turbine à vapeur à condensation);

2° Le nombre de leurs étages est modéré;

3° Les variations de la hauteur des aubes entre entrée et sortie ne sont pas très grandes.

Ces caractéristiques sont illustrées par la figure 1 qui représente un rotor de turbine à gaz et un rotor de turbine à vapeur.

La réalisation de turbines à aubes longues ayant un rendement propre très élevé, a posé des problèmes d'aérodynamique interne délicats, plus importants que pour les turbines à vapeur où ils ne se présentent qu'aux derniers étages. Aussi l'influence, sur le rendement interne, de la perfection aérodynamique des étages à aubes longues est-elle limitée dans le cas d'une turbine à vapeur, prépondérante pour celui d'une turbine à gaz.

Reste encore l'importante question du rendement.

Les installations à vapeur atteignent des rendements élevés dont le tableau suivant donne une idée. Il est établi pour une installation de 40-50 MW avec une eau de réfrigération à 15° C.

Pression de la vapeur à l'entrée de la turbine	Température de la vapeur à l'admission de la turbine	Rendement global charbon/bornes
64 kg/cm <sup>2</sup>	485° C	30,0 %
88 kg/cm <sup>2</sup>	510° C	31,5 %
105 kg/cm <sup>2</sup>	535° C	32,2 %

Grâce à une surchauffe intermédiaire effectuée au tiers de la détente environ et ramenant la température de la vapeur à sa valeur initiale, une augmentation du rendement de 2 % peut être obtenue, portant à 33,5 % le rendement global charbon/bornes d'une installation alimentée en vapeur à 88 kg/cm<sup>2</sup> et 510° C.

Pour la turbine à combustion, les rendements réalisables aujourd'hui sont de 17 à 32 % suivant le circuit réalisé. Les rendements les plus élevés, comparables à ceux des installations à vapeur mais ne les dépassant pas, ne sont obtenus que pour des circuits complexes avec réfrigérations intermédiaires durant la compression et un réchauffage durant la détente, procédé tout-à-fait analogue à la surchauffe intermédiaire dans une installation à vapeur.

Aujourd'hui, au point de vue rendement, la turbine à gaz parvient à peine à égaler les installations à vapeur modernes de grande puissance. Les deux exemples ci-dessous le prouvent.

Les turbines à gaz de la centrale de Beznau, qui restent après plusieurs années de fonctionnement, le modèle des turbines à gaz de grande puissance (40 MW réalisés en 13 MW + 27 MW), ont un rendement à pleine charge dépassant légèrement 30 %, pour une température maximum de 650° C alors que les

groupes 40-50 MW à vapeur, alimentés en vapeur à 88 kg/cm<sup>2</sup> et 510° C ont un rendement global de 31 à 32 %.

## 2. Les divers circuits de turbines à gaz

Nous appelons turbine à gaz un groupement de machines de compression et de détente où l'agent évoluant est gazeux, groupement constituant un producteur autonome d'énergie, dont la puissance utile est recueillie à l'arbre d'une turbomachine. Sauf pour la turbine à gaz alimentée par générateurs à pistons libres (II), les machines de compression et de détente sont également des turbomachines.

Nous dirons que la turbine à gaz est à circuit ouvert si elle aspire l'air à l'atmosphère et y rejette les gaz brûlés.

La turbine à gaz peut aussi être appelée turbine à combustion si la combustion est interne : cas général aujourd'hui. Le combustible est injecté dans la ou les chambres de combustion où s'effectue une combustion quasi isobare.

De nombreux schémas de réalisations de turbines à combustion à circuit ouvert sont possibles.

Nous relierons ceux qui ont donné lieu dès aujourd'hui à des machines assurant un service industriel satisfaisant, nous bornant à signaler quelques autres réalisations qui sont actuellement l'objet de recherches ou de mises au point.

La figure 2 donne la disposition schématique d'une turbine à gaz simple complétée par un échangeur de températures (récupérateur). Dans le cas où l'utilisation est à vitesse variable, il est avantageux, au lieu d'une turbine de détente, d'en avoir deux en série, dont les arbres sont indépendants, la première entraînant le compresseur tandis que la seconde fournit la puissance utile (fig. 3). Les vitesses des deux arbres peuvent ainsi varier indépendamment l'une de l'autre.

Pour les températures maxima réalisables actuellement, limitées à 750° C environ, le rendement de la turbine à gaz simple est de 15 à 20 % sans récupérateur, de 18 à 25 % avec récupérateur, suivant l'efficacité de celui-ci. Le rapport des pressions extrêmes est compris entre 4 et 7.

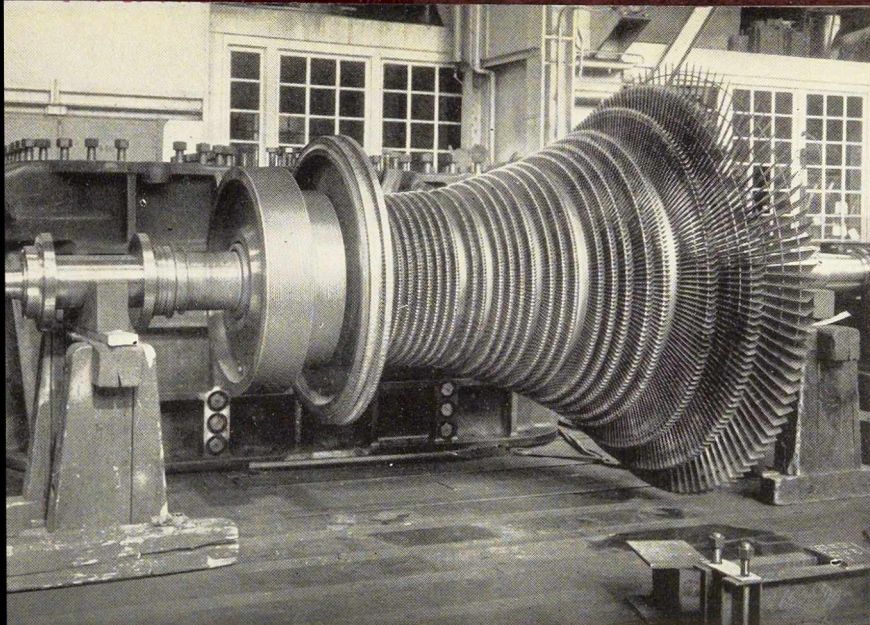
La puissance est limitée pour des turbomachines à un seul flux, à 10-15 MW environ.

La turbine à combustion à circuit ouvert complexe est caractérisée par une compression scindée en plusieurs parties avec réfrigérations intermédiaires (deux ou trois actuellement) et une détente étagée avec réchauffage intermédiaire (deux étages de détente avec un réchauffage actuellement). Ces dispositions sont réalisées simultanément ou non.

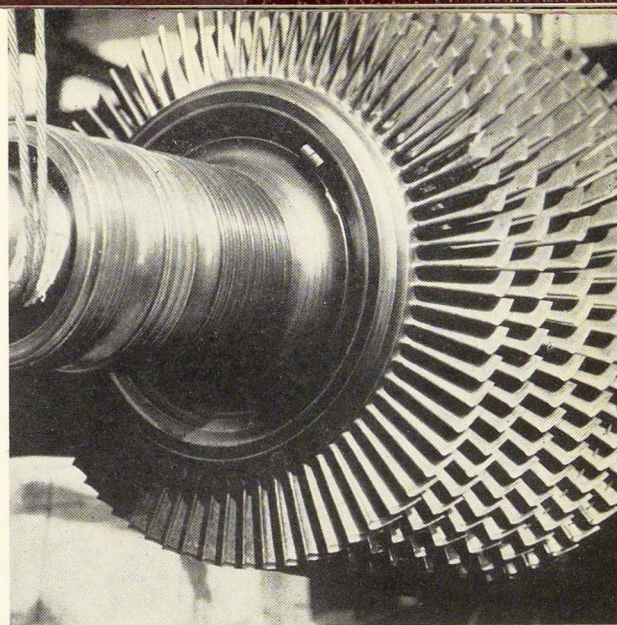
La compression et la détente étagées augmentent le rendement et la puissance utile par unité de débit.

Le rendement varie de 23 à 32 % suivant l'efficacité du récupérateur prévu, 23 % correspondant à un circuit complexe mais sans récupérateur.

Le rapport des pressions extrêmes est compris entre 8 et 12.



Rotor d'une turbine monocylindrique à vapeur de 20 000 kW, 3 000 t/min, 35-43 kg/cm<sup>2</sup> et 410-450° C (Brown Boveri).



Rotor d'une turbine à gaz après 14 000 h de marche (Fabrique de ciment de Pertigalette - Vénézuéla).

Fig. 1. Rotors de turbines à vapeur et à gaz.

La puissance réalisable atteint 30 MW mais à partir de 20 MW, le compresseur basse pression doit être à double flux. Aujourd'hui, les installations à simple flux les plus puissantes ne dépassent pas 15 MW.

Indépendamment de toute question de rendement, le recours au circuit complexe s'impose pour des puissances dépassant 10 à 15 MW; le prix et l'encombrement de l'installation sont en effet diminués par suite de la réduction des dimensions des machines, conséquence de l'accroissement considérable de la puissance par unité de débit qui est 2 à 2,5 fois plus grande que pour le circuit simple.

Tant pour des questions de réalisation (dilatations au démarrage) que pour la marche en charge partielle, il est avantageux de grouper les machines en deux lignes d'arbre.

La figure 4 donne le schéma le plus courant de turbine à gaz à circuit ouvert complexe.

En variante le compresseur B. P. peut être scindé en deux parties séparées par un réfrigérant intermédiaire; la puissance utile peut être prélevée à l'arbre haute pression, ce qui permet de réduire la vitesse de l'arbre basse pression au-dessous de 3 000 t/min. On peut ainsi augmenter la puissance réalisable sans recourir à des machines à double flux.

La turbine à gaz à circuit ouvert peut également être réalisée avec une combustion externe, qui permettrait

plus aisément l'utilisation d'un combustible solide.

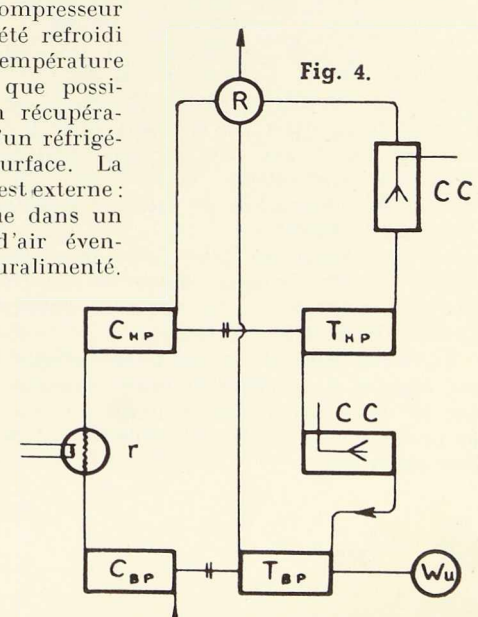
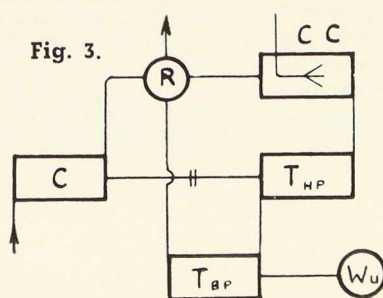
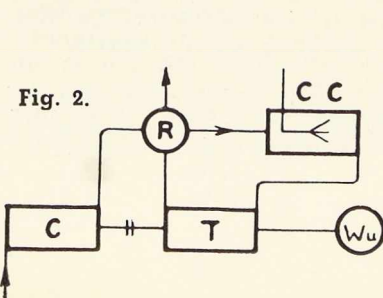
Entre compresseur et turbine, l'air comprimé est échauffé dans un échangeur tubulaire, analogue à la chaudière d'une installation à vapeur; l'air sortant de la turbine encore très chaud sert d'air de combustion et de soufflage pour l'échauffeur.

Celui-ci joue donc aussi le rôle de récupérateur.

Les machines tournantes ne sont parcourues que par de l'air pur.

Deux installations expérimentales de ce type ont été réalisées, l'une au Canada, l'autre en Angleterre (Parsons).

Signalons encore les turbines à gaz à circuit fermé. Compresseurs et turbines sont parcourus par un gaz (qui pourrait être autre que l'air) circulant en circuit fermé: le gaz sortant de la turbine rentre dans le premier compresseur après avoir été refroidi à une température aussi basse que possible dans un récupérateur suivi d'un réfrigérant par surface. La combustion est externe: elle s'effectue dans un échangeur d'air éventuellement suralimenté.



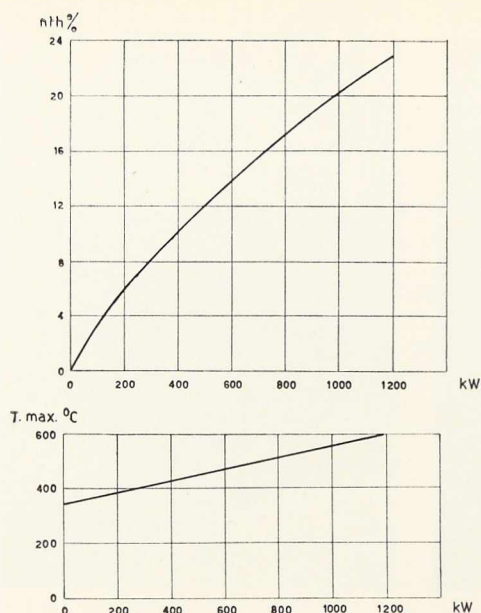


Fig. 5. Température maximum et rendement mesurés pour une turbine à gaz simple entraînant un alternateur (Brown Boveri).

