

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^e ANNÉE

N° 7-8

JUILLET-AOÛT 1954

S O M M A I R E

Le nouveau Pont des Ardennes sur la Meuse à Namur, par Ch. Boton	349
Quelques aperçus relatifs à la construction soudée de réservoirs sphériques de grande capacité, par Ed. Henrion	356
Charpentes métalliques, par C. F. Kollbrunner	361
La construction métallique soudée dans l'industrie du pétrole, par R. Chirol	369
Viaduc d'autoroute soudé à San Francisco (U. S. A.)	382
Constructions tubulaires en Grande-Bretagne, par T. Bed- ford	383
Calcul des poutres continues, par I. Toth	388
Quelques considérations sur les turbines à gaz indus- trielles (2 ^e partie), par A. L. Jaumotte et L. R. Beduwé	393
Industrial Design	397
CHRONIQUE	398
BIBLIOTHÈQUE	404

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 un viaduc métallique
portant la chaussée suréle-
vée à Cincinnati (U. S. A.),
d'une longueur totale de
plus de 1 000 m.
Constructeur : Bethlehem
Steel Co.

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^{ie}, 27, quai des
Grands-Augustins, Paris 6^e (Compte chèques postaux : Paris n° 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.

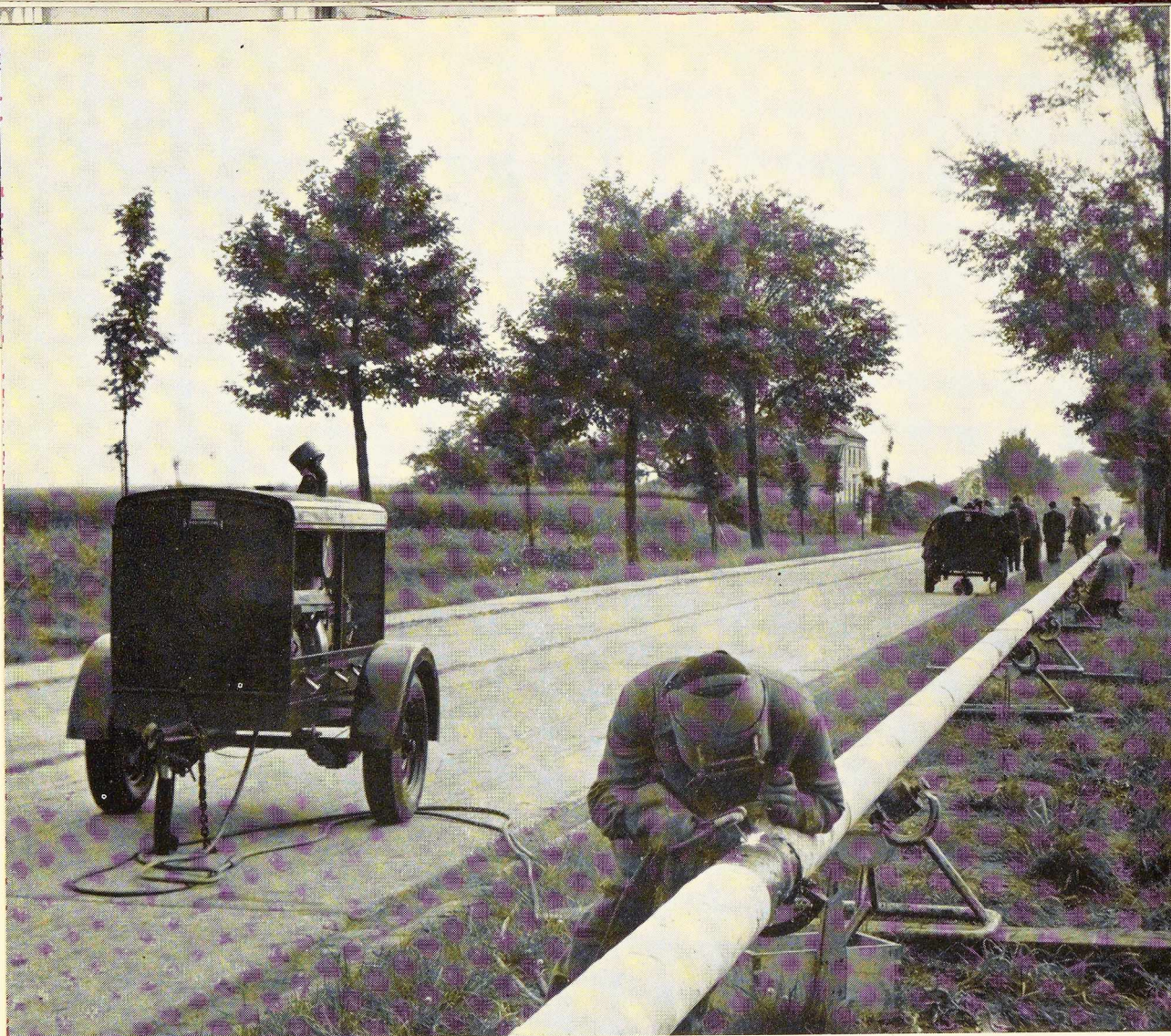
Tous les abonnements prennent cours le 1^{er} janvier.

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

I'A. I. B.

83, CHAUSSÉE DE RUYSBROECK
FOREST - BRUXELLES

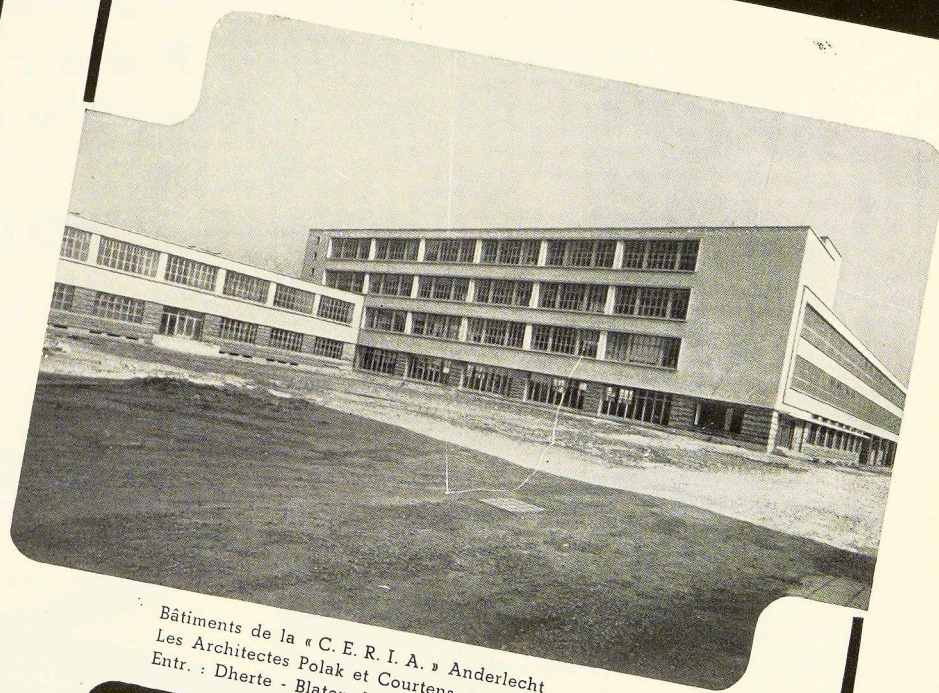
TÉL. : 43.45.65

44.09.02

43.99.34

CHAMEBEL

VILVORDE



Bâtiments de la « C. E. R. I. A. » Anderlecht
Les Architectes Polak et Courtens
Entr. : Dherte - Blaton Aubert - F. Gillion

USINES et BUREAUX à VILVORDE

Tél. : 51.25.01 (3 lignes)

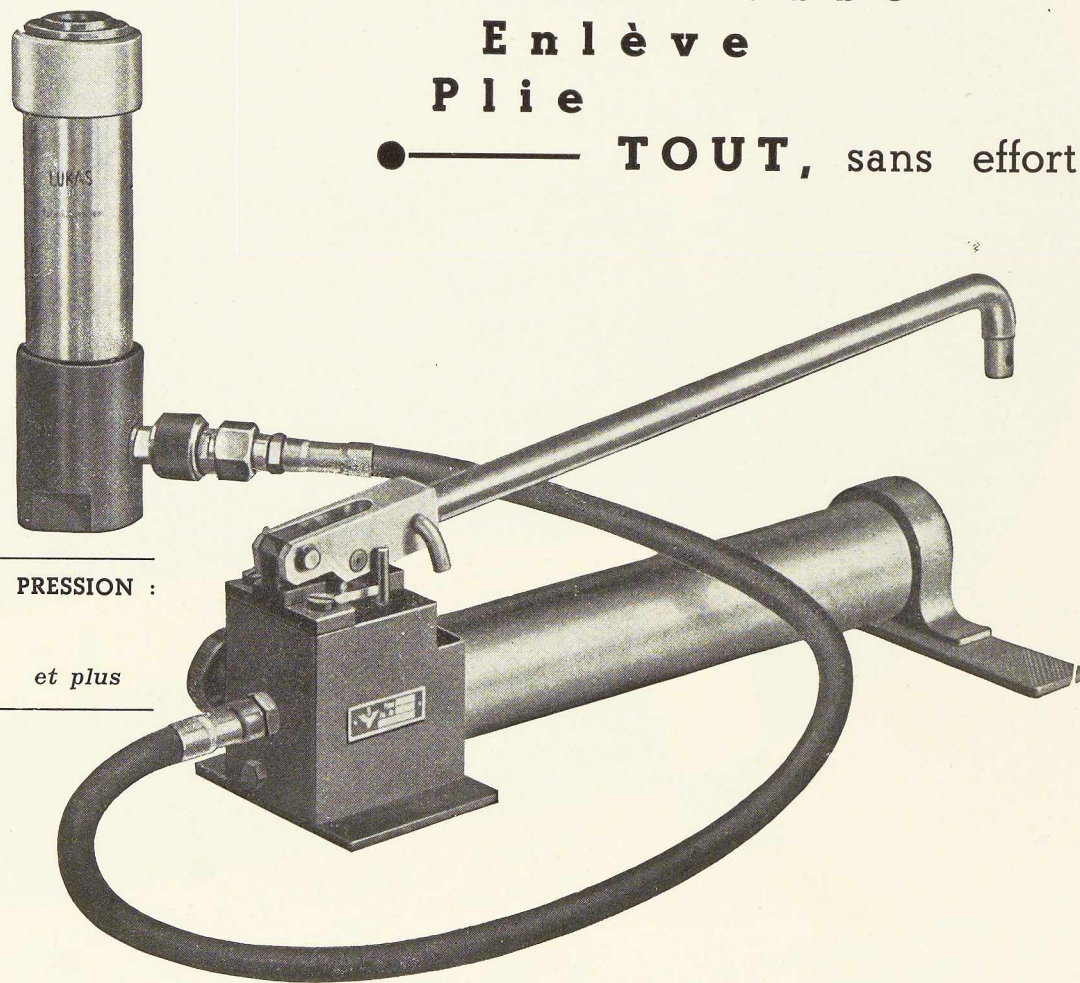
BUREAU de BRUXELLES, 27, rue Royale

Tél. 17.47.40 - 17.21.81

TOUTE MENUISERIE MÉTALLIQUE
ACIER - ALUMINIUM - BRONZE
CHASSIS ET PORTES
CHAMBRANLES
CLOISONS FIXES ET AMOVIBLES
REVÊTEMENTS EN TOLE
LANTERNEAUX AU VITRAGE
SANS MASTIC **ALUMINEF**

L'Outil hydraulique universel **LUKAS**

Soulève
Déplace
Presse
Redresse
Enlève
Plie
● ——— TOUT, sans effort



FORCE DE PRESSION :

5 000 kg
10 000 kg
20 000 kg *et plus*

Etablissements OCTAVE HOUART

QUAI F. TIMMERMANS, 14, SCLESSIN - TÉLÉPHONE : 52.00.50 (2 LIGNES)

L'OSSATURE MÉTALLIQUE

REVUE MENSUELLE DES APPLICATIONS DE L'ACIER

19^e ANNÉE - N^o 7-8

JUILLET-AOÛT 1954

Le nouveau pont-route sur la Meuse à Namur dit « Pont des Ardennes »

Ch. Boton,
Ingénieur en chef-Directeur
des Ponts et Chaussées

Le nouveau pont sur la Meuse à Namur dénommé *Pont des Ardennes* constitue un ouvrage d'art important (fig. 1).

C'est en effet la première fois que la Meuse est franchie par un pont d'une seule portée de type prévu.

Le projet de ce pont a été élaboré d'abord par l'Administration des Ponts et Chaussées qui a admis pour cet ouvrage le type d'une poutre métallique continue à âme pleine, d'inertie variable, posée sur quatre appuis.

Les soumissionnaires pouvaient présenter des contre-projets en respectant toutefois le type du pont.

En effet, par suite des accidents graves qui se sont produits à l'étranger à certains ponts en arc fortement surbaissés, les Ponts et Chaussées avaient proscrit l'emploi des arcs pour le nouveau pont de Namur.

Un pont suspendu n'aurait pas été économique, la portée n'étant pas suffisamment grande, tandis qu'un pont en treillis aurait nui à l'aspect du site.

Dans le projet de base étudié par les services

des Ponts et Chaussées de Namur (fig. 2) les appuis centraux étaient écartés de 143 m. La longueur des culasses était de 18 m et chaque culasse était divisée en plusieurs compartiments, par des parois bétonnées et remplies de gueuses de fonte. Ces culasses étaient posées sur rouleaux permettant la dilatation. Leur poids était toujours supérieur à la réaction maximum vers le haut, due à toutes les charges et surcharges possibles. Le centre de gravité des culasses remplies de gueuses de fonte se trouvait à 12 m environ derrière l'appui principal. Ceci revient à dire que les appuis extrêmes étaient distants des appuis principaux de 12 m.

La section transversale était un caisson complet avec 5 poutres verticales recouvertes de tôles, sur leur partie inférieure et sur leur partie supérieure. Les poutres principales étaient entretoisées entre elles par des contreventements espacés de 11,50 m environ. Ces entretoisements portaient des longrines en poutrelles Grey au profil 38 DIR rivées aux semelles supérieures et qui formaient un tout avec celles-ci.

Les soumissionnaires étaient autorisés à pré-

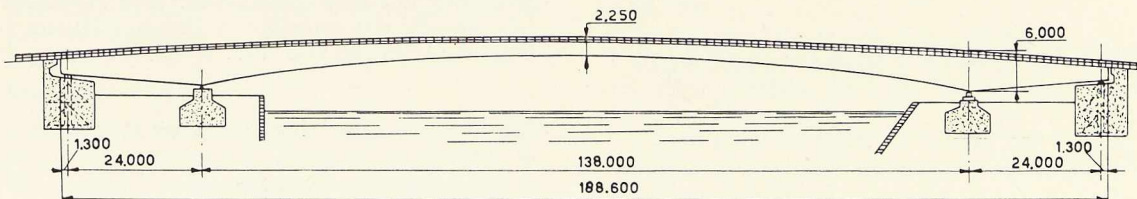


Fig. 1. Elévation du Pont des Ardennes à Namur.

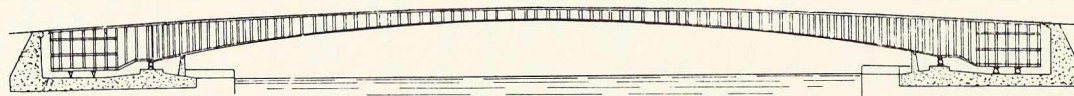
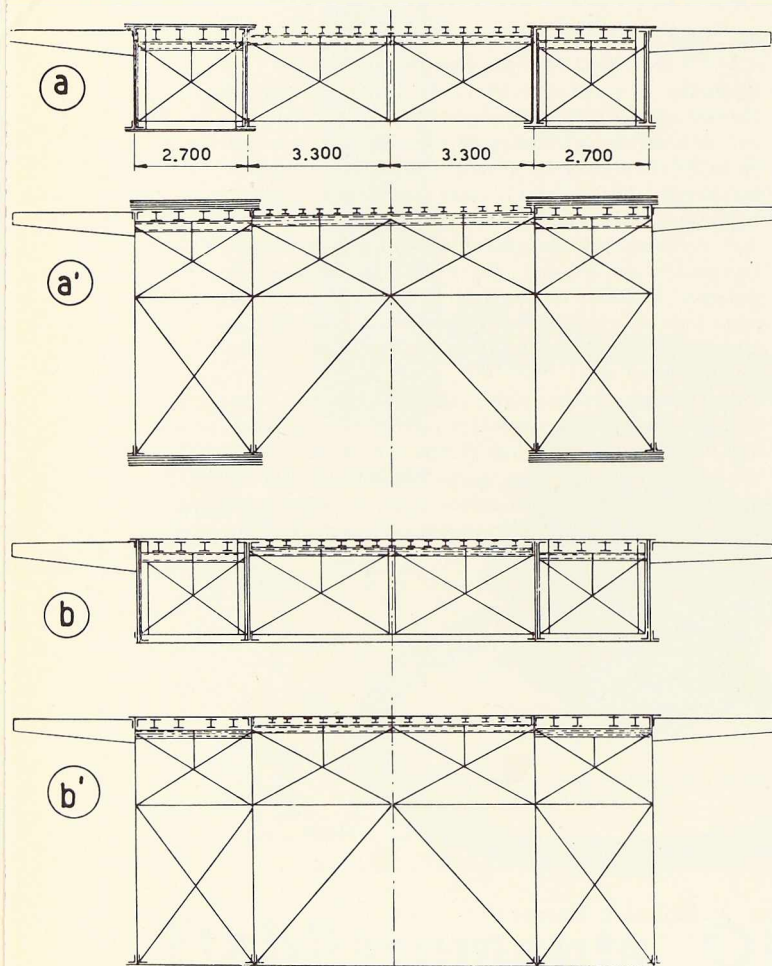


Fig. 2. Projet de base du pont sur la Meuse, étudié par les Services des Ponts et Chaussées de Namur.

senter non seulement des variantes en métal mais également en béton armé et même, tout au moins partiellement, en béton précontraint.

C'est à la S. A. des Ateliers de Construction de Jambes-Namur que la construction de cet ouvrage a été confiée suivant un des trois contre-projets présentés par cette firme. Les fondations et, en général, tous les travaux du Génie civil ont été exécutés par la S. A. d'Entreprises, anciennement Dumon et Vander Vin.

Ces 3 contre-projets se distinguaient du projet de base par les caractéristiques suivantes (fig. 3):



Distance d'axe en axe des appuis centraux : 138 m (au lieu de 143 m);

La distance de l'axe de l'appui central à l'axe de l'appui extrême fut portée à 24 m et ceci en augmentant la longueur totale du pont de 2 m seulement soit 1 m de chaque côté;

Les gueuses de fonte formant contrepoids furent supprimées et remplacées par des massifs en béton dans lesquels on a ancré les extrémités des culasses.

Etant donné qu'à la date de l'adjudication, le prix des gueuses de fonte avait sensiblement augmenté par suite du commencement de la guerre de Corée, ce nouveau système a permis de diminuer fortement le prix de l'ouvrage.

De plus on a supprimé une des poutres principales et ramené leur nombre à 4 au lieu de 5.

Le nombre des entretoisements a été augmenté considérablement. Leur écartement a été réduit à 1,85 m au lieu de 11,50 m. Ceci a permis de diminuer la portée des longrines et par conséquent leur profil (24 IPN pesant 36,2 kg par m courant contre 38 I DIR pesant 257 kg par m courant). Comme les entretoisements sont composés de profils très légers (fers U et cornières) formant poutre en treillis, leur grand nombre n'influence presque pas le poids total du pont.

Entre eux, les 3 contre-projets se distinguaient comme suit :

Première variante (fig. 3a et 3a')

La première variante était calculée entièrement en acier ordinaire A 37. Les poutres principales étaient constituées par deux caissons reliés entre eux uniquement par des entretoisements. Cette variante en acier ordinaire, dont le poids atteignait presque celui du projet de base en acier spécial avait été présenté en raison du prix très élevé de l'acier spécial A 52. Mais l'épaisseur très grande des semelles et par conséquent la longueur considérable des rivets, amenait de

Fig. 3. Coupes de l'ouvrage selon les variantes du projet.

- a. Première variante. Coupe à la clef.
- a'. Première variante. Coupe intermédiaire.
- b. Deuxième variante. Coupe à la clef.
- b'. Deuxième variante. Coupe intermédiaire.

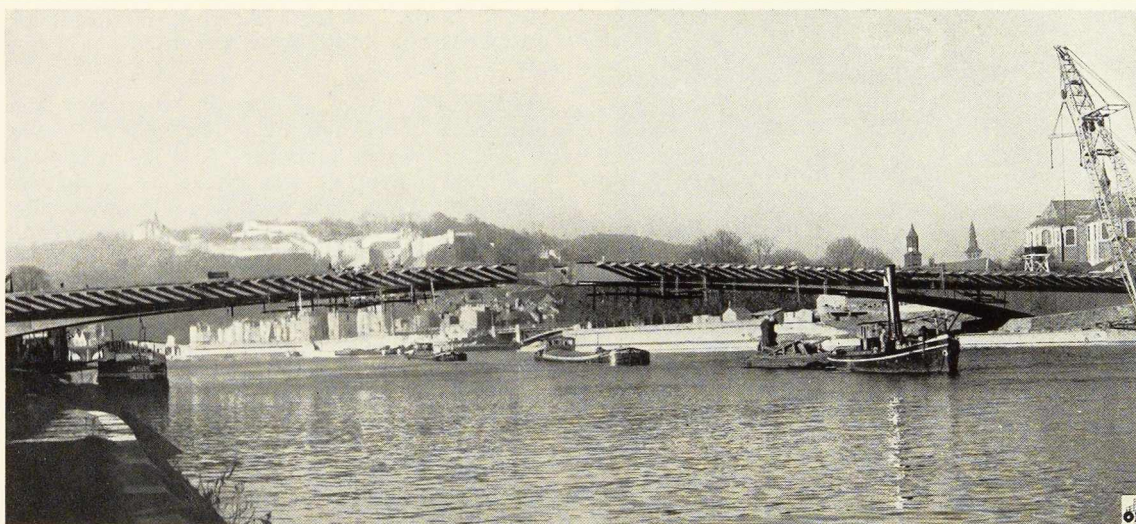


Fig. 4. Montage en porte à faux, en partant des deux rives de la Meuse.

grandes difficultés lors du rivetage. Les essais en atelier sur des rivets de cette longueur (150 mm) ont montré que le trou n'était pas toujours bien rempli par le rivet : on ne pouvait donc compter que sur le frottement des tôles provenant du serrage des têtes de rivets et non sur le cisaillement des tiges qui ne pouvait entrer en action qu'après déplacement trop grand des tôles l'une par rapport à l'autre.

Deuxième variante (fig. 3b et 3b')

Pour parer à cet inconvénient, on a présenté une deuxième variante, également en acier ordinaire, mais différente de la première par le fait que les 4 poutres étaient, comme dans le projet de base à 5 poutres, recouvertes de tôles à la partie supérieure et à la partie inférieure formant ainsi un caisson complet. Comme la largeur des tôles devenait deux fois plus grande, leur épaisseur était réduite de moitié. Mais cette solution présentait également des inconvénients : le nombre des rivets augmentait et devenait aussi grand que dans le projet de base, d'où majoration du prix de revient.

Troisième variante

On a été alors amené à étudier une troisième variante analogue à la première, c'est-à-dire en deux caissons indépendants mais en acier spécial A 52 au lieu de l'acier A 37 et ne présentant pas les inconvénients de la deuxième variante. Toute-

fois dans la partie centrale de la travée principale on a remplacé l'acier spécial par de l'acier ordinaire sur une longueur de 60 m. En effet, le taux de travail de l'acier dans cette partie n'atteignait pas 14 kg/mm^2 et on ne pouvait diminuer les profils sans dépasser la flèche limite sous les surcharges, $1/700$ de la portée, imposée par le cahier des charges.

C'est cette troisième variante qui a été choisie par les Ponts et Chaussées.

Malgré la flèche imposée de $1/700$ l'élançement du Pont des Ardennes est plus grand que celui du pont de Cologne : la hauteur à la clé est égale à 2,30 m pour une longueur entre appuis principaux de 138 m tandis que la hauteur à la clé du pont de Cologne-Deutz atteint 3,30 m pour une portée de 184,45 m ⁽¹⁾.

Le rapport : hauteur à la clé/portée de la travée est

$1/60$ pour le pont de Namur, et

$1/56$ pour le pont de Cologne.

Voici quelques caractéristiques du Pont des Ardennes :

Longueur totale de l'ouvrage : 188,66 m ;

Largeur de la chaussée : 12 m avec 2 trottoirs en encorbellement de 3 m chacun. La largeur totale est donc de 18 m ;

Distance entre appuis centraux : 138 m ;

Distance d'un appui central à l'appui extrême correspondant 24 m ;

⁽¹⁾ Voir *L'Ossature Métallique*, n° 12-1949.

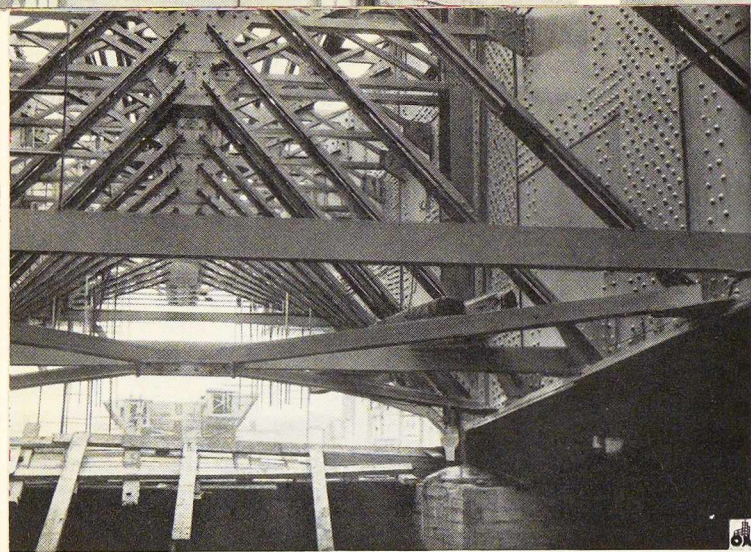


Fig. 5. Partie inférieure du pont, montrant les entretoises et le contreventement.

La hauteur totale de la poutre métallique à la clé est de 2,30 m;

A l'appui principal la hauteur est de 6,10 m;

L'épaisseur des âmes varie entre 12 mm et 30 mm et celle des semelles entre 14 mm et 68 mm;

Le poids total de la partie métallique est de 2 900 t.

Chaque massif d'ancrage est constitué par 2 500 m³ de béton environ.

La réaction extrême maximum vers le haut peut atteindre 2 400 t pour chaque culasse. Le massif d'ancrage doit pouvoir résister avec sécurité à cette réaction et ceci en tenant compte des sous-pressions.

La réaction maximum sur chacun des appuis centraux peut atteindre 5 000 t par berge.

Le pont a été calculé en tenant compte du mode de montage en porte à faux. Ce mode de montage permet en effet de réduire au minimum les profils dans la partie centrale de la travée principale où la hauteur imposée par le tirant d'air et l'esthétique doit être la plus réduite

possible. Par contre, le montage en porte à faux augmente considérablement les moments aux appuis principaux mais dans ces régions la hauteur des poutres est très grande et la matière est utilisée d'une façon beaucoup plus rationnelle.

Pour calculer le taux du travail définitif, il faut additionner algébriquement les fatigues provenant du poids mort lors du montage en porte à faux, et les charges et surcharges agissant sur le pont lorsque le tronçon central est déjà placé : en effet, les deux parties du pont montées en porte à faux avant le placement du tronçon central se trouvent déjà en équilibre et leur état de sollicitation n'est pas changé (en négligeant le poids propre du tronçon central).

Au moment où ce tronçon est fixé entre les deux porte-à-faux, les poutres maîtresses deviennent des poutres continues sur 4 appuis.

Les contre-flèches à prévoir en fabrication pour compenser les flèches du montage en porte à faux et du poids mort deviennent très importantes. La flèche maximum, non compensée par une contre-flèche de fabrication et pouvant se produire à la clé du pont sous l'effet de toutes les surcharges possibles, peut atteindre 18 cm ce qui donne un rapport de la flèche à la portée égale à 1/765.

Les surfaces extérieures des poutres extrêmes ne comportent aucun raidisseur. Ceux-ci sont placés seulement à l'intérieur des caissons et sont constitués par des demi-poutrelles Grey auxquelles se fixent les entretoisements. La semelle inférieure est raidie par des fers U ou des cornières placées transversalement pour transmettre aux âmes des poutres principales, la composante vers le haut, provenant de la courbure de l'intrados.

Les appuis principaux sur la rive gauche sont des appuis fixes à rotule. Ceux de la rive droite sont à rouleaux et permettent la libre dilatation du pont. Etant donné la grande hauteur des rouleaux (1 m) ceux-ci ne forment pas un cylindre complet mais des secteurs raidis par d'épaisses nervures.

Les appuis extrêmes sont tous mobiles. La fixation des extrémités des culasses aux ancrages présente certaines particularités. En effet, d'une part, il faut permettre la libre dilatation des culasses et d'autre part il faut prévoir un réglage permettant de rectifier pendant le montage du pont aussi bien son alignement que ses niveaux.

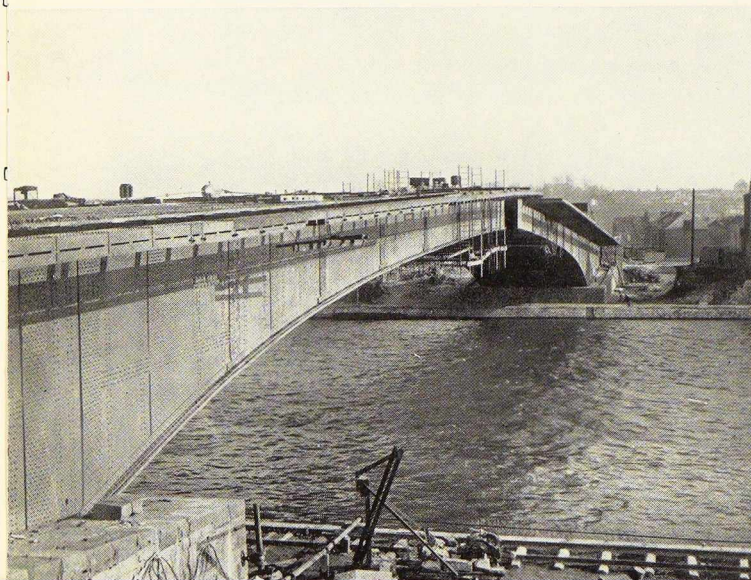


Fig. 6. Vue du pont, prise peu avant la jonction des deux moitiés de l'ouvrage.

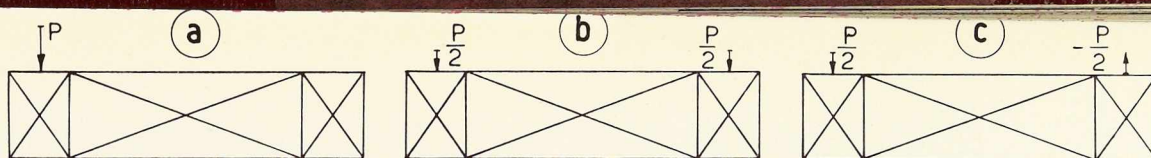


Fig. 7. Décomposition d'une charge dissymétrique en deux états de charge équivalents.

Le premier objectif est atteint à l'aide de rouleaux à secteurs comme pour les appuis principaux, placés entre le sabot en acier coulé fixé aux extrémités supérieures des ancrages (sabot fixe) et l'autre sabot fixé à l'extrémité de la culasse (sabot mobile). Pour atteindre le deuxième objectif, des fourrures dans tous les sens ont été prévues, entre la partie fixe de l'ancrage et la partie mobile. Les ancrages noyés dans les massifs en béton sont composés chacun de deux groupes de poutrelles Grey 65 DIE.

Les différentes poutres qui assurent la transmission des efforts depuis les ancrages jusqu'aux culasses du pont sont très courtes et de très grande hauteur.

Ces poutres ne réalisent pas des solides tels qu'ils sont généralement envisagés dans les cours de résistance des matériaux.

La distribution des efforts peut être assez différente de celle à laquelle on est habitué. C'est pourquoi on a procédé aux essais sur modèle réduit d'une de ces poutres.

Chaque culasse a été montée à l'aide d'un grand mât de montage avec flèche. Les éléments de la partie centrale ont été amenés par wagons sur le chemin de halage côté Namur où ils ont été assemblés en tronçons de caissons de 10 m de longueur environ qui ensuite ont été pris par une bigue flottante et amenés à leur emplacement définitif.

Chaque tronçon a été suspendu à la bigue aussi longtemps que la quantité nécessaire de boulons a été placée dans les joints le fixant à la partie déjà montée.

Au point de vue calculs, la partie présentant le plus de particularités est celle comportant le calcul des entretoises.

En effet, comme ces entretoises (fig. 3a et 3a') sont constituées de profils légers, fers U et cornières formant des poutres en treillis très courtes, mais d'une grande hauteur, encastrées à leurs deux extrémités dans les caissons, formés par les poutres maîtresses, elles peuvent casser avant de se déformer d'une façon appréciable.

Le rôle de ces entretoises est double :

1° Transmettre les charges locales verticales aux poutres maîtresses;

2° Assurer la résistance à la torsion de l'ensemble du pont et empêcher les torsions séparées des deux caissons.

Le calcul des tensions résultant de la mise en charge indiqué au 1° est tout à fait élémentaire tandis que celui pour assurer la torsion de l'en-

semble du pont est assez compliqué et intéressant.

La figure 7 montre de quelle façon on peut décomposer une surcharge dissymétrique (fig. 7a) en deux états de charge équivalents (fig. 7b et 7c.) L'état de charge représenté à la figure 7b ne donne lieu à aucune torsion du pont. Il ne reste donc à étudier que la sollicitation de la figure 7c.

Nous donnons ci-dessous le résumé de ce calcul : les entretoises en treillis sont espacées de 1,85 m et sont au nombre de 74 dans la partie centrale. La solution rigoureuse exigerait la résolution d'un système de 74 équations à 74 inconnues, ce qui est pratiquement irréalisable (1).