Deux réalisations analogues (12,5 MW) sont en phase de mise au point : l'une à la centrale de Saint-Denis, Paris (constructeur Escher-Wyss), l'autre à la centrale de Dundee, Ecosse (constructeur John Brown, licencié britannique de Escher-Wyss).

Les circuits semi-fermés sont des combinaisons plus ou moins complexes de circuits ouvert et fermé.

Un seul schéma a reçu une application industrielle (20 MW, centrale de Weinfeld, Suisse, constructeur Sulzer).

La mise au point des circuits ouverts à combustion externe, des circuits fermés et semi-fermés est apparue plus difficile que prévue. Ces circuits n'ont pas actuellement le développement du circuit ouvert à combustion interne.

Aux charges partielles, le rendement des turbines à combustion à circuit ouvert tombe.

Cette chute de rendement est très rapide pour la machine simple (schéma de la fig. 2) : la figure 5 donne la température maximum et le rendement thermique mesurés, en fonction de la puissance, pour une turbine à gaz simple avec récupérateur entraînant un alternateur (constructeur Brown Boveri, utilisateur : Fabrique de Glace Raymond Arcache à Alexandrie, Egypte).

Elle est beaucoup plus lente pour une turbine à circuit ouvert complexe comme le montre la figure 6 qui se rapporte à la turbine Brown Boveri de 13 000 kW installée à Beznau.

Signalons que le circuit fermé permet en principe un réglage à rendement quasi constant en agissant sur le débit par l'intermédiaire du niveau inférieur de pression du circuit qui est différent de la pression atmosphérique.

### 3. Les réalisations industrielles

Nous ne retiendrons ici que les machines en fonctionnement industriel normal aujourd'hui. Nous ajouterons cependant les machines en montage et en construction qui sont semblables à des groupes déjà éprouvés en service industriel.

Nous avons éliminé les turbines destinées à la marine de guerre qui ne constituent pas des unités industrielles, tous les groupes dont la mise au point n'est pas achevée et toutes les unités destinées à des recherches.

Notre but est ainsi de présenter la situation industrielle réelle de la turbine à gaz (1).

Les constructeurs européens ont réalisé (dans le sens défini ci-dessus) à la fin de 1953, environ 162 MW de turbines à gaz suivant le détail du tableau ci-dessous :

Constructeur	Circuit		Nombre de turbines	Puissance totale MW
	Ouvert simple MW	Ouvert complexe MW		
Brown Boveri . . . . .	72,25	60	24	135,25
Ruston et Hornsby . . . . .	14,25		19	14,25
Metropolitan Vickers . . . . .	6,45		3	6,45
British Thomson Houston . . . . .	5,65		3	5,65
TOTAL . . . . .			49	161,6

Plusieurs des turbines construites par Brown Boveri ont actuellement plus de 20 000 heures de fonctionnement.

Les constructeurs américains ont réalisé fin 1953 environ 323 MW de turbines à gaz.

Constructeur	Circuit		Nombre de turbines	Puissance totale MW
	Ouvert simple MW	Ouvert complexe MW		
General Electric . . . . .	253,5	50	79	303,5
Westinghouse . . . . .	25,5	—	9	25,5
TOTAL . . . . .			88	329

Le constructeur américain qui a le plus grand nombre de réalisations, la *General Electric Co.* construit trois types de machines quasi standards.

(1) Pour plus de détail, voir Rapport de la Sous-Commission pour l'Etude des installations équipées de turbines à gaz de la Fédération Professionnelle des Producteurs et Distributeurs d'Electricité en Belgique. Rapporteurs : MM. L. R. Bédoué et A. L. Jaumotte.

a) Une turbine à gaz simple sans récupérateur, de conception nettement influencée par la technique aéronautique, d'une puissance de 3 500 kW poussée actuellement à 5 000 kW; son rendement est de 17 %, avec une température maximum de 760° C. Remarquons que la construction européenne a atteint le même rendement avec des températures maxima de 600° C. C'est une turbine Ge Co de ce type, installée à la centrale Belle-Isle, Oklahoma, qui totalise actuellement le plus grand nombre d'heures de fonctionnement pour une turbine à gaz : 35 000 heures.

b) Une turbine simple de 5 000 ch avec récupérateur; l'arbre de la turbine de puissance utile est séparé de celui du groupe compresseur-turbine haute pression. Un grand nombre de ces unités a été placé dans des stations de pompage pour gaz naturel. Le rendement thermique atteint 25 % avec un récupérateur d'efficacité 0,80.

c) Une turbine de 5 000 kW à deux lignes d'arbre mais ne présentant pas de réchauffage au cours de la détente. Son rendement atteint 29 % pour une température maximum de 815° C.

Chez Westinghouse également, le nombre de types construits est limité :

a) Une turbine simple de 1 250 kW, sans récupérateur;

b) Une turbine simple de 5 000 kW, sans récupérateur;

c) Une turbine simple avec récupérateur et turbine de puissance utile séparée (3 500 kW) atteignant un rendement de 24 %.

Signalons que Westinghouse construit en outre une turbine à circuit ouvert complexe de 15 MW destinée à une centrale électrique.

En résumé, nous avons dénombré approximativement 137 installations industrielles de turbines à gaz représentant une puissance totale de 490 MW. C'est là un total impressionnant.

Les combustibles utilisés dans ces installations sont le fuel-oil, le gaz naturel et le gaz de haut fourneau.

Des unités alimentées au gaz naturel et destinées en ordre principal au transport du gaz par pipe-lines représentent environ 260 MW; elles ont été construites par General Electric, Westinghouse et Brown Boveri.

Deux turbines seulement (représentant 7 400 kW) sont alimentées au gaz de haut fourneau; elles ont été construites par Brown Boveri. L'une d'elles, installée à Dudelange (ARBED, Grand-Duché de Luxembourg) a plus de 15 000 heures de fonctionnement.

Les résultats d'exploitation des turbines à combustion alimentées par un combustible gazeux (gaz naturel ou gaz de haut fourneau convenablement épuré) montrent que la sécurité d'exploitation est comparable à celle des turbines à vapeur, de même que la durée de service entre révisions.

De grands espoirs avaient été fondés sur l'utilisation de fuel-oils dits lourds dans les turbines à gaz. En pratique, beaucoup de difficultés sont apparues, la plus grande étant un encrassement et une corrosion rapides des parties à haute température de la turbine.

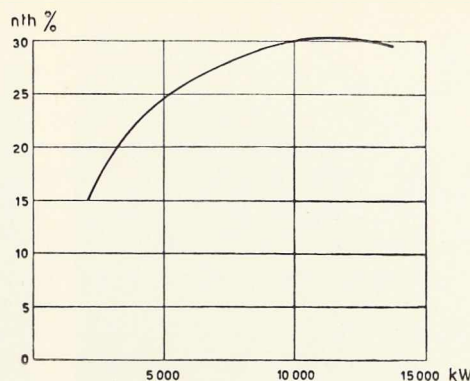


Fig. 6. Rendement en fonction de la charge pour une turbine à gaz à circuit ouvert complexe (Brown Boveri - Centrale de Beznau).

La teneur en vanadium des cendres du combustible joue dans cette question un rôle important sur lequel nous reviendrons au paragraphe 4.

Actuellement, un fonctionnement industriel sûr ne semble réalisé qu'avec les fuel-oils légers et moyens. La teneur en cendres du combustible et la composition de celles-ci déterminent si un lavage périodique de la turbine est nécessaire et, dans l'affirmative, la fréquence de ces lavages. Le remplacement périodique de certains éléments des chambres de combustion peut en outre s'imposer.

Comme exemple de fonctionnement de turbines à gaz industrielles avec un combustible liquide assez lourd, citons les groupes de la Fabrique de Ciment de Pertigalette au Venezuela. A part un groupe électrogène Diesel de secours et de réserve, qui fournit notamment l'énergie nécessaire au démarrage, les turbines à gaz constituent l'unique source d'énergie de cette entreprise.

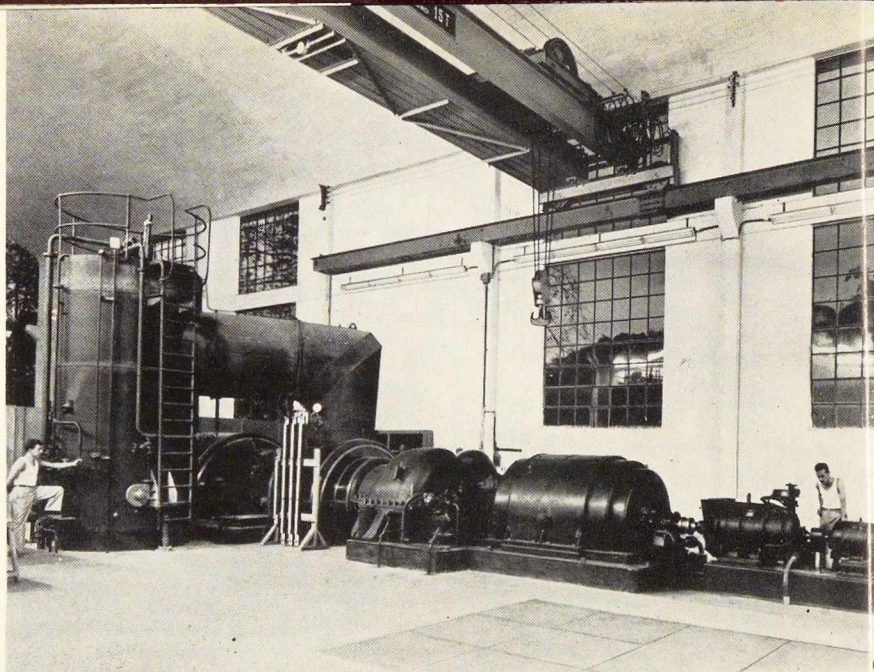
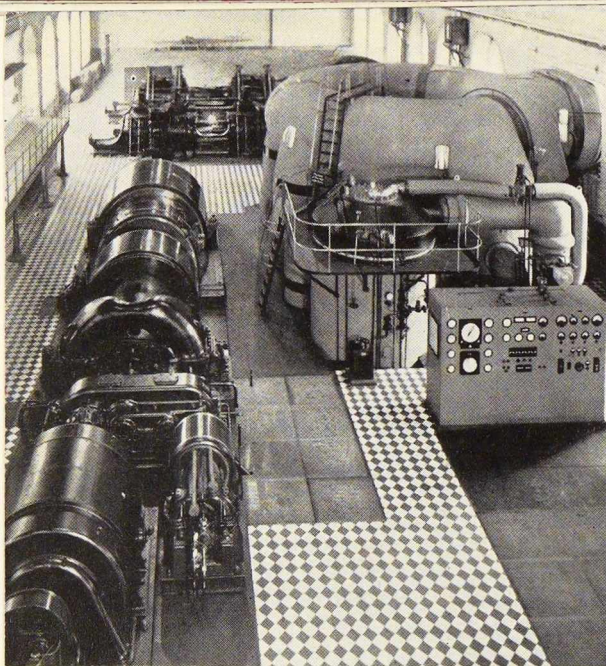
Trois unités construites par Brown Boveri y ont été successivement installées : deux de 1 650 kW mises en marche en 1949, une de 5 000 kW en 1952. Une nouvelle unité de 5 000 kW a été commandée.

Les deux unités de 1 650 kW (groupes simples avec récupérateur — rendement à pleine charge 21 %) — fonctionnent avec combustible liquide lourd; elles totalisaient 33 725 heures de fonctionnement au 31 mars 1953. Les groupes de 5 000 kW sont au gaz naturel.

Le combustible liquide employé est un mélange de 60 % de fuel-oil lourd et de 40 % de Diesel-oil. Il a les caractéristiques suivantes :

Poids spécifique à 20° C . . . . .	0,975 gr/cm <sup>3</sup>
Viscosité à 20° C . . . . .	3 523 cst
Viscosité à 50° C . . . . .	246 cst
Viscosité à 80° C . . . . .	47 cst
Pouvoir calorifique intérieur . . . . .	9 530 kcal/kg
Teneur en cendres . . . . .	0,04 %
Contenu des cendres en vanadium . . . . .	50 %
(sous forme de pentoxyde de vanadium)	
Fraction soluble des cendres . . . . .	25 %
Fraction insoluble des cendres . . . . .	75 %





Groupe turbine à gaz-alternateur de 5 400 kW installé à l'Acierie de Dudelange (Grand-Duché de Luxembourg) et alimenté au gaz de haut fourneau. (Constructeur : Brown Boveri.)

Fabrique de ciment de Pertigalette, Venezuela. Groupe turbine à gaz de 5 000 kW, 3 600 t/m, 60 M3, construit par Brown Boveri et fonctionnant au gaz naturel (circuit simple sans récupérateur).

Fig. 7. Deux exemples de turbines à gaz industrielles.

Ces caractéristiques peu favorables sont aggravées par la teneur élevée des cendres en vanadium. Diverses mesures d'exploitation ont été prises.

Les turbines subissent un lavage, aisé et rapide car prévu à la construction, après 700 à 900 heures de fonctionnement. A cette fin, quelques heures après son arrêt, la turbine est entraînée par le moteur de démarrage tandis que l'on injecte de l'eau. La durée d'un lavage est de 1 à 2 heures; la machine est remise immédiatement en marche. On réussit à laver la turbine malgré la fraction élevée des cendres insolubles. Aucune corrosion par les cendres n'est apparue, probablement à cause de la température maximum assez modérée, 600° C.

Les récupérateurs sont périodiquement nettoyés en service par un souffleur de suies à l'air comprimé, alimenté par de l'air prélevé au refoulement du compresseur.

Après 3 000 heures de fonctionnement, la machine est ouverte et les ailettes du compresseur sont nettoyées car malgré les filtres, il se produit un encrassement lent.

En raison de la teneur en cendres du combustible, la chambre de combustion exige un certain entretien.

Les tuyères de pulvérisation du combustible sont démontées après 3 500 heures de fonctionnement et les parties érodées sont remplacées.

Les cendres fondues produisent à la longue une corrosion du corps du brûleur proprement dit, directement léché par la flamme. Celui-ci est constitué de 250 éléments, facilement interchangeables. Après 18 000 heures de fonctionnement, 70 éléments de chaque chambre ont été remplacés dont 25 purent être réem-

ployés. On peut donc dire que la tenue de la chambre de combustion est satisfaisante.

La consommation d'huile de graissage est insignifiante. Après 18 000 heures de fonctionnement, on n'entrevoit pas le moment où le remplacement de l'huile serait nécessaire.

En conclusion, moyennant certaines règles d'exploitation, le fonctionnement industriel d'une turbine à gaz avec combustible lourd est réalisable dès aujourd'hui si la température maximum du circuit n'est pas trop élevée (inférieure à 650° C environ).

Aucune réalisation de turbine à gaz industrielle alimentée par un combustible solide n'existe encore. Des machines expérimentales ont fonctionné durant de courtes périodes en utilisant du charbon ou de la tourbe. Les trois problèmes fondamentaux posés par l'utilisation de combustibles solides dans la turbine à gaz à circuit ouvert ne sont que très partiellement résolus. Ces problèmes sont :

a) L'introduction continue du combustible dans la chambre de combustion sous pression,

b) Le contrôle précis du débit de combustible sous l'action des organes de réglage,

c) L'élimination des cendres avant leur passage dans la turbine, sans créer une chute de pression exagérée.

L'utilisation d'un combustible solide paraît plus aisée dans une turbine à gaz à circuit fermé, où la combustion a lieu sous la pression atmosphérique et où le problème du dépôt des cendres sur les aubages ne se pose pas.

Une unité de 2 000 kW en circuit fermé, alimentée au charbon est en construction chez John Brown (licencié britannique de Escher-Wyss, Clydebank,

Ecosse) pour ses propres usines. Ce groupe comporte une récupération de chaleur en vue du chauffage.

#### 4. Dépôts et corrosions dus aux combustibles liquides lourds

Les combustibles résiduels, meilleur marché que les combustibles distillés, contiennent des traces de divers éléments, contenus dans le pétrole brut et variables suivant son origine.

Ces éléments existent sous forme de composés organo-métalliques et minéraux, les uns solubles dans le combustible, les autres dissous dans l'eau de mer émulsionnée au combustible, les autres encore sous forme de fine suspension.

Certains de ces composés de poids moléculaire faible peuvent distiller avec les hydrocarbures; ils donnent lieu au contenu de cendres, toujours minime d'ailleurs, des combustibles distillés les plus lourds. Ces cendres-là ne présentent aucun danger dans les turbines à gaz.

Il n'en est pas de même des cendres des combustibles résiduels.

Pendant la combustion, le soufre, toujours présent dans les combustibles est oxydé. Les composés métalliques sont oxydés et transformés en sulfate, tout au moins pour les corps dont les sulfates sont stables à la température atteinte dans la flamme (environ 1 600° C). On trouve ainsi les sulfates de sodium et de calcium dans les dépôts recueillis dans des turbines à gaz.

Le vanadium, présent en quantité très variable dans les cendres, est oxydé en divers oxydes de vanadium.

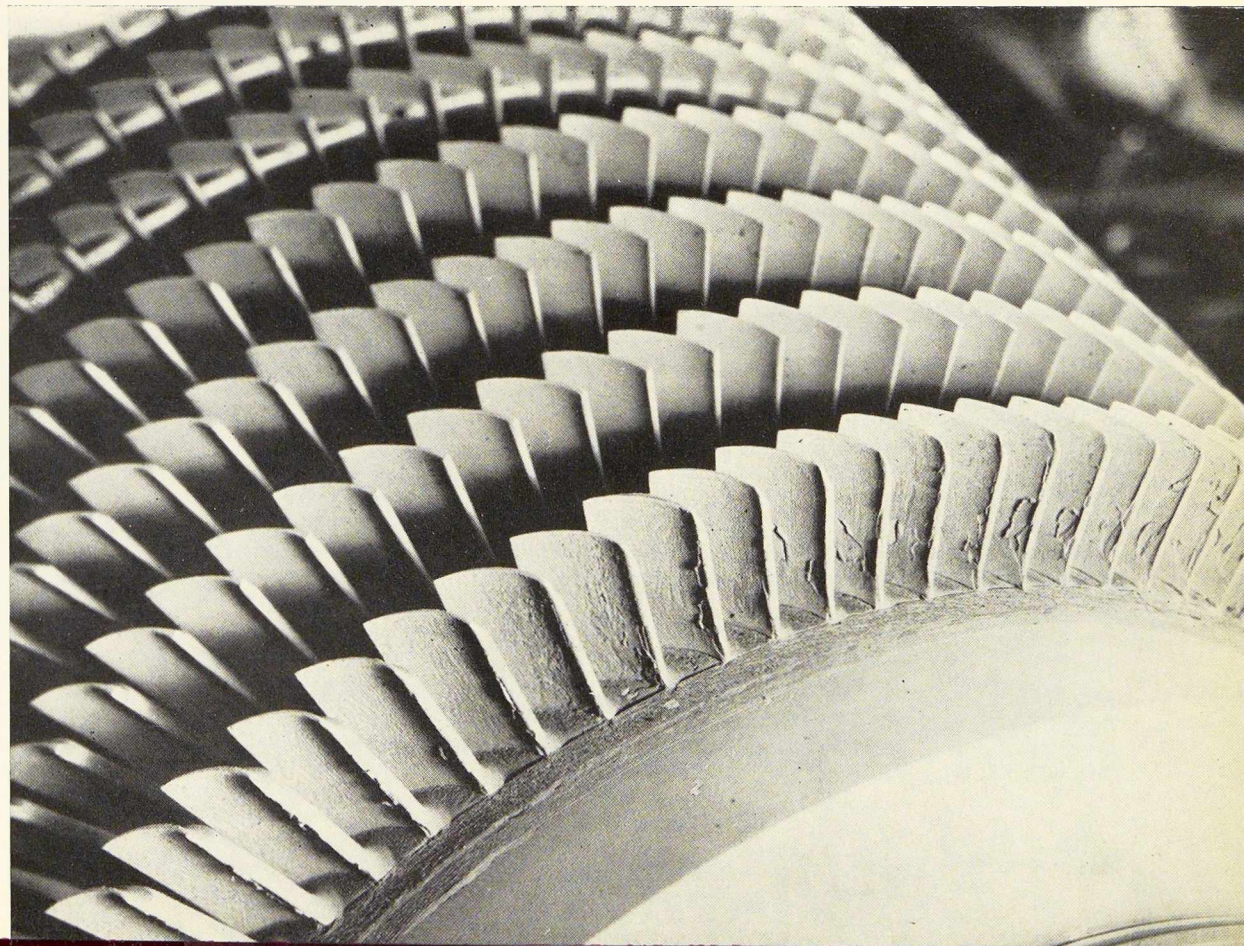
D'autres composés sont produits par réaction des oxydes et de certains sulfates. Ainsi se forme une série de vanadates de sodium, dont le point de fusion est compris entre 625 et 650° C. Les seuls composés dont le point de fusion soit encore plus bas sont le bisulfate et le pyrosulfate de sodium, mais ils se décomposent respectivement à 250° C et à 460° C, en donnant du sulfate dont le point de fusion est de 880° C.

Le mécanisme de la concentration de fines particules de cendres emportées par le courant gazeux sur les ailettes est bien connu : il est analogue à la formation de gouttes d'eau sur les ailettes des turbines à vapeur fonctionnant en vapeur humide. Il est probable qu'une partie de ces cendres sont collées à la surface des aubes par des composés à bas point de fusion, comme le bisulfate et le pyrosulfate de sodium, et un mélange à bas point de ramollissement de plusieurs composants dont les points de fusion individuels sont plus élevés (figure 8).

Ces dépôts sur l'ailette de la turbine comportent une fraction soluble à l'eau et une fraction insoluble. Si la fraction soluble est suffisante, un simple lavage par injection d'eau pulvérisée, en entraînant la turbine par son moteur de lancement, désagrège le dépôt, qui est emporté par le courant gazeux à la remise en marche de la turbine, immédiatement après le lavage.

Signalons que les dépôts peuvent aussi être désagrégés par un choc thermique. Brown Boveri expérimente un « canon à eau » qui crée le choc thermique par une injection d'eau durant la marche normale de la machine.

Fig. 8.  
Dépôts sur  
le rotor  
d'une tur-  
bine à gaz  
ayant fonc-  
tionné  
avec un  
combus-  
tible rési-  
duel.



Les turbines à gaz dont la température maximum est inférieure à 600-650° C n'ont guère été victimes de corrosions provoquées par les dépôts tandis que des corrosions, dans certains cas très rapides, se sont manifestées dans les turbines dont la température maximum dépassait cette valeur.

Ce phénomène a attiré l'attention sur le rôle du vanadium contenu dans les cendres.

Divers essais ont montré qu'à haute température (au-dessus de 600-650° C) le vanadium, sous forme d'oxyde de vanadium ou de vanadate de soude accélère la corrosion des alliages réfractaires utilisés dans les turbines à gaz. Les aciers au molybdène sont particulièrement sensibles à cet effet tandis que les alliages nickel-chrome (comme les nimonic) ou cobalt-chrome (comme le vitallium) y résistent beaucoup mieux. Cette action nocive ne se produit que si les cendres sont fondues, d'où l'explication du seuil de température.

Le mécanisme de cette action est, pense-t-on, la dissolution continue par les composés de vanadium de la couche d'oxyde protectrice qui se forme sur le métal, exposant ainsi celui-ci à une action d'oxydation constante. La corrosion très rapide des aciers au molybdène fait supposer que le molybdène de l'acier joue le rôle d'un catalyseur d'oxydation.

Des essais ont montré qu'il était possible de diminuer les dépôts et de les rendre moins nocifs en contrôlant la combustion de manière à conserver 1 % environ d'imbrûlés sous forme de fines particules de carbone. La mise en application d'un tel procédé, qui doit être effectif à toutes les charges de la turbine, apparaît difficile.

Une autre voie a été suivie pour lutter contre dépôts et corrosion : l'emploi d'additifs jouant le rôle d'inhibiteurs de corrosion. Ces additifs agissent soit par dilution des constituants des cendres dans une substance inerte, soit par la formation, avec ces cendres, de composés à point de fusion élevé.

Les additifs doivent être peu coûteux et faciles à mettre en œuvre.

De bons résultats ont été obtenus avec la silice sous forme soluble (éthyl-silicate) mais son prix est élevé. Aussi, s'est-on tourné vers des composés bon marché de la silice comme le kaolin (silicate d'aluminium) et le kieselguhr (silicate de magnésium).

Le kieselguhr a été utilisé avec succès comme inhibiteur de corrosion mais il ne semble pas avoir d'action sur l'importance des dépôts. Le kaolin a été essayé avec succès, semble-t-il.

Les essais d'inhibiteurs de corrosion et de dépôts, en pleine évolution aujourd'hui, semblent prometteurs (1).

(1) Pour plus de détails, se référer à :

P. T. SULZER, *Über die Beeinflussung von Oelharzenblagerungen durch Brennstoffzusätze* (Schweizer. Archiv zur Angewandte Wissenschaft und Technik, 1952, vol. 18, p. 379).

A. T. BOWDEN, P. DRAPER and H. ROWLING, *The Problem of Fuel-oil Ash Deposition in open-cycle gas Turbines* (Proc. Inst. Mech. Eng., 1953, Vol. 167, p. 291).

## 5. Les turbines à gaz dans l'industrie sidérurgique

La turbine à combustion s'adapte particulièrement bien à l'emploi de combustibles gazeux, comme le gaz naturel (à haut pouvoir calorifique, environ 9 500 kcal par m<sup>3</sup> N) ou le gaz de haut fourneau (à bas pouvoir calorifique, environ 950 kcal par m<sup>3</sup> N) convenablement dépoussiéré (teneur inférieure à 20 mgr/m<sup>3</sup>).