Pour simplifier le problème on ramène fictivement le nombre d'entretoises à 10 et on détermine les efforts tranchants T dans les entretoises, pour un état de charge symétrique par rapport à l'axe transversal du pont (fig. 8).

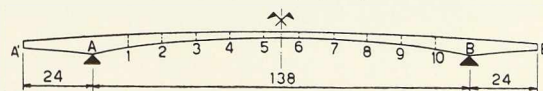


Fig. 8.

Les efforts T sont alors répartis entre les entretoises réelles.

La marche à suivre pour le calcul est la suivante :

a) Calcul des coefficients B_{ik} .

On détermine les flèches d'un caisson aux points 1 à 10 en plaçant successivement une charge de 1 t en ces points. Etant donné la forme des poutres, ce calcul se fait graphiquement. Pour une charge en un point quelconque, on détermine les moments de continuité M_A et M_B , les

- (1) On désigne par
- y_i : le déplacement vertical vers le haut ou vers le bas de chacun des deux caissons au droit de l'entretoise i ;
 - $B_{1k}, B_{2k}, \dots, B_{ik}, \dots, B_{nk}$: les déplacements verticaux des caissons au droit de l'entretoise k pour une charge unitaire placée successivement en 1, 2, ..., i , ... (c'est-à-dire la valeur de ces déplacements verticaux au droit des entretoises 1, 2, ..., i , ... n pour une charge $P = 1$ t, placée en k);
 - φ_i : l'angle de torsion de chacun des caissons au droit de l'entretoise i ;
 - θ_{ii} : le taux de variation de l'angle de torsion de chacun des caissons dans le tronçon $(i - 1) - i$;
 - a : la distance entre les centres de cisaillements des caissons;
 - T_i : l'effort tranchant dans l'entretoise d'indice i ;
 - M_i'' : le moment de torsion incident dans les caissons au droit de l'entretoise i introduit par cette entretoise. Ce moment rapporté au centre de cisaillement des caissons vaut :

$$M_i'' = T_i \frac{a}{2}.$$

efforts tranchants T_A et T_B et les réactions d'appui R_A et R_B .

Il suffit alors de charger la poutre AB par le diagramme des $\frac{M}{EI}$ (M étant le moment de flexion en chaque section, et I le moment d'inertie moyen de chaque tronçon) et d'intégrer deux fois pour obtenir l'élastique sous la charge considérée. En déplaçant la charge unitaire, on obtient finalement tous les coefficients B_{ik} résumés dans le tableau suivant :

Sections	1 t en 1	1 t en 2	1 t en 3	1 t en 4	1 t en 5	Désignation
A	0	0	0	0	0	
1	0,0375	0,066	0,080	0,0875	0,0875	B_{11} à B_{15}
2	0,066	0,140	0,195	0,2175	0,2190	B_{21} à B_{25}
3	0,080	0,195	0,310	0,375	0,3750	B_{31} à B_{35}
4	0,0875	0,2175	0,375	0,525	0,5750	B_{41} à B_{45}
5	0,0875	0,219	0,375	0,575	0,7009	B_{51} à B_{55}
6	0,075	0,1875	0,325	0,505	0,6600	B_{61} à B_{65}
7	0,055	0,1325	0,2375	0,3775	0,5050	B_{71} à B_{75}
8	0,035	0,080	0,145	0,2375	0,3250	B_{81} à B_{85}
9	0,024	0,050	0,080	0,1325	0,1875	B_{91} à B_{95}
10	0,0117	0,0240	0,035	0,055	0,0750	B_{10-1} à B_{10-5}
B	0	0	0	0	0	

Les charges placées de 6 à 10 donnent des coefficients B_{ik} respectivement égaux à ceux provenant des charges placées de 5 à 1.

b) Calcul des efforts tranchants dans les entretoises supposées infiniment rigides.

En tenant compte de ce que par raison de symétrie :

y_1 à y_5 sont respectivement égaux à y_{10} à y_6
 T_1 à T_5 sont respectivement égaux à T_{10} à T_6
 φ_1 à φ_5 sont respectivement égaux à φ_{10} à φ_6
 et que la demi-distance entre les axes des deux caissons est de 465 cm, on peut écrire :

$$y_1 = -(0,0375 + 0,0117)T_1 - (0,066 + 0,024)T_2 - (0,080 + 0,035)T_3 - (0,0875 + 0,055)T_4 - (0,0875 + 0,075)T_5 + \frac{P}{2}(0,0375 + 0,0117 + 0,066 + 0,024 + 0,080 + 0,035 + 0,0875 + 0,055 + 0,0875 + 0,075) = 465 \varphi_1$$

soit :

$$y_1 = -0,0492 T_1 - 0,090 T_2 - 0,115 T_3 - 0,1425 T_4 - 0,1625 T_5 + 0,2796 = 465 \varphi_1$$

On obtient de même :

$$y_2 = -0,090 T_1 - 0,190 T_2 - 0,275 T_3 - 0,350 T_4 - 0,4065 T_5 + 0,65575 = 465 \varphi_2$$

$$y_3 = -0,115 T_1 - 0,275 T_2 - 0,455 T_3 - 0,6125 T_4 - 0,70 T_5 + 1,07875 = 465 \varphi_3$$

$$y_4 = -0,1425 T_1 - 0,350 T_2 - 0,6125 T_3 - 0,9025 T_4 - 1,080 T_5 + 1,54375 = 465 \varphi_4$$

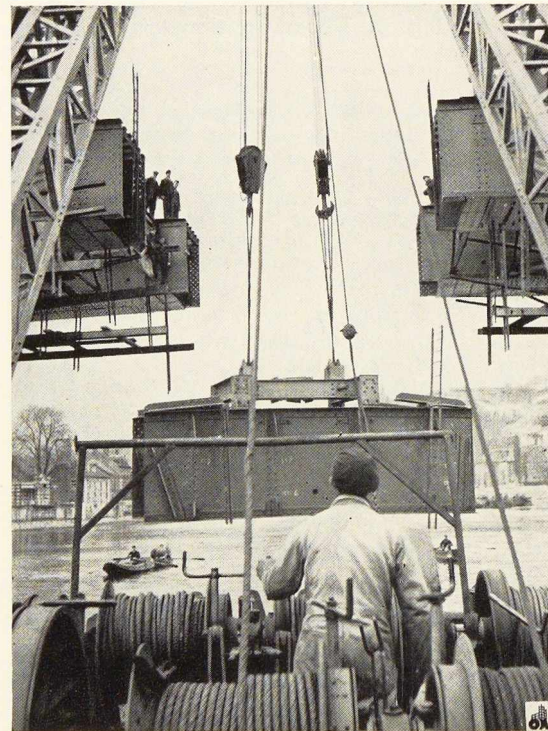


Photo « Cinéar ».

Fig. 9. Mise en place du tronçon central.

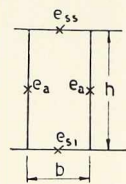
$$y_5 = -0,1625 T_1 - 0,4065 T_2 - 0,700 T_3 - 1,080 T_4 - 1,360 T_5 + 1,8545 = 465 \varphi_5$$

Pour calculer les angles φ on peut admettre que l'angle de torsion d'un tronçon est donné par le taux de variation de l'angle de torsion θ_t de la section moyenne du tronçon compris entre deux entretoises voisines multiplié par sa longueur. On aura donc, par exemple au point 5

$$\varphi_5 = \theta_{t1} l_1 + \theta_{t2} l_2 + \theta_{t3} l_3 + \theta_{t4} l_4 + \theta_{t5} l_5$$

Les caractéristiques des sections moyennes des tronçons sont données au tableau ci-dessous.

Tronçon	h mm	b mm	e_a mm	e_{ss} mm	e_{si} mm
A-1	4 390	2 700	25	68	68
1-2	3 122	2 700	22	56	68
2-3	2 663	2 700	18	28	42
3-4	2 480	2 700	15	28	42
4-5	2 340	2 700	12	28	42



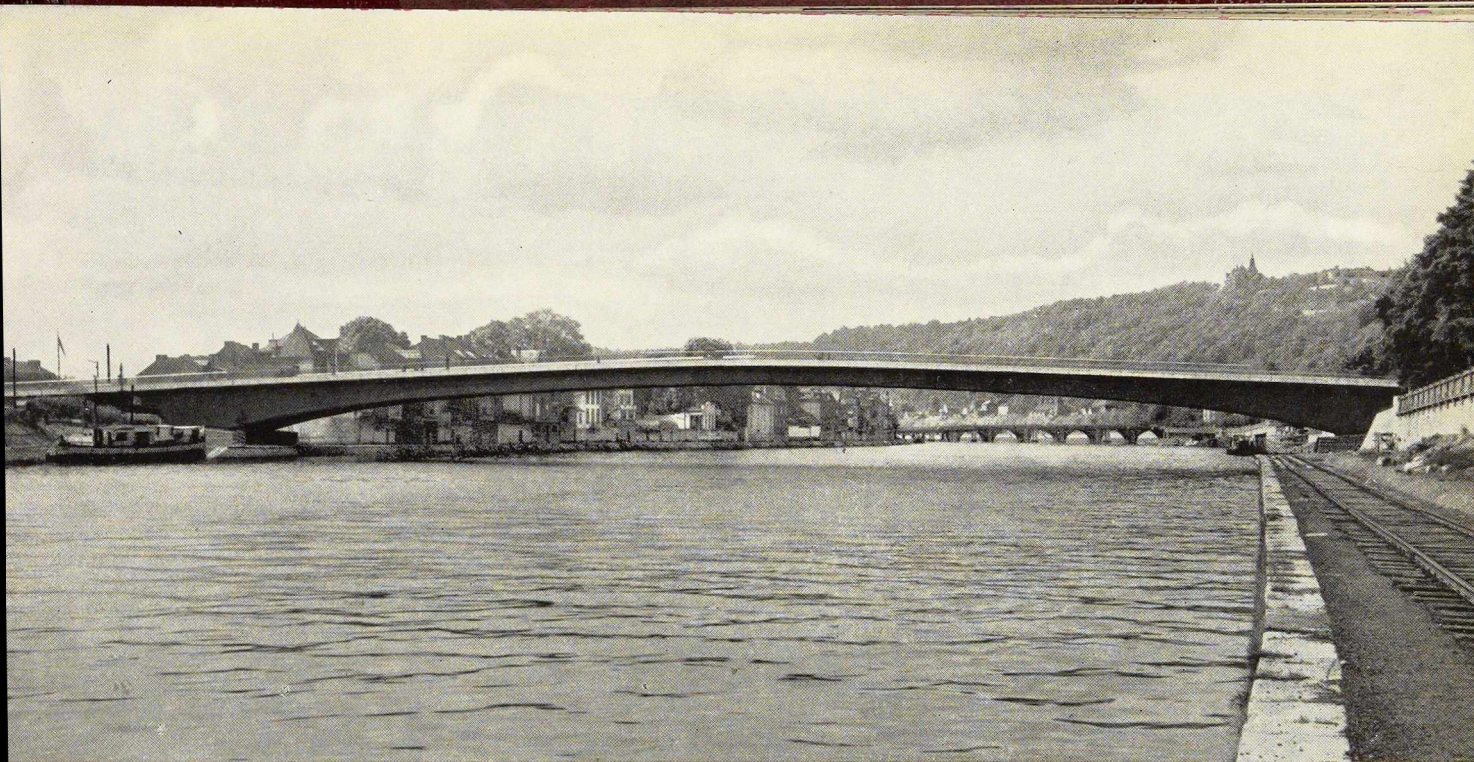


Fig. 10. Vue d'ensemble du Pont des Ardennes, inauguré le 3 juin 1954 par le Prince Albert. Les lignes sobres de l'ouvrage sont en parfaite harmonie avec le site environnant. Photo H. Piron.

D'autre part, les moments de torsion exprimés en fonction des efforts tranchants T sont

$$\mu_1 = \mu_A = \frac{1}{2} \sum M_i'' = \frac{a}{2} (T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5)$$

$$\mu_2 = \mu_A - M_1'' = \frac{a}{2} (T_2 + T_3 + T_4 + T_5)$$

$$\mu_3 = \mu_A - M_1'' - M_2'' = \frac{a}{2} (T_3 + T_4 + T_5)$$

$$\mu_4 = \mu_A - M_1'' - M_2'' - M_3'' = \frac{a}{2} (T_4 + T_5)$$

$$\mu_5 = \mu_A - M_1'' - M_2'' - M_3'' - M_4'' = \frac{a}{2} T_5$$

Les données qui précèdent, permettent de calculer les produits $\frac{a}{2} \varphi$, égaux aux valeurs de γ des premières équations :

$$465 \varphi_1 = 0,0311 (T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5)$$

$$465 \varphi_2 = 0,0311 T_1 + 0,0735 (T_2 + T_3 + T_4 + T_5)$$

$$465 \varphi_3 = 0,0311 T_1 + 0,0735 T_2 + 0,1451 (T_3 + T_4 + T_5)$$

$$465 \varphi_4 = 0,0311 T_1 + 0,0735 T_2 + 0,1451 T_3 + 0,2340 (T_4 + T_5)$$

$$465 \varphi_5 = 0,0311 T_1 + 0,0735 T_2 + 0,1451 T_3 + 0,2340 T_4 + 0,3458 T_5$$

Tous calculs faits, on obtient, lorsque le pont est chargé aux points 1 à 10, par des charges de 1 t chacune, les valeurs suivantes de T :

$$\begin{aligned} T_1 &= 0,114 \text{ t;} \\ T_2 &= 0,615 \text{ t;} \\ T_3 &= 0,201 \text{ t;} \\ T_4 &= 0,466 \text{ t;} \\ T_5 &= 0,443 \text{ t.} \end{aligned}$$

La méthode suivie est traitée dans l'opuscule de calculs de C. E. C. M. dans l'article intitulé « Calcul des entretoises dans les ponts en caissons » par les auteurs du projet du pont des Ardennes, MM. Daniel, à l'époque Ingénieur en Chef adjoint de la S. A. des Ateliers de Construction de Jambes et Warolus, Ingénieur à la dite Société.

Le montage du pont a été commencé le 26 mai 1952 par la culasse se trouvant sur la rive gauche; ensuite, la culasse de la rive droite a été montée et au mois d'octobre de la même année on a commencé le montage de la travée centrale à l'aide d'une bigue flottante.

Ce montage a duré jusqu'au 2 avril 1953 lorsque les tronçons centraux ont été placés en liaisonnant ainsi les parties montées en porte à faux depuis les deux rives opposées et en transformant les maîtresses poutres en poutres sur quatre appuis.

Les différentes phases du montage sont représentées sur les figures 4, 5, 6 et 9.

Ch. B.



Ed. Henrion,
Ingénieur-soudeur E. S. S. A.
(Paris)

Quelques aperçus relatifs à la construction soudée de réservoirs sphériques de grande capacité

La conception rationnelle des récipients pour les fluides les plus divers a toujours préoccupé l'homme depuis les temps les plus reculés. S'il s'est parfois contenté de fabriquer des cuves sommaires de formes parallélépipédiques, un instinct sûr lui a fait cependant concevoir de façon beaucoup plus rationnelle des formes de meilleure résistance.

L'exemple le plus typique réside dans le travail du potier qui dès les époques primitives a associé à la rotation autour d'un axe vertical de la terre glaise, des efforts transversaux destinés à assurer la forme sphérique à la partie essentielle de l'amphore ou de la simple poterie.

Compte tenu des propriétés mécaniques modérées des matériaux mis en œuvre, il n'est pas douteux que cette orientation vers une paroi d'égale résistance sous les efforts dus à la présence intérieure d'un fluide même sans pression, était particulièrement rationnelle. Ce n'est que beaucoup plus tard que la mise en œuvre de matériaux métalliques d'une résistance propre incomparablement supérieure a permis d'envisager les réservoirs sous la forme de cylindres à fonds plats.

Mais là aussi, dès que les volumes ont été augmentés ou que le nouveau facteur dû à la pression du fluide emmagasiné est intervenu, on a constaté probablement expérimentalement d'abord, ensuite par le calcul, qu'il devenait indispensable de reconsidérer en premier lieu la disposition des fonds. Ceux-ci furent emboutis modérément d'abord grâce à un simple bord tombé, plus profondément ensuite à l'allure à donner à la tôle fit l'objet de longues controverses entre les partisans de l'ellipse, de l'anse de panier et finalement du cercle.

Ceci a conduit les constructeurs de récipients à forte pression à des conceptions d'épais cylindres terminés par deux calottes sphériques de très fortes épaisseurs, dont l'aspect peu satisfaisant indique qu'il doit y avoir une autre solution plus technique. Et c'est ainsi qu'on est revenu à l'idée de l'amphore mais, grâce aux propriétés de résistance exceptionnelle et de haute soudabilité de l'acier, on a pu envisager ces derniers temps l'entreprise de réalisation, dont on aurait à peine pu même entrevoir l'exécution au siècle de la rivure. Grâce au perfectionnement apporté au procédé d'oxy-coupage et de soudage autogène sous toutes leurs modalités, il est devenu possible d'entreprendre la fabrication de très

grands réservoirs sphériques en acier, qui présentent l'intérêt évident d'avoir une forme d'égale résistance, soumise à une répartition régulière des efforts dus à la pression intérieure.

Alors que les gazomètres classiques deviennent déjà très massifs pour les grandes capacités tandis qu'ils ne sont soumis qu'à des pressions minimales, on est maintenant parvenu à assurer le stockage d'importantes quantités de gaz sous des pressions notables grâce à la construction soudée de réservoirs sphériques de grand diamètre.

Il est intéressant de faire remarquer que cette solution technique nouvelle d'un problème complexe a précisément été possible au moment où deux industries distinctes en avaient précisément besoin. D'une part, l'industrie métallurgique envisageait avec intérêt l'enrichissement en oxygène de l'air servant au soufflage des convertisseurs d'acier, en vue de réduire l'influence nocive de l'azote contenu jusqu'à présent dans les produits élaborés dans les aciéries classiques. Pour ce faire, il était utile de disposer non seulement de puissantes usines de distillation fractionnée de l'air préalablement liquéfié, susceptibles de fournir des tonnes d'air suroxygéné ou même d'oxygène pur, mais aussi de réservoirs capables d'assurer le stockage de l'oxygène nécessaire à l'état gazeux.

Toutefois il faut en disposer sous une pression suffisante à la fois pour réduire l'encombrement des réservoirs et pour permettre une utilisation sous une pression de l'ordre de 6 à 10 kg/cm².

Comme il s'agit très rapidement de prévoir des réservoirs d'une capacité de plusieurs centaines de m³, les formules ont démontré que pour ne pas arriver à des épaisseurs prohibitives des parois il fallait reprendre le principe primitif du réservoir sphérique, dont la tôle peut en effet pour un même diamètre être deux fois moins épaisse.

D'autre part une autre branche industrielle très prospère se trouvait également devant un problème de stockage analogue. Il s'agit de l'industrie pétrolière qui s'est trouvée, par suite de l'extension continue de ses installations de distillation, devant une production accrue d'hydrocarbures gazeux plus ou moins complexes qui présentent en général la propriété d'être plus ou moins liquéfiables à la température ordinaire moyennant leur mise sous une pression suffisante mais

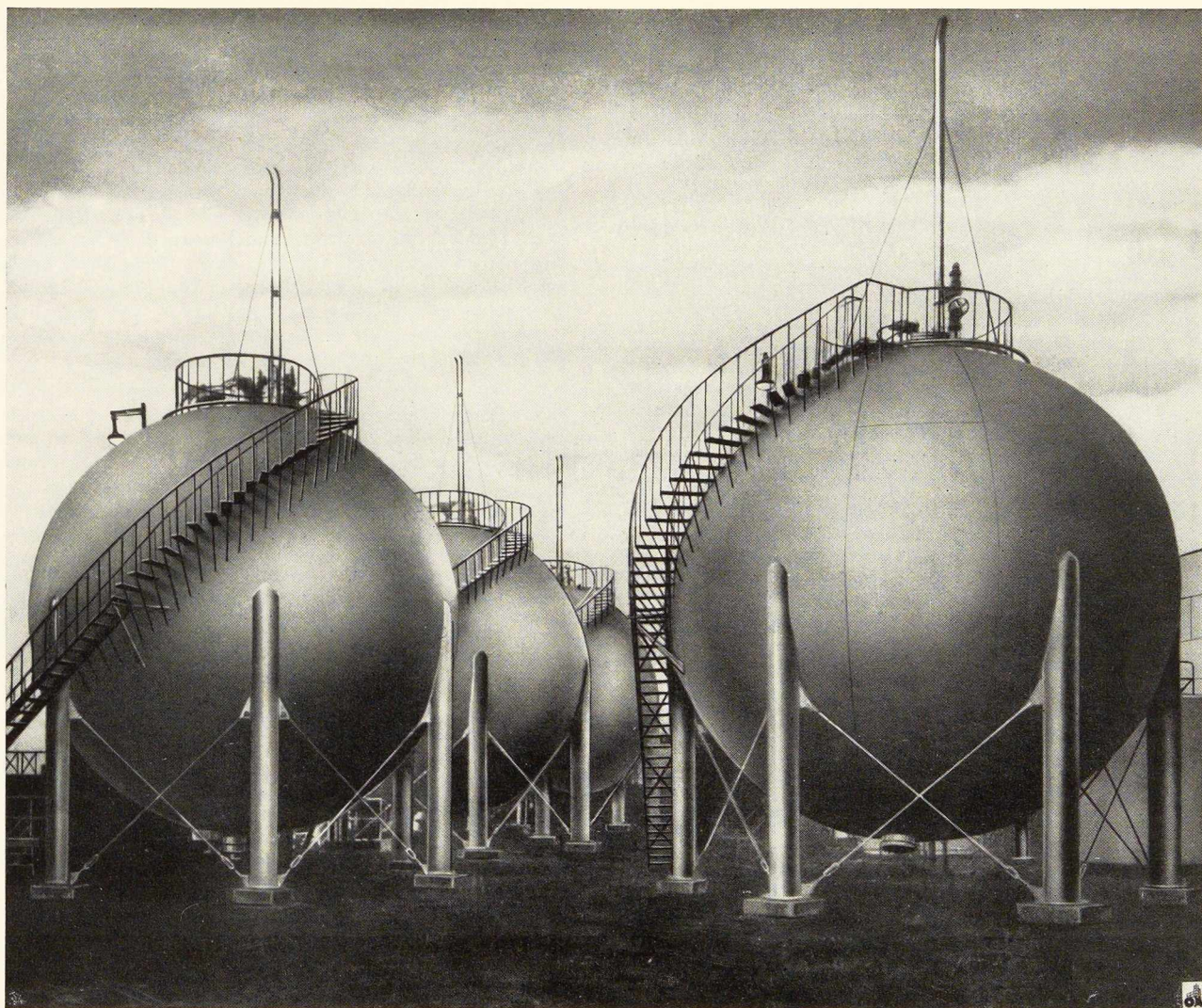


Fig. 1. Série de réservoirs sphériques de grande capacité.

relativement modérée. Il est donc intéressant de les conserver, même à l'état gazeux dans des gazomètres sous pression.

Pour arriver à équiper soit l'usine productrice même soit les centres de distribution de ces hydrocarbures on se trouve également devant le problème de construire un réservoir de quelque 1 000 m³ susceptible de résister à des pressions de 7 à 10 kg/cm². Or, si l'on peut assez facilement et économiquement arriver à construire d'importants réservoirs cylindriques en tôles de 20 à 30 mm d'épaisseur à fonds emboutis, on ne peut guère dépasser un diamètre de 2 à 3 m et, sous peine d'arriver à des longueurs prohibitives, on est rapidement limité en capacité.

Nous rappellerons simplement à titre exemplatif la formule classique de détermination des dimensions des parois de cylindres soumis à pression, en faisant remar-

quer que grâce aux progrès réalisés dans l'exécution et le contrôle tant préventif qu'ultérieur des assemblages soudés on en est heureusement arrivé au stade où le coefficient b de résistance relative du joint vis-à-vis du métal de base peut être égal à l'unité :

$$s = \frac{apd}{200 bR} + c$$

formule ou :

- s = épaisseur de paroi du cylindre en mm;
- a = coefficient de sécurité de la construction;
- p = timbre ou pression de service en kg/cm²;
- d = diamètre intérieur en mm;
- b = coefficient de résistance relative du joint d'assemblage, valant de 0,9 à 1;
- R = résistance à la rupture en traction du métal de base en kg/mm²;

c = surépaisseur de 1 mm en général, prévue pour tenir compte de la corrosion.

Une simple application de la formule nous montre que pour un réservoir cylindrique de 3 m de diamètre soumis à 10 kg/cm² et construit en acier doux 37-44, d'une résistance $R = 37$ kg/mm² au minimum, on obtient en adoptant un coefficient de sécurité de 4, une épaisseur de 18 mm :

$$s = \frac{4 \cdot 10 \cdot 3\,000}{200 \cdot 0,9 \cdot 37} + 1 = 19 \text{ mm}$$

Et sur une longueur de 20 m déjà considérable, on ne dispose que d'une capacité de :

$$V = \frac{\pi \cdot 3^2}{4} \times 20 = 141 \text{ m}^3$$

Si l'on veut augmenter la capacité par l'augmentation du diamètre du cylindre, on atteint bientôt des épaisseurs excessives vis-à-vis du but poursuivi.

Ces considérations introductives mettent dès lors bien en évidence la nécessité pour résoudre le problème posé par le stockage de quantités importantes de gaz sous pression, de faire appel aux réservoirs sphériques. C'est ainsi que l'on a entendu parler ces derniers temps de réalisations de plus en plus nombreuses dans les deux domaines considérés et il n'est dès lors pas étonnant que l'attention ait été attirée récemment par l'activité de divers chantiers installés à Anvers, à Liège et à Charleroi. Nous envisagerons plus spécialement les constructions érigées aux environs de Wandre mais nous ferons également allusion aux autres réalisations en ce qu'elles ont de différent, notamment au point de vue des modalités opératoires en soudage à l'arc.

Le chantier précité ne manque pas d'attirer l'attention, car déjà à une certaine distance on voit se pro-

filer sur les collines mosanes environnantes l'aspect inaccoutumé d'immenses réservoirs sphériques dont le montage est destiné à équiper une station de stockage de gaz de pétrole. Etant donné l'envergure de ce travail nous en précisons quelques caractéristiques intéressantes, l'oxy-coupage et le soudage jouant un rôle capital dans la réussite de cette entreprise.

Il s'agit d'une série de cinq réservoirs sphériques de 1 000 m³ de capacité et de 12 m de diamètre. Leur pression de service est de l'ordre de 6 kg/cm² et l'épreuve hydraulique qui sert au contrôle final de la construction soudée est effectuée sous 9 kg/cm². Il résulte de ces sollicitations importantes que malgré la forme sphérique très favorable, les parois de la sphère atteignent cependant 22 mm d'épaisseur.

En effet, la formule citée précédemment devient dans le cas d'un corps sphérique :

$$s = \frac{apd}{400 bR} + 1$$

c'est-à-dire que l'on a en pratique :

$$s = \frac{4 \times 6 \times 12\,000}{400 \times 0,9 \times 37} + 1 = 21 \text{ mm} + 1 = 22 \text{ mm.}$$

Bien entendu les deux faces des tôles sont accessibles, aussi a-t-on prévu le soudage sur les deux faces; les bords des tôles sont chanfreinés en X et comme il s'agit d'exécuter pratiquement des soudures en toutes positions on a adopté un angle de chanfrein de 22,5° seulement, soit 45° au total, mais on maintient entre les arêtes des bords un écartement de 5 à 6 mm. Les bords ont été chanfreinés en X au chalumeau coupeur oxyacétylénique et il n'y a pas de méplat prévu autre que celui résultant de la coupe elle-même.

Sur ces joints un peu particuliers, le soudage s'exécute en montage à l'aide d'électrodes à enrobage basique déposant des cordons aussi bien en soudure montante que dans toutes les autres positions. Le métal déposé de nuance douce est remarquablement ductile et il se caractérise surtout par une très haute résilience même lors d'essais effectués à de basses températures. On peut dire qu'il se caractérise nettement par une grande cohésion correspondant à une résistance élevée à la fissuration. Les propriétés mécaniques du métal déposé confirment d'ailleurs ces considérations :

$$R_r = 49 \text{ kg/mm}^2;$$

$$R_e = 37 \text{ kg/mm}^2;$$

$$A_l = 34 \text{ \% (5 d)};$$

$$r_M = 20,6 \text{ kgm/cm}^2 \text{ à } 20^\circ \text{ C (Resilience Mesnager)};$$

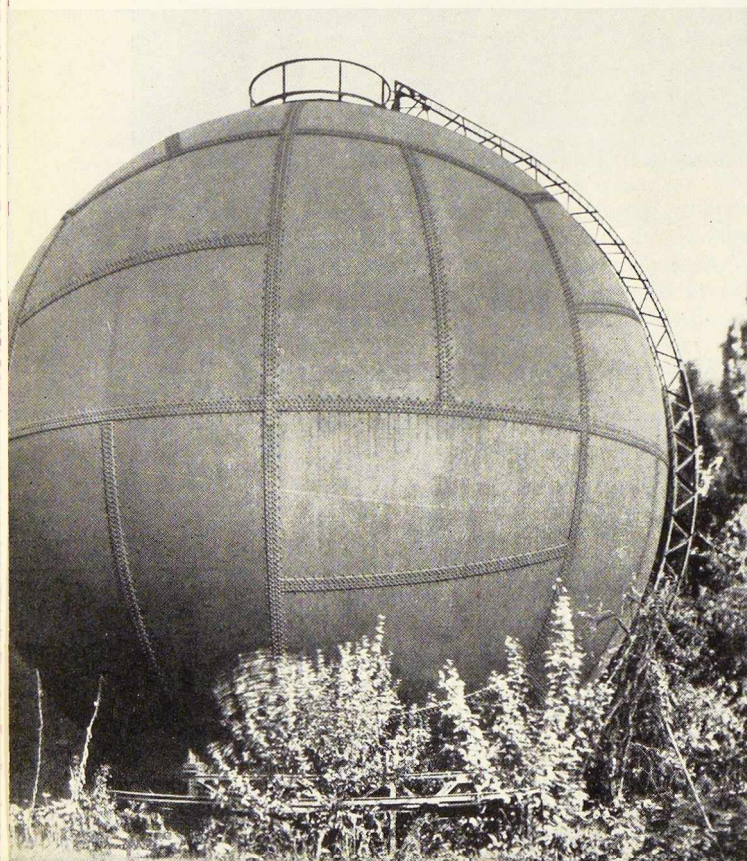
$$r_M = 16 \text{ kgm/cm}^2 \text{ à } -30^\circ \text{ C.}$$

Notons que lors du montage toutes les tôles préparées en atelier grâce à la mise en œuvre d'un matériel puissant et précis d'emboutissage, sont soigneusement clamées par des dispositifs qui assurent à la fois le respect des écartements et le maintien des tôles de niveau. Le pointage à l'arc est donc rigoureusement proscrit.

Ces dispositifs de fixation, qui ont fait l'objet de

Fig. 2. Réservoir sphérique à Bethel près de Bielefeld (Allemagne). L'ouvrage repose sur une infrastructure en acier, par l'intermédiaire de « pattes ».

Document « Westfälische Ferngas AG ».



longues mises au point pour réunir la rapidité du travail à l'efficacité des mises à niveau à l'écartement voulu, permettent non seulement de placer toutes les tôles jusqu'au montage total de la sphère sans l'intervention du soudeur, mais ces clames peuvent aussi être concentrées sur une seule face de la tôle. Cet avantage conduit à présenter au soudeur un joint parfaitement préparé dont le côté du chanfrein à remplir est totalement libre d'accès, sans point de soudure ou de dispositifs qui le forceraient à interrompre l'avancement régulier de son travail.

Il est utile de préciser que le choix de l'emplacement de ces clames, c'est-à-dire à l'intérieur ou à l'extérieur de la sphère est déterminé par la recherche de la facilité optimum du travail de l'ouvrier burineur qui doit exécuter le rainurage avant la reprise à l'envers. En effet, le cas particulier des joints d'assemblage des tôles constituant la partie tropicale inférieure et que l'on soude suivant un méridien est résolu de la façon suivante. Ce joint, vu de l'extérieur, présente des positions de soudure successives depuis l'axe vertical jusqu'au joint tropical qui se situe du plafond jusqu'à la soudure montante. Les clames sont dès lors fixées sur la face intérieure de la sphère de telle façon que la moitié du joint en X laissé libre doit être soudée dans la position la plus difficile.

Il en résulte que la main-d'œuvre doit être entraînée à ce dépôt de soudure au plafond dans un chanfrein étroit mais fortement écarté à la racine de 5 mm. Le soudeur ne peut donc guère compter sur un support pour accrocher son métal fondu lors des premières passes qui ne peuvent donc que s'appuyer les unes aux autres en partant des tranches des tôles.

La face intérieure de ces dernières est ensuite débarrassée des dispositifs de clamage et le burineur se trouve ainsi placé à l'intérieur de la sphère dans la position la plus favorable pour exécuter facilement le rainurage de la racine des cordons qui ont ainsi rempli la moitié du chanfrein sur la face intérieure de la sphère. Après rainurage le remplissage de l'autre moitié du chanfrein ne présente aucune difficulté.

Nous insisterons donc encore sur le fait que dans le cas des joints méridiens de la partie tropicale supérieure on procède suivant le même principe mais on comprend donc que l'on place alors les clames sur la face extérieure de la sphère toujours pour faciliter le travail du burineur après soudage au plafond des premières passes par des soudeurs qui cette fois commencent leur travail à l'intérieur de la sphère.

Faisons remarquer que ce procédé n'est évidemment possible que parce que l'on dispose pour ces soudures en position difficile d'électrodes à enrobage basique; c'est pourquoi les modalités opératoires sont un peu différentes dans les chantiers où le travail est effectué à l'aide d'électrodes dont les enrobages comportent une forte proportion de matières volatiles. Ces dernières sont d'un emploi très facile en montage et s'adaptent bien

Fig. 3. Réservoir sphérique à gaz sous pression à Schwerte. L'ouvrage est posé sur des « pattes » qui prennent appui sur des blocs en béton.

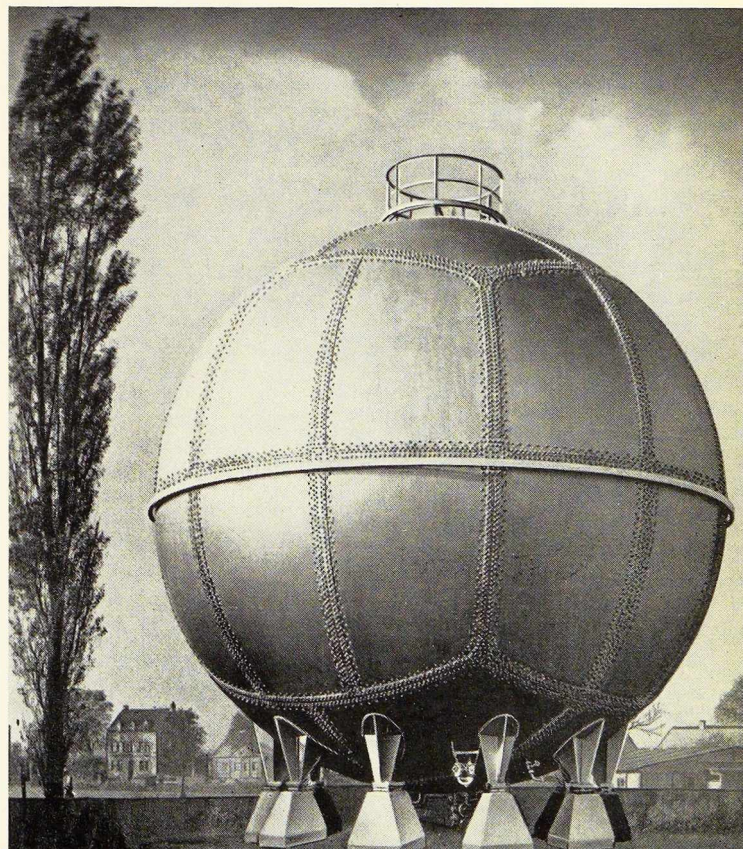
Document « Aug. Klönne ».

même à des préparations un peu moins parfaites, mais on sait que leurs propriétés mécaniques, notamment à basse température sont évidemment moindres. Signalons qu'elles ont néanmoins donné satisfaction dans des constructions analogues et il semble d'ailleurs qu'un travail facile et parfait serait par exemple obtenu en réalisant les premières passes de fond avec les enrobages basiques puis en remplissant les chanfreins avec les électrodes à enrobages cellulosiques.

En tout cas, pour ce qui a été réalisé, ajoutons que la première passe de tous les joints situés sur un méridien est exécutée au pas de pèlerin. Cette séquence n'est cependant pas rigoureuse et elle doit parfois être adaptée à l'état particulier de la préparation du joint.

C'est ainsi que l'on peut constater que l'écartement des bords d'un joint vertical des tôles équatoriales peut être trop prononcé à la partie supérieure du joint; dans ce cas, le point de départ de la soudure sera choisi à bonne distance de cette extrémité et la progression du cordon en position verticale montante est susceptible de provoquer de légers rapprochements souhaitables des bords. Après cette passe de fond au pas de pèlerin, les deux passes suivantes qui remplissent le chanfrein sont exécutées exclusivement en soudure montante de bas en haut.

Notons aussi un autre détail. Pour protéger les chanfreins contre l'oxydation depuis leur découpage au chalumeau oxyacétylénique en atelier jusqu'à leur soudage en chantier, ils sont recouverts d'un vernis protecteur permettant de souder ensuite sans nettoyage des bords. Le travail de montage d'un réservoir sphérique de ce genre dure un peu plus d'une semaine, mais ceci suppose une préparation impeccable des éléments lors



du travail préalable en atelier. Ce dernier exige une mise au point minutieuse de tous les facteurs préventifs essentiels à la réussite ultime du soudage : précision du traçage, embouillissage soigné, découpage parfait au chalumeau sous l'angle voulu pour obtenir un écart régulier entre les bords, etc.

Le montage débute par l'assemblage d'une première tôle d'équateur au pilier qui lui correspond. Le tout est maintenu par une grue pendant la mise en place sur le massif de fondation. Après haubannage de ce premier tronçon, la grue met en place une seconde tôle d'équateur avec son pilier. La tôle intermédiaire, munie de toutes ses clames d'assemblage est soulevée et clamée aux deux tôles voisines déjà en place.

Ainsi, de proche en proche, toute la couronne équatoriale est montée et ajustée. On procède ensuite au montage de la partie tropicale inférieure : les tôles sont dans ce cas descendues à leur emplacement et y fixées par de nouvelles clames. On prévoit un élançonnage pour les premières tôles ainsi mises en place.

Le soudage débute par les joints verticaux de l'équateur réalisés par groupes de deux tôles et par quatre soudeurs systématiquement répartis sur la circonférence. Après le soudage des méridiens, des tropiques inférieur et supérieur, les joints en corniches sont soudés à leur tour. Il reste donc enfin à souder les fonds inférieur et supérieur, qui sont constitués de deux tôles préalablement soudées en usine sous forme de calottes qui sont assemblées en dernier lieu sur tout leur pourtour.

Pour entreprendre cet important travail de soudage, même compte tenu d'une excellente préparation des joints, il faut évidemment disposer d'opérateurs entraînés au maniement des électrodes à enrobage basique, utilisées, comme on s'en rend maintenant compte en toutes positions.

Ceci exige une période d'apprentissage qui parfois

est assez longue car il faut réapprendre à « travailler » son bain de fusion; toutefois si le soudeur connaît l'enrobage basique en courant continu, par exemple, il passe très rapidement au même travail en courant alternatif à 50 périodes moyennant quelques heures d'exercice. Nous rappellerons qu'il s'agit en ordre principal de maintenir en permanence un arc très court aux vagues serrées.

En outre lors du balancement, il est indispensable que le mouvement de la pointe de l'électrode soit convexe vis-à-vis de l'opérateur. Vu la légèreté du laitier basique formé, le cordon obtenu présente un aspect caractéristique assez différent de celui que l'on obtient avec des enrobages acides plus lourds, mais nous noterons qu'en l'occurrence ce sont évidemment les hautes propriétés mécaniques du métal déposé qui sont recherchées en ordre principal.

Comme il s'agit d'appareils à pression, exécutés en acier doux de très bonne qualité, généralement élaboré au four Martin-Siemens ou par un procédé Thomas amélioré donnant des caractéristiques analogues, notamment au point de vue de la résilience aux basses températures, le choix de l'électrode à enrobage basique se recommande tant pour la bonne ductilité du métal déposé que pour ses propriétés très favorables de résilience et d'endurance.

Nous ajouterons toutefois, que dans certaines autres entreprises on exécute des constructions analogues à l'aide d'électrodes à enrobage essentiellement cellulosique, pour des raisons de facilité d'emploi en montage, la préparation des joints pouvant être un peu moins minutieuse. De toutes façons, pareilles entreprises font bien augurer de l'avenir de la construction soudée des grands réservoirs métalliques et cette fabrication en série de sphères de grande capacité constitue une référence de haute valeur.

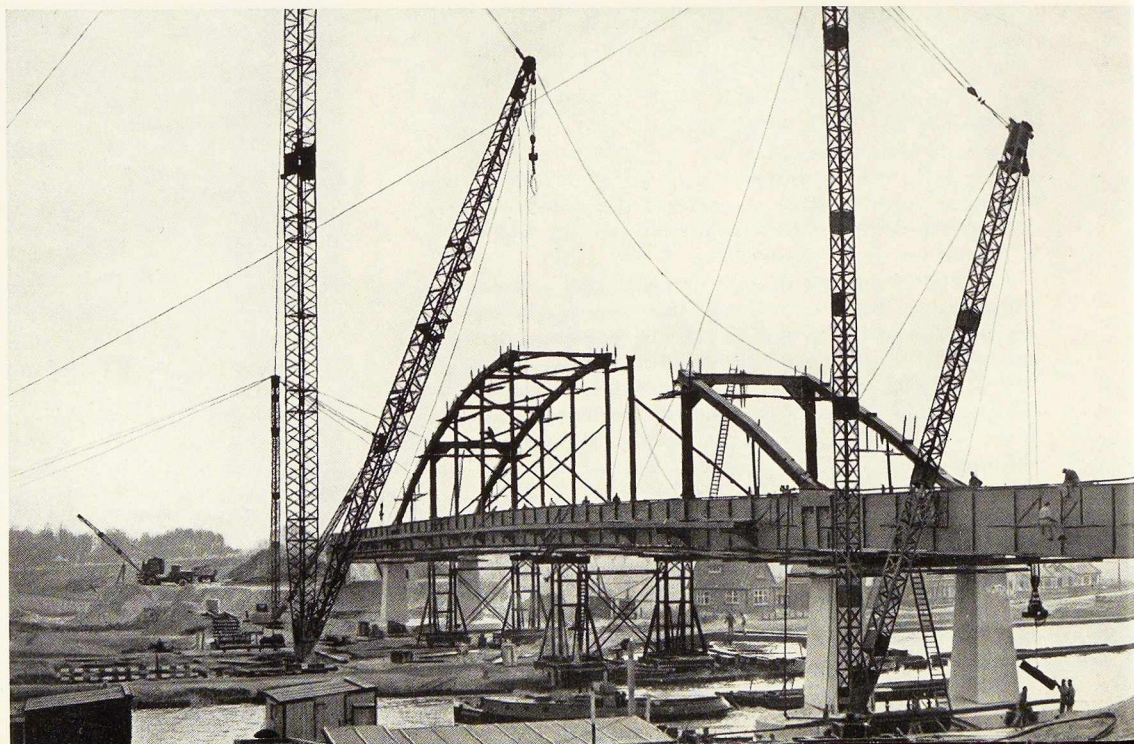
E. H.

Le nouveau pont sur le canal de Merwede (Pays-Bas)

Pour améliorer les liaisons de la Route nationale n° 2 avec l'arrière-pays, l'Administration des Ponts et Chaussées des Pays-Bas fait construire un nouveau pont sur le canal de Merwede près de Breukelen.

Le nouvel ouvrage aura une longueur totale de 140 m, dont 89 m pour la travée au-dessus du canal. La largeur du tablier est de 7,20 m.

Photo Anpfoto.





Dr. C. F. Kollbrunner,

Président
de la Commission technique
de l'Union
des Constructeurs suisses
de Ponts et Charpentes

Charpentes métalliques

I. Introduction

L'histoire et le développement des charpentes métalliques comportent des progrès et des faux pas. Le plus souvent, l'histoire présente les progrès comme grands et nombreux, les faux pas comme négligeables. Si pourtant, nous voulons continuer à apprendre, si nous voulons perfectionner nos méthodes de travail et nos constructions, nous ne pouvons pas nous contenter de rire des vieilles réalisations; nous devons tirer leçon et profit de ce qui a fait trébucher et chanceler nos prédécesseurs et de ce qui a fait surpasser depuis longtemps nos propres constructions.

La maxime de Confucius, vieille de deux millénaires et demi environ, est toujours valable : « L'homme peut agir intelligemment de trois manières : la première, la réflexion, est la plus noble; la deuxième, l'imitation, la plus facile; et la troisième l'expérience, la plus amère. »

Il est évident que nous essayons parfois de suivre la voie la plus facile, celle de l'imitation des expériences étrangères. La Commission technique de l'Union des Constructeurs suisses consacre pourtant tous ses efforts à se maintenir dans la voie la plus noble, celle de la réflexion propre, du développement des recherches et des études, pour éviter la voie la plus amère, c'est-à-dire celle des expériences catastrophiques sur les chantiers.

Aujourd'hui plus que jamais, l'Union des Constructeurs suisses doit considérer et appliquer les finesses les plus modernes de la théorie et de la pratique, afin que les superstructures métalliques puissent toujours être réalisées de la manière la plus légère et la plus économique, tout en conservant la sécurité admissible et en résolvant convenablement les problèmes esthétiques.

(1) Extrait du Mémoire présenté au Congrès organisé à Zurich en novembre 1953 par l'Union des Constructeurs suisses de Ponts et Charpentes métalliques. Les clichés des figures (sauf fig. 7) nous ont été aimablement prêtés par cette Union.

Comme pourtant les améliorations théoriques et pratiques ne doivent pas rester des secrets sévèrement protégés, mais doivent devenir bien commun en vue de développements fructueux, des échanges intimes d'expériences acquises se font depuis longtemps au sein de la Commission technique. Les publications éditées par elle orientent les ingénieurs-praticiens et les architectes dans le domaine des constructions, de la théorie, des essais et des applications et montrent aux maîtres des ouvrages ce qu'on peut faire en acier et comment.

Aujourd'hui comme toujours, la Commission technique se donne la peine de créer de la clarté autant que possible. Cela ne peut s'obtenir que si nous abandonnons la « boutique aux secrets » car ce n'est qu'ainsi que les liaisons peuvent être améliorées et étendues sur des bases plus larges par un travail en commun.

Pour se tenir à la hauteur du progrès et toucher tous les cercles intéressés à la construction

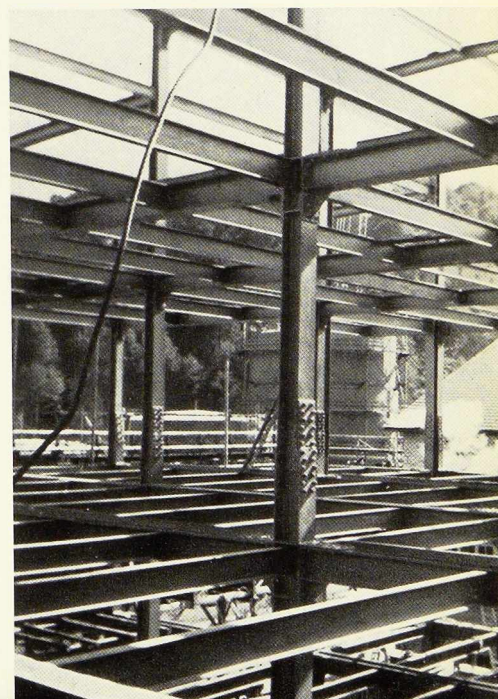


Fig. 1.

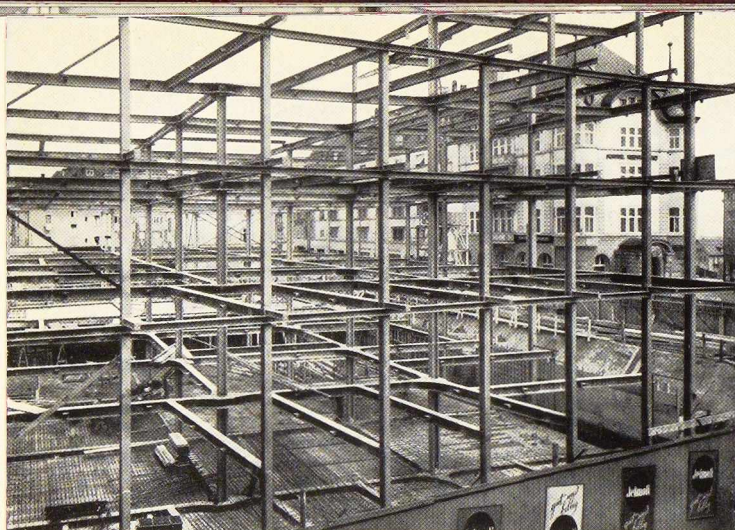


Fig. 2.

métallique moderne, l'Union des Constructeurs suisses publie mensuellement les « Notices sur la construction métallique » et les « Informations de la Commission technique de l'Union des Constructeurs suisses » ainsi que des « Feuilletts de la Construction », des notes spéciales et des articles dans des revues techniques. Toutes ces publications établissent entre les praticiens et les techniciens le contact nécessaire et indispensable, sans lequel on ne peut songer au développement des études et des recherches.

Aujourd'hui, les superstructures métalliques peuvent être réalisées au mieux et plus économiquement qu'autrefois, grâce au développement très poussé de la théorie dans le domaine des cal-

culs de la résistance de l'acier, grâce à la grande expérience acquise en matière d'essais des matériaux, grâce aux essais statiques modernes en laboratoire, et grâce aux observations faites sur des ouvrages existants.

Cela a déjà eu pour résultat d'augmenter les tensions admissibles d'après les normes suisses. Ces augmentations des tensions ne se justifient pourtant que si la sollicitation de la construction étudiée et de ses parties constituantes peut être établie aussi exactement que possible. La possibilité existe aujourd'hui d'analyser d'une manière irréprochable un état de sollicitation (même pour des sollicitations bi- et tri-axiales) et de le traduire en formules mathématiquement exactes.

Notons que l'Union des Constructeurs suisses pratique de plus en plus la normalisation et l'augmentation convenable de la productivité. La normalisation entraîne une diminution des frais au bureau d'études dans les ateliers et au montage. La commande s'exécute suivant un projet adéquat, par le déroulement économique du travail à l'atelier en utilisant un outillage moderne, par le travail « à la chaîne » sans recouplement des trajectoires, par l'application de la soudure automatique, par une étude et une préparation soignées du montage à l'aide de l'appareillage le plus récent.

Un accroissement convenable de la productivité s'obtient par une formation bonne et rationnelle de la main-d'œuvre.

La lutte en concurrence ne peut être entreprise avec succès que si la production de l'atelier est bonne. De nouvelles machines ne suffisent pas dans ce but; il est encore plus nécessaire de disposer d'ouvriers expérimentés, capables de jugement et d'initiative personnels, persévérants et dévoués à cent pour cent à la firme qui les emploie.

Il faut toujours se rappeler qu'une nouvelle construction ne représente un progrès technique que si elle est plus économique que les précédentes à qualité égale ou meilleure à prix égal.

De grands progrès ont été réalisés dans les dernières années par l'emploi d'acier à haute résistance. Sollicités par les forces de même grandeur, les aciers à haute résistance de rupture et à limite d'élasticité élevée conduisent à des sections plus petites des éléments. Comme pourtant le module d'élasticité E est le même pour tous les aciers de construction, les éléments exécutés en acier à haute résistance, sollicités au flambement ou au voilement, doivent présenter une longueur relative de flambement plus petite qu'en acier 37, pour autant qu'on veuille utiliser les taux de travail admissibles plus élevés. Il arrive aussi sou-

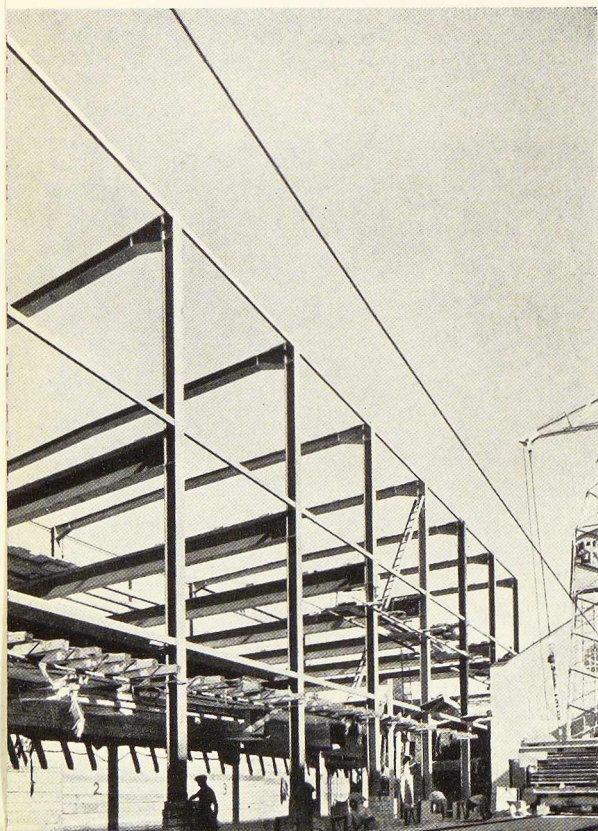


Fig. 3.

vent que les taux de travail admissibles pour les aciers à haute résistance ne peuvent pas être utilisés complètement à cause du dépassement des déformations acceptables qui en résulterait. D'autres limites à l'emploi des aciers à haute résistance sont fixées par la résistance à la fatigue et par la soudabilité.

On emploie de plus en plus dans les superstructures métalliques les poutres jumelées, c'est-à-dire des poutres à armature rigide, formées d'une plaque en béton armé solidaire d'une poutre en acier. Pour assurer une bonne liaison c'est-à-dire le travail simultané du béton armé et de l'acier, des tenons et des armatures obliques sont nécessaires, qui assurent la liaison de la plaque en béton et de la poutre en acier en dépit des efforts de cisaillement et de traction.

Dans les dernières années, les assemblages soudés ont de plus en plus remplacé les assemblages rivés. La soudure permet l'application de nouvelles formes constructives qui assurent une meilleure utilisation des qualités résistantes de l'acier et qui, de plus, procurent une importante réduction de poids ainsi que des avantages économiques. La soudure est aujourd'hui presque équivalente au matériau acier en ce qui concerne la résistance aux efforts statiques et dynamiques. Il en résulte qu'on soude de plus en plus, non seulement à l'atelier, mais aussi au montage.

Grâce aux plus grands raffinements de la théorie et aux perfectionnements de la soudure, on tend aujourd'hui à construire beaucoup plus légèrement qu'avant-guerre. Tout bon constructeur s'efforce de ne mettre en œuvre que le poids d'acier le plus réduit possible.

La réalisation de cette tendance au poids minimum est toutefois limitée par les frais d'exécution, c'est-à-dire par l'économie générale de l'ouvrage exécuté. Les constructions légères modernes ne sont pas économiques si elles ne peuvent être réalisées, avec les moyens existants d'un atelier, qu'avec des frais de main-d'œuvre anormalement élevés. La construction légère en acier exige un emploi plus étendu des profils obtenus à la presse. On peut compter, en toute prudence, sur une économie de poids de 25 % grâce à un tracé favorable des profils. Des cas sont connus où l'économie de poids fut de 30 à 50 %.

Comme je l'ai déjà signalé, les superstructures métalliques ont déjà été étudiées au point de vue architecture, technique et valeur commerciale. Je suis donc amené à vous démontrer que ces superstructures peuvent rivaliser avec d'autres et à vous énumérer les avantages du matériau acier dans ce domaine, avantages partiellement dispersés, insuffisamment mis en lumière dans les communications précédentes.

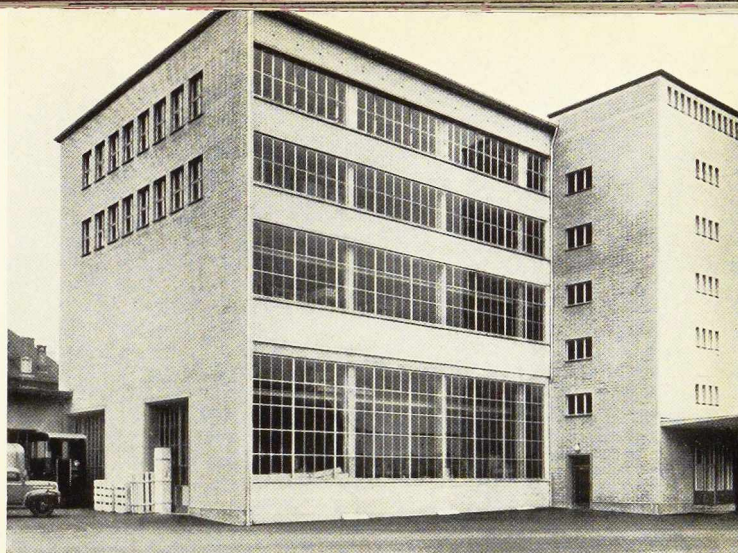


Fig. 4.

Je me rends compte que le béton armé de même que le béton précontraint peuvent revendiquer autant d'avantages pour les constructions auxquelles ils s'appliquent; je crois pourtant qu'il est bon de résumer ici les avantages typiques des superstructures métalliques.

II. Avantages du matériau « acier » dans les charpentes

1. Les éléments portants peuvent être réalisés avec un faible poids propre à cause de la résistance élevée et régulière du matériau « acier ».
2. Les éléments pour lesquels interviennent les questions de stabilité de l'équilibre ou la résis-

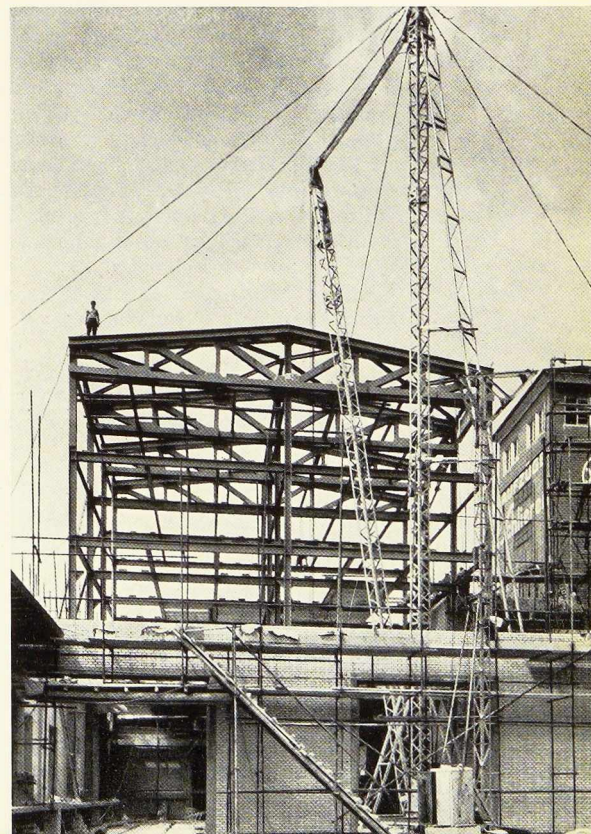


Fig. 5.

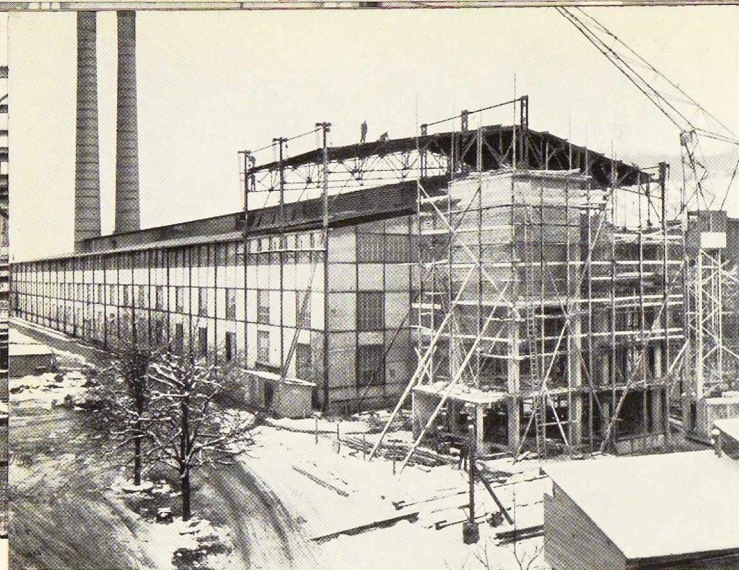


Fig. 6.

tance aux vibrations peuvent être exécutés avec une faible consommation de matière à cause de la valeur élevée du module d'élasticité de l'acier.

3. La plasticité de l'acier procure une sécurité supplémentaire en ce qui concerne les surcharges locales. Elle représente une réserve de sécurité pour tous les ouvrages hyperstatiques.

4. Le matériau « acier » garantit une sécurité absolue. Les qualités contrôlées au laminoir ne donnent lieu à aucune réserve ou restriction et sont indépendantes de la construction. Elles peuvent être vérifiées rapidement et simplement en tout temps.

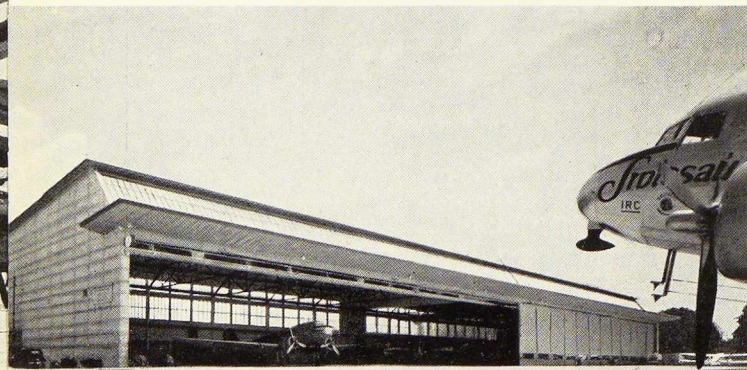
5. Les calculs statiques des constructions méritent toute confiance, attendu que l'acier est un matériau homogène et isotrope, de qualité régulière.

6. Tous les éléments de l'ouvrage sont travaillés à l'atelier et ne doivent être qu'assemblés sur le chantier. L'exécution se fait donc avec le plus grand soin et mérite toute confiance.

7. Utilisé en ossature portante, l'acier conduit au minimum d'épaisseur des parois et des cloisons. Celles-ci ne doivent que clôturer des vides et n'ont aucune fonction portante. L'ossature reprend toutes les charges.

8. Les parois peuvent être exécutées avec la même épaisseur à tous les étages. Comme elles n'ont qu'à remplir les surfaces comprises entre les plafonds et les montants des supports elles peuvent être réalisées en matériaux légers et conçues de manière à résister mieux que des parois

Fig. 7.



portantes aux influences climatiques, à assurer une meilleure isolation thermique et sonore.

9. La haute résistance de l'acier conduit à de faibles sections des supports, ce qui donne une grande capacité utile et permet l'utilisation la plus favorable des surfaces couvertes. (Les sections transversales restent toujours encore plus petites que dans d'autres modes de construction, même si l'acier doit être enrobé.)

10. On peut, si nécessaire, réaliser des halls de grande portée dépourvus de tout support intérieur, des halls dans lesquels des cloisons peuvent, à volonté, être élevées, éloignées à nouveau ou déplacées.

11. Les superstructures métalliques se prêtent au mieux à l'exécution d'extensions ultérieures, de nouveaux étages et de transformations. Tous ces travaux peuvent s'exécuter rapidement et irréprochablement, indépendamment de la saison et des conditions climatiques.

12. Par suite du faible poids des éléments portants en acier et des matériaux légers de remplissage des façades et des cloisons, les fondations peuvent être réalisées économiquement. Ceci joue un rôle important si le terrain de fondation est mauvais.

13. Les tassements des fondations n'entraînent dans les superstructures métalliques que des travaux de consolidation relativement simples. Par suite de son élasticité et de sa plasticité, le squelette métallique s'adapte à des modifications étendues des conditions de travail. De plus, des tassements inégaux des fondations peuvent être facilement rachetés par le relevage des supports.

14. Les superstructures métalliques peuvent toujours être montées très rapidement. Les éléments sont fournis au chantier, complètement achevés, de sorte que le montage se réduit le plus souvent au boulonnage ou à la soudure des assemblages. Le montage peut être poursuivi en toute saison, indépendamment du temps et de la température ambiante.

15. Par une bonne coordination des travaux au montage et à l'atelier, on peut obtenir que les éléments fournis par l'atelier soient immédiatement mis en place, sans mise en dépôt provisoire. Lorsque les emplacements de dépôt sur le chantier sont limités (dans une ville par exemple) on ne provoque ainsi aucun trouble dans la circulation sur les rues et les places. Le montage d'une construction métallique n'exige que peu de place.

16. On ne doit pas attendre que tout le squelette métallique soit monté pour commencer les travaux de maçonnerie, l'amenée des matériaux de remplissage et des installations. Il en résulte une nouvelle réduction de la durée d'exécution

des travaux. Les travaux de finissage peuvent être commencés aux étages inférieurs ou dans une aile du bâtiment tandis que le montage se poursuit aux étages supérieurs ou dans d'autres ailes.

17. La construction métallique assure une mise en service rapide. On n'emploie que très peu d'eau pour les plafonds, les pavements et les parois de sorte qu'une superstructure métallique peut être pratiquement considérée comme « sèche ». La rapide mise en service réduit les intérêts intercalaires pendant l'exécution et hâte la rentrée des loyers.

18. L'acier est le matériau le plus résistant à tous les ébranlements (vibrations, tremblements de terre, actions de guerre, bombes atomiques). Lorsque des éléments portants en acier sont sollicités, les fortes déformations, rendues possibles par la plasticité de l'acier, empêchent souvent la rupture.

19. Un enrobement adéquat donne à une superstructure métallique une grande résistance aux actions du feu.

20. On peut réemployer les profilés d'acier provenant d'une démolition. Celle-ci peut être faite sans danger, sans grands frais, et rapidement. Les profilés constituent ainsi une réserve latente.

Comme, de plus, le matériau « acier » permet, sous les formes les plus larges, la réalisation architectonique de conceptions compliquées, il constitue le matériau idéal des superstructures, pour autant qu'il soit question de fortes charges utiles ou de portées moyennes ou grandes.

III. Ossatures métalliques

Une ossature métallique est une construction à étages dont les montants, les traverses, les poutres et les cadres sont en acier et qui forme un squelette portant transmettant, seul, les charges aux fondations.

Les parois qui ferment les vides et les planchers sont largement indépendants du squelette métallique et peuvent être adaptés au mieux aux buts de leur utilisation.

Sous leur forme actuelle, les ossatures métalliques ont d'abord été réalisées en Amérique. L'élévation des prix unitaires dans les centres des grandes villes a forcé de construire le plus d'étages possible sur une surface donnée. Dans ces hautes constructions, les charges sur les murs extérieurs et les supports intermédiaires augmentaient dans de telles proportions que les ouvrages en maçonnerie ou en béton armé devaient recevoir des dimensions qui n'étaient plus économiques; l'acier a dû être employé comme matériau. Ces considérations applicables aux gratte-ciel sont



Fig. 8.

également valables pour les constructions industrielles et les bureaux à nombre réduit d'étages lorsque les différents planchers doivent porter de grandes charges utiles.