Le gaz combustible doit être comprimé, avant injection, dans un compresseur auxiliaire à grande vitesse de rotation vu le débit assez faible; ce compresseur est en général entraîné par l'arbre principal, par l'intermédiaire d'un multiplicateur de vitesses à engrenages.

La puissance totale absorbée par la compression (air et gaz) n'est guère affectée par cette compression auxiliaire, la puissance absorbée par le compresseur d'air étant diminuée d'une quantité à peu près équivalente du fait de la réduction du débit d'air.

La turbine à gaz de haut fourneau peut être un simple groupe électrogène. A part le compresseur auxiliaire de combustible, elle ne présente pas dans ce cas de particularités; l'étude économique en sera faite au paragraphe suivant.

La turbine à gaz peut être plus étroitement liée à la vie de l'usine sidérurgique. Elle peut être conçue pour la production :

a) du vent de soufflage des hauts fourneaux (à des pressions de l'ordre de 2 à 2,5 kg/cm<sup>2</sup>);

b) d'air de soufflage pour les convertisseurs d'aciérie (à des pressions de l'ordre de 3 à 3,5 kg/cm<sup>2</sup>);

c) d'énergie électrique; séparément ou simultanément.

Des circuits plus complexes, mais qui n'ont pas encore reçu d'applications pratiques, ont été imaginés; ils combinent souvent la suralimentation du haut fourneau avec la suppression des réchauffeurs de vent classiques.

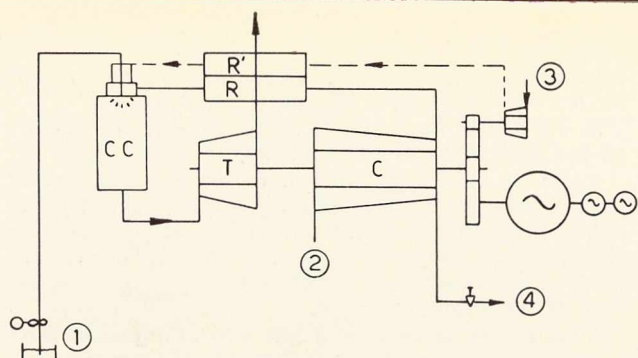
Comme nous l'avons signalé, il n'existe aujourd'hui que deux installations de turbine à gaz alimentées au gaz de haut fourneau, toutes deux construites par Brown Boveri mais elles constituent une référence de valeur puisque l'une d'elles a plus de 17 000 heures de fonctionnement normal.

La turbine à gaz installée à l'usine de Dudelange (ARBED, Grand-Duché de Luxembourg) répond au schéma de la figure 9. Elle entraîne un alternateur de 5 400 kW. Une partie de l'air du compresseur, au maximum 15 kg/sec peut être prélevé pour alimenter soit les hauts fourneaux à la pression de 2,2 kg/cm<sup>2</sup>, soit les convertisseurs à la pression de 3 kg/cm<sup>2</sup>. La puissance électrique du groupe diminue lorsque le débit d'air prélevé croît.

La puissance nominale de 5 400 kW est obtenue avec un rendement de 21,5 % et une température maximum d'environ 550° C, inférieure aux 600° C prévus. Pour la température maximum de 600° C, la turbine fournit environ 6 800 kW avec un rendement de 24 %.

L'autre installation (aciérie de Baracaldo, Espagne) constitue un groupe ne servant qu'au soufflage de





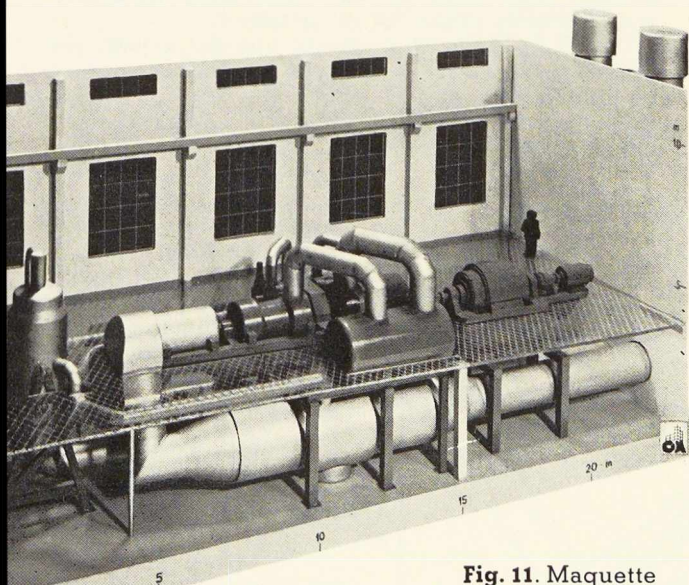
**Fig. 9.** Disposition schématique de la turbine à gaz de haut fourneau de l'Arbed (Dudelange - Brown Boveri).

1. Fuel Oil (démarrage). - 2. Air. - 3. Gaz HF. - 4. Prélèvement d'air.

l'aciérie. Le débit de soufflage est prélevé au refoulement du compresseur de la turbine à gaz. Remarquons que cette disposition a pour elle un rendement de compression élevé, à cause du grand débit du compresseur mais la pression maximum du circuit est liée à l'utilisation.

Ce groupe, en service depuis novembre 1952, a montré qu'il se plie avec une grande souplesse au diagramme journalier de l'usine. Le débit normal est de l'ordre de 13 kg/sec, à une pression de 2,7 atm.

Deux turbines à combustion de 7 500 kW alimentées au gaz de haut fourneau sont en construction chez Sulzer pour les Usines Métallurgiques du Hainaut. Elles constitueront les premières turbines à gaz industrielles installées en Belgique. Semblables dans leur structure, l'une forme cependant un groupe électro-



**Fig. 11.** Maquette d'une turbine à gaz 7500 kW alimentée au gaz de haut fourneau et constituant un groupe électrogène construit par Sulzer pour les Usines Métallurgiques du Hainaut.

gène pur tandis que l'autre (fig. 10 et 11) entraînant une soufflante et un alternateur, combine avec une grande souplesse la production d'énergie électrique et de vent de soufflage.

Le rendement escompté est de 24,5 %.

Le point normal de fonctionnement correspond à un débit de vent de 80 000 m<sup>3</sup> N/h sous 1,2 kg/cm<sup>2</sup> effectif.

L'obtention d'une large gamme de débit d'air de soufflage (de 40 000 à 100.000 m<sup>3</sup> N/h) a été obtenue de la manière suivante.

La soufflante de vent axiale entraînée par la turbine a été établie pour un débit de 67 000 m<sup>3</sup> N/h, inférieur au débit normal. Le réglage jusque 100.000 m<sup>3</sup> N/h s'obtient par un complément de débit soutiré à la sortie du compresseur basse pression de la turbine à gaz (où règne une pression un peu supérieure à celle de la soufflante). Ce soutirage diminue la puissance aux bornes de l'alternateur mais n'affecte guère le rendement qui est encore de 24,4 % à 80.000 m<sup>3</sup> N/h.

Quand le débit de vent demandé tombe au-dessous de 67.000 m<sup>3</sup> N/h, une fraction du débit de la soufflante de vent se détend dans une turbine de récupération, placée en bout d'arbre de cette soufflante.

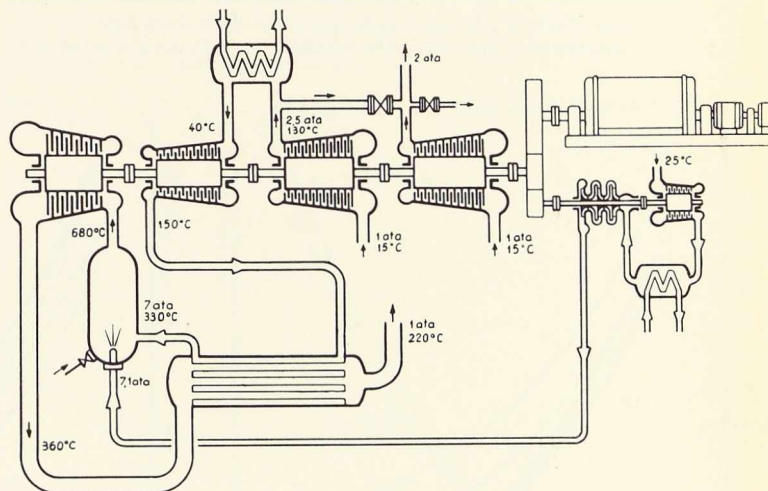
Ainsi le débit de vent peut être réglé entre 40 000 et 100 000 m<sup>3</sup> N/h, en conservant un bon rendement.

Sous 40 000 m<sup>3</sup> N/h, une partie du débit de la soufflante doit être rejeté à l'atmosphère, mais ce fonctionnement n'est pas à envisager pratiquement.

## 6. Les applications de la turbine à gaz dans le cadre de l'économie belge

### Production d'énergie électrique

Dès 1949, la Commission économique du Comité belge de la Turbine à Gaz a étudié, du point de vue économique, l'application de la turbine à gaz à la



**Fig. 10.** Disposition schématique d'une turbine à gaz servant à la production simultanée d'électricité et de vent (7 500 kW), construite par Sulzer pour les Usines Métallurgiques du Hainaut.

production d'énergie de base en centrales électriques (1).

Même en supposant des disponibilités semblables à celles des installations à vapeur, la turbine à gaz subit un double handicap : sa puissance unitaire limitée et, pour le proche avenir tout au moins, l'obligation d'utiliser un combustible liquide. Ce double handicap n'est pas compensé par l'avantage d'un prix par unité de puissance suffisamment inférieur à celui des installations à vapeur.

Cette conclusion est illustrée par la figure 12, extraite du rapport précité, qui compare le prix de revient de l'énergie, en fonction de l'utilisation annuelle, dans le cas des turbines à vapeur et à gaz; pour celles-ci, trois combustibles ont été envisagés : fuels-oils moyen, lourd et extra-lourd. Notons cependant que la marche au fuel-oil extra-lourd n'est pas possible industriellement aujourd'hui.

La mise au point éventuelle de la turbine à gaz alimentée au charbon ne renverserait pas cette conclusion, pour les installations de base tout au moins. En supputant, hypothèse la plus vraisemblable, la marche au charbon de la turbine en circuit fermé, le rendement possible serait au mieux équivalent à celui des installations à vapeur. L'avantage de la turbine à gaz ne pourrait provenir que d'une réduction du prix et l'étude comparée attentive de la structure d'une telle installation et d'une centrale à vapeur semble indiquer que les prix seraient à peu près équivalents. Seules des circonstances locales, comme la pénurie d'eau ou la réalisation d'installations combinées de production d'énergie et de chaleur, pourraient favoriser la turbine à gaz pour la production d'énergie de base dans un pays dont l'économie est axée sur le charbon dans le proche avenir.

Par contre, la turbine à gaz alimentée en combustible liquide paraît adaptable à la production d'énergie de pointe ou de secours, avec une faible utilisation.

Dans ce cas la puissance unitaire limitée n'est pas un défaut : les groupes peuvent être installés au voisinage du lieu de consommation et l'énergie peut être

injectée directement dans le réseau à moyenne tension, comme envisagé par l'Electricité de France.

Si on utilise des circuits assez simples, les besoins en eau sont nuls ou très limités.

Enfin, le coût d'installation moins élevé de la turbine à gaz joue au maximum puisque, du fait de la faible utilisation, les frais de combustible ont une répercussion moins grande, les charges de capital ayant une incidence prépondérante sur le prix de revient de l'énergie de pointe.

L'intérêt de la turbine à gaz dans l'industrie sidérurgique a été signalé au paragraphe 5. Pour la production d'énergie électrique à partir du gaz de haut fourneau, la turbine à gaz apparaît avantageuse comme le montre la figure 13, extraite du rapport précité.

Si on se rappelle que 13 % de l'ensemble de l'électricité belge sont produits à partir du gaz de haut fourneau, on conçoit qu'il y a là une application importante pour la turbine à gaz en Belgique.

### Traction ferroviaire

L'expérience européenne des locomotives à turbines à gaz se limite à trois machines : la locomotive des chemins de fer fédéraux suisses (turbine Brown Boveri) et deux locomotives des British Railways-Western Region (turbine Brown Boveri pour l'une, Metropolitan Vickers pour l'autre).

Une expérience plus importante sur des machines plus puissantes (4 800 CV) a été accumulée aux Etats-Unis par l'Union Pacific. Après une expérience portant sur 10 locomotives, 15 nouvelles machines ont été commandées à la Ge Co.

Toutes ces unités ont été considérées comme des turbines à gaz industrielles dans le bilan de la puissance installée dressé au paragraphe 3.

Tant à cause de la puissance que de la place disponible, les turbines à gaz pour locomotives sont des unités simples, parfois complétées par un récupérateur d'efficacité voisine de 0,5. Elles n'exigent aucune alimentation en eau.

Le développement de la locomotive à turbine à gaz paraît donc se poursuivre aux Etats-Unis et pas en Europe.

Ces évolutions opposées trouvent leurs causes dans le prix des combustibles et dans la différence fondamentale des réseaux.