Mentionnons, ci-après, une série d'ossatures métalliques modernes : Atelier « Synthèse 3 » de la Société de Glucoserie d'Ems pendant le montage (fig. 1); grands magasins Jelmoli à Zurich-Oerlikon (fig. 2); bâtiment à trois étages du peignage de laines de la Société A. et R. Moos à Weisslingen (fig. 3); nouveau bâtiment d'expédition de l'usine Schlieren (Zurich) pour la fabrication de wagons et d'ascenseurs (fig 4 et 5). Il s'agit ici d'une ossature métallique à quatre étages, de 17,80 m de largeur, 28,75 m de longueur et 20,40 m de hauteur. Les fermes sont espacées de 5,80 m. Le rez-de-chaussée ne comporte pas de supports intérieurs. Un pont roulant y est installé, de 5 t de force portante et environ 16,20 m de portée. Tous les planchers supérieurs sont suspendus par des tiges de suspension aux fermes en treillis de la toiture. Les charges utiles sont de 2 000 kg/m² pour le plancher au-dessus du rez-de-chaussée, 1 000 kg/m² au-dessus du premier étage et 500 kg/m² au-dessus du deuxième. Les planchers sont réalisés en béton armé, le toit en tôle d'aluminium sur coffrage en bois. Les façades sont en maçonnerie de briques.

La figure 6 représente l'opération du levage sur

Fig. 9.

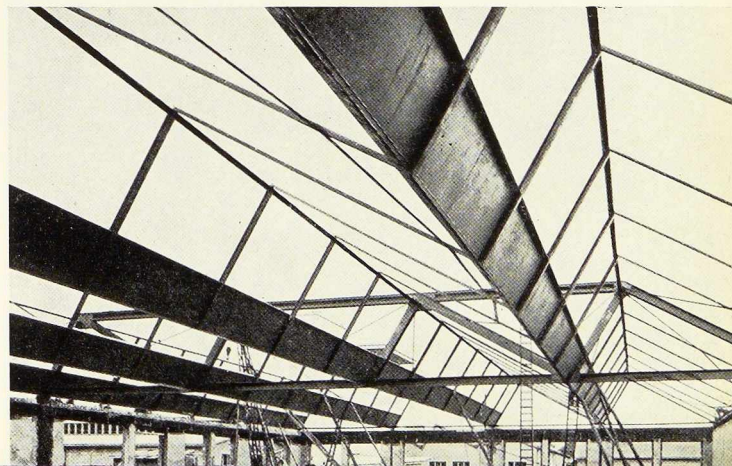




Fig. 10.

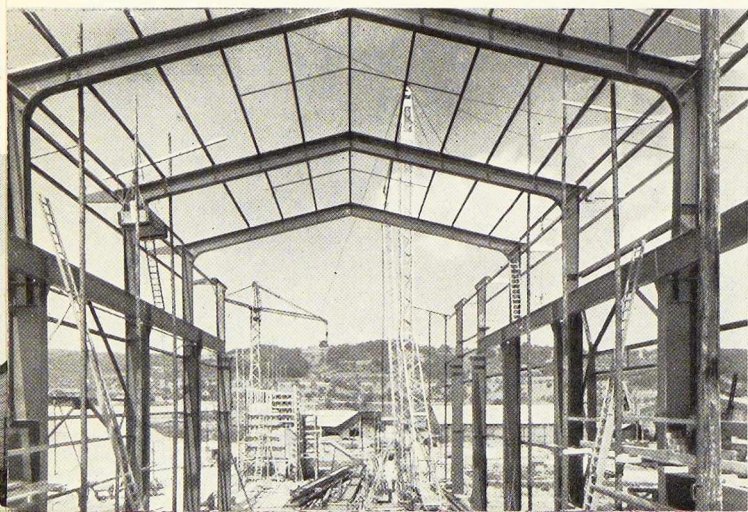
5,50 m de hauteur du toit de 525 m² de surface de la cimenterie Holderbank-Wildegg. Le levage du toit ne pouvait pas entraver le travail de l'usine; le toit devait être levé en une seule pièce pour qu'on reste autant que possible indépendant des conditions climatiques.

Il était prévu trois points de levage par ferme, soit en tout neuf pour les trois fermes à lever. La commande des appareils de levage se faisait à main pour que la marche des opérations puisse être contrôlée avec une précision suffisante.

IV. Halls métalliques

Tout projet de hall tend à une amélioration de l'économie. Cette économie ne doit pas être acquise aux dépens de l'esthétique mais obtenue par une conception plus raffinée du jeu des forces à l'intérieur des éléments portants et par une adaptation, belle de forme, du bâtiment au paysage. L'économie des halls de grande portée ne dépend pas d'un dimensionnement poussé à l'extrême, c'est-à-dire d'un minimum absolu de poids. Les frais de main-d'œuvre affectés à la

Fig. 11.



construction jouent un rôle aussi important que la consommation de matériaux. Les questions d'entretien et de durée de conservation ont, de plus, leur importance. Tous ces facteurs réunis exigent un ouvrage portant clair et simple.

Les poutres à âme pleine et les poutres à triangulation simple avec barres à profil plein, non divisé, et nœuds simples et clairs ont définitivement remplacé les treillis à petites mailles des halls à grande portée, construits dans la dernière décennie du dernier siècle.

Quelques halls sont figurés à titre d'exemples des plus modernes.

Les halls d'aviation de Cointrin-Genève comprennent un hangar de 170 m de long et 62,50 m de profondeur et un hall de montage (atelier) de 80 m de longueur et 42,50 m de profondeur. La forme du toit, avec versants aux bouts, résulte de la nécessité d'assurer un bon éclairage du hall de montage. De plus, la ligne brisée du toit évite l'impression de « haute boîte ».

L'examen de différents systèmes, tels que portiques, arcs, toiture autoportante, etc. a donné comme système économique une construction en pannes et fermes sur poutres principales extérieures. Pour le hangar, une poutre principale à deux travées a donc été établie en arrière des portes. Une comparaison entre supports en acier ou en béton armé a montré l'économie des supports en béton armé dans ce cas.

La poutre principale est une poutre en treillis à membrures parallèles, à deux travées, pour le hangar, à une travée pour le hall de montage. L'acier 52 a été utilisé pour les membrures parce qu'elles n'auraient pu être réalisées en acier 37 que moyennant l'emploi de profils composés. La longueur relative de flambement λ des éléments des membrures est comprise entre 70 et 80 de sorte que l'acier à haute résistance restait économique pour les membrures comprimées.

Le hall-atelier du champ d'aviation de Zurich-Kloten a une longueur de 150 m et une profondeur de 37,50 m. La poutre principale établie derrière la paroi des portes possède un appui médian. La construction est munie de fenêtres inclinées et d'un auvent de 5 m de largeur, ce qui améliore notablement l'éclairage intérieur du hall et la protection des portes, surtout en hiver. La poutre principale et les fermes ont été exécutées en acier 44 (fig. 7).

A citer également le hall de finissage des autos de la Société V. O. L.G. de Winterthur. La longueur est de 56 m; la largeur 19 m; la hauteur sous clé 8,30 m. La figure 8 montre le hall de la gare d'autobus de Adelsboden, d'une longueur de 84 m, d'une largeur de 17,50 et d'une hau-

leur sous clé de 6,40 m. La charpente métallique est constituée ici par des portiques à trois rotules à âme pleine et soudés. A citer enfin le hall de finissage de la General Motors suisse à Bienne. Il se trouve au premier étage du bâtiment. La longueur du hall est de 112 m, la largeur maxima 37 m, l'espacement des fermes 16 m. La légèreté de la charpente métallique est remarquable.

Le hall-entrepôt des frères Böhler et Co., à Wallisellen, a 57,70 m de longueur, 13,20 m de largeur et une hauteur moyenne de 6 m. Les éléments portants principaux sont des fermes en portiques à deux rotules à âme pleine et soudés, avec portée de 12,70 et distance entre fermes de 5,25 m. Les pannes sont en poutres continues de profil laminé normal. Les parois sont des pans métalliques à traverses avec remplissage en maçonnerie d'une demi-pierre calcaire. Au-dessus des linteaux des fenêtres, ces parois sont recouvertes d'éternit à petites ondulations à l'extérieur et d'une plaque de Durisol de 6 cm à l'intérieur. Le toit est formé de plaques ondulées d'éternit à grandes ondulations fixées sur une couche isolante de 8 cm en Durisol (fig. 10).

D'autres constructions de halls métalliques modernes sont présentées par les figures 11 (salle des machines de la Centrale Wildegg-Brugg), 9 (construction à un étage avec toiture à sheds de la Société Wild à Heerbrugg) et 12 (portiques à deux rotules à âme pleine et soudés, du garage des Frères Sulzer, à Oberwinterthur).

Le grand hall de Full (usine chimique Uetikon) a une longueur de 101 m, une largeur de 31,25 m et une hauteur sous clé de 18,50 m (fig. 13). Les éléments portants principaux comprennent onze portiques à deux rotules pesant, chacun, 17 t.

Les montants des portiques ont été réalisés à l'aide de poutrelles à larges tables. Chaque poutrelle a d'abord été coupée en deux moitiés par un trait oblique longitudinal au chalumeau. Les deux moitiés ont été ensuite resoudées par une soudeuse automatique après que l'une d'entre elles eut été retournée bout pour bout avant d'être accolée à nouveau à l'autre. De cette façon on a pu réaliser un montant dont la largeur diminue régulièrement vers le bas et qui ne présente qu'un joint soudé suivant sa fibre neutre. Les poutres supérieures des portiques, tracées en lignes brisées, sont également formées de poutrelles à larges tables. A la jonction avec les montants une tôle triangulaire soudée forme gousset de liaison sur 5 m environ de longueur. Des joints boulonnés de montage ont été ménagés aux extrémités et au milieu des poutres supérieures.

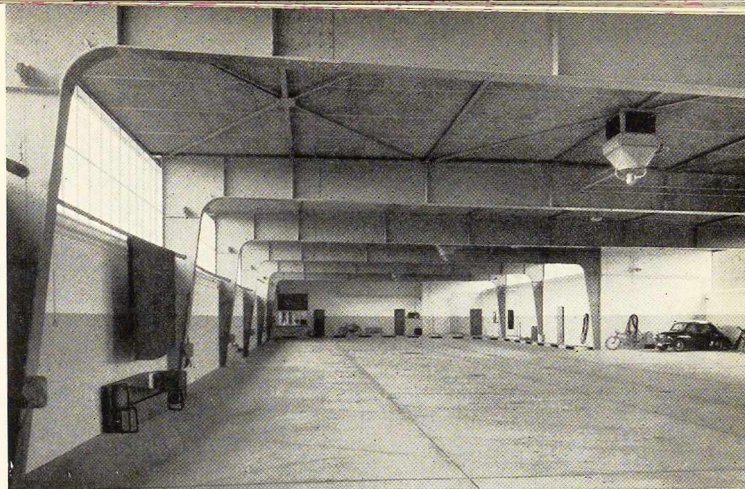


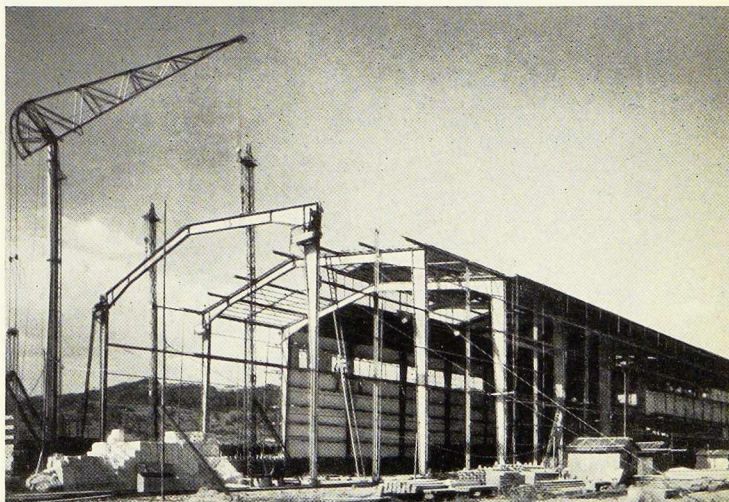
Fig. 12.

La panne faitière du lanterneau se trouve à 21,50 m au-dessus des appuis des portiques. Le poids total de la charpente métallique, y compris les lanterneaux, est de 390 t, soit 123 kg/m². Ce poids peut être considéré comme normal, compte tenu du mode de construction, de la grande hauteur du hall et de la grande importance relative des pans métalliques latéraux. Le poids par mètre cube de volume bâti n'est que de 7 kg.

On note aujourd'hui dans la construction des halls métalliques une tendance marquée à la simplification des éléments. Les petites poutres rivées d'autrefois sont remplacées, autant que possible, par des poutrelles laminées normales ou par des poutrelles Differdange dont la hauteur a été augmentée en intercalant, par soudure, une pièce médiane d'âme entre les deux moitiés de la poutrelle, coupée en long. Pour les petites et les moyennes portées, on observe l'emploi de plus en plus fréquent de la poutre à âme pleine d'aspect esthétique, au détriment de la poutre à treillis. Celle-ci reste appliquée aux grandes portées par raison d'économie. Elle est réalisée à mailles larges et avec tracé harmonieux de son réseau.

Le développement de la construction des halls

Fig. 13.



métalliques n'est terminé ni au point de vue des considérations théoriques, ni à celui de la pratique de la construction. A l'avenir les constructeurs suisses tendront aussi de plus en plus à employer des couvertures autoportantes en tôles.

V. Conclusions

La superstructure métallique a deux adversaires dangereux dont la puissance est fondée sur les caractéristiques technologiques du matériau « acier » : la rouille et le feu.

Ils forcent le constructeur métallique, en tant que fabricant, entrepreneur ou ingénieur responsable, à poursuivre des recherches détaillées, pratiques et scientifiques et à développer les moyens de défense les meilleurs et les plus permanents. Ce n'est pas par hasard que vous avez entendu deux communications sur le feu et sur la corrosion. Nous aurons aussi à nous occuper encore, à l'avenir, de ces deux ennemis des superstructures métalliques. En tous cas nous pouvons assurer aujourd'hui sur la base des essais effectués et de la mise en valeur d'expériences de longues années, que si les moyens modernes de défense

sont appliqués, ces deux adversaires ne pourront plus nuire à la superstructure métallique si ce n'est seulement dans une faible mesure.

Provisoirement, on n'a pas encore construit de gratte-ciel en Suisse mais la tendance se manifeste de plus en plus d'ériger de hauts immeubles; l'acier est le matériau qui mérite le plus de confiance pour de telles constructions. Pour répondre au rêve né des désirs des constructeurs suisses, mentionnons encore deux ossatures métalliques américaines : le Lever House à New-York (21 étages) entièrement vitré et l'immeuble à appartements de la Lake Shore Drive à Chicago (fig. 14).

La construction de superstructures métalliques ne consiste pas seulement en une vente de matériaux, de travaux à l'atelier et d'heures de montage. Ce qui compte pour une réussite au point de vue économique, c'est avant tout, à côté de la qualité de l'exécution, le travail technique intellectuel dans les bureaux des ingénieurs de constructions métalliques. Dès le début, un contact intime doit s'établir entre l'architecte et l'ingénieur, un contact qui laisse pourtant une liberté suffisante à l'ingénieur auteur du projet. Ce n'est qu'ainsi qu'une solution économique peut être obtenue.

Il y a encore de nombreux problèmes intéressants à résoudre et beaucoup de travail à fournir. Ces problèmes ne peuvent être résolus et le travail ne peut être productif que si on se souvient que les problèmes aux aspects multiples des superstructures métalliques ne peuvent être résolus que par une étude mathématique impeccable des conditions statiques, par une interprétation scientifique et exacte, fut-elle même pénible, des essais, par le développement continu des connaissances antérieures et par une étroite collaboration de tous les intéressés. Il faut aussi que se réalisent des échanges francs et amicaux d'informations, des conversations, que rien ne trouble entre concurrents, l'abandon de la « boutique aux secrets » et un contact intime et puissant avec l'Ecole Polytechnique Fédérale de Zurich et l'Ecole Polytechnique de l'Université de Lausanne.

Ce n'est que si cela réussit (et nous sommes dans la meilleure voie pour y aboutir) qu'il sera possible aux ingénieurs suisses des constructions métalliques de perfectionner encore leurs productions et que, du projet d'ensemble jusqu'aux détails d'exécution, naissent des constructions métalliques de haute valeur, belles de formes et économiques, par le travail du bureau d'études, de l'atelier et du montage.

C. F. K.

Fig. 14.



R. Chirol,
Ingénieur-Docteur,
Université de Paris

La construction métallique soudée dans l'industrie du pétrole

En six ans, la capacité de raffinage des usines françaises est passée de 1 200 000 tonnes lors de la libération, à 21 000 000 de tonnes par an à fin 1952. Cette activité remarquable de l'industrie du pétrole mérite d'être signalée, d'autant plus que l'équipement des usines bénéficie des toutes dernières techniques de distillation et de construction.

Dans cet article, nous nous proposons de décrire comment ont été réalisés les principaux appareils utilisés dans les raffineries les plus modernes. Les méthodes de soudage signalées ont été appliquées dans la construction de nombreuses raffineries : elles ont fait leurs preuves et sont consacrées par la pratique.

Coup d'œil rétrospectif

Au début de l'industrie du pétrole, les huiles brutes étaient distillées dans des chaudières en fonte et les vapeurs étaient condensées dans un réfrigérant.

Cette opération primitivement discontinue a ensuite été exécutée continuellement dans des colonnes en fonte munies de plateaux de barbotage également en fonte.

L'acier a fait ensuite son apparition dans les chaudières de distillation discontinue; ces chaudières rivées étaient surmontées de colonnes d'analyse dont les plateaux, avec leur équipement, demeuraient en fonte. L'appareillage ainsi construit a provoqué de nombreux accidents dus le plus souvent aux variations de température auxquelles ce matériel était soumis. Les rivures, après peu de temps, perdaient leur étanchéité; les parties en fonte étaient susceptibles de ruptures brusques; elles laissaient alors échapper liquide et vapeur à des températures atteignant souvent celle d'auto-inflammabilité. Les incendies furent nombreux, aussi chercha-t-on à améliorer la conception et l'exécution du matériel pour pouvoir travailler avec le minimum de danger. La sécurité n'a été obtenue que le jour où les

constructeurs ont décidé d'utiliser l'assemblage par soudure des différents éléments constitutifs des appareils.

A cet effet, toutes les dispositions doivent être prises pour n'utiliser que des matières premières de haute qualité, mises en œuvre par un personnel d'élite. Les tôles sont spécialement choisies pour l'emploi auquel elles sont destinées. Les électrodes font l'objet d'une attention particulière, afin que le métal déposé jouisse des mêmes propriétés que le métal de base. Les méthodes d'exécution des soudures sont étudiées pour permettre d'éliminer, dans la mesure du possible, les tensions internes du métal. La soudure, par exemple, sera exécutée par passes multiples pour obtenir un auto-recuit, la passe supérieure sera alors la seule à ne pas être recuite dans le cas du chanfrein en V; la passe supérieure et la passe inférieure, dans le cas du chanfrein en X, avec reprise à l'envers, n'auront pas de recuit.

Enfin les soudeurs doivent être qualifiés avant le commencement du travail et leurs tôles d'essais font l'objet des épreuves classiques : traction, pliage sur face et sur racine, cassure de la soudure, résilience éventuellement.

La confiance accordée par les usagers à la construction soudée, pour un matériel soumis à un régime très pénible, est basée sur le fait que l'exécution en est confiée à des spécialistes.

Description sommaire d'une unité de traitement des huiles brutes

La description sommaire des conditions de marche d'une unité de traitement des huiles brutes (à la pression atmosphérique et sous vide) permettra de donner une idée de régime pénible auquel est soumis le matériel de raffinage.

Actuellement, une unité de raffinage est un ensemble compliqué de tours, d'échangeurs de chaleur, de réfrigérants, de pompes, de réservoirs de recette des produits, de tuyauteries, de fours, etc. Le schéma de la figure 1 synthétise

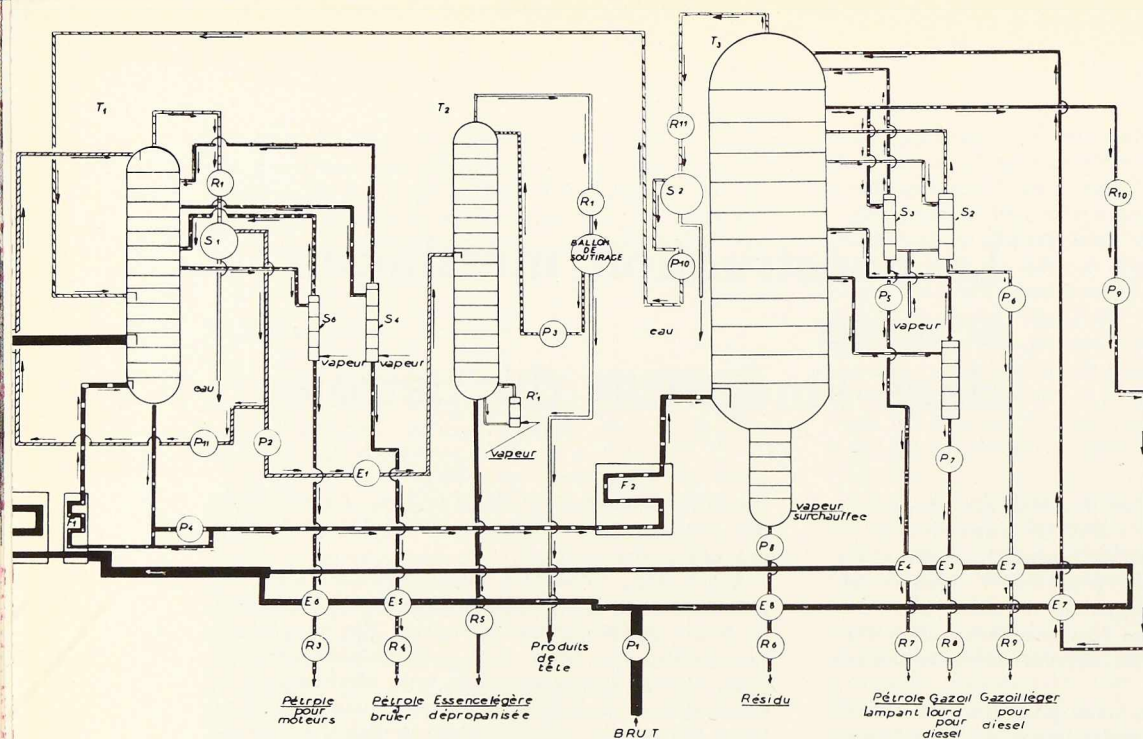


Fig. 1. Schéma synthétisant le fonctionnement d'une unité de traitement d'huiles brutes.

dans ses grandes lignes le fonctionnement d'une unité de traitement d'huiles brutes, c'est-à-dire telles qu'elles sortent des puits.

Les huiles brutes sont envoyées par la pompe P1, après avoir traversé les échangeurs de chaleur E5, E6, E8, E7, E2, E3, E4, dans le four de réchauffage F1 où elles sont portées à 260° C environ; elles pénètrent ensuite à la partie inférieure de la tour T1. Cette tour permet la séparation des divers produits : pétrole pour moteur, pétrole à brûler; les produits gazeux sortant par le haut de la tour à une température d'environ 100° C, sont constitués par des vapeurs d'hydrocarbure et par la vapeur de l'eau contenue dans les huiles brutes; ils passent dans un réfrigérant qui assure leur condensation, dans un séparateur qui permet l'élimination de l'eau; les condensats, par l'intermédiaire de la pompe P2, arrivent à mi-hauteur de la tour T2 dont la fonction est d'éliminer le propane du liquide dans lequel il est dissous. A cet effet, une partie des rétrogradations est soutirée, passe dans un réchauffeur spécial R où elle est portée à 135° C et pénètre à la partie basse de la tour. Les vapeurs sortent de la tour T2 à une température de 60°, sont condensées dans un réfrigérant R2 et constituent les produits de tête. Une partie de ces produits de tête condensés, est aspirée par une pompe P3 qui les envoie à la partie haute de la tour T2 dans le but de faciliter le classement des produits qu'elle est chargée de séparer.

Le liquide s'échappant du bas de la tour T2 constitue l'essence dépropanisée.

Les produits sortant de la base de la tour T1 à une température d'environ 310° C sont envoyés dans le four F2 par une pompe P4; ils sortent de ce four à une température d'environ 370° C et pénètrent dans la partie basse de la tour T3. A la base de cette tour est envoyée de la vapeur surchauffée qui provoque une nouvelle distillation des produits rétrogradant à la base de la tour. La tour T3 assure la séparation des produits suivants : pétrole lampant, gas-oil lourd pour moteur Diesel, par l'intermédiaire de *strippers* placés sur le circuit de chacun de ces produits.

Un *stripper* est une véritable petite colonne à plateaux dans laquelle on peut prélever une certaine quantité de reflux et la réintégrer dans la colonne pour maintenir stable la composition du produit s'écoulant à la base.

A la base de la tour T3 il s'écoule un résidu qui sera repris pour des traitements ultérieurs.

Ces explications sur la circulation des produits sont assez rudimentaires, elles passent sous silence un certain nombre de soutirages de produits en des points judicieusement choisis, soutirages qui, par des pompes de reflux, sont renvoyés dans les tours à des hauteurs bien déterminées. Le but de ces retours de produits dans la tour, est d'améliorer le classement des produits séparés et de maintenir la constance de leurs

propriétés physiques : densité, température de distillation, viscosité. Ces caractéristiques peuvent être, en effet, affectées par exemple par la composition des huiles brutes; en modifiant les proportions des produits soutirés et réintégré dans la tour, il est possible de remédier aux troubles causés par la nature du produit traité.

Tout ce matériel est exécuté par soudure à l'arc électrique, la soudure aux gaz étant réservée à des cas particuliers souvent importants.

Le matériel de raffinerie peut se diviser de la manière suivante :

- 1° Tours de distillation;
- 2° Echangeurs de chaleur ou condensateurs;
- 3° Réservoirs divers;
- 4° Fours;
- 5° Matériel de manutention des produits (pompes, éjecteurs, etc.);
- 6° Appareils de réfrigération;
- 7° Tuyauteries de liaison entre les appareils;
- 8° Appareils de contrôle et de sécurité;
- 9° Passerelles de service.

Nous allons faire une revue de ces matériels, en indiquant sommairement leur fonctionnement et en examinant leurs caractéristiques constructives.

1. Tours de distillation

Dans une raffinerie il existe un nombre impressionnant de tours de distillation de différents diamètres et de différentes hauteurs, depuis la tour de 6 m de diamètre et de 38 m de hauteur (poids dans le plateau, environ 200 t), jusqu'à la tour de 0,30 m de diamètre et de quelques mètres de hauteur seulement.

Le principe du fonctionnement des tours, quelles que soient leurs dimensions, est toujours le même : barbotage d'une phase vapeur du produit à traiter dans une phase liquide de ce produit. Ce barbotage est obtenu au moyen de plateaux.

Un plateau est constitué par un fond plat embouti avec un grand rayon de carre afin que, lors des variations de température, la dilatation du métal fasse varier la courbure; la déformation des plateaux et supports est ainsi évitée.

Le fond plat est percé de trous uniformément répartis sur la surface; des tubes, dont les parties supérieures ont rigoureusement la même cote, sont emboîtés dans les trous, de manière (fig. 2) à araser la face inférieure à laquelle ils sont soudés. Des cloches se terminant à la partie inférieure en dents de scie, recouvrent chacun des tubes et y sont fixées par un dispositif adéquat. Un déversoir qui peut être constitué par un tube

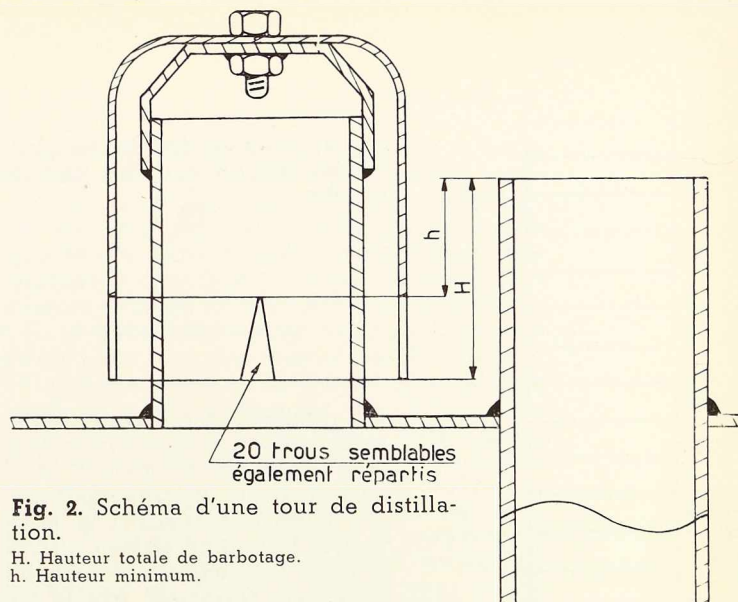


Fig. 2. Schéma d'une tour de distillation.

H. Hauteur totale de barbotage.
h. Hauteur minimum.

traversant le plateau auquel il est soudé à sa face inférieure, est monté de manière que sa partie supérieure soit à une cote, à partir du plateau, supérieure à la cote correspondante de la partie haute des dents de scie, mais inférieure à la cote de la partie supérieure des tubes recouverts de cloches; sa longueur est calculée de manière que sa partie inférieure plonge dans la phase liquide du plateau immédiatement inférieur. La figure 3 représente l'ensemble de deux plateaux consécutifs. Il est dès lors aisé de comprendre la marche des vapeurs et des liquides dans l'ensemble des plateaux. Les vapeurs arrivent des plateaux inférieurs par les tubes A1 A2; pour s'échapper des cloches B1 B2, elles doivent passer par les vides des dents de scie et barbotent dans le liquide contenu dans le plateau. Des fractions de ces vapeurs se condensent au sein du liquide dont elles augmentent le volume : le liquide excédentaire s'écoule par le réservoir C2 dans le liquide contenu dans le plateau P1.

Les tours (fig. 4) sont constituées par un cylindre vertical en tôle; toutes les viroles sont assemblées par soudure. Sur la paroi intérieure sont soudés des supports sur lesquels les bords des plateaux sont soudés également. Suivant l'usage auquel elle est destinée, une tour peut contenir jusqu'à 60 plateaux. Le liquide à traiter

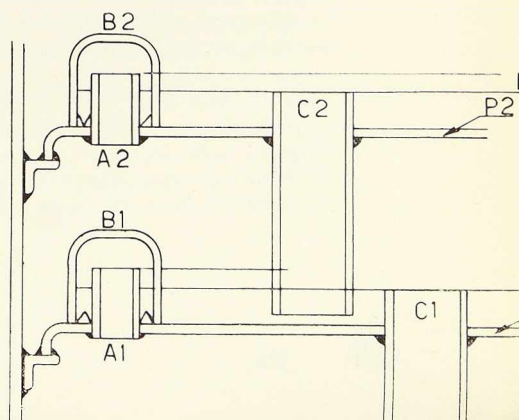


Fig. 3. Tour de distillation. Détail des plateaux.

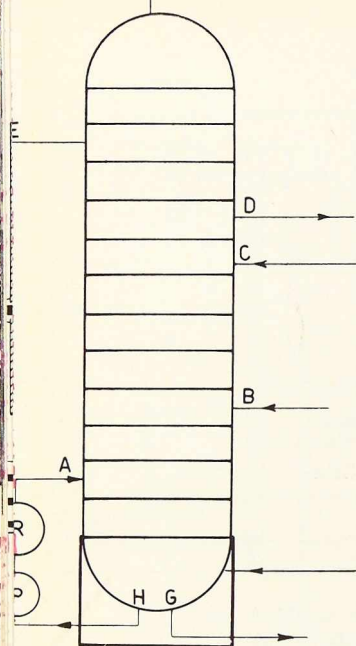


Fig. 4. Tours de distillation constituées par un cylindre vertical en tôle.

est refoulé à température convenable par une pompe, arrive dans la tour par une tubulure B et se répartit sur les plateaux inférieurs. Des vapeurs se dégagent et montent de plateau en plateau jusqu'à la partie supérieure de la tour, les condensats cheminent vers le bas de l'appareil. En E, D, il est possible de faire des prélèvements de liquide, comme en A et C on peut introduire des reflux. Les condensats arrivés au bas de la tour sont évacués par la canalisation C. Des serpentins de chauffage et des injections de vapeur sont prévus en des points bien déterminés.

Il apparaît donc que les tours et leurs plateaux sont soumis à des variations continues de température, à des vibrations provenant du barbotage des vapeurs et de l'arrivée des produits refoulés par les pompes sur les divers plateaux. De ce fait les assemblages travaillent constamment, se dilatent, se contractent, vibrent pendant 24 heures sur 24; la sécurité dans le fonctionnement n'a pu être obtenue que par l'emploi de la soudure tant manuelle qu'automatique ou semi-automatique. On ne conçoit guère comment des pièces rivées pourraient être soumises à un tel régime, sans subir des détériorations préjudiciables au fonctionnement des appareils.

Si la paroi de la tour a, par exemple, une épaisseur de 20 mm, on peut exécuter les soudures longitudinales et transversales suivant le processus suivant : Les tôles sont préparées avec un chanfrein en X, la première passe se fait de l'extérieur de la tour, on achève le remplissage du demi-chanfrein par larges passes. La reprise à l'envers est exécutée de l'intérieur dans les mêmes conditions. Les caractéristiques de cette soudure peuvent être les suivantes :

	Diamètre de l'électrode	Intensité
1 ^{re} passe	3,25 mm	105 à 160 A
2 ^e passe	4 —	150 à 190 A
3 ^e passe	5 —	170 à 240 A
4 ^e passe	6 —	240 à 300 A

Si la tôle de base est en acier A 37 C qualité 3 Sr de la norme française N F A 36 205, c'est-à-dire répondant aux caractéristiques suivantes :

$$\begin{aligned} C &< 0,16 \% \\ Si &< 0,2 \% \\ Mn &> 0,4 \% \\ S &< 0,04 \\ P &< 0,04 \end{aligned} \left. \vphantom{\begin{aligned} C \\ Si \\ Mn \\ S \\ P \end{aligned}} \right\} P + S < 0,07 \% \\ 37 < R < 44 \text{ kg/mm}^2$$

avec la condition supplémentaire $R > 39 \text{ kg/mm}^2$, les électrodes sont choisies dans les nuances E 40 ou E 48 qualité C de la norme N F A 81 309.