(1) Mémoires de la Société Royale Belge des Ingénieurs et des Industriels, Série B, n° 5, 1949.

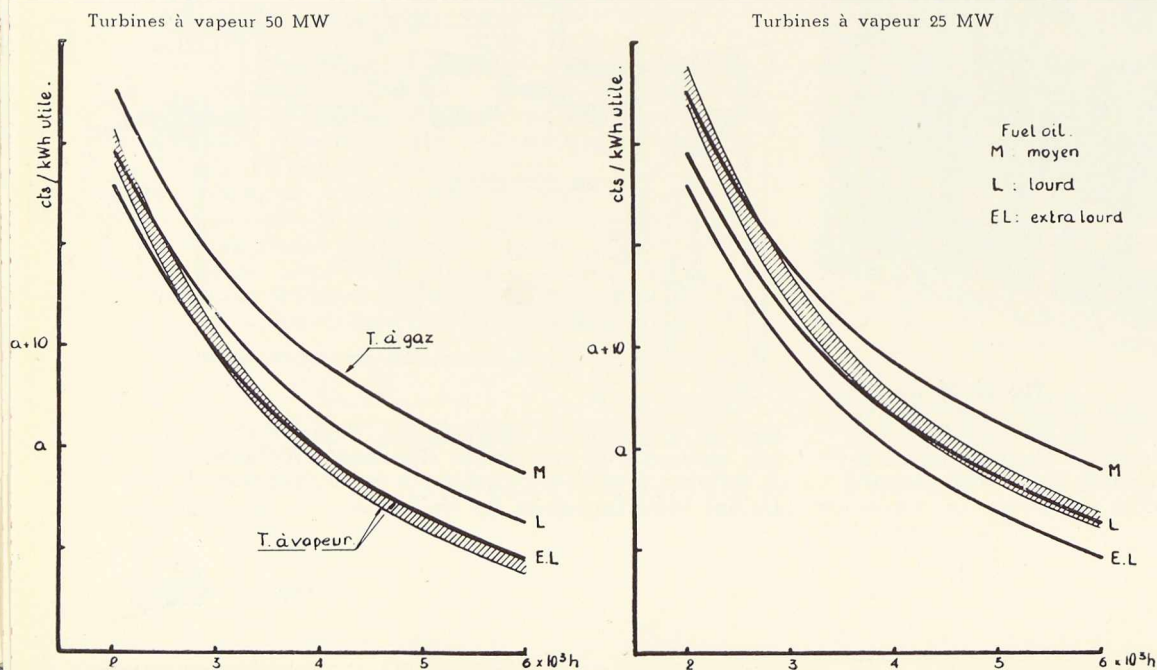


Fig. 12. Comparaison des prix de revient de l'énergie produite par les turbines à gaz et les turbines à vapeur.

Aux Etats-Unis, de grandes puissances sont nécessaires pendant de longs trajets : la turbine à gaz peut donc être employée à son rendement maximum (environ 20 %).

En Europe, les conditions d'utilisation imposent un fonctionnement fréquent à charge partielle où la turbine à combustion a une consommation très élevée.

M. D. F. Hugues a signalé <sup>(1)</sup> que, d'après l'expérience d'exploitation en Grande-Bretagne, les prix du combustible sont les suivants :

Locomotive Diesel-Elec-	
trique . . . . .	0,59 fr par ch-h à la traction
Locomotive à vapeur . . . . .	0,66 fr par ch-h à la traction
Locomotive à turbine à	
gaz . . . . .	1,52 fr par ch-h à la traction

Le réseau belge apparaît très mal adapté à la turbine à gaz ordinaire. Toutefois les importantes possibilités de la locomotive à turbine à gaz alimentée par générateur à pistons libres seront indiquées ultérieurement.

### Marine

La seule expérience acquise sur mer en exploitation commerciale est celle du pétrolier « Auris » propulsé par trois moteurs Diesel et une turbine à gaz B. T. H. de 860 kW. La transmission est électrique.

En deux années d'exploitation, la turbine a fonctionné 11 200 heures en consommant 3 468 tonnes de combustible de diverses qualités; 2 800 heures ont été réalisées avec un combustible de viscosité comprise entre 300 et 370 centistokes dont le contenu en cendres était de 0,06 à 0,09 %.

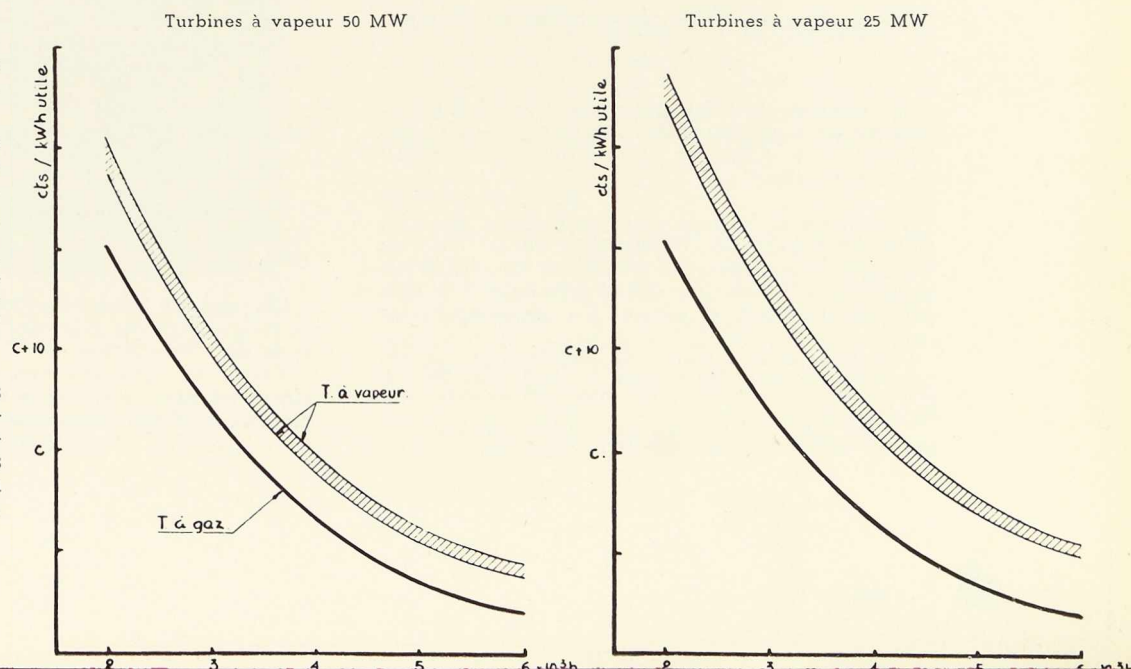
Diverses adaptations ont été faites (dispositifs de lavage sur le silencieux et la tuyauterie d'aspiration, sur le compresseur et la turbine), mais jamais la turbine n'a dû être arrêtée en mer par suite d'une avarie. Un réajustage de la turbine a cependant dû être effectué à la suite de corrosions dues au combustible utilisé et au matériau employé, particulièrement sensible aux composés du vanadium.

La consommation d'huile de graissage après 12 000 heures est insignifiante.

Un nouveau pétrolier de 18 000 t en construction pour la même firme, l'Anglo-Saxon Petroleum Co.

<sup>(1)</sup> D. F. HUGUES, *La turbine à gaz industrielle* (Bulletin de la Société Royale Belge des Ingénieurs et des Industriels), 1954, 3, p. 129.

**Fig. 13.** Comparaison des prix de revient de l'énergie produite par les turbines à gaz alimentées au gaz de haut fourneau et les turbines à vapeur.



sera propulsé uniquement par turbines à gaz. Il comportera deux unités à deux arbres de 4 050 ch; la transmission sera électrique, comme pour l'« Auris ». Les turbines sont construites par B. T. H. Prévue pour la combustion de fuel-oils lourds, la température maximum sera limitée à 650° C et des alliages spécialement résistants à la corrosion seront employés. En outre, on compte ajouter au combustible, un inhibiteur de corrosion.

Le prix de l'appareil moteur complet avec la transmission électrique dépasse celui d'une turbine à vapeur ou d'un moteur Diesel. Néanmoins, l'Anglo-Saxon Petroleum Co. estime que les frais d'exploitation, pour un rendement global à l'arbre de l'hélice de 25 % seront inférieurs à ceux d'un bateau mû par turbine à vapeur ou par moteurs Diesel.

Sous l'égide du Centre Belge de Recherches Navales, nous avons entrepris, pour quelques types de cargos, la comparaison économique de la propulsion par moteur Diesel et par turbine à gaz. Il serait prématuré de donner dès maintenant les premiers résultats de cette étude.

L'adaptation de la turbine à gaz à la marine marchande est une œuvre de longue haleine : l'expérience de l'« Auris » justifie une vue optimiste. Elle a démontré :

- La sécurité et les frais d'entretien réduits de la turbine à gaz;
- L'absence complète de vibrations;
- La durée de vie de la machine atteindra celle du bateau, les seules pièces à remplacer étant les premiers aubages de la turbine et certaines parties de la chambre de combustion après un temps que l'on peut estimer supérieur à 20 000 heures.

Reste à trouver une solution complètement satisfaisante du renversement de marche : nous pensons que ce sera l'hélice à pas variable <sup>(2)</sup>.

A. L. J. & L. R. B.

<sup>(2)</sup> La suite de cette étude paraîtra dans le numéro 7-8 de *L'Ossature Métallique*. Le texte de cette deuxième partie sera envoyé gracieusement à nos lecteurs, sur demande adressée au C. B. L. I. A.

## Bibliothèque

### Nouvelles entrées (1)

#### **Aluminium in Iron and Steel** (L'aluminium dans le fer et l'acier)

par S. L. CASE et R. VAN HORN

Un volume de 478 pages, format 15 × 23,5 cm, illustré de nombreuses figures. Edité par John Wiley & Sons, New York. Prix : \$ 8,50.

L'important ouvrage de MM. Case et Van Horn constitue un Vade-Mecum très complet sur les emplois de l'aluminium en sidérurgie. Le livre comporte deux grandes divisions :

- I. L'aluminium utilisé comme calmant;
- II. L'aluminium en tant qu'élément allié.

Une bibliographie de quelque 340 titres complète cet ouvrage qui sera apprécié des métallurgistes.

#### **Circular plates subjected to radially symmetrical transverse load combined with uniform compression or tension in the plane of the plate** (Plaques circulaires soumises à des charges radiales symétriques combinées avec compression ou tension uniforme dans le plan de la plaque)

par Ove PETTERSSON

Un ouvrage de 30 pages, format 17,5 × 25 cm, illustré de 21 figures. Edité par *Teknisk Tidskrift*, Stockholm, 1953. Prix : 7 couronnes.

Cet ouvrage contient l'approche théorique du problème, un exemple d'application et une bibliographie traitant la question des plaques circulaires.

#### **Les installations hydro-électriques en Suisse**

par P. MEYSTRE

Un ouvrage de 174 pages, format 21 × 29,5 cm, illustré de nombreux plans et figures. Edité par l'Imprimerie Vaudoise, Lausanne, 1954. Prix : 15 francs suisses.

L'intéressant ouvrage de l'Ingénieur P. Meystre, Chef du Service de l'Electricité de la Ville de Lausanne constitue non seulement une mise au point, mais aussi une vue d'ensemble à la fois historique actuelle et future. Les problèmes rela-

(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.

Le C. B. L. I. A. est à la disposition des lecteurs pour leur procurer les ouvrages qu'ils voudraient acquérir.

tifs à l'énergie y sont évoqués et l'électricité en Suisse, qui joue un rôle de premier plan y est située à sa vraie place.

#### **L'Année Ferroviaire 1954**

Un ouvrage de 228 pages, format 14 × 23 cm, illustré de plusieurs figures. Edité par Plon, Paris, 1954. Prix : 690 francs français.

*L'Année Ferroviaire 1954* paraît pour la huitième fois. C'est dire que cet intéressant recueil jouit d'une faveur de plus en plus grande auprès des amis des chemins de fer. L'ouvrage contient une partie documentaire concernant les réseaux français et étrangers ainsi que des articles originaux signés de personnalités connues telles : Louis Armand, Directeur Général de la S. N. C. F., « Les transports et l'économie »; Paul Marois, Directeur Commercial de la S. N. C. F., « Politique commerciale de la S. N. C. F. »; Pierre Devaux, « Chemins de fer platoniciens et Cybernétique au service du rail »; A. Parmentier, Directeur du Matériel et de la Traction de la S. N. C. F., « La traction Diesel en France et dans le monde », etc.

#### **Stewarts & Lloyds Ltd. 1903-1953**

Un volume relié de 160 pages, format 22 × 28 cm, illustré de nombreuses figures. Edité par Stewarts & Lloyds, Glasgow, 1954.

Pour commémorer le jubilé d'or de sa fondation, la firme Stewarts & Lloyds a publié un recueil abondamment illustré dans lequel sont retracés les différentes étapes de la Société.

Les événements mondiaux survenus durant la même période servent de toile de fond à cet ouvrage, dont on appréciera la belle présentation.

#### **Walzstahl (Catalogue des Profilés)**

Edition 1954.

Un volume de 366 pages, format 15 × 21 cm. Edité par l'Association des Lamineurs, Dusseldorf, 1954.