Quand on utilise le soudage automatique on exécute souvent, sans que cela soit du reste obligatoire, la première passe à la main entre les talons du chanfrein en X afin de donner un support au flux et au métal en fusion. L'avantage de l'emploi d'appareils automatiques est, une fois l'appareil réglé, d'obtenir une vitesse de soudage plus rapide qu'à la main, surtout quand il s'agit d'assembler des tôles épaisses, mais les soudures faites par ce procédé doivent être soumises au contrôle radiographique par sondage. Si l'on doit souder dans ces conditions deux tôles de 22 mm d'épaisseur, on les prépare conformément aux indications de la figure 5, on soude entre les deux talons à la main en trois passes avec des électrodes de 3,2 mm de diamètre.

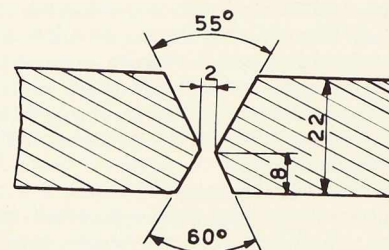


Fig. 5. Préparation des bords.

La soudure automatique est faite en deux passes, une première passe dans le chanfrein d'ouverture 60°, la seconde dans le chanfrein d'ouverture 55°.

Les conditions sont les suivantes :

1 ^{re} passe	diamètre du fil élec-	
	trode	5 mm
	intensité du courant	850 à 900 A
	tension	40 V
	vitesse d'avancement	
	de la tête	44 cm/minute
vitesse de fusion		
électrode	110 cm/minute	

2 ^e passe	}	intensité du courant	950 à 1 000 A
		tension	38 V
		vitesse d'avancement de la tête	27 cm/minute
		vitesse de fusion électrode	135 cm/minute

Soudage des tôles bi-métal

Certaines tours sont destinées à traiter des produits qui corrodent rapidement les tôles en acier ordinaire au carbone. On pourrait utiliser alors de l'acier inoxydable au chrome et au nickel pour leur construction, mais par raison d'économie sur l'achat des matières premières (également par suite des difficultés d'approvisionnement en nickel et chrome) on utilise des tôles « bi-métal », constituées par une tôle support en acier au carbone sur laquelle une tôle en acier inoxydable a été laminée.

L'épaisseur de la tôle en acier inoxydable peut varier de 5 à 50 % de l'épaisseur totale de la tôle bi-métal (en général, cette épaisseur d'acier inoxydable est de 10 %). Dans l'état actuel de la technique, il est prouvé que l'effort de cisaillement nécessaire pour séparer la tôle plaquée de la tôle de base, est supérieur à 33 kilos par mm² de surface de contact.

La soudure à l'arc de ces tôles en bi-métal demande, pour être correcte, à être effectuée par un personnel choisi et exige une préparation soignée. Plusieurs méthodes de soudage, ayant fait leurs preuves, peuvent être utilisées :

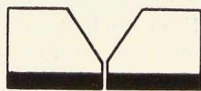


Fig. 6 (ci-contre). Préparation de soudure tôle de base.

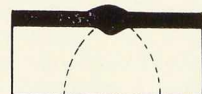
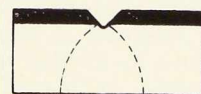


Fig. 7 (ci-dessous). Aspect des soudures terminées.

a) On prépare en premier lieu la tôle de base suivant la figure 6, en évitant que l'arête du dièdre formé par les chanfreins atteigne le revêtement d'acier inoxydable. La soudure est faite avec un métal d'apport de même nature que le métal de la tôle de base.

On prépare le revêtement pour la soudure suivant les indications de la figure 7, en ayant soin de maintenir constamment l'arête du chanfrein de

ce revêtement à l'intérieur de la soudure de la tôle de base. On soude ensuite le revêtement à passes multiples en utilisant, pour les passes inférieures, des électrodes de faible diamètre afin d'éviter la dilution du métal d'apport (électrodes en acier inoxydable) dans le métal de base. L'aspect de la soudure terminée est représentée par la figure 7.

b) Le mode opératoire représenté par la figure 8 est le plus souvent imposé par les bureaux d'études spécialisés. Le revêtement est arraché au burin de la tôle de base sur une largeur d'environ 15 mm le long du bord à souder, et le métal de base est mis à nu sans laisser subsister sur lui aucune parcelle de la tôle de revêtement; la tôle de base est préparée comme indiqué sur la figure 8. Sa soudure s'effectue en commençant par la zone α dans les conditions habituelles. La soudure est reprise à l'envers pour souder la région β ; la partie supérieure de la soudure de la zone β est moulée de manière à affleurer la tôle de base.

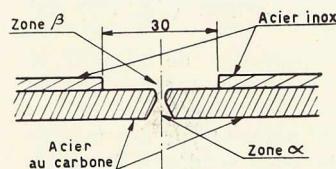


Fig. 8. Préparation de la tôle de base.

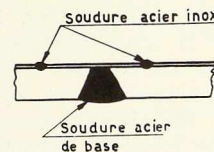


Fig. 9. Soudure de bande en acier inoxydable.

L'intervalle de 30 mm environ laissé libre entre les deux bords du revêtement est garni, soit au moyen de métal d'apport, en ayant soin d'utiliser pour les passes au contact du métal de base des électrodes de faible diamètre, afin de limiter la dilution du chrome et du nickel dans l'acier au carbone, soit par une bande d'acier inoxydable identique comme composition à l'acier composant le revêtement. Cette bande est soudée après préparation aux bords du revêtement conformément à la figure 9.

Pour les soudures de l'acier inoxydable le métal des électrodes contient, en général, plus de chrome et de nickel que l'acier du revêtement.

Quelquefois, le revêtement en acier inoxydable doit être protégé dans certaines zones contre les actions abrasives de liquides chargés de sable ou d'autres matières; on revêt alors toute la surface à protéger de plaques d'acier inoxydable que l'on soude au revêtement et entre elles, comme le montre la figure 10. Après cette opération il est possible, pour des tours de grand diamètre,

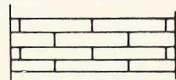


Fig. 10. Revêtement de protection en acier inoxydable.

de cintrer les tôles de manière à composer des viroles ou fractions de viroles, sans apparition de criques ou fissures.

Les tôles en bi-métal ne sont pas fabriquées en France, elles doivent être importées d'Amérique, d'Angleterre ou d'Allemagne; mais l'on trouve sur le marché français toute la gamme des électrodes nécessaires à ces divers procédés de soudage.

Les tubulures diverses sont également soudées sur les tours. Ces tubulures peuvent être fixées suivant les cas, soit sans renfort (fig. 11), soit avec renfort (fig. 12).

Il n'est jusqu'aux dispositifs de support et de fixation des tours sur leurs massifs qui ne soient soudés.

En général, les tours reposent sur des massifs de béton au moyen de jupes soudées à la partie inférieure de la tour, comme le montre la figure 13. A la jupe est soudée une plaque de fondation qui est reliée, par des boulons d'ancrage, au massif de béton.

Lorsque les tours fonctionnent à haute température ou dans des conditions particulièrement pénibles, il peut être nécessaire de libérer les tensions internes dues aux soudures. A cet effet, la tour complètement achevée, est traitée thermiquement dans des conditions déterminées et par la nature des aciers et par l'épaisseur des parois.

Si la tour, en raison de ses dimensions ne peut être introduite en totalité dans le four, l'opération se fait en deux fois, en ayant soin de faire chevaucher largement le traitement thermique, à chaque opération, des parties centrales de la tour. Il est également possible que l'on soit amené à traiter thermiquement une tour en plusieurs tronçons; dans ce cas, les soudures transversales assurant la jonction des différents tronçons sont recuites dans des fours circulaires, spécialement construits à cet effet, chauffés soit à l'électricité, soit au propane. Toutes les températures sont enregistrées au moyen de pyromètres pour contrôler la progression de la montée en température, la durée du maintien à température de traitement, la progression de la chute de température.

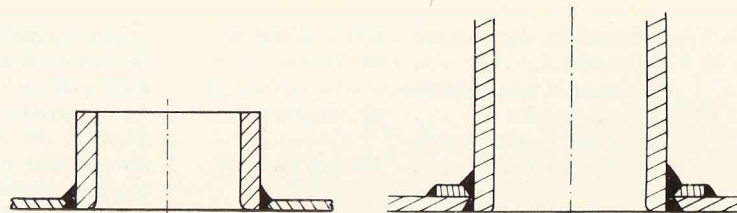


Fig. 11 et 12. Exemples de soudures appliquées aux tubulures.

Les tolérances admises dans de telles constructions sont très faibles, et malgré les difficultés de réalisation des appareils, elles ont été tenues par les constructeurs français.

La tolérance sur la longueur de la tour est de ± 5 mm par 3 m de longueur. Ceci implique avant d'entreprendre le soudage d'évaluer la valeur des retraites.

La différence entre le diamètre maximum et le diamètre minimum mesuré intérieurement ou extérieurement, dans une section droite quelconque de la tour, ne doit pas être supérieure à 1 % du diamètre nominal de la section droite. Cette tolérance est portée à 2 % dans les sections droites passant par le centre d'une ouverture pratiquée dans la calandre.

La surface extérieure du cylindre doit être telle qu'en aucun endroit le long d'une règle de 6 m de longueur placée suivant une génératrice du cylindre, la distance entre la règle et la génératrice dépasse 10 mm.

L'orientation des tubulures ne peut différer de l'orientation prescrite de plus de 30 minutes, et l'obliquité des brides de ces tubulures, par rapport à l'axe du cylindre, ne doit pas dépasser 1 degré; la distance entre l'axe de la tour et la

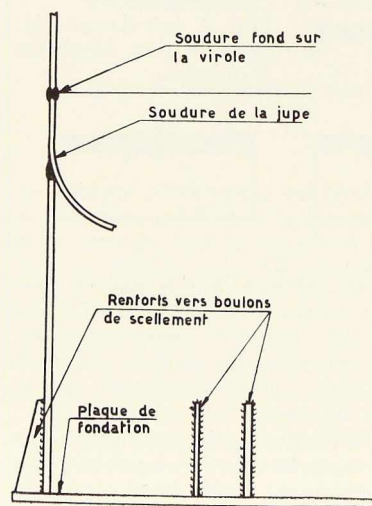


Fig. 13. Détail de fixation des tours.

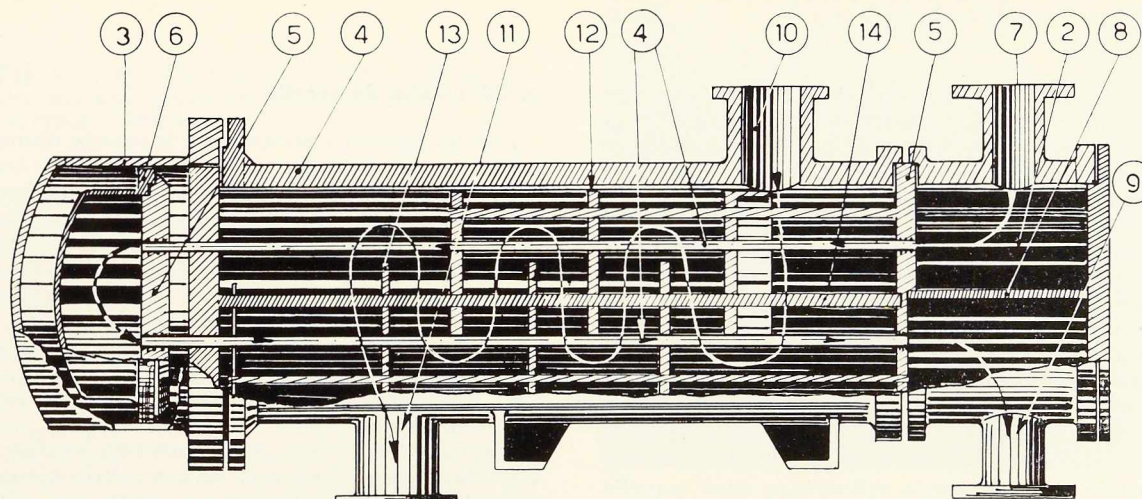


Fig. 14. Détails d'un échangeur de chaleur.

bride ne doit pas différer de plus de 10 mm de la distance prescrite; la distance entre la base de la tour et l'axe d'une tubulure ne doit pas différer de plus de 6 mm de la distance portée au plan.

Les plateaux, pour assurer un bon fonctionnement de la colonne, doivent être aussi horizontaux que possible. A cet effet, la tour étant verticale, les supports de plateaux qui sont soudés à sa paroi intérieure ne doivent pas présenter une différence d'horizontalité de plus de 5 mm pour les tours de diamètre inférieur à 1 500 mm et de plus de 0,3 % du diamètre pour les tours de plus de 1 500 mm de diamètre.

2. Echangeurs de chaleur

Le raffinage se composant d'une succession de traitements nécessitant des élévations de température, des condensations de vapeur, des refroidissements, utilise à grande échelle les échangeurs de chaleur.

Un échangeur de chaleur est un appareil qui permet le transport de calories ou de frigories d'un fluide à un autre (fig. 14). Dans l'industrie du pétrole, on utilise des échangeurs à faisceaux tubulaires qui permettent une libre dilatation des divers éléments lors des variations de température.

Une virole (1) en tôle soudée porte une bride à chaque extrémité pour permettre de raccorder d'un côté à une boîte de circulation (2) et de l'autre à un couvercle (3).

Un faisceau tubulaire comporte à une extrémité une plaque (4) serrée de manière étanche entre les brides de raccordement de la virole et de la boîte de circulation. L'autre extrémité des

tubes est mandrinée dans une plaque tubulaire sur laquelle est boulonné un fond bombé (6). La plaque tubulaire (5) et le fond bombé (6) constituent la tête mobile de l'appareil, tête mobile qui peut se déplacer librement à l'intérieur du couvercle (3) de la virole (1).

L'un des fluides pénètre par la tubulure (7) dans la boîte de circulation qui est séparée en deux parties égales par la chicane (8), il circule dans les tubes et vient ressortir par la tubulure (9). L'autre fluide pénètre dans la calandre par la tubulure (10), son circuit est assuré, à l'extérieur du faisceau tubulaire, par un certain nombre de chicanes (13) maintenues en place par les entretoises (12), il s'écoule par la tubulure (11). On aménage des jeux de chicanes, traversées par les tubes du faisceau, pour guider le fluide à l'extérieur des tubes et éviter son écoulement direct entre l'entrée et la sortie. L'élimination des courts-circuits ne peut s'obtenir qu'en limitant au strict minimum les passages possibles entre les diverses parties cloisonnées par les chicanes. Par exemple, le jeu entre les trous alésés dans la chicane pour le passage des tubes et la surface extérieure des tubes, doit être aussi faible que possible. Nous verrons ultérieurement les conséquences de cette obligation d'éviter les courts-circuits sur les tolérances autorisées.

Le travail le plus délicat qui réclame le plus de soins en raison de la précision demandée, est l'exécution des viroles cylindriques et de leurs fonds. Chaque virole, constituée en général par une seule tôle de 16 à 25 mm d'épaisseur suivant les circonstances, roulée et soudée longitudinalement, porte à chaque extrémité des brides soudées; des tubulures, parfois de diamètre important, sont réparties sur la longueur. Les sou-

dures des brides de la virole sont exécutées avec reprise à l'intérieur; celles des tubulures sont conformes aux indications données pour les tours de distillation. Une fois exécutées, toutes les soudures intérieures sont meulées de manière à aplanir la surface de la tôle. Les fonds plats ou emboutis sont soudés à la partie cylindrique portant une bride également soudée permettant la fixation à la virole. La différence sur les longueurs données par les plans et celles relevées sur l'appareil, ne doivent pas excéder en général 3 mm ce qui est très peu pour des appareils qui mesurent souvent plus de 5 m de longueur.

Mais la plus grande difficulté consiste dans le respect des tolérances sur les diamètres de la virole et de la partie cylindrique dans laquelle se meut la tête mobile.

En général, le diamètre extérieur de la tête mobile et des chicanes du faisceau tubulaire est inférieur de 4 mm au diamètre intérieur de la calandre porté sur les dessins. La tolérance en plus sur le diamètre intérieur de la calandre est de 3 mm; le diamètre étant déterminé par une mesure circonférentielle, la tolérance en moins est nulle. Il est bien évident que la soudure des tubulures sur la calandre provoque des déformations; celles-ci doivent être éliminées par un calibrage minutieux et certains constructeurs ont préféré prévoir des tôles plus épaisses que celles indiquées, des brides à alésage plus faibles, et aléser la totalité de l'intérieur du corps cylindrique pour avoir la cote exacte prévue; de cette manière, si le faisceau tubulaire est exécuté correctement, il n'y a aucune difficulté pour le faire pénétrer dans le corps de l'échangeur. Les constructeurs qui n'adoptent pas cette solution, doivent faire calibrer à la main la partie cylindrique, travail fort pénible et souvent onéreux par suite du temps nécessaire dans certains cas pour respecter les tolérances.

De tels appareils ne peuvent être exécutés qu'en construction soudée; la construction rivée ne permettrait pas d'obtenir la précision requise. D'autre part, elle souffrirait des fréquentes variations de température.

Les métaux utilisés pour l'exécution des échangeurs sont divers, les tubes peuvent être soit en acier ordinaire, soit en acier inoxydable, soit en bronze, soit en laiton, etc.

Les plaques tubulaires sont exécutées en acier ordinaire ou inoxydable, ou en bronze.

La partie extérieure (calandre et fond) est en tôle d'acier ordinaire ou en tôle « bi-métal ». Dans tous les cas, toutes les précautions relatives à la soudure, indiquées pour les tours, restent valables pour les échangeurs.

3. Réservoirs de recette

Tous les réservoirs nécessaires à la marche d'une raffinerie, sont soudés et exécutés suivant les mêmes règles que celles appliquées aux tours. Les soudures sont exécutées avec le même soin, les tubulures fixées d'une manière identique à celle indiquée pour les tours de distillation. La composition des aciers entrant dans la construction des réservoirs est fonction des produits qu'ils sont destinés à recevoir. Le nombre de ces réservoirs de recette est important; chaque produit séparé par une tour est déversé dans un réservoir approprié.

Parmi les réservoirs on peut comprendre les réservoirs de stockage des gaz et les gazomètres divers servant soit de petits stockages de divers gaz, soit seulement de régulateurs de pression. Les gazomètres, par exemple, sont entièrement soudés, non seulement la cuve et la cloche, mais l'armature servant de guide à celle-ci. La partie supérieure de la cloche est en général conique et composée d'un certain nombre de secteurs assemblés par soudure comme indiqué sur la figure 15. Quant aux réservoirs de gaz sous pression à formes spéciales (sphères, hémisphères, etc.), ils sont entièrement soudés ainsi que leurs dispositifs de fixation au sol.

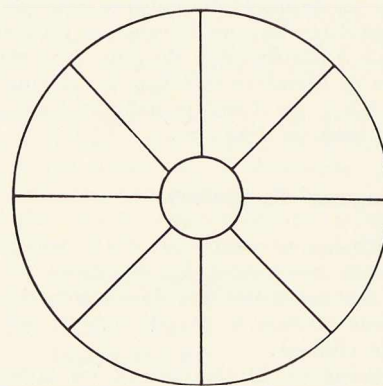


Fig. 15. Partie supérieure de la cloche.

4. Fours

Une opération importante dans une raffinerie est la mise à température, à un moment voulu, des produits à traiter dans les tours. Ces échauffements s'effectuent dans des fours, grandes chambres dont les murs sont constitués par des matériaux réfractaires. Le long des parois verticales sont accrochés des tubes à l'intérieur desquels circule le produit à échauffer. D'autres tubes de préchauffage sont installés dans le cir-

Fig. 16. Préparation pour épreuve hydraulique du faisceau tubulaire d'un échangeur. (Constructeur : Creusot.)

cuit des gaz brûlés pour achever la récupération des calories sortant de la chambre de combustion. L'apport des calories est obtenu au moyen de brûleurs à mazout utilisant une partie des résidus de raffinage.

Les tubes installés dans les fours sont soit en acier au carbone, soit en acier allié; mais dans tous les cas, la composition de ces aciers est déterminée de manière que les tubes puissent sans danger être utilisés à haute température. Le liquide passe d'un tube dans l'autre au moyen de boîtes d'extrémité exécutées soit en acier forgé, soit en acier coulé; si les boîtes sont en acier coulé, aucun défaut n'est toléré sur les différentes portées et sur les surfaces de mandrinage (acier au carbone ou acier spécial); les tubes sont mandrinés fortement dans ces boîtes et parfois soudés électriquement à elles dans l'angle formé par la surface extérieure du tube et la boîte.

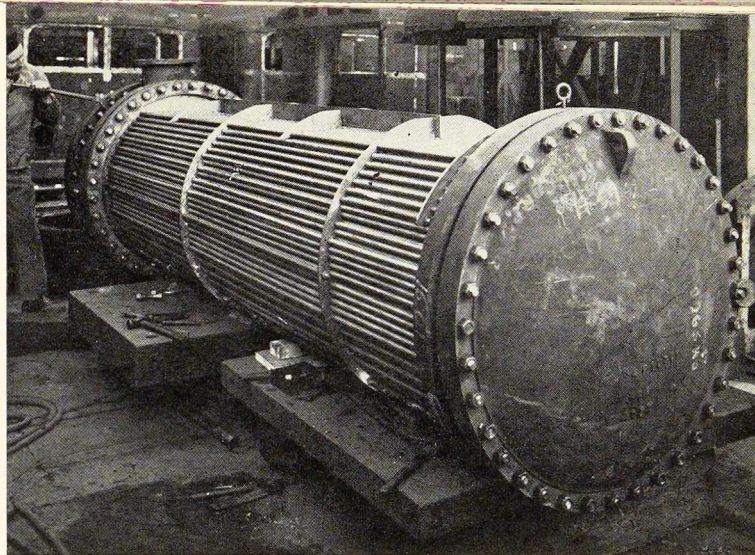
Les boîtes d'extrémité en acier coulé doivent être examinées très sérieusement et contrôlées soit aux rayons X, soit au magnaflux pour déceler les soufflures ou retassures qui pourraient exister dans une pièce aussi compliquée. Si l'on découvre un défaut d'homogénéité dans la matière, la région défectueuse est meulée ou burinée jusqu'à apparition du métal sain. Le trou ainsi formé est obturé par soudure avec un métal d'apport de composition identique à celle de l'acier avec lequel la boîte est coulée, en prenant des précautions spéciales. Dans tous les cas, les boîtes subissent un traitement thermique approprié.

On peut même rabouter des tubes de fours par soudure. Ce procédé n'est pas à recommander, mais il peut être utile en cas de besoin urgent; il est prudent alors de radiographier totalement la soudure.

5. Moyen de manutention des produits

Les produits sont déplacés au moyen de pompes centrifuges ou volumétriques, d'éjecteurs ou même par gravité chaque fois que cela est possible. Les pompes et les éjecteurs sont d'un type courant et n'ont aucune caractéristique spéciale, sinon que toutes les dispositions sont prises pour éliminer la corrosion dans tous les cas où elle est à redouter. Les turbines et arbres de certaines

Fig. 17. Batterie de conduites entièrement soudées.



pompes sont revêtus de stellite rapportée par soudure.

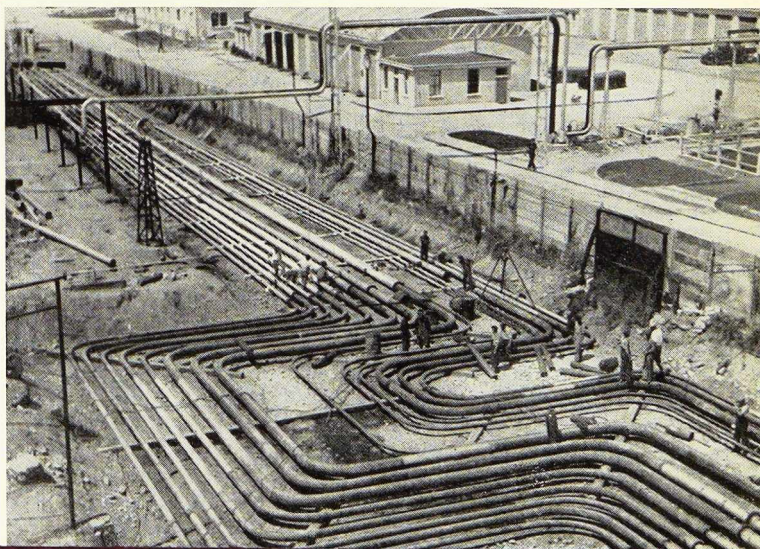
Il y a lieu toutefois de signaler que certains constructeurs de pompes utilisent des socles en profilés soudés. Les prix de tels socles sont inférieurs dans bien des cas aux prix des socles coulés, en raison de la diminution du temps d'usinage et de l'élimination des frais de modèles.

A la mise en place, le socle soudé résiste du reste malgré sa rigidité à un défaut de planéité du massif de béton le supportant. Dans de semblables conditions un socle en fonte pourrait se casser par suite d'un serrage trop énergique des boulons de scellement.

6. Matériel de réfrigération

Pour le traitement de certains produits dérivés du pétrole, on est contraint d'obtenir des basses températures (-45° par exemple). A cet effet, on utilise pour cet abaissement de température, la détente d'ammoniac liquide par exemple.

Le matériel de réfrigération comprend donc des compresseurs à ammoniac, des échangeurs de température, des réservoirs de récupération du



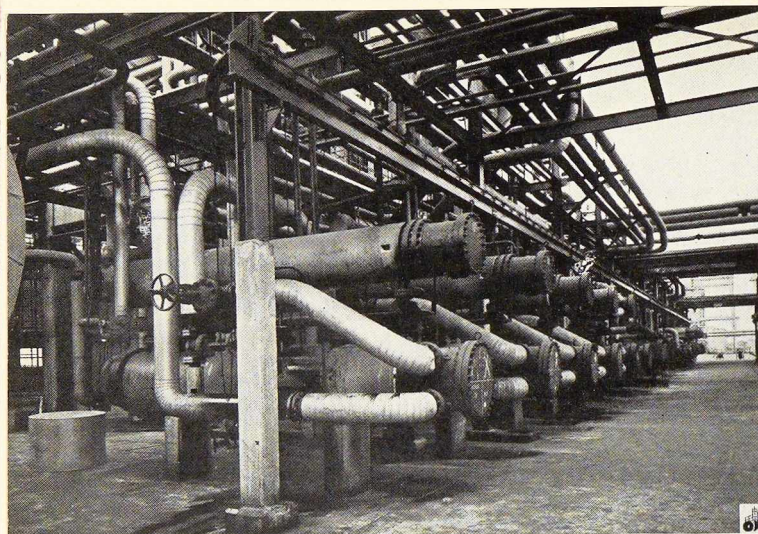
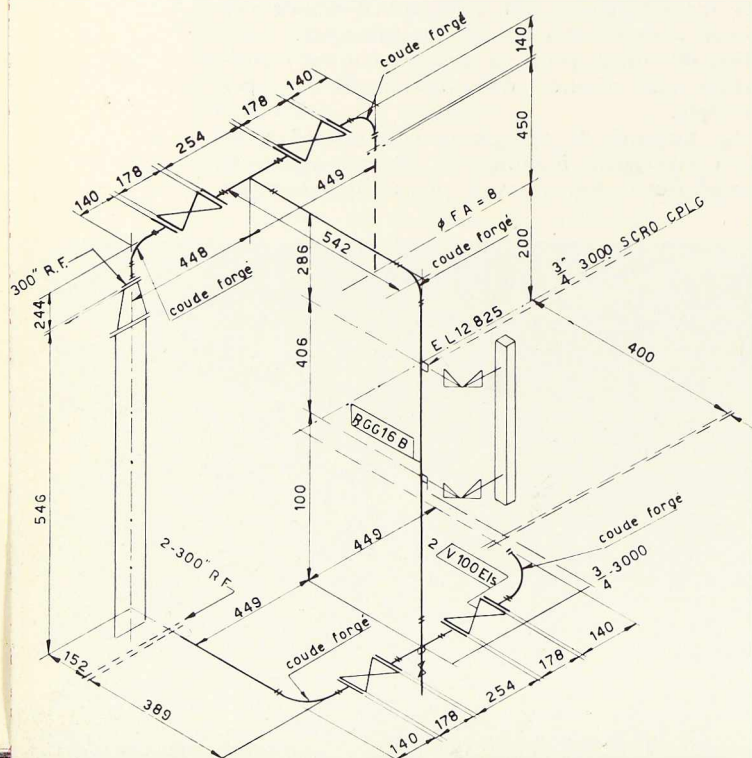


Fig. 18. Batterie d'échangeurs de la raffinerie de Dunkerque. (Constructeur : Creusot.)

fluide détendu, des réservoirs de recette des produits condensés et toutes les tuyauteries avec la robinetterie assurant les liaisons des divers appareils.

Tout ce matériel est bien connu et ne mériterait pas d'être cité comme spécial à l'industrie du pétrole, si les matériaux utilisés dans leur construction ne devaient subir les essais de fragilité Charpy à la température la plus basse de fonctionnement. Il subit donc, du fait même de ses conditions d'emploi, des variations de température importantes; seul le soudage a permis de le réaliser économiquement. Les caractéristiques des tôles servant à la construction sont spécifiées minutieusement; les électrodes ont également fait l'objet d'un choix méticuleux; elles ont été fournies par le marché français et aux essais, ont donné des résultats satisfaisants.



Tous les essais sont faits en général, sur des éprouvettes de 10×10 mm de section entaillées en trou de serrure. (Epreuve Charpy.)

A cet effet, il est prélevé pour chaque essai un jeu de trois éprouvettes dans le sens du laminage et dans le sens perpendiculaire au laminage pour les tôles et profilés, un jeu de trois éprouvettes pour l'acier coulé ou forgé (robinetterie), un jeu de trois éprouvettes pour les tubes dans le sens de l'étirage, un jeu de trois éprouvettes au sein d'une soudure (essais des électrodes).

Ces éprouvettes sont refroidies dans un mélange d'acétone et de neige carbonique à une température de -47° pendant au moins 30 minutes. Le temps de mise en place de l'éprouvette sur le mouton depuis l'instant où on la sort du mélange réfrigérant est de 8 secondes au maximum.

Les résultats doivent être supérieurs aux limites suivantes :

Résilience minimum pour la	
moyenne de chaque jeu de trois	
éprouvettes de 10×10	4.2 kgm/cm ²
Résilience minimum autorisée sur	
chaque éprouvette des jeux de	
trois éprouvettes	2.8 kgm/cm ²

Ces résultats peuvent être obtenus par des aciers à faible teneur en carbone, traités thermiquement. En particulier, pour les tubes essayés, l'acier doit avoir les caractéristiques ci-après :

Composition chimique %	Propriétés mécaniques
C 0,18 max.	Charge de rupture 34 kg/mm ²
Mn 0,30 à 0,90	Limite élastique 21 kg/mm ²
P 0,04 max.	Allongement sur 50 mm 35 % min.
S 0,06 max.	
Si 0,1 min.	

Les ébauches de ces tubes ont été élaborées au four Martin et les tubes étirés à froid. Les tubes une fois étirés ont été portés à une température de 925° et refroidis à l'air. Les éprouvettes ont donné des résiliences variant de 7,4 à 10,8 kg/cm².

7. Tuyauteries

Dans une raffinerie il existe plusieurs centaines de kilomètres de tuyaux tant pour la

Fig. 19. Formation en atelier des tuyauteries de liaison.

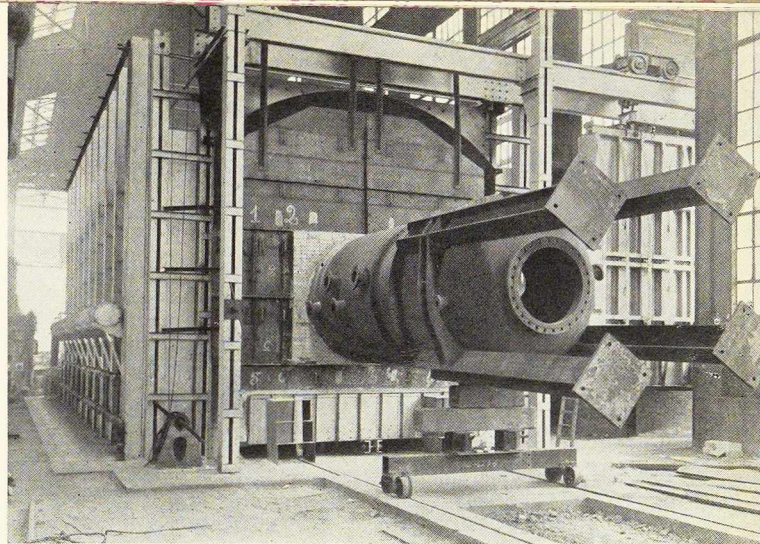
Fig. 20. Tour de traitement thermique de 15 m de longueur utile. Dimensions maxima des pièces à traiter : \varnothing 4,30 m (Creusot).

jonction des différents appareils de traitement, pour la manutention des produits, pour leur stockage, que pour l'installation des appareils de contrôle qui assurent une marche automatique de l'usine. Toutes les tuyauteries d'acier sont soudées, les tubes sont même fournis par le fabricant, chanfreinés à leurs deux extrémités, si bien que ces tubes peuvent être soudés bout à bout sans aucune préparation complémentaire lors de leur mise en place. Dans les cas où l'on utilise des raccords vissés, cette opération s'effectue au pas Briggs; un serrage énergique provoque la déformation du filet et le joint est alors assuré métal sur métal. Malgré cela, les tubes sont soudés aux raccords et les fuites sont ainsi complètement éliminées.

Les tuyauteries des appareils de contrôle sont en général en cuivre ou en laiton. Le jonctionnement des différents tubes est fait au moyen de raccords spéciaux assurant le joint métal sur métal par déformation des filets; souvent, raccords et tubes sont brasés au chalumeau, alimenté soit à l'acétylène, soit au propane.

Généralement, rien n'est prévu pour le démontage des tuyauteries; celles-ci, avant leur mise en service, sont essayées à une forte pression hydraulique. Au cas, où en cours de service, il arriverait un incident, pour réparer, on coupe la tuyauterie au chalumeau ou par une autre méthode, on remplace la partie défectueuse, et le raccordement est fait par soudure en position. Seuls sont munis de brides, les tronçons de tuyauteries se raccordant aux appareils.