Cet ouvrage bilingue (allemand-français) donne le programme de fabrication de 59 usines membres de l'Association.

Parmi les produits repris dans ce catalogue citons : fontes, aciers, demi-produits, aciers marchands, profilés, tôles, matériel de voie, matériel de mines, fils et produits de tréfilerie, etc.

# CHRONIQUE

## Marché de l'acier pendant le mois d'avril 1954

	Production acier lingot en tonnes		
	Belgique	Luxembourg	Total
<b>Avril 1954</b> . .	<b>393 011</b>	<b>219 879</b>	<b>612 890</b>
Mars 1954 . .	403 610	226 569	630 179
<b>Janv.-Avril 1954</b>	<b>1 539 028</b>	<b>839 438</b>	<b>2 378 466</b>
Jan.-Avr. 1953	1 580 782	1 032 658	2 613 440

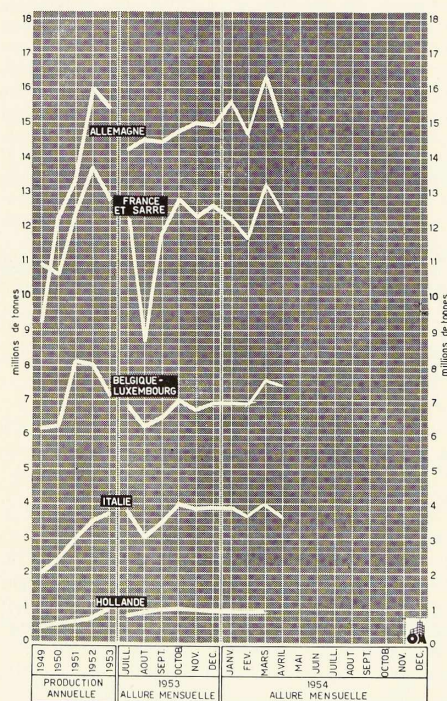


Fig. 1. Moyennes de production d'acier lingot des six pays de la Communauté Européenne Charbon-Acier (C. E. C. A.).

C. E. C. A.

Le Conseil des Ministres de la C. E. C. A. à Luxembourg a décidé de postposer au 1<sup>er</sup> juillet l'ouverture du marché commun des aciers spéciaux qui avait été prévu pour le 1<sup>er</sup> mai.

M. Karl Barich, porte-parole de la sidérurgie allemande, a vivement critiqué la politique de la C. E. C. A. Il a réclamé un abaissement sensible de la redevance. M. Franz Elzel, Vice-Président de la Haute Autorité a annoncé d'autre part une réduction de taux des redevances.

D'autre part, M. Monnet a obtenu des U. S. A. un prêt de 100 millions de dollars remboursable en 25 ans et portant intérêt à 3 7/8 %.

L'objet du prêt, stipule le contrat, est « d'aider la Haute Autorité à moderniser et développer les ressources naturelles de la communauté », mais la Haute Autorité cherchera à mobiliser des capitaux privés pour de semblables investissements.

Le prêt est garanti par les revenus annuels de la C. E. C. A. et les remboursements ne commenceront que dans 3 ans.

On annonce de Luxembourg que M. Spaak, Ministre belge des Affaires étrangères, ne se représentant plus comme candidat à l'Assemblée Commune de la C. E. C. A. a été remplacé par M. de Gasperi. D'autre part, M. Vermeylen, Ministre de l'Intérieur de Belgique, a donné sa démission à cette assemblée.

En France, le Ministre Edgar Faure a installé officiellement une Commission Technique des Ententes dont le rôle est :

1° De promouvoir, à l'intérieur, les ententes qui accroissent la production et diminuent les prix de revient;

2° De combattre sur le marché français les ententes qui abolissent la libre concurrence, freinent la production et le progrès économique.

### Marché commun

Le mouvement d'affaires sur le marché sidérurgique qui avait été très calme ces mois derniers, tend à reprendre. La situation s'améliore notamment en U. E. B. L., en France et en Allemagne et les usines ont déjà enregistré quelques nouvelles commandes.

Il semble bien qu'il ne s'agisse pas d'un simple feu de paille, mais d'une reprise véritable ayant pour base le besoin de réapprovisionne-

ment : dans le bâtiment par exemple, l'hiver doux n'ayant causé que peu de chômage saisonnier, les stocks sont sérieusement entamés.

La consommation de ferraille par les pays membres de la C. E. C. A. s'est élevée en 1953, à 10 000 000 t dont 500 000 t avaient été importées de pays tiers : le marché commun se suffit donc presque à lui-même dans ce secteur.

En Belgique le nombre de hauts fourneaux à feu a passé de 43 à 44. Au Grand-Duché 24 hauts fourneaux sont en activité.

#### France

Les usines sidérurgiques montrent une nette tendance vers la mise en commun de certains moyens de production. C'est ainsi que la « Centrale électrique de Richemont », dans la Moselle, utilise les excédents de gaz des aciéries de Rombas, Uckange, Joeuf et Homécourt. L'énergie électrique produite est à la disposition des usines participantes. D'autre part des centrales collectives sont en construction, notamment à Longwy, pour la production de l'oxygène nécessaire aux nouveaux procédés sidérurgiques.

#### Allemagne

Les Usines August Thyssen à Duisbourg, procèdent en ce moment au moulage d'un laminoir à larges bandes qui est destiné à alimenter un laminoir à bandes à froid qui est au programme des modernisations pour l'an prochain. Un cinquième haut fourneau est en reconstruction et un sixième four Martin doit être mis en route en août prochain. Les investissements projetés comportent aussi une installation à oxygène et le développement de la cokerie.

La production allemande a augmenté pour atteindre un total de 1 362 000 t pour le mois de mars : néanmoins le premier trimestre 1954 est en déficit de 416 000 t par rapport à la même période de 1953.

#### Pays-Bas

Les Pays-Bas ont conclu avec la Finlande un accord aux termes duquel celle-ci importera pour 2 000 000 fl. de produits laminés hollandais. D'autre part, le gouvernement hollandais favorise l'établissement aux Pays-Bas d'industries américaines : 27 sociétés ont déjà créé des filiales en Hollande et y ont investi 40 000 000 de dollars.

#### Après un an de marché commun

M. P. Van der Rest, Président du Groupement des Hauts Fourneaux, a fait à Bruxelles une intéressante conférence sur « Un an d'expérience du marché commun charbon-acier ».

Il a montré les difficultés auxquelles s'est heurtée la Haute Autorité pour vaincre les particularismes nationaux et les tendances de certains producteurs; c'est pourquoi il fut impossible d'ouvrir le marché commun en une fois, et l'on a dû commencer par les produits secondaires, minerai et ferraille, de même que pour le charbon on avait dû admettre une période transitoire pour ne pas provoquer des arrêts d'activité.

Le marché commun de l'acier n'a donc été ouvert qu'il y a un an environ, et même celui des aciers spéciaux ne s'ouvrira qu'en juillet prochain à cause des conditions spéciales et délicates de production de ces aciers.

L'ouverture du marché commun de l'acier a malheureusement coïncidé avec un renversement de conjoncture sur le marché sidérurgique : il s'en est suivi des flottements dont notre pays, qui vit surtout d'exportations, s'est particulièrement senti.

On sait que le Traité d'où est née la C. E. C. A. comporte en matière d'ententes, de concentrations, des dispositions restrictives manifestement inspirées de conceptions en vigueur dans un grand pays non européen dont la structure industrielle, les habitudes commerciales et sociales sont totalement différentes de ce qu'elles sont en Europe et il n'est pas étonnant que ces dispositions se révèlent mal adaptées à notre marché. Il s'agit donc d'arriver à permettre aux industriels de rechercher, sous le contrôle de la Haute Autorité, les moyens de faire face à la situation qui se présente.

La politique économique belge, même avant l'établissement du marché commun, a toujours été fort libérale, mais nos partenaires doivent encore abolir certaines difficultés administratives pour que le marché commun puisse fonctionner normalement.

## La sidérurgie dans le monde

#### Angleterre

La *British Iron and Steel Federation* prend dans un article intitulé « La Grande-Bretagne et la C. E. C. A. », une attitude nette qui rend difficile l'acceptation par le gouvernement de l'invitation de M. Monnet de s'associer à la C. E. C. A.

De l'avis de la B. I. S. F. une association n'allant pas jusqu'à la fusion complète ne serait aucunement fructueuse et d'autre part la fusion avec la C. E. C. A. est impossible du fait du système de préférence impériale auquel la Grande-Bretagne ne désire pas renoncer. De son côté, le gouvernement se rend compte qu'une faillite de la



C. E. C. A. risquerait de faire échouer le mouvement d'intégration européenne.

#### Etats-Unis

Le mouvement de déclin des affaires semble être enrayé : les aciéries ont maintenu leur activité à 68 % de leur capacité mais pour la dernière semaine de mai, ce chiffre est estimé devoir atteindre 70 %. Le prix des ferrailles monte de semaine en semaine. Certains producteurs cependant n'attendent pas de changement important avant la fin du troisième trimestre de l'année et l'U. S. *Steel Export* annonce des réductions allant jusqu'à 7 % pour certains tubes et fils afin de lutter contre la concurrence étrangère. Une réduction avait déjà eu lieu au mois de mars dernier.

#### Autriche

La production totale de fonte a dépassé 1 320 000 t en 1953, en augmentation de 150 000 t par rapport à 1952 et les deux installations d'affinage de l'acier à l'oxygène travaillent à plein rendement.

#### Algérie

On a découvert à la frontière algéro-marocaine un gisement de minerai à 50 % de fer, dont on ne connaît pas encore exactement l'importance. Actuellement l'Algérie exporte vers le Benelux environ 500 000 t de minerai par an.

#### Japon

D'après des contrats récemment signés, le Japon fournira 50 000 t de rails lourds à l'Argentine, 80 t de fil machine au Brésil et 1 250 t de tôles fortes à l'Inde.

#### U. R. S. S.

Le cinquième plan quinquennal, qui doit prendre fin en 1955, prévoit une production d'acier lingot de 41 100 000 t pour cette dernière année.

En 1952, cette production avait atteint 35 000 000 t, d'après les statistiques soviétiques. A Magnitogorsk et à Kuzuchsk il a été procédé à des expériences de marche sous pression dans plusieurs hauts fourneaux : l'augmentation de production a été de 10 % et la diminution de consommation de coke de 7 %. On compte aussi employer le soufflage de vapeur, dont on escompte une nouvelle augmentation de production d'environ 10 %.

Le plan prévoit une extension de la gamme de profilés mis sur le marché (jusqu'ici plus de 156 profils); on envisage entre autres le laminage de poutrelles à forte épaisseur pour automobiles et wagons.

#### Commerce Est-Ouest

Il existe toujours en Grande-Bretagne un sérieux courant pour l'intensification des relations commerciales avec l'U. R. S. S., mais dans certains milieux, notamment en France et en Italie, on se demande si le profit, étant donné les difficultés de paiement à prévoir, compenserait le danger de favoriser la propagande soviétique et, parlant, la guerre froide.

La Grande-Bretagne vient de faire une expérience décevante avec la Chine. L'arrangement commercial prévoyait des échanges pour 15 000 000 £ dans les deux sens : les exportations britanniques ne purent dépasser 4 500 000 £, les marchandises fournies par la Chine n'ayant pas été admises en Grande-Bretagne.

#### Lancement du cargo à moteur « Lubilash »

Le 5 mai 1954, en présence de M. Buisseret, Ministre des Colonies, a été lancé le cargo à moteur « Lubilash », construit par le Chantier Naval John Cockerill pour compte de la Compagnie Maritime Belge.

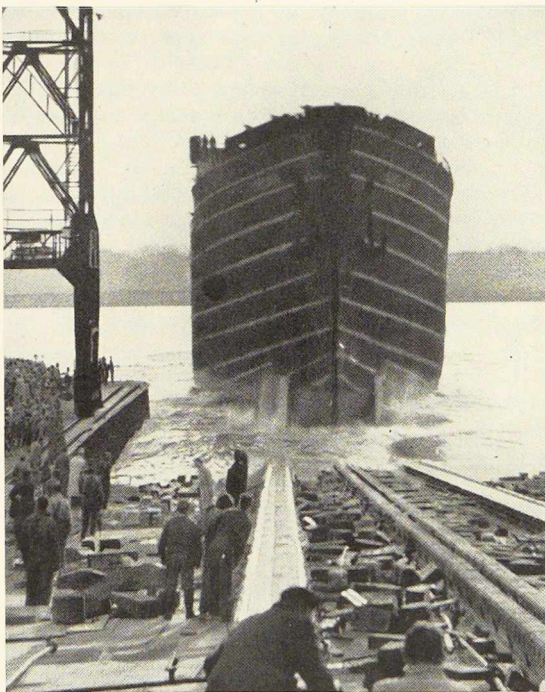


Photo F. Claes.

Fig. 2. Lancement du cargo à moteur « Lubilash ».

Cette unité est la deuxième d'une série de six navires identiques commandés à Cockerill par la Compagnie Maritime Belge (5) et la Compagnie Maritime Congolaise (1). Le premier navire, le « Lubumbashi » est en service depuis le début de cette année.