Quelquefois, les tuyauteries de liaison des appareils sont formées en atelier; dans ce cas, la représentation des tuyaux sur les dessins est



faite par projections sur trois plans faisant entre eux un angle dièdre de 120° (dessins isométriques). Ces plans, qui surprennent et demandent au début une attention particulière, permettent d'extraire très facilement le dessin de chacun des tuyaux. Dans une telle fabrication, pour permettre sur le chantier un montage rapide et sans retouche, les tolérances sont extrêmement faibles comme on peut en juger par le tableau ci-dessus (fig. 19).

1. Longueur

Centre à centre des piquages $\pm 2\text{mm}$.

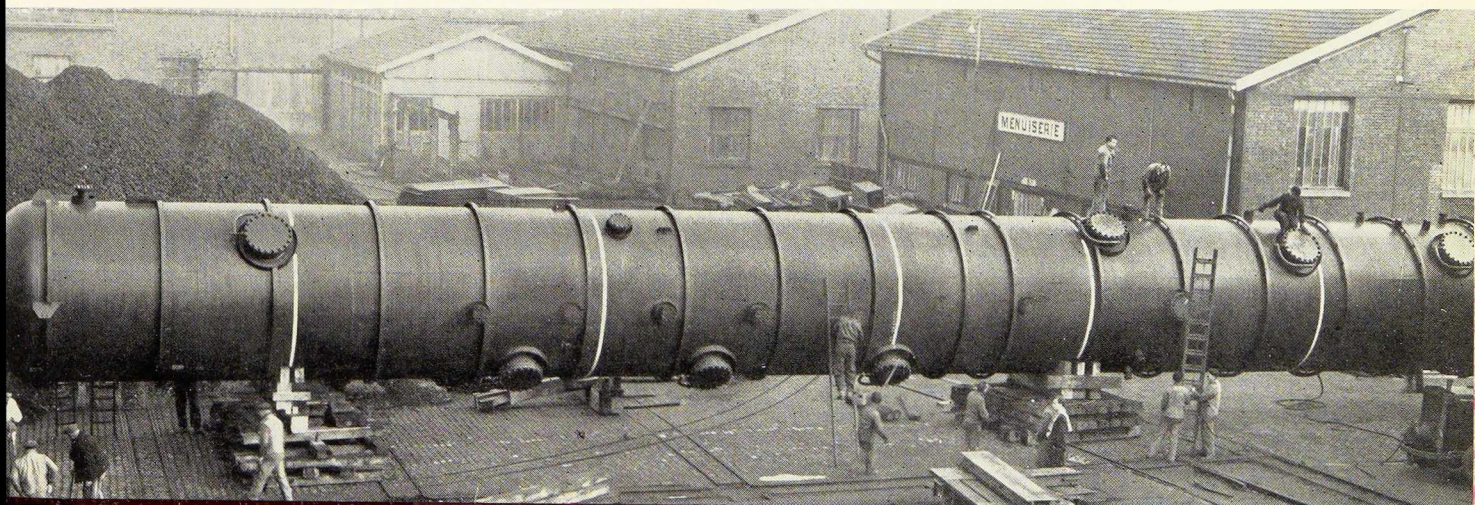
2. Aplatissement

L'aplatissement pour tout cintrage ne doit pas excéder 5 % du diamètre nominal du tube.

3. Angles

Les angles relevés sur les tuyaux terminés doivent être rigoureusement égaux aux angles portés sur les plans.

Fig. 21. Tour de raffinage de pétrole.



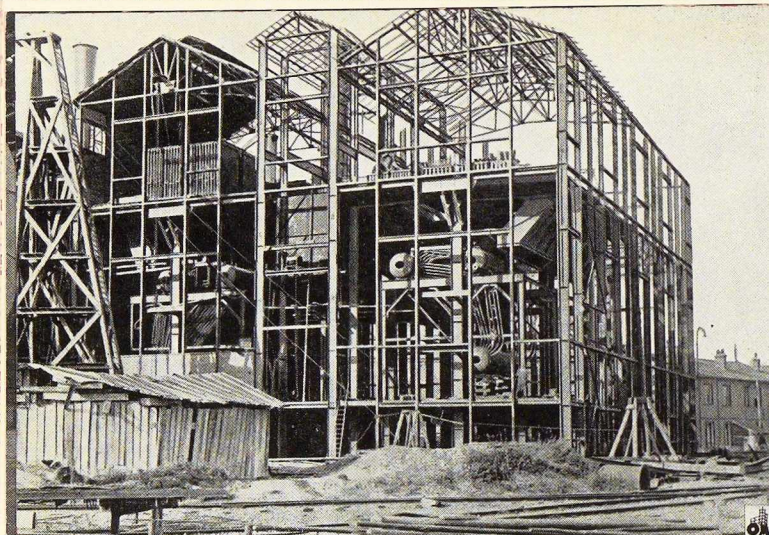


Fig. 22. Appareillages de raffinerie supportés par une ossature en acier. (Constructeur : Fives-Lille.)

4. Alignement des lignes des joints

Des tolérances de 2 mm sont admises.

Ces tolérances, très sévères, permettent si elles sont respectées, de faire des montages sans difficulté en agissant sur l'épaisseur des joints, sur les jeux existant entre le diamètre de perçage des brides et le diamètre des boulons utilisés, ou en cas de besoin absolu, sur l'écartement des tubes raccordés bout à bout par soudure.

Tous ces travaux de tuyauteries en atelier ne concernent pas uniquement les tubes en acier au carbone, mais également les tubes en aciers spéciaux et même les tubes de gros diamètre roulés et soudés en tôle « bi-métal ». Quand les tuyauteries sont exécutées en aciers spéciaux, un recuit est nécessaire après cintrage et soudure. Ce recuit, opéré dans des fours à températures contrôlées, doit être surveillé attentivement pour l'observation des différentes phases du recuit, éviter qu'une atmosphère trop oxydante du four provoque la formation de couches épaisses de calamine, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur du tube et pour éliminer, dans la mesure du possible, la déformation (variation de courbure, modi-

fications dans l'orientation des tubulures et brides, etc.). Ici encore, le métal des électrodes utilisées pour ces tubes en aciers spéciaux, doit avoir une teneur en éléments nobles supérieure à celle de l'acier des tubes. A titre d'exemple, pour des tubes en acier à 4-6 % de chrome, un recuit est nécessaire chaque fois que le façonnage a demandé une chauffe ou une soudure. Le tube entier doit être chauffé dans un four jusqu'à 870° (écart $\pm 10^\circ$) l'élévation de température n'excédant pas 250° à l'heure. Il doit être maintenu à 870° pendant une heure par 25 mm d'épaisseur, la durée minimum du traitement, quelle que soit l'épaisseur, ne doit pas être inférieure à deux heures. Le refroidissement doit se faire dans le four jusqu'à 600°, la chute de température ne devant pas excéder 10° à l'heure. Au-dessous de 600° le tube est sorti du four et refroidi à l'air libre, à l'abri des courants d'air.

Les soudures en bout de ces tubes sont exécutées avec des électrodes de composition sensiblement identique à celle de l'acier des tubes; par exemple, ces électrodes auront la composition suivante :

C = 0,1; Cr = 5,5; Mo = 0,5; Si = 1,5; Al = 0,5 %.

R = 75 kg/mm², limite élastique 60 kg/cm²
Allongement 12 %

Les brides en acier Martin sont soudées aux tubes avec des électrodes ayant la composition suivante :

C = 0,14; Ni = 20,04; Cr = 23,3; Mn = 1,7; P = 0,028; S = 0,011; Si = 0,97; Cu = 0,006; Mo = 0,35 %.

R = 61 kg/mm², limite élastique 50 kg/mm²
Allongement 21 %

Il est bien évident que toutes les parties de la bride en contact avec les fluides et la face à joint, sont rechargées à l'arc électrique, avec des électrodes ayant la composition suivante :

C = 0,10; Cr = 18; Ni = 10 %.

R = 70 kg/mm², limite élastique 25-30 kg/mm²
Allongement 45 %

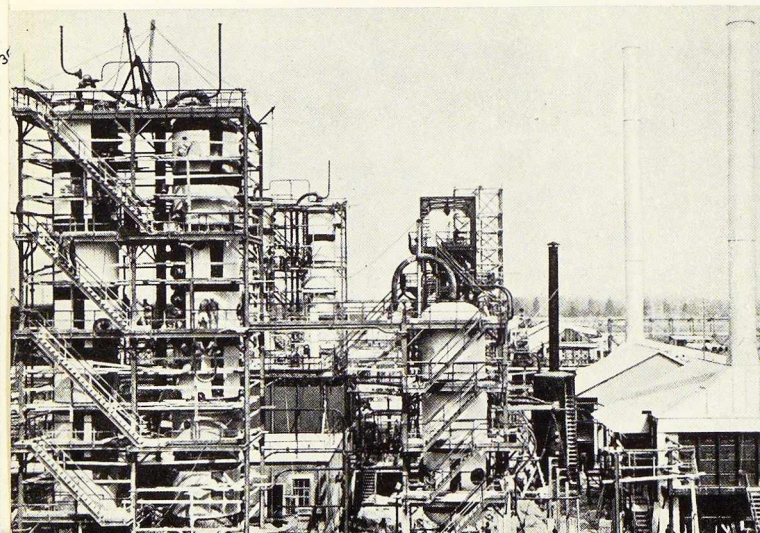


Fig. 23. Appareillages de raffinerie supportés par une ossature en acier. (Constructeur : Fives-Lille.)

Fig. 24. Réservoir soudé de 35 m³. (Constructeur : H. Dunoyer.)

8. Appareils de contrôle et sécurité

Actuellement toutes les opérations dans les unités des raffineries sont contrôlées par des appareils de mesure qui assurent le maintien des débits, des températures, des pressions, etc., aux valeurs imposées.

Une salle spéciale est affectée par unité aux appareils de contrôle et de mesure; il suffit d'un surveillant pour se rendre compte d'un incident de marche dans une partie quelconque de l'installation. Toutes les tuyauteries, reliant les appareils aux points de l'installation qu'ils doivent contrôler, sont brasées si elles sont en cuivre ou en laiton, soudées si elles sont en acier.

9. Bâtiments, charpentes de tours et passerelles de service

Les réalisations des installations des usines pétrolières comportent l'exécution d'ossatures importantes.

Tous les escaliers et passerelles de service sont reliés aux tours, échangeurs ou autres appareils au moyen de supports soudés sur leur partie extérieure. En général, les passerelles et escaliers sont en construction métallique soudée. Les passerelles destinées à la circulation du personnel pour la surveillance des divers appareils sont cependant calculées pour supporter des poids assez considérables, pour les régions où l'on démonte les faisceaux tubulaires des échangeurs.

Transport et stockage des produits

Les produits pétroliers sont transportés soit par pipe-lines, soit par péniches, soit par citernes, sur voies ferrées ou sur routes.

Ils sont stockés dans des réservoirs spécialement étudiés, tant pour l'économie de leur construction que pour en limiter l'encombrement. L'exécution de tout ce matériel est faite par soudure, elle est soumise aux mêmes règles que celles indiquées pour le matériel propre des raffineries.

Conclusions

L'industrie du pétrole utilise depuis longtemps déjà la soudure dans la conception et l'exécution de son matériel. Elle n'a qu'à se louer de son initiative dans ce sens. Il y a toutefois lieu de



faire remarquer que ce résultat a été acquis par une surveillance étroite des fournisseurs par des agents qualifiés de leurs clients, et par la notification qu'aucune imperfection n'est tolérée dans l'exécution du travail.

Par exemple, les tôles destinées à la fabrication des tours, sont réceptionnées dans les forges pour la vérification de leur composition chimique et de leurs propriétés mécaniques; elles sont inspectées à l'usine après chanfreinage des bords, au moment de l'accostage, et le soudage est surveillé en cours d'exécution. Tout matériel une fois terminé, est éprouvé hydrauliquement à une pression largement supérieure à la pression de marche (quelquefois 7 ou 8 fois la pression de service). Dans de telles conditions, il est possible d'exécuter toutes les pièces de chaudronnerie en utilisant la soudure, en toute sécurité, à la condition expresse que les soudures soient exécutées par du personnel consciencieux et qualifié, surveillé constamment et sévèrement par une maîtrise avertie. Il est aisé de concevoir que de telles réalisations n'ont pu être faites économiquement que grâce à l'emploi intensif du soudage. Il abaisse au minimum le prix de revient de l'entretien, important dans de telles usines, il rend possible les réparations dans des délais les plus réduits et limite ainsi les pertes considérables causées par les arrêts d'unités.

Cette industrie du pétrole, en raison des dangers d'exploitation, demande un matériel de haute qualité, parfaitement exécuté par un personnel d'élite; mais, les règles sévères et rigoureuses appliquées dans la réalisation du matériel de raffinerie, peuvent être assouplies pour d'autres industries si les appareils qui leur sont nécessaires ne doivent pas présenter des garanties aussi strictes.

Mais il convient de bien faire entendre que le soudage exécuté par du personnel hautement qualifié, donc de qualité, est, en définitive, celui dont le prix de revient est minimum.

R. C.



Viaduc d'autoroute soudé à San Francisco (Etats-Unis)

Document
« World Construction ».

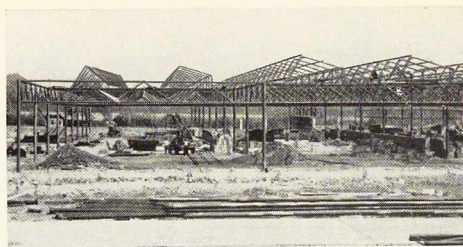
Le soudage de la base des colonnes a été fait par la méthode manuelle à l'aide d'électrodes à faible teneur en hydrogène; pour la fabrication des colonnes et des traverses on a fait usage du soudage semi-automatique ou automatique sous flux. Un préchauffage de 60° à 150° C a permis d'améliorer la qualité des soudures tout en augmentant la vitesse de soudage. Pour les poutres jusqu'à 23 m de longueur on a utilisé des profilés laminés, quelquefois renforcés par des semelles soudées.

On construit actuellement à San Francisco un viaduc d'autoroute, à deux voies séparées à peu près parallèles, qui atteindra en son stade final une longueur de plusieurs kilomètres.

Les colonnes supportant la chaussée ont été assemblées en usine ainsi que les traverses, les tôles utilisées ayant des épaisseurs de 9,5 à 12,7 mm pour l'âme et de 32 à 63,5 mm pour les semelles.

Tous les matériaux devaient répondre aux spécifications de l'A. S. T. M. et toutes les soudures de première importance faire l'objet d'un contrôle radiographique, aussi bien en atelier que sur chantier, le contrôle par prélèvement étant pratiqué pour les autres joints. Quatre mois et demi après l'arrivée des premiers éléments sur le chantier, 4 400 t de charpentes avaient été entièrement montées et soudées.





T. Bedford,
M. I. C. E.,
Ingénieur-Conseil
(Londres)

Constructions tubulaires en Grande-Bretagne

Deux importantes charpentes industrielles en tubes d'acier ont été récemment réalisées en Grande-Bretagne. Il s'agit du bâtiment de la Société Rotax Ltd. à Hemel (Hemstead) et des usines de la Firme Tubewrights Ltd. à Kirkby Estate, près de Liverpool. On trouvera ci-après des détails techniques sur ces constructions.

I. Rotax Ltd., Hemel (Hemstead)

L'atelier principal de production de cette firme a 140,20 m de largeur répartie en sept halls de 18,30 m de portée et un hall de 12,20 m de portée, ayant chacun 109,75 m de longueur, ce qui donne une surface de plancher d'environ 15 400 m².

Les colonnes tubulaires sont espacées de 18,30 m \times 12,20 m, pour répondre aux besoins de la fabrication. Les fermes de toiture, portant des lanterneaux vitrés, ont une portée de 18,30 m et sont distantes, entre axes, de 4,06 m, les fermes intermédiaires sont supportées par des poutres transversales de 12,20 m de portée entre colonnes. La hauteur des fermes est de 1,52 m et la distance du sol à la lisse inférieure des fermes est de 4,88 m.

La forme particulière de cette construction fut conçue pour répondre au désir de l'architecte d'avoir une toiture du type avec lanternéau vitré face au nord; pour satisfaire à cette condition, l'ingénieur-conseil prépara des projets de diverses formes de bâtiments.

Il apparut que la construction tubulaire, entièrement soudée, présentait d'énormes avantages. L'absence de goussets et de boulons, la symétrie et la légèreté des sections tubulaires, les proportions délicates des fermes en général donnaient un effet agréable de légèreté. La peinture et l'entretien sont réduits, du fait de la faible surface des tubes et de l'absence de saillies et de surfaces inaccessibles, inhérentes aux charpentes composées de cornières laminées.

L'avantage le plus important était, cependant, la réduction du poids d'acier utilisé, la construction tubulaire ayant un poids 30 % plus faible que celui du projet utilisant des cornières rivées ou boulonnées. Il y avait également une économie estimée à 10 % du prix, avec la construction tubulaire, qui fut assemblée et montée par la firme Tubewrights Ltd.

Le poids total de la superstructure s'élève à 467 t, représentant environ 30 kg/m² de surface horizontale.

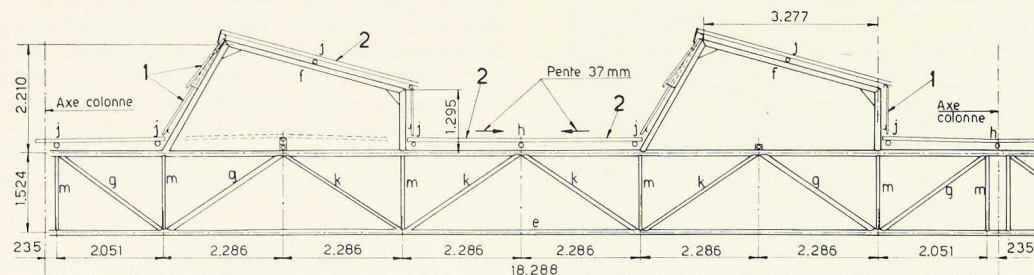


Fig. 2. Usine Rotax Ltd. à Hemel.



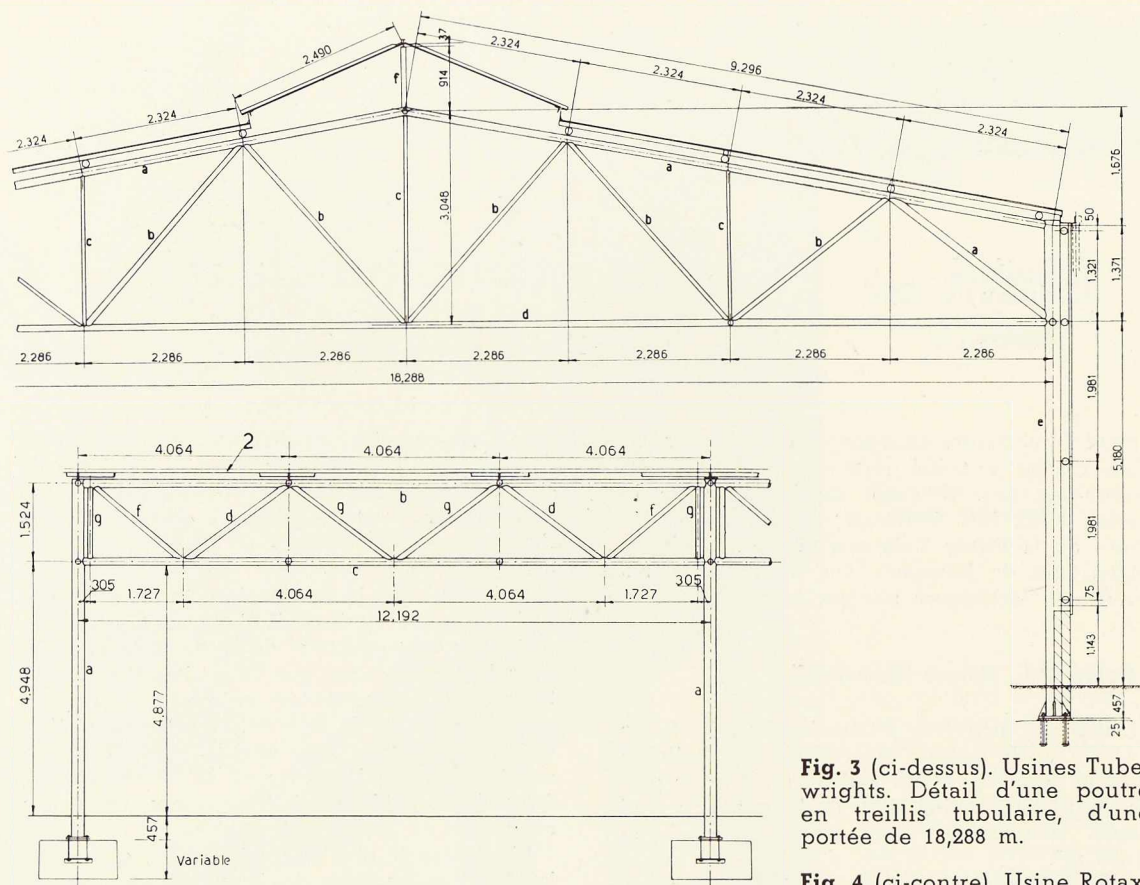


Fig. 3 (ci-dessus). Usines Tubewrights. Détail d'une poutre en treillis tubulaire, d'une portée de 18,288 m.

Fig. 4 (ci-contre). Usine Rotax.

Les poutres de toiture de 18,30 m pèsent chacune 1 t, y compris les charpentes du lanterneau, et les poutres de 12,20 m pèsent chacune environ 800 kg.

La répartition des poids est la suivante :

Fermes de toiture et charpente des lanterneaux	208 t
Poutres de toiture	64,5 t
Colonnes	39,5 t
Pannes	150 t
Contreventements	5 t
	<hr/>
	467 t

La construction a été calculée pour une surcharge de 95 kg/m² sur la couverture principale, et de 72 kg/m² sur les charpentes des lanterneaux. On a, en outre, prévu la possibilité de faire porter quatre charges de 500 kg suspendues

aux nœuds des mailles de chaque ferme de 18,30 m ce qui correspond à une surcharge additionnelle uniformément répartie de 27 kg/m² de surface de toiture.

Les délais d'exécution peuvent également se comparer, avantageusement avec les autres types de bâtiments. Le contrat de construction accordait 15 jours pour le montage d'un hall soit 16 semaines pour l'ensemble des halls.

Par suite de la construction d'un sous-sol, à l'extrémité sud des bâtiments, qui affectait les fondations des halls n^{os} 1 et 2, il fut décidé de commencer le montage par le hall n^o 3 et de continuer par les halls n^{os} 4 à 8 et, finalement, d'ériger les halls n^{os} 1 et 2, après achèvement du sous-sol.

Les premiers matériaux arrivèrent sur place à mi-mai 1952, et malgré une grève de plusieurs semaines, la Firme Tubewrights fut capable de



Fig. 5. Usines Tubewrights. Charpente de la toiture. Au premier plan, nœud d'éléments tubulaires assemblés par soudure.

rattraper le temps perdu et d'achever le montage, de la superstructure, dans le courant d'octobre 1952, en un total de 5 mois.

La charpente est une construction entièrement soudée, préfabriquée en usine, autant que possible; les fermes et les poutres étaient amenées, par route, en unités complètes. On n'utilisa aucun boulon, même pour le montage, à l'exception des boulons d'ancrage.

Le montage du bâtiment était une opération simple, facilitée par la soudure de taquets semi-circulaires aux colonnes ce qui donnait des appuis à auto-alignement pour les fermes et les poutres; ils constituaient, avec des taquets identiques en tête l'assemblage fixe.

Fig. 7. Usine Rotax. Détail des fermes. Vue prise en cours de montage.

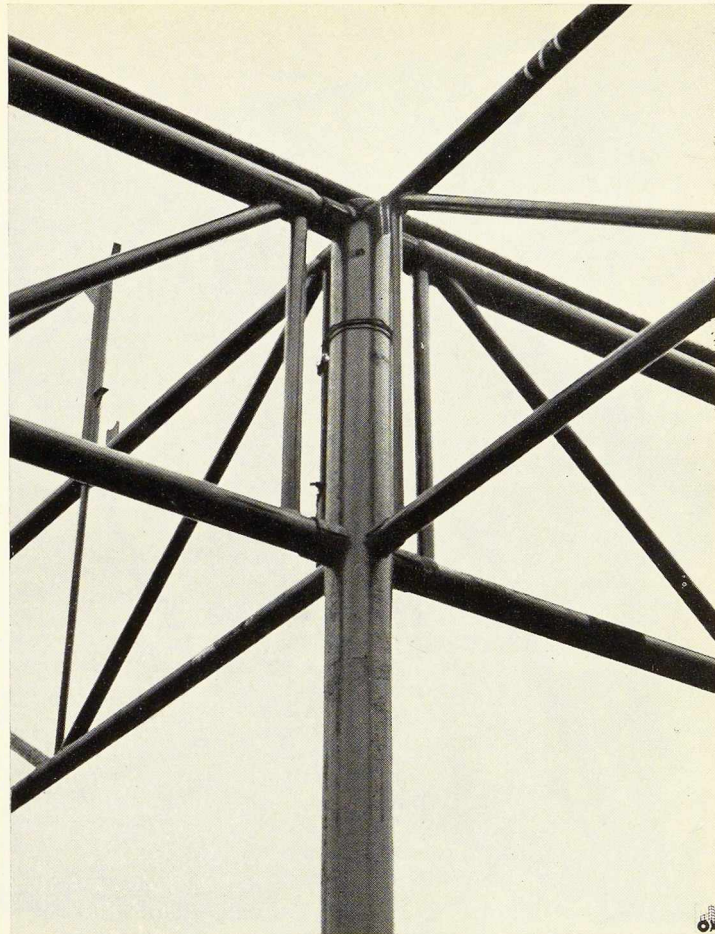
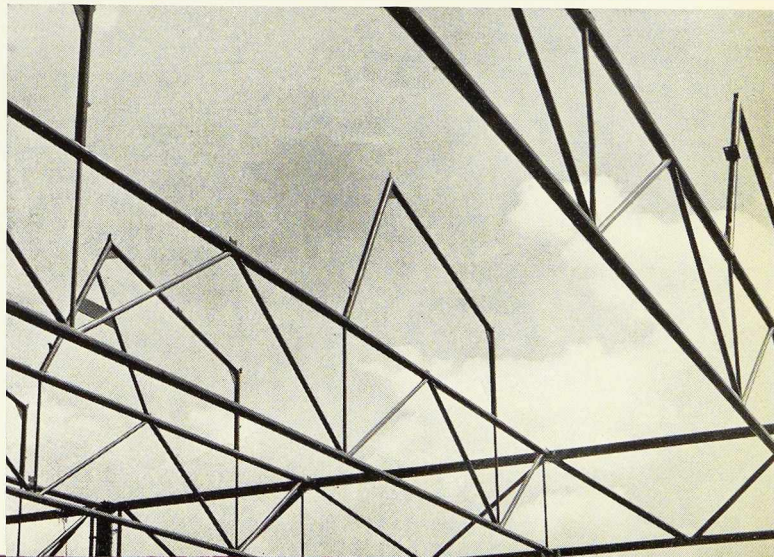


Fig. 6. Usine Rotax. Vue d'un nœud de la charpente, prêt pour les travaux de soudure.

II. Usines de la firme Tubewrights Ltd. à Kirkby près de Liverpool

La surface exigée pour l'atelier principal de ces usines était d'environ 12 000 m² avec un hall supplémentaire de 18,30 m de largeur sur 56,40 m



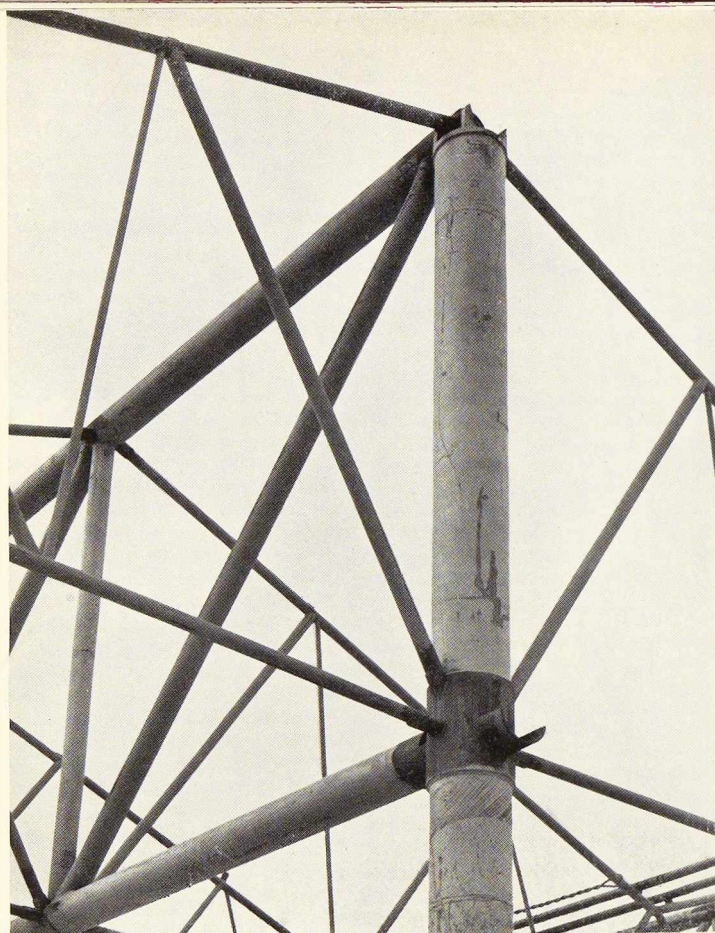


Fig. 8. Usines Tubewrights. Charpente de l'atelier principal. Détail de l'assemblage d'une maîtresse-poutre et d'une colonne.

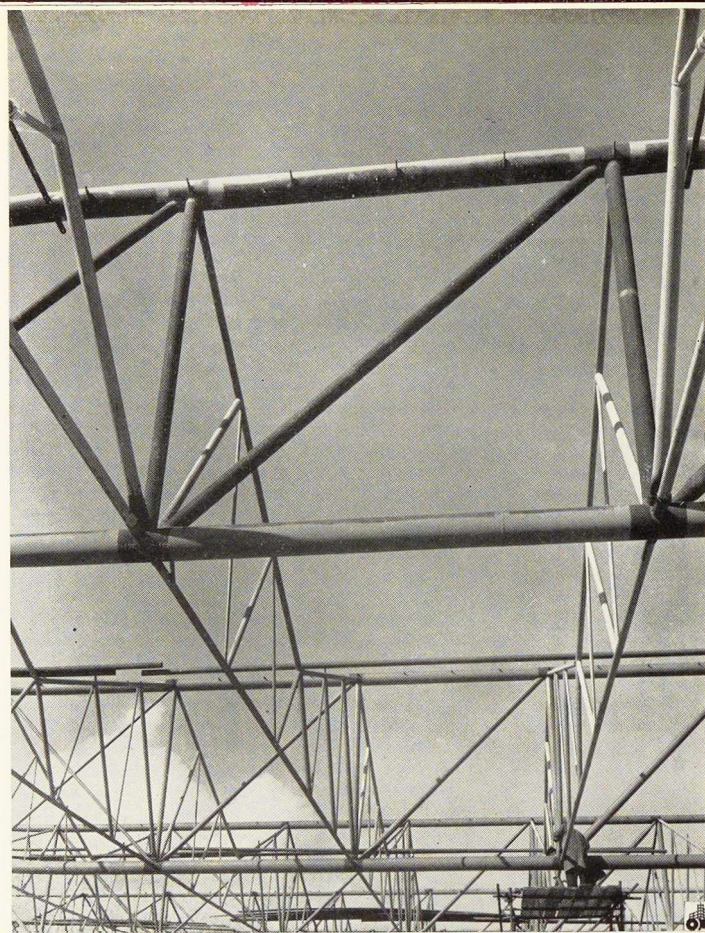


Fig. 9. Usines Tubewrights. Vue partielle de la charpente tubulaire de la toiture.

de longueur soit un peu plus de 1 000 m², destiné à la réception des matériaux à l'entrée.

Les différentes phases de la production et les méthodes de manutention des matières exigeaient de grandes surfaces non obstruées par la présence de colonnes intérieures; il fallait, en outre, que les charpentes de toiture soient capables de supporter des transporteurs et l'outillage de soudure. On exigeait comme essentiel d'avoir un éclairage naturel convenable dans toute l'usine et de pouvoir la chauffer à une température de 13° C.



Fig. 10. Usines Tubewrights Ltd. à Kirkby. Vue intérieure de l'atelier principal.

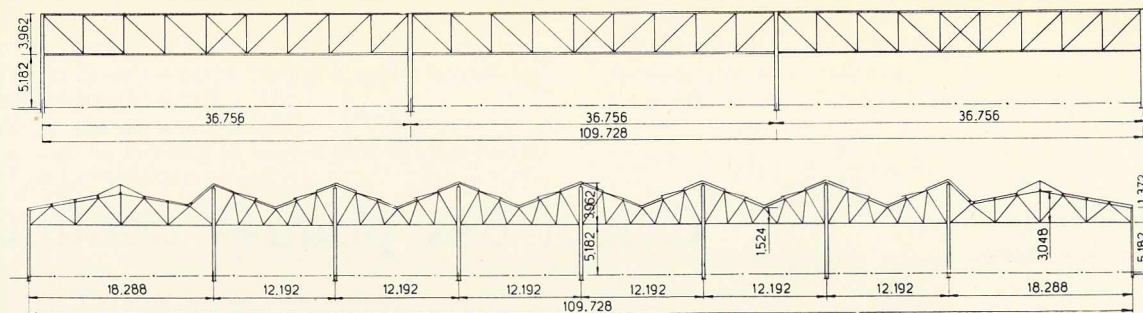


Fig. 11. Charpente métallique des usines de la Tubewrights Ltd. à Kirkby. Coupes.

L'atelier principal a 109,73 m de longueur sur 18,30 m de largeur avec une hauteur de 5,20 m jusqu'aux chéneaux; il comprend six halls intermédiaires de 12,20 m et deux halls extrêmes de 18,30 m de portée, l'un de ceux-ci étant prolongé pour former le hall de réception.

Les fermes de 12,20 m de portée sont du type à double versant vitré tandis que les halls extrêmes de 18,30 m ont des fermes à faible pente avec vitrage au sommet. Les fermes de toiture sont supportées par des sablières, en treillis, de 36,60 m de portée avec des colonnes disposées à 36,60 m \times 18,30 m ou 12,20 m entre centres suivant la largeur des halls.

La toiture est recouverte d'aluminium avec plancher isolant et deux couches de feutre; les parois latérales sont fermées au moyen de feuilles de métal garnies d'asbeste.

La superstructure est une construction tubulaire soudée, seuls les fers à vitrage sont constitués de profils laminés. Tous les assemblages sont soudés, les seuls boulons utilisés sont ceux ancrant les colonnes sur les fondations. Le caractère original de la charpente réside dans le fait que les tubes furent livrés, à pied d'œuvre, à longueurs approximatives, et que toute la construction, y compris le traçage et la soudure, fut exécutée sur place. Il semble que ce soit la première fois où une construction tubulaire a été réalisée de cette façon.

Fig. 12. Usines Tubewrights à Kirkby, près de Liverpool. Vue intérieure de la charpente tubulaire, prise quatorze semaines après le début des travaux.



Le poids total d'acier utilisé était de 420 t, ce qui correspond à 32 kg/m² de surface horizontale. On peut estimer que ce poids est de 40 % inférieur à celui de projets semblables utilisant les sections laminées, rivées ou boulonnées.

Ce poids est d'autant plus remarquable que l'on avait prévu, pour tenir compte des charges correspondant aux convoyeurs et à l'outillage de soudure, une surcharge équivalent à 95,50 kg/m² de surface horizontale soit un accroissement d'environ 100 % des exigences normales de poids mort et de surcharge.

Le poids des colonnes tubulaires principales, qui ont 40 cm de diamètre, est d'environ 1 t pièce; les sablières en treillis de 36,60 m de portée, pèsent 6,5 t pièce; les fermes de 12,20 m et de 18,30 m pèsent respectivement 410 et 610 kg. Les sablières individuelles et les fermes furent construites sur supports et montées au moyen de deux grues mobiles. L'ensemble des bâtiments, y compris la fabrication à pied d'œuvre, le montage et la soudure finale en place des éléments, fut achevé en 4 1/2 mois.

T. B.

Généralités

Le calcul des poutres continues a été abondamment traité dans la littérature technique.

Les méthodes les plus connues sont :

1. Les équations de Clapeyron;
2. La méthode des foyers de Maurice Lévy; et plus récemment,
3. La méthode de « Moments distribution » de Hardy-Cross.

Malgré les nombreuses améliorations, tableaux et abaques publiés, le travail matériel peut être assez long lorsqu'il s'agit de poutres à plusieurs travées inégales supportant des surcharges variables.

Le procédé que nous proposons, dans l'étude qui suit, est moins une *méthode* qu'une *solution*. En effet, il donne en fonction de trois constantes caractéristiques de la travée, la formule définitive des moments d'appui dans le cas général, c'est-à-dire que la longueur, le moment d'inertie et les charges de chaque travée peuvent être quelconques.

Ces trois constantes sont des fonctions très simples des distances de foyers. Le calcul de ces derniers est très rapide si on utilise la formule que nous avons indiquée dès 1938.

En désignant la distance du foyer de gauche par al celle de droite par βl les trois constantes ont pour expression

$$a = \frac{\alpha}{1 - \alpha} \quad (1)$$

$$b = \frac{\beta}{1 - \beta} \quad (2)$$

$$z = \frac{\alpha\beta}{1 - \alpha - \beta} \quad (3)$$

En calculant ces trois quantités pour chaque travée, on peut écrire immédiatement la formule générale des

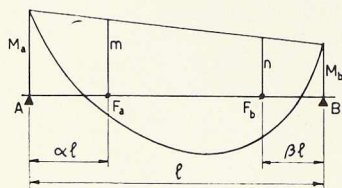


Fig. 1.

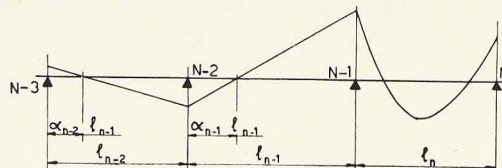


Fig. 2.

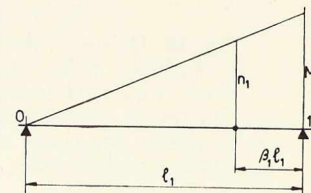


Fig. 3.

moments d'appui comme nous allons le montrer au chapitre suivant.

Démonstration des formules

L'ordonnée de la ligne de fermeture de l'aire des moments est définie au droit des foyers lorsque la travée l est seule chargée, par des formules bien connues et particulièrement simples :

$$\text{Au droit du foyer de gauche } m = -\alpha G \quad (4)$$

$$\text{Au droit du foyer de droite } n = -\beta D \quad (5)$$

En employant les désignations de la figure 1 et sachant que G et D sont les termes correspondant aux charges appliquées qui représentent la rotation d'angle en travée simple correspondante, multipliée par $\frac{6}{l}$

G = rotation d'angle côté appui gauche.

D = rotation d'angle côté appui droit.

Les moments d'appui M_a et M_b s'expriment en fonction de m , n , α et β comme suit :

$$M_a = m + \frac{\alpha}{1 - \alpha - \beta} (m - n)$$

$$M_b = n + \frac{\beta}{1 - \alpha - \beta} (n - m).$$

En remplaçant m et n par leur valeur tirée des équations (4) et (5), on obtient après quelques transformations simples et en tenant compte des expressions 1 à 3 :

$$M_a = -z \left[\frac{G}{b} - D \right] \quad (6)$$

$$M_b = -z \left[\frac{D}{a} - G \right]. \quad (7)$$

Pour les travées non chargées la ligne des moments passe par le foyer opposé à l'appui à partir duquel on distribue les moments (1).

(C'est la définition du foyer.)

Si on cherche le moment sur l'appui N-3 lorsque la travée l_n est chargée

$$M_{n-3} = a_{n-2} a_{n-1} M_{n-1} \quad (8)$$

où a_{n-2} et a_{n-1} sont les facteurs de réduction définis par l'équation (1).

Bien entendu si on distribue le moment vers les travées à droite de la travée chargée, leur expression générale est :

$$M = b! M_n \quad (9)$$

Les équations (6), (7), (8) et (9) permettent donc d'écrire le moment d'appui d'une travée continue quelconque en fonction de G et D de la travée chargée.

(1) Notons ici en passant que l'idée de distribution des moments ne date pas de la méthode de Hardy-Cross, mais de la méthode des foyers de Maurice Lévy.

Pour les travées extrêmes (appuis extrêmes articulés) les équations se simplifient.

En effet, comme on peut l'observer sur la figure 3

$$M_1 = \frac{1}{1-\beta_1} n_1 = -\frac{\beta_1}{1-\beta_1} D_1 \\ = -b_1 D_1 \quad (10)$$

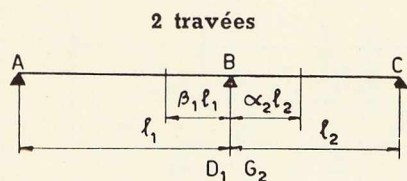
et par analogie pour la travée extrême droite (n^{ième} travée)

$$M_n = -a_n G_n \quad (11)$$

Toutes les équations nécessaires sont ainsi établies. Pour dresser les tableaux donnant les formules pour les moments d'appui on écrit pour chaque travée les formules des moments d'appui en la supposant seule chargée. On distribue ensuite les moments vers la gauche en les multipliant par $a!$ et vers la droite en les multipliant par $b!$.

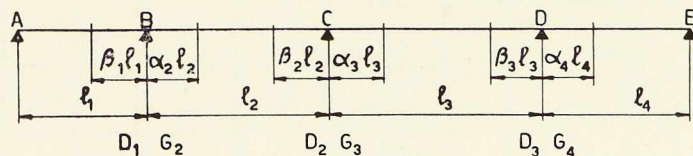
Dans le chapitre suivant nous donnons les tableaux des moments pour les poutres continues de deux à six travées.

Tableaux des moments d'appui



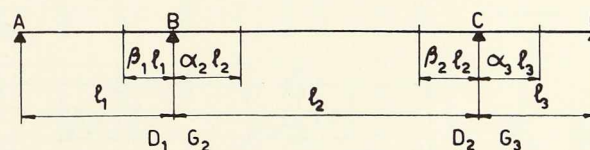
$$M_B = -b_1 D_1 - a_2 G_2$$

4 travées



D et G, termes dépendant des charges appliquées.

3 travées

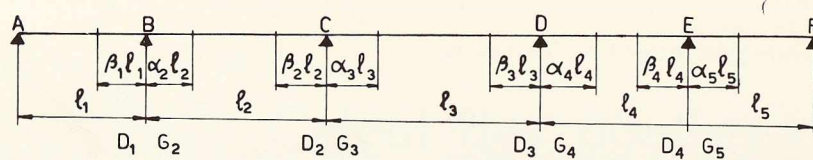


	Travée extr.	Travée médiane		Travée extr.
	D ₁	G ₂	D ₂	G ₃
M _B	-b ₁	$-\frac{1}{b_2} z_2$	z ₂	a ₂ a ₃
M _C	b ₁ b ₂	z ₂	$-\frac{1}{a_2} z_2$	-a ₃

	Travées extr.	Travées médianes				Travées extr.
	D ₁	G ₂	D ₂	G ₃	D ₃	G ₄
M _B	-b ₁	$-\frac{1}{b_2} z_2$	z ₂	$\frac{a_2}{b_3} z_3$	-a ₂ z ₃	-a ₂ a ₃ a ₄
M _C	b ₁ b ₂	z ₂	$-\frac{1}{a_2} z_2$	$-\frac{1}{b_3} z_3$	z ₃	a ₃ a ₄
M _D	-b ₁ b ₂ b ₃	-b ₃ z ₂	$\frac{b_3}{a_2} z_2$	z ₃	$-\frac{1}{a_3} z_3$	-a ₄

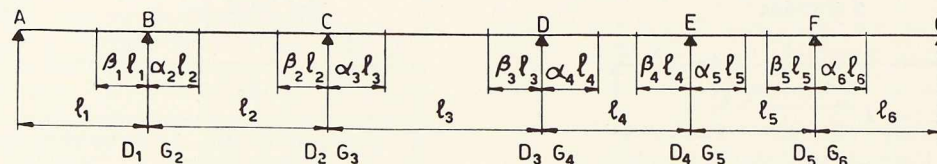
Tableaux des moments d'appui

5 travées



	Travée extr.	Travées médianes						Travée extr.
	D ₁	G ₂	D ₂	G ₃	D ₃	G ₄	D ₄	G ₅
M _B	- b ₁	$-\frac{1}{b_2} z_2$	z ₂	$\frac{a_2}{b_3} z_3$	- a ₂ z ₃	$-\frac{a_2 a_3}{b_4} z_4$	a ₂ a ₃ a ₄	a ₂ a ₃ a ₄ a ₅
M _C	b ₁ b ₂	z ₂	$-\frac{1}{a_2} z_2$	$-\frac{1}{b_3} z_3$	z ₃	$\frac{a_3}{b_4} z_4$	- a ₃ z ₄	- a ₃ a ₄ a ₅
M _D	- b ₁ b ₂ b ₃	- b ₃ z ₂	$\frac{b_3}{a_2} z_2$	z ₃	$-\frac{1}{a_3} z_3$	$-\frac{1}{b_4} z_4$	z ₄	a ₄ a ₅
M _F	b ₁ b ₂ b ₃ b ₄	b ₃ b ₄ z ₂	$-\frac{b_3 b_4}{a_2} z_2$	- b ₄ z ₃	$\frac{b_4}{a_3} z_3$	z ₄	$-\frac{1}{a_4} z_4$	- a ₅

6 travées



	Travée extr.	Travées médianes								Travée extr.
	D ₁	G ₂	D ₂	G ₃	D ₃	G ₄	D ₄	G ₅	D ₅	G ₆
M _B	- b ₁	$-\frac{1}{b_2} z_2$	z ₂	$\frac{a_2}{b_3} z_3$	- a ₂ z ₃	$-\frac{a_2 a_3}{b_4} z_4$	a ₂ a ₃ z ₄	$\frac{a_2 a_3 a_4}{b_5} z_5$	- a ₂ a ₃ a ₄ z ₅	- a ₂ a ₃ a ₄ a ₅ a ₆
M _C	b ₁ b ₂	z ₂	$-\frac{1}{a_2} z_2$	$-\frac{1}{b_3} z_3$	z ₃	$\frac{a_3}{b_4} z_4$	- a ₃ z ₄	$-\frac{a_3 a_4}{b_5} z_5$	a ₃ a ₄ z ₅	a ₃ a ₄ a ₅ a ₆
M _D	- b ₁ b ₂ b ₃	- b ₃ z ₂	$\frac{b_3}{a_2} z_2$	z ₃	$-\frac{1}{a_3} z_3$	$\frac{1}{b_4} z_4$	z ₄	$\frac{a_4}{b_5} z_5$	- a ₄ z ₅	- a ₄ a ₅ a ₆
M _F	b ₁ b ₂ b ₃ b ₄	b ₃ b ₄ z ₂	$-\frac{b_3 b_4}{a_2} z_2$	- b ₄ z ₃	$\frac{b_4}{a_3} z_3$	z ₄	$-\frac{1}{a_4} z_4$	$-\frac{1}{b_5} z_5$	z ₅	a ₅ a ₆
M _G	- b ₁ b ₂ b ₃ b ₄ b ₅	- b ₃ b ₄ b ₅ z ₂	$\frac{b_3 b_4 b_5}{a_2} z_2$	b ₄ b ₅ z ₃	$\frac{b_4 b_5}{a_3} z_3$	- b ₅ z ₄	$\frac{b_5}{a_4} z_4$	z ₅	$-\frac{1}{a_5} z_5$	- a ₆

L'établissement des tableaux est très simple. On forme l'expression de chaque moment d'appui avec les termes de charge voisins (sauf les termes D₁ et G_n) on les multiplie ensuite pour aller vers la gauche par les coefficients a de chaque travée et par b en allant vers la droite.

Les coefficients des termes de charges D₁ et G_n sont évidents.

Annexe

Le calcul des constantes a, b et z en partant des coefficients de foyer alpha et beta est trop simple pour rendre nécessaire un abaque ou un tableau de calcul.

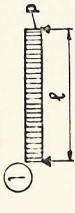

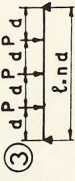
Mais, pour le calcul des coefficients alpha et beta ainsi que pour les termes G et D nous donnons ci-après les tableaux qui abrègeront notablement les calculs.



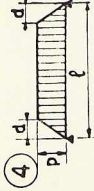
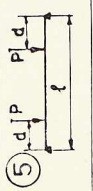
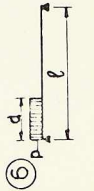
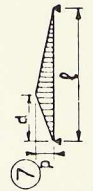
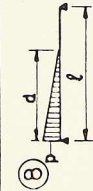
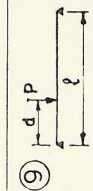
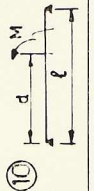
TABLEAU I

Valeurs des termes G et D

I. — Charges réparties sur toute la longueur.

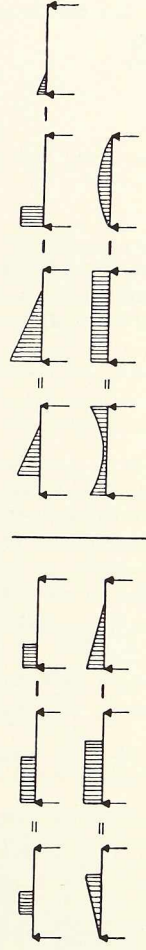
 <p>①</p>	 <p>②</p>	 <p>③</p>
$G = D = 0,25 pl^2$	$G = D = 0,2 pl^2$	$G = D = \frac{n^2 - 1}{4n} pl$

II. — Charges variables ($\delta = \frac{d}{l}$)

Charges	G et D	Valeur de la parenthèse droite en fonction de la variation de $\delta = \frac{d}{l}$																				
		0	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95	1,—
④ 	$G = D = \frac{pl^2}{4} \times (1 - 2\delta^2 + \delta^4)$	1,—	0,8951	0,981	0,9584	0,928	0,8906	0,847	0,7979	0,744	0,6861	0,625	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
⑤ 	$G = D = 3pl \times \left(\frac{1}{6}(1 - \delta)\right)$	0,—	0,0475	0,09	0,1275	0,16	0,1875	0,21	0,2275	0,24	0,2475	0,25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
⑥ 	$G = \frac{pl^2}{4} \times [\delta^2(2 - \delta^2)]$ $D = \frac{pl^2}{4} \times [\delta^2(2 - \delta^2)]$	0,—	0,0005	0,0081	0,077	0,1286	0,1914	0,2601	0,3335	0,4006	0,4665	0,5285	0,636	0,7056	0,77	0,8281	0,8789	0,9216	0,9555	0,9801	0,995	1,—
⑦ 	$G = \frac{pl^2}{60} \times (8 + 8\delta - 12\delta^2 + 3\delta^3)$ $D = \frac{pl^2}{60} \times (7 + 7\delta - 9\delta^2 - 3\delta^3)$	8,—	8,3704	8,683	8,9401	9,144	9,2969	9,401	9,4586	9,472	9,4434	9,375	9,2691	9,128	8,9539	8,740	8,5156	8,256	7,9724	7,6667	7,3421	7,—
⑧ 	$G = \frac{pl^2}{60} \times (20\delta - 15\delta^2 + 3\delta^3)$ $D = \frac{pl^2}{60} \times (10\delta^2 - 3\delta^3)$	0,—	0,0481	0,1853	0,4008	0,6848	1,0583	1,4193	1,852	2,3168	2,9051	3,3125	3,5274	4,3488	4,8661	5,3753	5,8682	6,3488	6,8041	7,2333	7,6329	8,—
⑨ 	$G = \frac{pl}{6} \times [2 - \delta + \delta^2]$ $D = \frac{pl}{6} \times [1 - (\delta - \delta^2)]$	0,—	0,0926	0,171	0,2559	0,288	0,3281	0,357	0,3754	0,384	0,3896	0,375	0,3589	0,336	0,3071	0,273	0,2544	0,192	0,1466	0,099	0,0490	0,—
⑩ 	$G = M \times (-2 + 6\delta - 3\delta^2)$ $D = M(3\delta^2 - 1)$	-2,—	-1,7075	-1,43	-1,1675	-0,92	-0,6875	-0,47	-0,2675	-0,08	0,0929	0,25	0,3325	0,52	0,6325	0,73	0,8125	0,88	0,9325	0,97	0,9925	1,—

Mode d'utilisation du tableau

pour autres cas de charge :



Calcul des coefficients du foyer :

En désignant les portées par l_1, l_2, \dots, l_n ;
Les moments d'inertie correspondants par I_1, I_2, \dots, I_n ;

Les coefficients de rigidité des travées par k_1, k_2, \dots, k_n
où

$$k = \frac{l}{I}$$

ou pour opérer avec des quantités scalaires

$$k = \frac{l}{I} \frac{I_0}{l_0}$$

où l_0 et I_0 sont une portée et un moment d'inertie de comparaison (au choix du calculateur).

Le coefficient α se calcule par la formule

$$\alpha_i = \frac{1}{3 + \frac{k_{i-1}}{k_i} e_{i-1}} \quad (1)$$

où k_{i-1} est le coefficient de rigidité de la travée précédente, k_i est le coefficient de rigidité de la travée considérée et e_{i-1} le coefficient angulaire de la travée précédente et s'appliquant à l'appui de droite si on calcule le foyer de droite et à l'appui de gauche lorsqu'on calcule le foyer de gauche.

L'expression de e est simple

$$e = \frac{2 - 3\alpha}{1 - \alpha} \quad \text{pour l'appui de gauche}$$

(1) Nous avons publié l'établissement de cette formule dans le numéro de mai 1938 de *Travaux*.

et

$$e = \frac{2 - 3\beta}{1 - \beta} \quad \text{pour l'appui de droite}$$

e varie entre les limites étroites :

lorsque l'appui opposé est encasturé (α ou $\beta = 1/3$)

$$e = 1,5$$

lorsque l'appui opposé est articulé (α ou $\beta = 0$)

$$e = 2.$$

Le tableau II donne la valeur de e pour les différentes valeurs de α et β .

Tableau II. Valeurs de e

α	e	α	e
0,00	2,000 0	0,17	1,795 2
0,01	1,989 9	0,18	1,708 5
0,02	1,979 5	0,19	1,765 4
0,03	1,969	0,20	1,75
0,04	1,958 4	0,21	1,734 2
0,05	1,947 4	0,22	1,718
0,06	1,936 1	0,23	1,701 3
0,07	1,924 7	0,24	1,684 2
0,08	1,913	0,25	1,666 7
0,09	1,901 1	0,26	1,648 7
0,10	1,888 9	0,27	1,630 2
0,11	1,876 4	0,28	1,611 1
0,12	1,863 6	0,29	1,591 6
0,13	1,850 6	0,30	1,571 4
0,14	1,837 2	0,31	1,550 7
0,15	1,823 5	0,32	1,529 4
0,16	1,809 5	0,33	1,507 5
		1/3	1,5

I. T. (2)

(2) Signalons que l'auteur vient de publier dans le n° 5/6-1954 de *La Technique des Travaux* un article intitulé « Contributions aux calculs des portiques continus ».



Chaussée surélevée à Boston (U. S. A.). Le viaduc portant cette chaussée a exigé la mise en œuvre de 16 000 t d'acier. Son prix s'élève à 25 millions de dollars. Constructeur : « Bethlehem Steel Company ».

Quelques considérations sur les turbines à gaz industrielles

Deuxième 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

II. TURBINES À GAZ ALIMENTÉES PAR GÉNÉRATEURS À PISTONS LIBRES

1. Principe

Considérons une turbine à combustion simple, mais comportant deux turbines de détente en série T_{HP} et T_{BP} , la première T_{HP} servant uniquement à l'entraînement du compresseur C tandis que la seconde fournit la puissance utile (fig. 3, p. 331, n° 6-1954).

Dans une installation motrice à vapeur, la turbine reçoit de la vapeur sous pression venant d'une source indépendante, la chaudière; de même, dans la turbine à gaz, de la figure 3, la turbine T_{BP} reçoit des gaz chauds sous pression, qui lui sont fournis par le complexe compresseur — chambre de combustion — turbine T_{HP} . Ce groupement forme un *générateur de gaz* chauds sous pression qui alimente la turbine motrice.

Pareil générateur, au lieu d'être constitué uniquement de turbomachines peut être réalisé par des machines volumétriques ou encore par une combinaison de machines volumétriques et de turbomachines.

La solution la plus intéressante a été obtenue en groupant compresseur et moteur dans une machine à pistons libres (Pescara).

Diverses variantes de réalisations sont possibles (fig. 14).

Le générateur à pistons libres comporte un cylindre à deux pistons moteurs opposés; chacun de ceux-ci est lié rigidement par une courte tige au piston compresseur d'un diamètre supérieur, se déplaçant dans un cylindre correspondant.

Le cylindre moteur fonctionne en Diesel deux temps avec une alimentation en air à une pression de plusieurs atmosphères (environ 4).

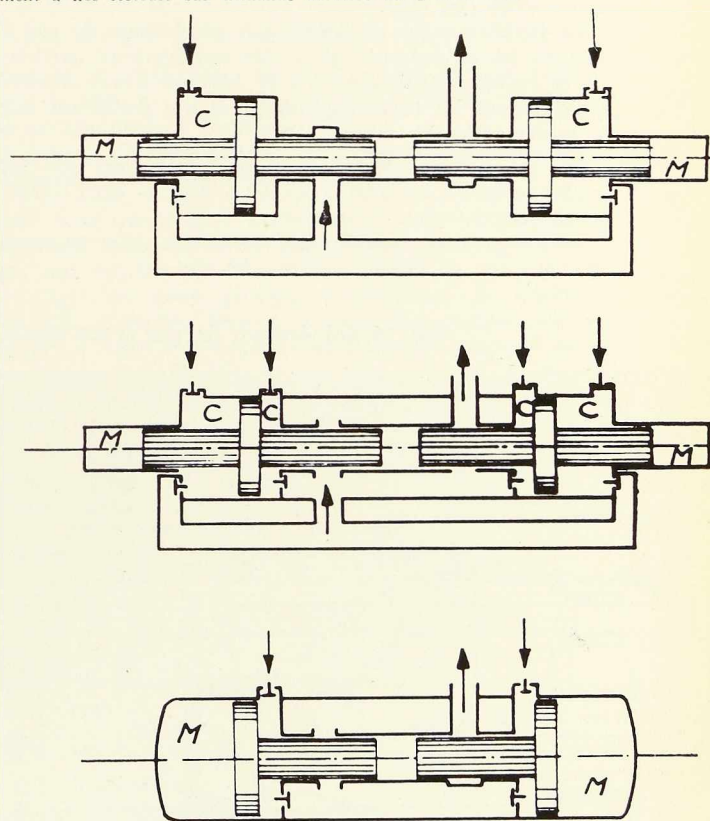
Le déplacement des pistons moteurs produit l'ouverture et la fermeture des lumières d'alimentation et d'échappement.

L'air comprimé fournit le balayage et l'air comburant.

Les deux équipages mobiles formés des pistons moteur et compresseur sont solidarifiés par un embiellage qui ne transmet normalement aucune puissance et assure simplement la synchronisation rigoureuse des déplacements des deux équipages.

Dans la troisième variante représentée à la figure 14, l'énergie fournie par la détente des gaz brûlés dans le cylindre moteur est accumulée dans les matelas d'air comprimé M . Lors de la course de retour, la détente de cet air assure la compression dans les cylindres compresseurs de la charge aspirée à l'extérieur, son refoulement dans l'enveloppe entourant le cylindre moteur et la compression dans ce cylindre de l'air comburant.

(1) La première partie de cette étude a paru dans le n° 6-1954 de *L'Ossature Métallique*. Le texte de cette partie sera envoyé gracieusement à nos lecteurs sur demande adressée au C. B. I. A.



C : cylindre compresseur
M : cylindre matelas

Fig. 14.

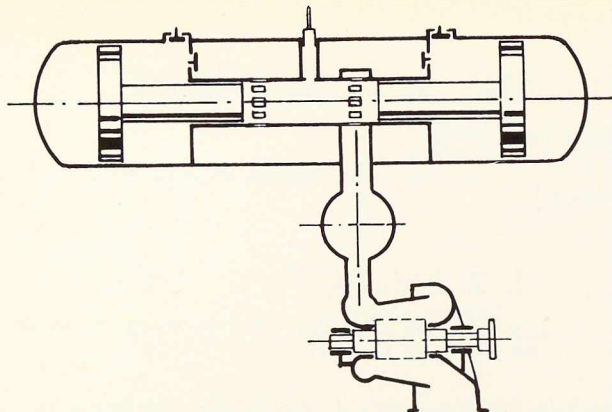


Fig. 15. Schéma d'une turbine à gaz alimentée par un générateur à pistons libres.

Comme l'ensemble ne produit aucune puissance utile, la détente dans le cylindre n'est que partielle : les gaz d'échappement sont à pression et température élevées. Ils se mélangent à l'air de balayage dans un réservoir tampon.

A la sortie de ce réservoir, les gaz ont une pression de l'ordre de 4-4,5 kg/cm² et une température de 450-500° C. Ils alimentent une turbine fournissant la puissance utile (fig. 15).

La turbine à gaz alimentée par générateur de gaz à pistons libres présente pour des applications particulières certains avantages sur la turbine à gaz formée uniquement de turbomachines, comme d'ailleurs sur le moteur Diesel.

Par rapport à une réalisation ne comportant que des turbomachines, les avantages découlent de deux caractéristiques :

a) La pression maximum des évolutions thermodynamiques est élevée, environ 70 kg/cm²;

b) La température en fin de combustion est également très élevée, de l'ordre de 1 800° C, ces températures élevées étant admissibles, comme dans les moteurs Diesel, à cause de la discontinuité de la combustion et du refroidissement du cylindre moteur, par une circulation d'eau.

De ces caractéristiques résulte un rendement élevé : le rendement à l'arbre de la turbine atteint 36 %, soit approximativement le rendement d'un moteur Diesel.

Avec une réalisation ne comportant que des turbomachines, la température maximum est limitée par le fluage des matériaux aux environs de 750° C et le rendement est réduit à 18-20 %.

Remarquons que la température des gaz à l'entrée d'une turbine alimentée par un générateur à pistons libres est modérée : 450-500° C. La réalisation de cette turbine ne pose donc pas de problèmes de matériaux aussi délicats que la turbine à gaz ordinaire.

Signalons aussi qu'une seule turbine peut être alimentée par plusieurs générateurs marchant en parallèle. Les puissances réalisables actuellement sont de l'ordre de 500 à 10 000 kW au maximum.

Pour une installation comportant plusieurs générateurs, la panne d'un générateur n'empêche pas le fonctionnement de l'installation dont la puissance est simplement réduite de celle du générateur arrêté. La réparation peut souvent être effectuée sans arrêt de l'ensemble, pourvu que les sectionnements nécessaires des canalisations de gaz aient été prévus.

Courses, alésages et vitesses moyennes des pistons sont limités dans un générateur à pistons libres comme dans un moteur Diesel. La puissance disponible dans les gaz d'un générateur est donc limitée.

Remarquons cependant que pour des installations comportant plusieurs générateurs en parallèle, le prix, le poids et frais d'entretien sont plus élevés que pour

Fig. 16. Générateur de gaz (1 000 ch) conçu et construit par la Société Seme, Paris.

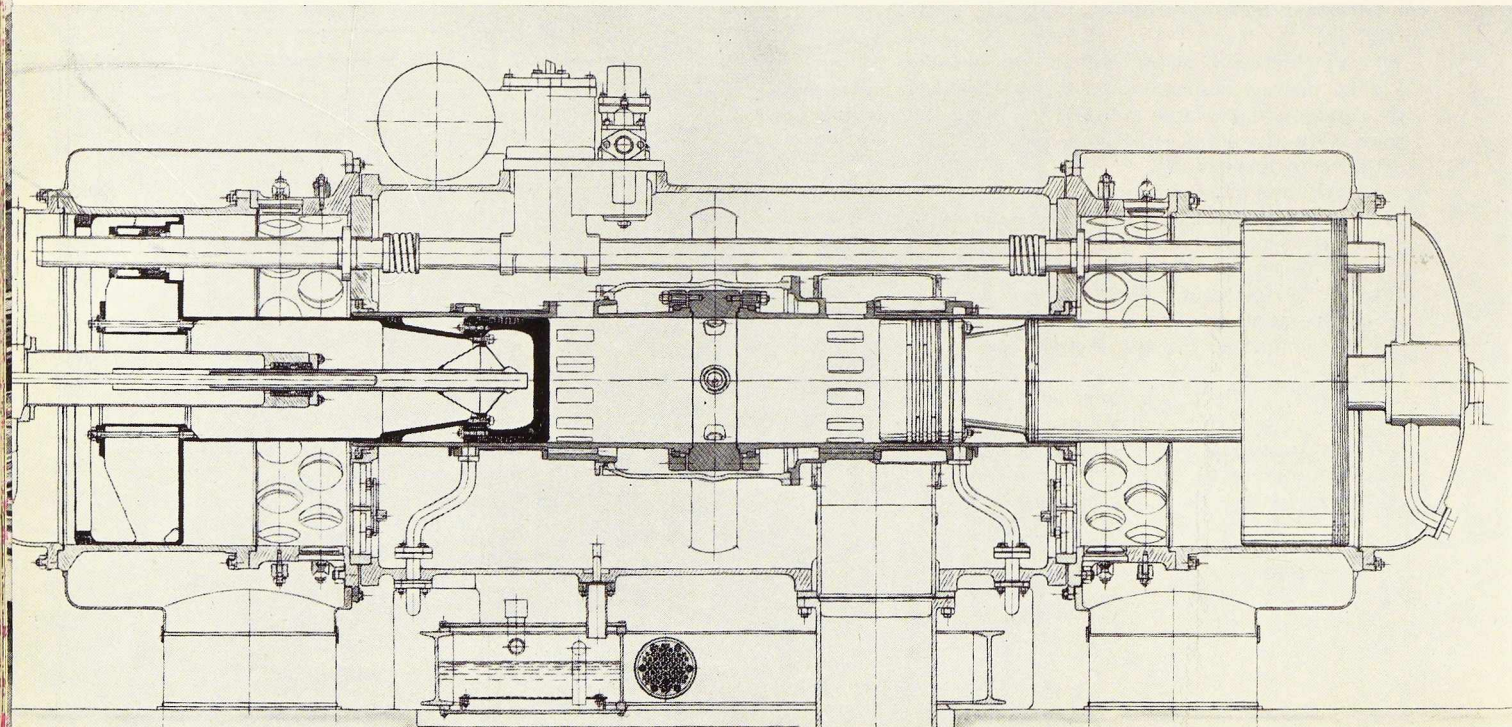
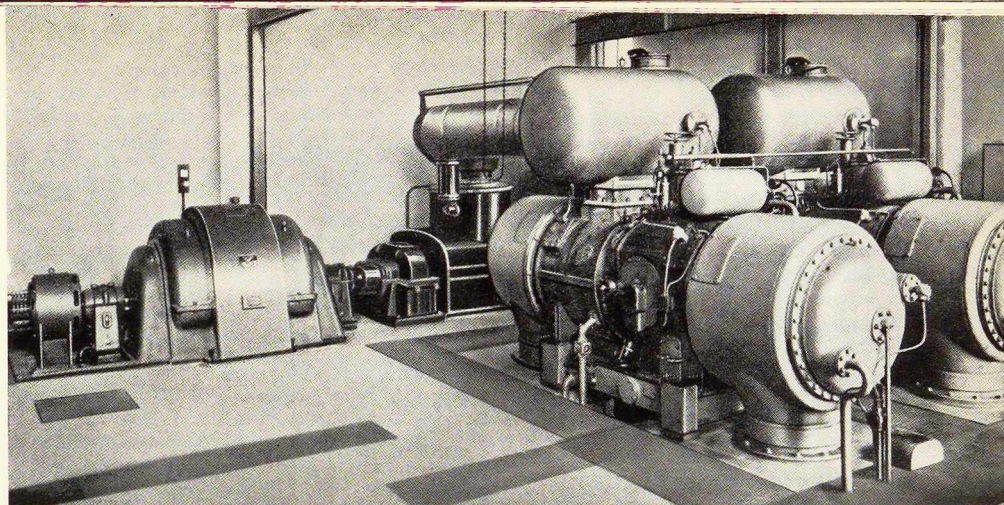


Fig. 17. Ensemble de l'installation de la Sigma. A l'avant-plan, générateurs de gaz surmontés chacun d'un réservoir-tampon.



une turbine à gaz formée uniquement de turbomachines.