Les caractéristiques du « Lubilash » sont les suivantes :

Longueur hors tout . . . . .	146,60 m
Longueur entre perpendiculaires . . . . .	136,00 m
Largeur hors membres . . . . .	18,70 m
Creux au pont abri . . . . .	12,00 m
Calaison en charge . . . . .	8,23 m env.
Port en lourd . . . . .	9 600 t env.
Vitesse en service normal . . . . .	15 nœuds

Le navire peut embarquer 12 passagers en installations très confortables. L'Etat-Major et l'équipage comprennent 61 hommes.

Le navire peut être chargé par 6 écoutilles. Celles-ci desservent les cinq cales et entreponts ainsi que les quatre citernes permettant le transport de quelque 1 700 m<sup>3</sup> d'huile de palme.

De plus, trois soutes frigorifiques sont aménagées pour le transport de fruits, légumes, viandes et poissons, à basse température.

La mâture, particulièrement bien étudiée, est pourvue de 16 mâts de charge de 5 et 10 t plus un de 40 t et un de 60 t pour charges lourdes. Seize treuils électriques sont répartis aux différents mâts.

La machine à gouverner est du type électrohydraulique ; la commande à partir de la passerelle se fait par téléMOTEUR.

Le moteur principal de licence Burmeister & Wain et de construction Cockerill, 6 cylindres de 590 mm de diamètre et 1 250 mm de course, 2 temps, double effet, directement réversible, développe 6 000 C.V.E. à 112 tours par minute en service normal.

Le « Lubilash » porte le nom d'une rivière qui traverse le Kasai.

Le « Lubilash » et ses *sister-ships* ont été étudiés pour pouvoir servir sur les autres lignes de la Compagnie Maritime Belge et notamment sur celle que, en coopération avec la Compagnie Maritime Congolaise, elle entretient entre le Congo et les Etats-Unis d'Amérique.

### Travaux à l'A. F. N. O. R.

Nous venons de recevoir de l'Association française de Normalisation (A. F. N. O. R.) la norme NF-E31-301 concernant les brûleurs à mazout pour usages domestiques. Cette norme a été établie en accord avec l'Association technique de l'Industrie de l'Utilisation du Mazout en France (A. T. M.).

Elle traite de 3 types de brûleurs :  
 1° Pulvérisation mécanique par pression;  
 2° Pulvérisation par fluide auxiliaire;  
 3° Gazéification;

en les classant suivant le réglage du débit du combustible, le mode d'allumage et le mode d'apport de l'air de combustion.

Un chapitre spécial est accordé aux appareils de sécurité.

### Cinquièmes Florales de Valenciennes

Les Florales de Valenciennes, qui eurent lieu du 23 avril au 2 mai 1954 ont obtenu un très vif succès. Le grand hall de cette exposition était une immense construction mesurant 40 × 412,50 m, édifiée par la Société Entreprise de Paris. La charpente tubulaire de ce hall a nécessité la mise en œuvre de 500 t de tubes.

Nous donnons deux vues de l'Exposition florale de Valenciennes qui nous ont été obligeamment

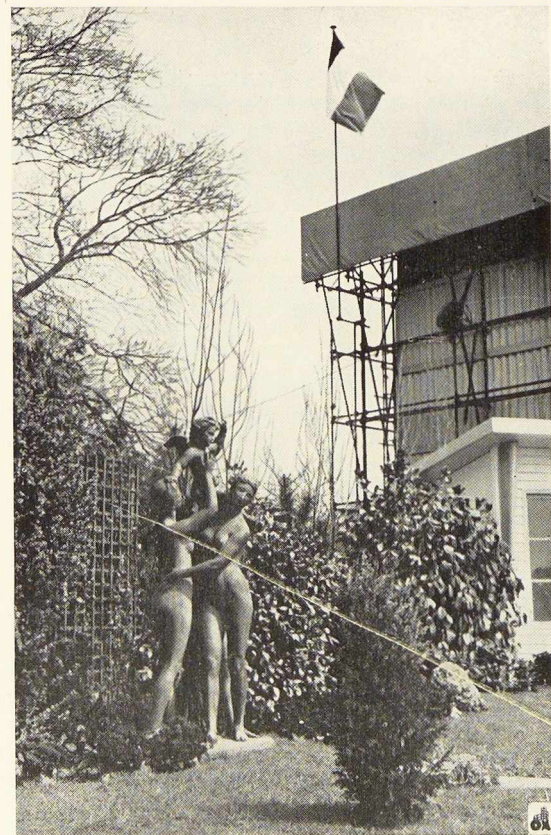


Fig. 3. Un coin des Florales de Valenciennes.



**Fig. 4.** Vue intérieure du grand hall des Floralies de Valenciennes.

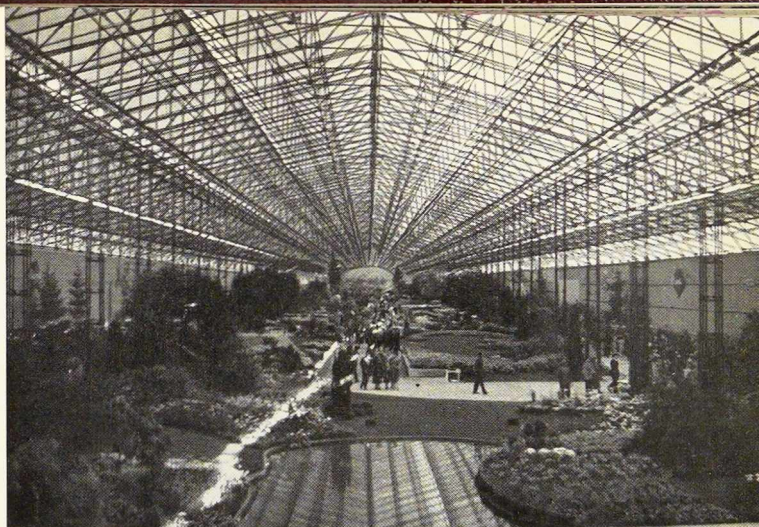
communiquées par la Société Vallourec (fig. 3 et 4).

### Le pavillon métallique démontable « Holiday »

Les Ateliers de Construction de Jambes-Namur ont présenté à la récente Foire de Bruxelles, leur nouveau pavillon démontable « Holiday », créé par les services d'études de la Firme, en collaboration avec MM. A. Dethy et R. Ghinet, Architectes.

Le modèle présenté était composé d'un living, d'une chambre, d'une cuisine-office et d'un W.-C. Grâce à sa construction en panneaux standards, il peut être agrandi suivant les désirs de l'occupant, et être pourvu de chambres supplémentaires et même d'un garage.

La fourniture du pavillon comprend les éléments en tôle d'acier pour les parois et toiture, les portes et châssis métalliques avec quincail-



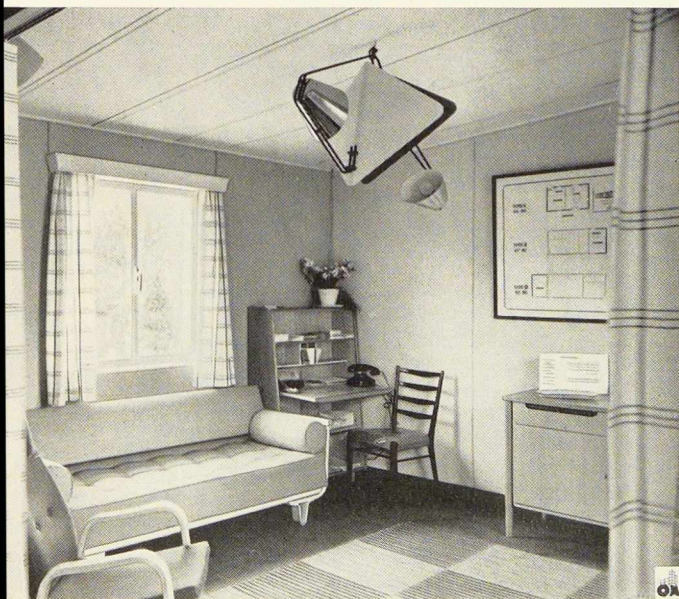
lerie, les tubes, boulons et vis d'assemblage, les plaques d'isolation constituant les murs intérieurs, les cloisons et plafonds, les panneaux de plancher en sapin rouge, les dés en béton pour les soubassements, les plaques en éternit, les volets en bois avec charnières et quincaillerie.

Les parois et la toiture des pavillons « Holiday » sont composés de panneaux auto-portants, en tôle d'acier, accrochés par boulons non apparents, dans lesquels sont logés les portes et châssis métalliques.

Les murs intérieurs, cloisons et plafonds sont constitués au moyen de plaques isolantes rigides qui peuvent recevoir peinture, tapisserie, clous, vis, etc.

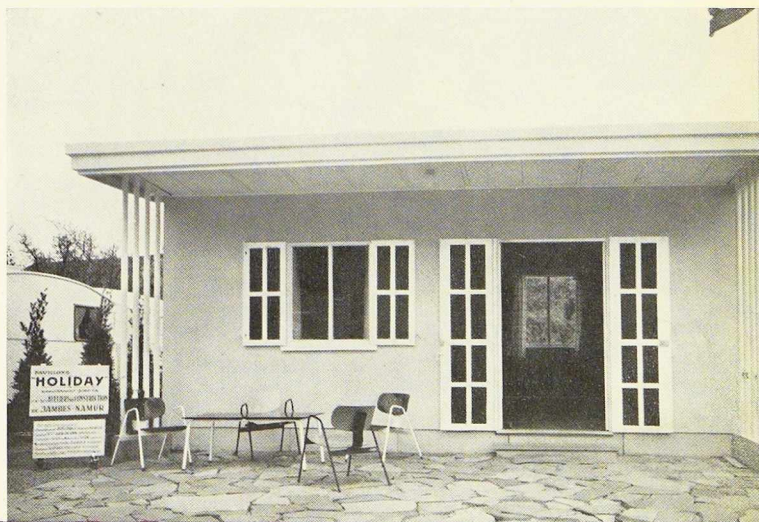
Les pavillons sont montés soit sur un plancher en bois reposant sur dés en béton, soit sur un radier en béton. Le montage peut être effectué sur place par les soins de la Firme ou de l'acheteur.

Suivant les types, les prix départ usine s'échelonnent entre 88.700 et 105.500 frs.



**Fig. 5 et 6.** Intérieur et extérieur du pavillon « Holiday ». Au premier plan, meubles métalliques Tubax, créés par W. Van der Meer.

Photos « Eclair-Photo ».



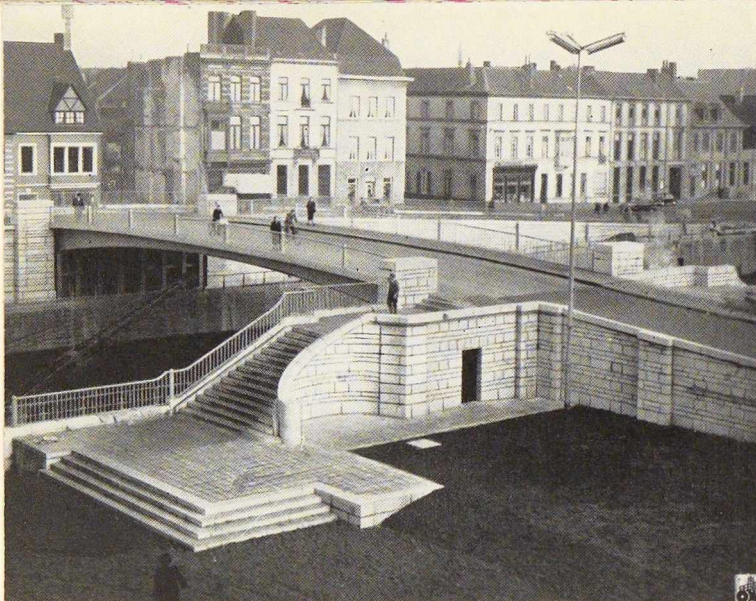
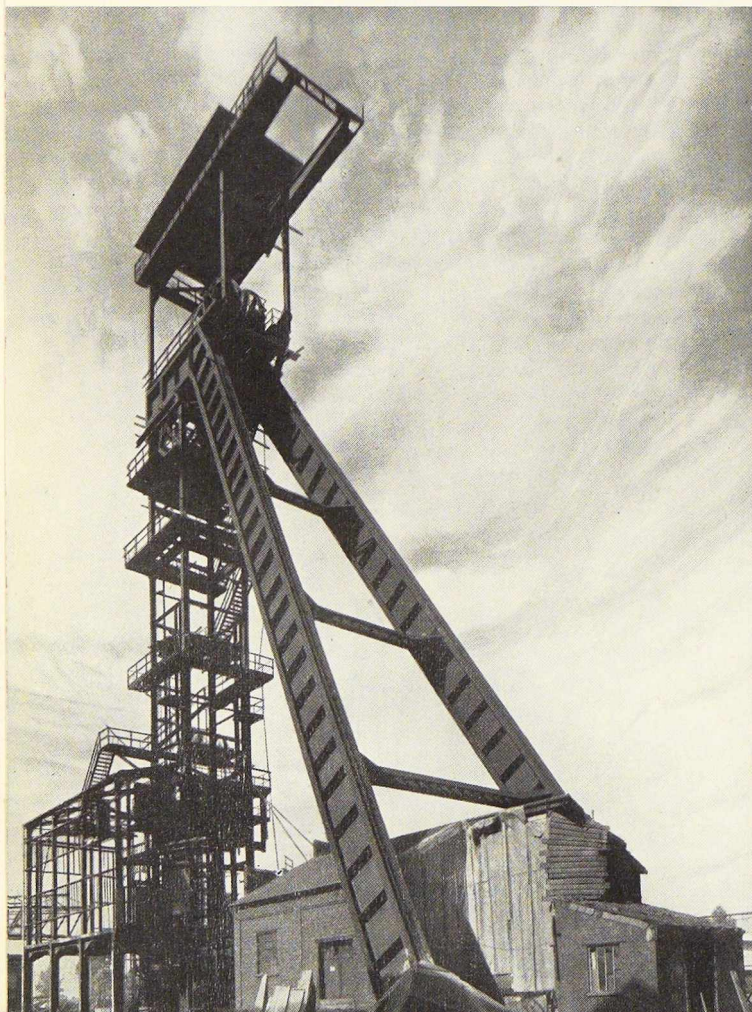


Photo R. Kaiser.

### Le nouveau Pont de Fer à Tournai (Belgique)

Etabli en pleine ville, cet ouvrage posait des exigences architecturales particulières, dont témoigne notamment l'aspect monumental donné



**Fig. 7.** Vue d'ensemble du Pont de Fer à Tournai.

aux culées et aux accès au pont. Il présente une largeur de chaussée de 7 m et deux trottoirs de 2 m environ, en faible encorbellement.

La superstructure métallique entièrement soudée, tant à l'atelier qu'à pied d'œuvre, et reliée au platelage en béton par des ancrages localisés, est du type à béquilles, avec une entredistance d'axe en axe des rotules de 33 m et une différence de niveau entre celles-ci et la face inférieure à la clé de 4,51 m. On réalise ainsi un tirant d'air de 4,50 m minimum sur toute la largeur entre murs de quais de l'Escaut franchi en cet endroit.

La charpente métallique se compose de 8 portiques, dont 6 identiques distants de 1,50 m dans la partie centrale sous chaussée et 2 portiques extérieurs légèrement plus élevés sous les trottoirs, à 1,25 m des autres. Les portiques intérieurs ont une hauteur d'âme de 0,40 m à la clé et de 1,200 m à la liaison avec les béquilles. Pour les portiques extrêmes, ces hauteurs sont respectivement de 0,555 m et de 1,355 m. Les huit portiques sont reliés par 21 entretoisements de faible hauteur, — parmi lesquels 17 en travée et 2 dans chaque béquille, — dont les semelles supérieure et inférieure traversent les âmes des portiques, tandis que les âmes sont directement soudées sur celles-ci. Des goussets d'angle et des raidisseurs d'âme judicieusement répartis s'opposent au flambage ou au dérobement latéral des semelles, ainsi qu'au voilement des âmes; à noter qu'il n'y a pas de raidisseurs apparents sur la face extérieure des âmes des portiques extrêmes.

D'un tonnage total d'acier d'environ 110 t, soit 300 kg par m<sup>2</sup> de surface utile, l'ouvrage est surtout intéressant par le détail des assemblages soudés, qui ont été conçus et réalisés suivant les prescriptions les plus récentes en la matière, et par le procédé de montage adopté : mise en place des portiques complets sans aucun échafaudage inférieur.

Il frappe par sa grande légèreté et s'encadre parfaitement dans le site urbain qui l'entoure.

L'ouvrage métallique a été construit pour le compte du Ministère des Travaux publics (Service du Haut Escaut à Courtrai) par les Ateliers Métallurgiques de Nivelles.

**Fig. 8.** Chevalement métallique soudé construit par la Société Métallurgique d'Enghien-Saint-Eloi au puits IIIbis des Charbonnages du Hainaut à Tertre. La hauteur du sol à l'axe des molettes est de 37,50 m. (Dans la Chronique du n° 5-1954 cette photographie a paru accompagnée d'une légende erronée)

Photo G. M.

## Congrès de la Soudure, à Essen

Dans le cadre de l'exposition « Soudage et découpage » qui aura lieu à Essen du 12 au 21 juin 1954, la *Deutscher Verband für Schweiss-technik (D. V. S.)* organise les « Grandes Journées de la Soudure » du 14 au 16 juin.

Les thèmes des différents rapports présentés tiennent compte des nouveaux problèmes introduits par les procédés automatiques, tels que :

Utilisation de la science nucléaire à des fins pacifiques;

Contrôle non destructif;

Sécurité et qualité dans les différents genres de constructions soudées;

Application correcte et défectueuse des procédés de soudage et des constructions soudées, etc.

Parmi les conférenciers, relevons notamment le nom du Professeur Ir. Jaeger, Président de l'Institut International de la Soudure.

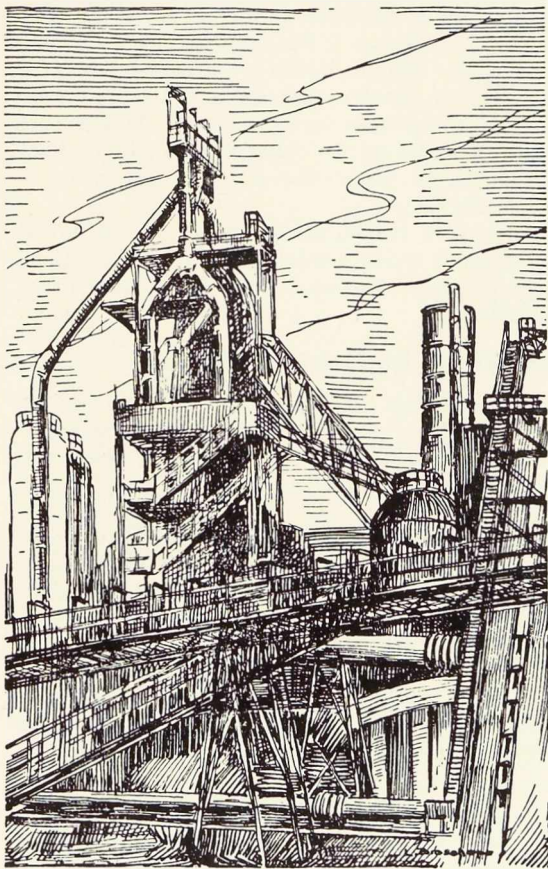


Fig. 9. Impression d'artiste du nouveau haut fourneau de la Société d'Espérance-Longdoz à Seraing.

## Inauguration d'un nouveau haut fourneau à la S. A. Métallurgique d'Espérance-Longdoz

La Société d'Espérance-Longdoz a inauguré le 10 mai dernier, à Seraing, en présence de nombreuses personnalités politiques et industrielles, un nouveau haut fourneau et un mélangeur de 1 000 t. Le nouveau haut fourneau, d'un volume total de 800 m<sup>3</sup>, a une hauteur totale de 24 m. Avec son creuset, dont le diamètre atteint 6,25 m, le haut fourneau V est le plus large de ceux existant en Belgique.

L'ensemble est édifié d'une façon compacte, vu le peu de place disponible.

La manutention est d'inspiration anglo-saxonne, tandis que le contrôle thermique est d'inspiration européenne. La production journalière du haut fourneau atteint 600 t.

Le nouveau mélangeur, d'une capacité de 1 000 t, est situé à quelque 200 m du haut fourneau. Ceci permettra, grâce à la rapidité du transport dans des poches de grande capacité, de réduire au minimum la perte de température de la fonte depuis le trou de coulée.

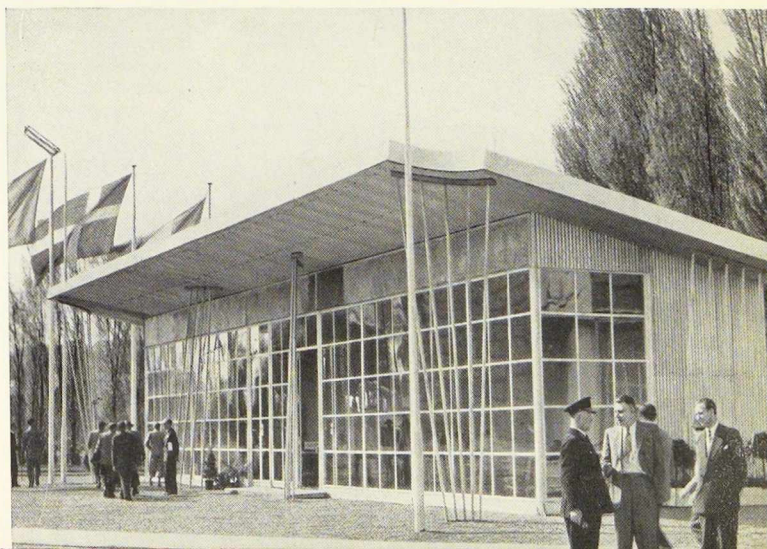
## Réunion internationale d'ingénieurs

Les 11 et 12 juin 1954, se réuniront à Bruxelles, à l'initiative de la Société Royale Belge des Ingénieurs et des Industriels, les délégués de Sociétés d'Ingénieurs de l'Europe occidentale et des Etats-Unis d'Amérique avec ceux du Commonwealth britannique et d'Amérique du Sud.

La présence de nombreuses délégations d'outre-mer est prévue.

Les contacts ainsi ménagés favoriseront certainement de nouvelles coopérations scientifiques, techniques et industrielles.

Fig. 10. Pavillon de réception de la Foire internationale de Liège construit sur l'esplanade par les Usines à Tubes de la Meuse. (« Designer » : M. Paquay.)





Professeur L. Baes.

### La dernière leçon du Professeur Baes

Le 26 mai 1954, le Professeur Baes a donné sa dernière leçon à l'Université de Bruxelles. Devant un nombreux auditoire, attentif et in-

teressé, M. Baes a retracé l'évolution des ouvrages précontraints, une des dernières conquêtes de l'art de construire et s'est étendu longuement sur un cas particulier : la poutre présollicitée Préflex.

Après avoir fait projeter un film sur la fabrication des poutres Préflex, M. Baes a montré quelques applications du système en Belgique et au Congo belge.

Vivement applaudi à la fin de son exposé, le Professeur Baes a été l'objet d'une manifestation de sympathie de la part des étudiants, dont un délégué lui a remis un souvenir en reconnaissance de son dévouement à l'enseignement de la Science des Constructions.

*L'Ossature Métallique*, qui a eu l'honneur de publier à plusieurs reprises d'intéressantes études du Professeur Baes, espère qu'il continuera à lui apporter une collaboration si appréciée de ses lecteurs.

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

Le XVI<sup>e</sup> Congrès International des Centres d'Information de l'Acier se tiendra à Londres du 11 au 15 octobre 1954. Plusieurs communications seront présentées au Congrès. Citons notamment les suivantes :

Emploi de la tôle pour l'équipement et les éléments constructifs dans les bâtiments à étages (France);

La tôle d'acier pour toitures et revêtements muraux (Grande-Bretagne);



L'acier dans la construction d'héliports (Allemagne);

Constructions métalliques industrielles en Suisse (Suisse);

La conception des aérogares à l'aéroport de Londres (Grande-Bretagne);

Aspects économiques du projet du pont de Forth (Grande-Bretagne);

Emploi de la tôle dans le matériel roulant (Belgique);

Aspects économiques de l'emploi de l'acier à haute résistance dans la construction (Italie).

Le Congrès comportera quatre séances officielles ainsi qu'une série de visites d'usines à Londres et en Ecosse.

### Voyage d'études de l'A. F. P. C.

L'Association Française des Ponts et Charpentes (A. F. P. C.) a organisé à l'intention de ses membres, un voyage-visite des chantiers dans la région de Nancy, Forbach, Metz et Thionville, au cours duquel on a visité des ponts de la vallée de la Moselle, de Nancy à Pont-à-Mousson; les installations des Grands Moulins Vilgrain à Nancy; le chantier de construction de la centrale thermique de Grosbliederstroff; les ponts de Rosbruck et de Hauconcourt; les chantiers des ponts d'Hanwerler et de Thionville; les installations de la « Sollac », etc.

*L'Ossature Métallique* publiera prochainement un compte rendu détaillé de ce voyage, auquel prirent part également plusieurs ingénieurs belges.

### Essais du Pont des Ardennes

Le beau Pont des Ardennes, dont l'inauguration officielle a eu lieu le 3 juin, a subi avec succès les essais de réception. Au cours de ces épreuves, l'ouvrage a été chargé par 24 tanks de 42 t chacun.

La flèche relevée atteignit 22 cm contre 25 cm (valeur théorique). Cet écart s'explique vraisemblablement par la présence de la dalle en béton armé, qui reste en contact par frottement avec l'ossature métallique et peut de ce fait diminuer la flèche.

Plusieurs autres essais ont été également réalisés. Citons notamment les essais mettant en évidence le travail des entretoises pour empêcher la torsion du pont.

**Fig. 12.** Tablier du Pont des Ardennes sur la Meuse, à Namur, traversé par les tanks de l'armée, au cours des essais de l'ouvrage. Constructeur : Ateliers de Construction de Jambes-Namur.

Photo H. Piron.