Les avantages sur le moteur Diesel sont :

a) Tous les organes en mouvement sont facilement accessibles et rapidement démontables;

b) Les frais d'entretien et d'exploitation semblent inférieurs, d'après l'expérience de la centrale de Reims (Electricité de France), qui a actuellement plus de 5 000 h de marche;

c) La puissance utile est obtenue à l'arbre d'une turbomachine (régularité parfaite, vitesse de rotation élevée, éventuellement ramenée à la valeur voulue par un réducteur à engrenages);

d) La quantité de chaleur à évacuer du cylindre n'est que de 18 % de la chaleur introduite par le combustible, donc nettement inférieure à sa valeur dans un Diesel.

Ajoutons que le démarrage, effectué à l'air comprimé, est très aisé. Par temps froid, il est facilité par la possibilité d'accroître la compression.

Le combustible normal des générateurs à pistons libres est le gasoil.

Des essais satisfaisants ont été réalisés avec des combustibles plus lourds, comme le fuel-oil n° 1 (densité à 20° C : 0,939 — viscosité Engler à 50° C : 9,8), réchauffé à 85° C avant injection.

La durée trop courte de ces essais (de l'ordre de 100 heures) ne permet pas encore d'émettre un jugement définitif sur la tenue des générateurs employés avec combustibles plus lourds.

2. Réalisations et utilisations

Les premiers essais de turbines à gaz alimentées par générateurs à pistons libres ont été effectués par les Sociétés Sulzer et Alsthom.

Trois firmes ont poursuivi le développement des générateurs à pistons libres : le groupe Seme-Sigma en France, Alan Muntz Co. en Grande-Bretagne, Lima-Hamilton Corporation aux Etats-Unis.

Seul, le groupe français a atteint le stade de l'exploitation industrielle.

Conçu par la Seme (Société d'Etudes mécaniques et

énergétiques, Paris) un seul type de générateur de gaz (1 000 ch) est actuellement construit (fig. 16).

Ses principales caractéristiques sont :

Alésage moteur	340 mm
Alésage compresseur	300 mm
Course utile à pleine charge	450 mm
Nombre de battements	600 oscillations par minute
Pression des gaz d'échappement	4,5 kg/cm ² .

Plus de 70 générateurs ont été ou sont en construction à la Sigma (Société Industrielle générale de Mécanique appliquée - Vénissieux, Rhône).

La licence des générateurs Seme-Sigma a été acquise récemment par la General Motors (U. S. A.)

Les deux premières installations industrielles de turbines à gaz alimentées par générateurs à pistons libres ont été montées en 1950 et 1951.

Il s'agit de deux groupes électrogènes de 1 250-1 400 kW installés l'un à l'usine du constructeur (Sigma), l'autre à la centrale de Reims (Electricité de France).

Dans les deux cas, la turbine motrice est alimentée par deux générateurs en parallèle.

La figure 17 montre l'ensemble de l'installation de la Sigma : à l'avant-plan, on remarque les deux générateurs de gaz surmontés chacun d'un réservoir tampon. Le groupe de Reims est semblable.

M. P. CHAMBADAL, attaché à la direction des études et recherches d'Electricité de France a précisé l'objet de cette installation (1).

« L'un des buts de cette dernière installation était d'étudier la possibilité d'utilisation des turbines à gaz pour le démarrage des machines électriques destinées à fonctionner en compensateur synchrone (2).

» Dans le cas de l'usine génératrice de Reims, le problème du démarrage se pose d'ailleurs non seulement pour l'alternateur de 4 000 kW accouplé à la tur-

(1) P. CHAMBADAL, *Les turbines à gaz dans les usines génératrices électriques* (Revue Générale de l'Electricité, Novembre 1953, p. 501).

(2) Dans le réseau français, l'énergie réactive est produite par les groupes turbo-alternateurs, par des batteries de capacité et par des compensateurs synchrones, qui actuellement, sont construits de manière à pouvoir fournir de la puissance active au moment des pointes, à condition bien entendu qu'on les entraîne par un moteur.

bine à gaz mais aussi pour deux autres alternateurs plus puissants; actuellement, ils sont entraînés par des turbines à vapeur, mais dans un proche avenir, ils ne seront plus utilisés que pour la production d'énergie réactive. Une liaison électrique entre les alternateurs permettra alors de réaliser, à l'aide de la même turbine à gaz, le démarrage de trois compensateurs, bien qu'un seul d'entre eux soit relié mécaniquement à cette turbine » (par une liaison comportant un embrayage). Cette possibilité a été confirmée par l'expérience.

En vue d'obtenir rapidement une information expérimentale sur les possibilités des générateurs à pistons libres, l'installation de Reims fonctionne généralement 16 heures par jour. Elle a actuellement plus de 5 000 heures de marche.

Les résultats ont été satisfaisants et Electricité de France a commandé une nouvelle installation de conception semblable mais plus puissante, 6 000 kW, à placer à Cherbourg. La turbine sera alimentée par 8 générateurs groupés par paires; un servo-mécanisme assurera un déphasage constant entre les diverses paires.

D'autres groupes électrogènes de 600 et 1 250 kW ont été réalisés ou sont en construction (Compagnie des Phosphates de Gafsa, Tunisie; Compagnie des Eaux de banlieue, Paris, ...).

A côté de ces groupes, la Régie nationale Renault a construit une locomotive dont l'appareil moteur est une turbine à gaz de 1 000 ch alimentée par un générateur à pistons libres.

Le rendement moyen au crochet de la traction à vapeur est de l'ordre de 5 %, celui de la traction Diesel de 22 à 25 %. Mais le moteur Diesel étant à couple sensiblement constant, il est nécessaire de prévoir entre le moteur et les essieux une transmission électrique ou hydro-mécanique (transmission fluide et changements de vitesse ou convertisseurs de couple et changement de vitesses).

La turbine à gaz alimentée par générateur à pistons libres permet de conserver le même rendement au crochet que le moteur Diesel, avec l'avantage d'une liaison purement mécanique entre la turbine et les essieux.

On sait en effet que le couple d'une turbine augmente à peu près linéairement lorsque la vitesse de rotation diminue, pour des conditions d'alimentation (pression et température) inchangées. A vitesse nulle, le couple est de l'ordre de 2 à 2,5 fois le couple à pleine vitesse.

Dans le cas d'une locomotive, pour éviter l'emploi d'un changement de vitesse, il faut que le couple au démarrage soit aussi élevé que possible. Le constructeur de la turbine montée sur la locomotive Renault, la société Rateau, a obtenu 3,8 fois le couple à la vitesse maximum, ce qui représente un rapport très élevé.

Ainsi, la turbine à gaz alimentée par générateurs à pistons libres a finalement la même souplesse qu'un moteur Diesel muni d'une transmission hydraulique avec convertisseur de couple.

Les essais au banc de l'appareil moteur de la loco-

motive Renault ont donné pleine satisfaction. La locomotive complète poursuit actuellement ses essais sur le réseau français, où elle dépasse déjà 100 000 km.

La réalisation de ce remarquable prototype pourrait être le début d'une évolution dans la traction ferroviaire.

Des applications de la turbine à gaz avec générateurs sont en cours dans la marine.

Signalons deux groupes propulseurs de 2 000 ch commandés par la Marine Marchande française pour des caboteurs et 26 groupes destinés à des dragueurs de mines pour la Marine Nationale.

L'application à la marine pose, comme pour les autres types de turbines à vapeur, le problème du renversement de la marche.

La solution la plus radicale consiste dans l'utilisation d'une hélice à pas variable.

L'emploi d'une turbine avec une roue de marche arrière fournit une autre solution. Mais alors que pour les turbines marines à vapeur, la roue de marche arrière tourne normalement dès le vide du condenseur, ici, elle tourne à la pression d'échappement de la turbine, soit la pression atmosphérique; les pertes par ventilation, proportionnelles au poids spécifique du fluide sont fort accrues.

D'après la Seme, des essais de ventilation d'une roue tournant en sens inverse de son sens normal de marche ont montré que, pour un tracé bien adapté de l'aubage, on peut réduire les pertes par ventilation à 1,5 % de la puissance de la turbine. Bien qu'encore élevée si l'on songe qu'elle affecte toute la vie de la machine, cette perte serait acceptable. L'emploi d'une turbine de marche arrière, comme en turbine à vapeur, n'est donc pas une solution à rejeter.

Résumons-nous en disant que les applications de la turbine à gaz alimentée par générateurs à pistons libres se trouvent dans les puissances de 500 à 10 000 kW au maximum, pour les utilisations suivantes : traction ferroviaire, marine et groupes électrogènes dans certains cas particuliers.

A. L. J. et L. R. B.

Bibliographie sur les générateurs à pistons libres

- (1) G. EICHELBERG, *Les générateurs de gaz à pistons libres (Le Génie Civil, 15 novembre, 1er et 15 décembre 1948)*.
- (2) L. PEILLON, *Le rendement des générateurs de gaz à pistons libres. Considérations théoriques et résultats expérimentaux, perspectives d'avenir*, Association technique maritime et aéronautique, 1949.
- (3) A. NORMAND, *Application aux navires d'un appareil propulsif constitué par des générateurs de gaz à pistons libres et des turbines à gaz*, Association technique maritime et aéronautique, 1950.
- (4) R. HUBER, *Stabilité de marche des générateurs de gaz à pistons libres (Schweiz. Bauzeitung, 22 juillet 1950)*.
- (5) R. HUBER, *Les groupes générateurs à pistons libres, turbines à gaz et leur régulation (Congrès international des Moteurs à combustion interne, Paris, mai 1951. Groupe I)*.
- (6) R. HUBER, *Les générateurs à pistons libres (Journal de la Société des Ingénieurs de l'Automobile, décembre 1951)*.
- (7) F. PICARD et R. HUBER, *L'emploi des générateurs à pistons libres en traction ferroviaire (Bulletin de la Société française des Mécaniciens, décembre 1951)*.
- (8) P. VILAIN, *Turbine à gaz de 1 000 ch à générateur Sigma Pescara pour locomotive Renault (Bulletin Technique de la Société Rateau, avril 1952)*.
- (9) R. METZMATER et R. VUAILLAT, *La locomotive à générateur à pistons libres et turbine (IV^e Congrès international du Chauffage industriel, Paris, 1952)*.



Industrial Design



Lors de la Journée Internationale de l'Industrial Design, Liège, mai 1954, certains orateurs déploraient la prétendue absence de *designers* belges et le fait qu'en attendant la formation de jeunes stylistes, l'industriel belge ne pouvait avoir recours

qu'à des compétences étrangères.

Il nous paraît indiqué d'offrir nos pages pour mettre en contact les *designers* (car, en réalité, il y en a chez nous) et les industriels. Nous présentons aujourd'hui Willy Vandermeeren, architecte et créateur de meubles en acier. M. Vandermeeren a été l'auteur, en collaboration avec l'architecte Palm, de la maison ouvrière, dite maison C. E. C. A., qui a été exposée à la Foire de Liège 1954 et qui a rencontré un intérêt considérable.

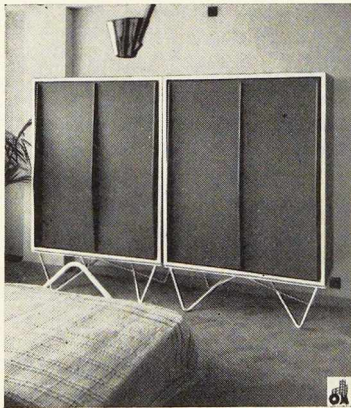


Fig. 2. Le meuble d'acier s'est imposé dans les bureaux. Il conquiert aujourd'hui la cuisine. Le verrons-nous aussi dans nos chambres à coucher? M. Vandermeeren présente une armoire élégante presque entièrement métallique. Le luminaire est créé par J. Steyvaert et W. Vandermeeren.

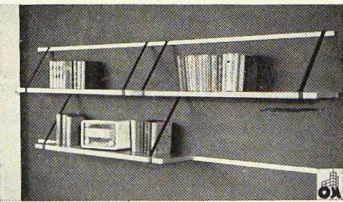


Fig. 3. Etagère en tôle d'acier, par W. Vandermeeren.

La participation belge à la Triennale de Milan

Agissant en liaison avec l'Administration des Beaux-Arts, le Ministère des Affaires Economiques a pris l'heureuse initiative d'orienter la participation de la Belgique à la prochaine Exposition Triennale de Milan (août-novembre) vers la forme utile de nature industrielle. Rompant ainsi avec une tradition qui l'avait amené à se cantonner dans le domaine de l'artisanat (et l'on sait combien furent et demeurent médiocres les expériences tentées à ce niveau) la Belgique fait, pour la première fois, un effort en vue de mettre en évidence la valeur, non seulement technique, mais aussi esthétique de nos produits industriels. Conscients du fait que l'aspect séduisant, correct et harmonieux des formes industrielles est susceptible d'ouvrir de nouvelles perspectives économiques et commerciales, les dirigeants belges se proposent de montrer l'effort que le pays tente de développer dans la voie de l'Industrial Design. Une sélection sévère portera principalement sur des produits de l'industrie électro-technique, optique et de précision, sur la production d'armes et de matériel photographique; seront également montrés des témoignages exemplaires de l'industrie du verre, de la céramique et du bois. Enfin, pour souligner l'harmonie qui surgit entre la forme industrielle et l'art contemporain dans ses aspects les plus avancés, quelques œuvres peintes ou sculptées offriront aux visiteurs les points d'appui d'une féconde confrontation. La présentation de la section a été confiée à l'architecte André De Poerck.

Echos

La locomotive électrique CC 7121 vient d'obtenir le label français « Beauté France ».

Nous donnons la photographie de cette locomotive de la S. N. C. F. à la page 403.

La Revue Technique Suisse (S. T. Z.) du 10 juin 1954 nous apporte un remarquable article du Dr Dieter Oestreich, Darmstadt, sur les tendances esthétiques de notre temps. L'auteur expose la genèse de l'idée de la forme industrielle et montre par quelques illustrations typiques l'influence des meilleurs stylistes actuels, dans l'industrie et dans l'architecture.

CHRONIQUE

Marché de l'acier pendant le mois de mai 1954

	Acier brut en 1 000 t (lingots et moulages)		
	Belgique	Luxembourg	Total
Mai 1954	390.968	215.223	606.191
Avril 1954	393.011	219.879	612.890
Janv. - avril 1954	1.929.996	1.054.661	2.984.657
Jan.-avr. 1953	1.959.998	1.150.443	3.110.441

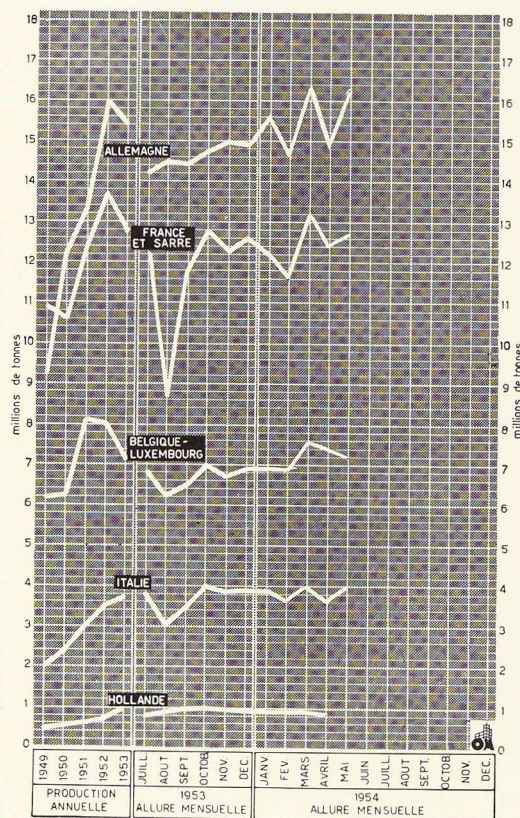


Fig. 1. Moyennes de production d'acier lingot des six pays de la Communauté Européenne Charbon-Acier (C. E. C. A.).

Les Gouvernements néerlandais, luxembourgeois et belge se sont engagés à autoriser la libre circulation entre partenaires, des produits importés de la zone dollar; ces produits comprennent entre autres les minerais, les coques, les fontes et les aciers. Ce nouveau régime est entré en vigueur le 1^{er} juin 1954.

Le Conseil de la S. N. C. B. a approuvé la commande de vingt-deux automotrices électriques Budd en acier inoxydable. Il a désigné également les adjudicataires de trois ponts-raîls et de deux ponts-routes à Tamise.

L'Allemagne Occidentale a exporté en avril, 78 000 t de ferraille, contre 75 000 t en mars. La plus grande partie de la quantité exportée était destinée à l'Italie. Le restant a été dirigé vers la Belgique, la Sarre et la Suisse.

Les stocks de mitrilles aux aciéries allemandes s'élevaient fin avril à 580 000 t, contre 624 000 t fin mars.

L'animation du marché sidérurgique a permis une nouvelle augmentation de la production allemande d'acier. D'après les renseignements du Bureau Fédéral de Statistiques, la production d'acier brut a atteint en mai 1 362 066 t, contre 1 228 692 t en avril.

Dans une déclaration commune au sujet des entretiens qu'ils ont eus à Bonn, les 7 et 8 mai 1954, le Chancelier de l'Echiquier et le Ministre Fédéral allemand des Affaires Economiques ont exprimé leur conviction que la concurrence commerciale internationale devait pouvoir se développer librement. Comme conséquence, aucun des deux gouvernements n'a l'intention de poursuivre une politique accordant ouvertement ou d'une manière déguisée des subsides aux exportateurs. Le Chancelier signale notamment, qu'en Grande-Bretagne, l'industrie de l'acier ne reçoit aucun subside d'aucune sorte. Le prix des mitrilles d'acier reste contrôlé et les exportations sont soumises à des restrictions, mais ce contrôle n'a aucun rapport avec un système quelconque de subsides gouvernementaux. De son côté, le ministre fédéral a déclaré que son gouvernement n'avait pas l'intention de chercher à proroger la loi sur les mesures fiscales destinées à promouvoir les exportations, loi qui vient à expiration fin 1955.

O. E. C. E.

Le Comité d'étude de la Commission commerciale de l'O. E. C. E. étudie actuellement les problèmes des stimulants artificiels à l'exportation dans le but d'obtenir l'abolition de tels expédients. L'accord anglo-allemand sur ce sujet facilitera grandement le travail de ce Comité.

On croit que les Pays-Bas sont le principal membre



de l'O. E. C. E. usant de stimulants à l'exportation; il paraîtrait que les exportateurs hollandais bénéficient actuellement de facilités spéciales pour emprunter des dollars. En France également des subsides directs substantiels sont accordés aux exportateurs.

C. E. C. A. - Nominations

L'Assemblée commune du charbon et de l'acier a élu les cinq vice-présidents suivants : MM. Fohrmann (Luxembourg), Molz (Belgique), Puender (Allemagne), Carcassone (France) et Vixseboxse (Pays-Bas). Les Commissions de l'Assemblée du Pool charbon-acier se sont réunies pour désigner leurs présidents. Ce sont : Commission du Marché Commun : M. Blank (Allemagne); Commission des Affaires Politiques : M. Struye (Belgique); Commission des Affaires Sociales : M. Neederhorst (Hollande); Commission des Investissements : M. Schoene (Allemagne); Commission des Transports : M. Poher (France); Commission de la Comptabilité : M. La Malfa (Italie); Commission de Règlement : M. Fayat (Belgique).

Les Commissions spéciales qui avaient été constituées pour répondre aux grandes questions posées par la Haute Autorité ont tenu leurs premières réunions au début du mois de juin. Parmi ces questions figurent notamment celles de l'approvisionnement de la communauté en minerai de fer, du développement des centrales électriques thermiques (minières) et de l'accroissement de la consommation d'acier. Pour la première, il ressort d'une étude préliminaire que l'on ne s'attend pas généralement à une pénurie de minerai, même si la production atteint, comme prévu, vers 1957 ou 1958, les 50 millions de tonnes. Pour le développement des centrales électriques, la Commission désignée étudiera d'une façon approfondie les conditions techniques et économiques qui devraient régir l'inclusion de la production d'énergie électrique dans les mines, en ayant en vue l'abaissement du prix du charbon qui pourrait en résulter. Quant aux moyens d'amener un accroissement de la consommation d'acier, la Commission étudiant la question a préconisé une extension de la propagande et une étude des marchés pour trouver de nouveaux débouchés aux produits sidérurgiques.

En France, le Gouvernement a présenté à la Haute Autorité, une demande d'aide en faveur de la C^{ie} des Ateliers et Forges de la Loire qui, pour permettre sa réadaptation technique, sera prochainement obligée de mettre en congé temporaire, environ 800 ouvriers. Si la Haute Autorité accorde une aide non remboursable à cette entreprise, le Gouvernement sera obligé de verser à la C^{ie} des Ateliers et Forges de la Loire une contribution au moins équivalente.

La sidérurgie dans le monde

Etats-Unis

La récession consécutive au ralentissement du programme américain de réarmement a été modérée. On a l'impression qu'une reprise peut être espérée à partir du 4^e trimestre de 1954. Les dirigeants de la sidérurgie américaine semblent avoir une confiance plus grande

dans le redressement lent et constant de l'industrie sidérurgique.

La dernière semaine de mai a été caractéristique à cet égard et pourrait marquer un tournant dans le marché de l'acier. L'activité des aciéries est estimée pour cette semaine à 70 % de leur capacité; c'est le taux le plus élevé prévu depuis février. La semaine précédente, l'industrie avait travaillé à près de 71 % de sa capacité, soit environ 2,5 % de plus que le taux prévu. Les prix de la ferraille d'acier ont de nouveau augmenté — la neuvième fois en neuf semaines. Un des facteurs sur lesquels on se base pour prévoir une sérieuse reprise en automne est la diminution constante des stocks chez les consommateurs. Il y a un an l'industrie achetait au rythme de 6,3 milliards de dollars par an pour le réapprovisionnement de ses stocks. Actuellement on estime que l'industrie prélève sur ses stocks au rythme de 4,8 milliards de dollars. On croit pouvoir conclure que d'ici quelques mois, des commandes de réapprovisionnement devront sortir à une cadence de l'ordre de 2,3 milliards de dollars par an. Quant au prix de l'acier, son évolution dépendra des revendications du syndicat des ouvriers de l'acier dans l'établissement du nouveau contrat qui sera applicable à partir du 1^{er} juillet.

La production d'acier aux Etats-Unis a été en avril inférieure d'un peu plus de 4 % à celle de mars : 6 973 000 t contre 7 289 600 t et 9 543 538 t en avril 1953.

Grande-Bretagne

En ce qui concerne le marché sidérurgique, le regain de l'activité industrielle et l'expansion du commerce d'exportation ont créé une atmosphère optimiste dans le commerce britannique du fer et de l'acier. Actuellement l'amélioration est encore modeste, mais les demandes d'outre-mer, en particulier des pays du Commonwealth se font de plus en plus nombreuses. Amplement approvisionnés en lingots, les laminoirs à produits lourds sortent d'importants tonnages de tôles fortes, de poutrelles, profilés, rails, etc... et de plus, ils sont largement fournis en spécifications. On offre aux producteurs de tôles fines plus de commandes qu'ils ne sont susceptibles de produire et ils n'attendent que l'avis officiel de leurs allocations d'exportation pour conclure des contrats substantiels avec des pays d'outre-mer. En bandes également la demande devient meilleure.

Italie

On vient de publier le tableau des participations économiques de l'Etat dans environ 250 entreprises publiques et sociétés par actions. Des chiffres publiés, il ressort que l'Etat contrôle : par la Finsider, 55 % de la production de la fonte et 40 % de la production de l'acier; par la Finmeccanica, 80 % de la capacité de production des chantiers navals et 25 % de la production du matériel mobile ferroviaire; par la Cogne, 25 % de la production de la fonte, 5 % de celle de l'acier et 85 % de celle de l'anthracite; par la Cogne et l'Iva, 80 % de la production des minerais de fer;

Suède

Les prix d'exportation des minerais de fer suédois sont tombés en moyenne, de 10/15 % en dessous des prix maxima de 1953, par suite de la diminution de la demande. Au cours des deux premiers mois de cette année, la Suède a exporté 1 566 000 t de minerais de fer, contre 1 733 000 t pendant la même période de 1953.

Autriche

Les aciéries autrichiennes ont produit 360 000 t pendant le premier trimestre 1954 contre 362 118 t pendant le quatrième trimestre de 1953; les laminoirs ont fourni pendant la même période 210 000 t de produits laminés contre 214 295 pendant le quatrième trimestre de 1953.

Union Sud-Africaine

D'après un décret du 22 mai 1954 du Gouvernement sud-africain, la suspension du droit d'entrée de 3 % sur le fer-blanc en tôle est prolongée jusqu'au 30 juin 1954.



Conférence

de

M. D. B. Steinman

à Bruxelles

L'éminent ingénieur américain D. B. Steinman, auteur de projets et réalisateur de plusieurs ponts remarquables, fera le mardi 27 juillet à 17 heures, au Ravenstein, à Bruxelles, une conférence intitulée « Le problème aérodynamique des ponts suspendus et sa solution ».

La visite de M. Steinman en Belgique est placée sous les auspices du Groupement Belge de l'Association Internationale des Ponts et Charpentes (A. I. P. C.), de la Société Royale Belge des Ingénieurs et Industriels (S. R. B. I. I.) et de Fabrimétal.

Le texte de la communication de M. Steinman sera publié dans les nos 9 et 10-1954 de *L'Ossature Métallique*.

Radiateurs d'acier

Suite à l'article de M. J. Reniers « Le radiateur en acier » paru dans le n° 5-1954 de *L'Ossature Métallique* nous avons reçu du Centre Italien d'Information de

l'Acier (U. I. S. A. A.) quelques précisions sur le développement des radiateurs en acier en Italie.

En 1953, la production italienne des radiateurs en acier s'est élevée à près de 600 000 m², la production des radiateurs en fonte de son côté a atteint un million de mètres carrés.

La tôle d'acier utilisée pour les radiateurs a généralement une épaisseur de 10/10 ou 12/10 mm. L'industrie des radiateurs en tôle d'acier, dont les débuts se situent vers 1924 n'a cessé de se développer en Italie. A l'heure actuelle, il existe dans ce pays plusieurs firmes produisant les radiateurs en tôle. Le prix est de l'ordre de 3 000 lires le m².

Ponts Jan Palfijn à Gand, à poutres Préflex

Le 15 avril dernier, le premier des deux ponts-routes accolés, connus à Gand sous le nom de « Ponts Jan Palfijn », a été soumis aux épreuves de charges; immédiatement après, il a été livré à la circulation.

Ces ponts franchissent la Lys dans l'axe du boulevard de l'Yser et du boulevard des Hospices.

L'ouvrage est du type *en portique ou à béquilles, à deux rotules d'appui*. Cet ouvrage est *mixte*, il constitue en effet une application très heureuse de l'association du béton armé et de poutres « Préflex ».

Les béquilles sont en béton armé; elles sont préfabriquées et amenées complètes avec d'importantes barres d'attente; les longerons ou parties horizontales des portiques sont des poutres Préflex de 22,20 m de longueur.

L'opération devant rendre solidaires, *par du béton armé*, les deux béquilles et le longeron des portiques, est *différée*; en effet, cette liaison n'est réalisée qu'après la mise en place du béton de deuxième phase des poutres Préflex, c'est-à-dire du béton qui constitue à la fois le tablier du pont et l'enrobage complémentaire des poutres Préflex.

Il est donc logique ici d'appeler ce béton de continuité entre les poutres et les béquilles, le *béton de troisième phase*. L'artifice de choisir ainsi l'instant où est réalisée la continuité du portique atteint deux buts :

1° Réduire sensiblement le moment fléchissant de continuité se produisant aux nœuds du portique, zones dans lesquelles l'ouvrage fonctionne comme s'il était entièrement en béton armé, et où il serait antiéconomique, pour l'ensemble, de devoir prévoir le moment fléchissant du cas ordinaire du portique;

2° Augmenter d'autant le moment fléchissant au milieu de la portée, zone dans laquelle on bénéficie aisément de la haute résistance qu'offre la poutre Préflex qu'imposent les circonstances locales et la raideur recherchée.

La figure 3 montre les diagrammes des moments fléchissants sous les surcharges imposées.

La portée de l'ouvrage entre les rotules d'appui des béquilles est de 25 m; mais, grâce à l'obliquité des béquilles, la portée des poutres Préflex n'est que de 22,20 m.

La largeur de l'ensemble des deux tabliers des ponts qui seront accolés est de 35 m, comprenant :

— Deux voies charretières chacune de 10 m, un terre-plein central de 5 m, deux trottoirs de part et d'autre du terre-plein, de 2 m chacun et deux trottoirs latéraux, chacun de 3 m.

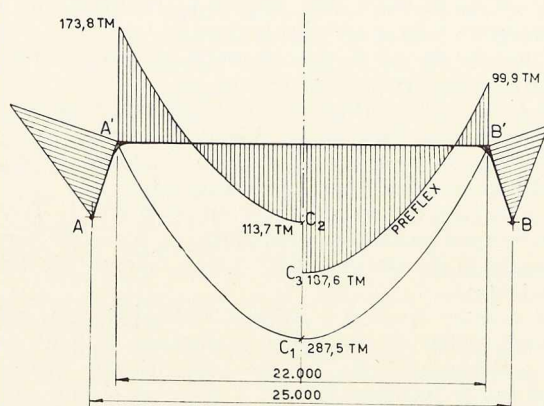


Fig. 3. Diagrammes des moments fléchissants sous les surcharges imposées dans les trois éventualités suivantes :

Diagramme de sommet C_1 — cas où les longerons horizontaux seraient isostatiques;

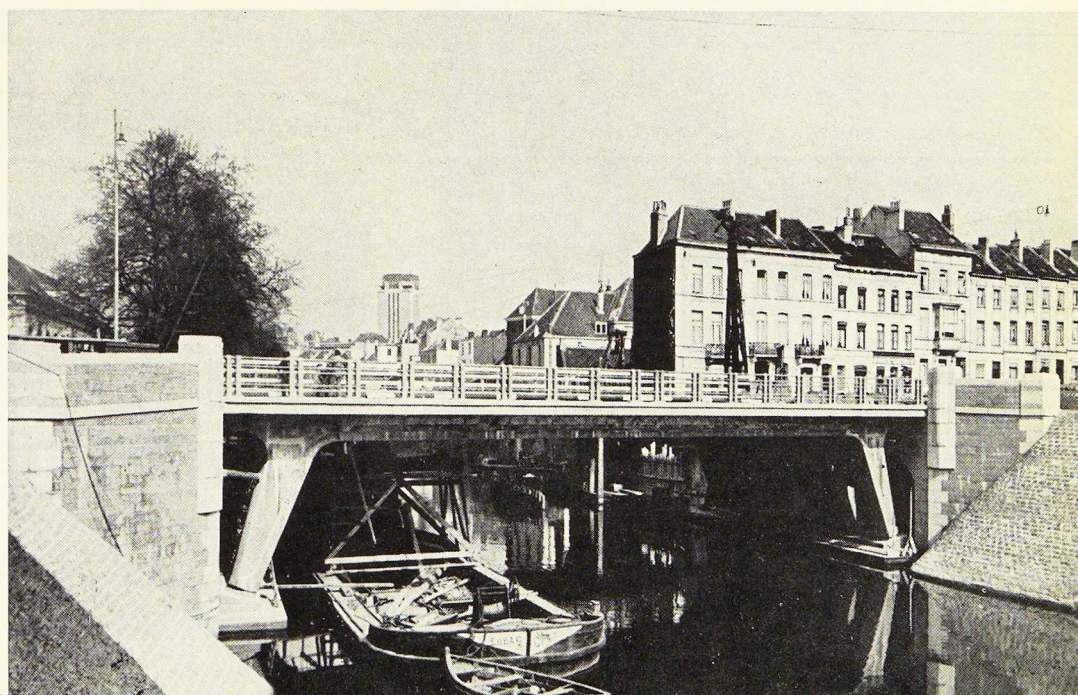
Diagramme de sommet C_2 — cas où il s'agirait du portique normal;

Diagramme de sommet C_3 — cas où il y a effets de préflexion et où l'opération créant la continuité du portique est différée et réalisée comme il est décrit ci-contre.

Chacun des deux ponts comporte huit poutres Préflex distantes d'axe en axe de 2 m; il y a donc seize béquilles en béton armé par pont.

Les poutres Préflex ont comme noyau une poutrelle Grey n° 65 en Acier A 52; la hauteur hors tout, béton d'enrobage compris, est de 77 cm, soit $\frac{1}{32,3}$ de la portée de l'ouvrage et

Fig. 4. Pont Jan Palfijn à Gand (2 ponts-routes accolés). Pont à béquilles à deux rotules, portée 25 m. Béquilles en béton armé formant portiques avec les longerons en poutres Préflex.



cependant l'ouvrage terminé présente une grande raideur.

L'ouvrage a été construit sans cintre et sans aucune interruption du trafic fluvial.

Un projet primitif conçu en béton armé, mais qui ne fut pas exécuté, comportait deux piles en rivière, donc trois travées du type à poutres continues, et malgré cela la hauteur d'encombrement prévue dépassait de 16 cm, la hauteur hors tout de la poutre Préflex des portiques et cela sans considérer les grands goussets dont la hauteur était de 30 cm. La solution adoptée a permis de supprimer les piles en rivière, circonstance très heureuse au point de vue fluvial et écoulement en cas de crue; et cependant toutes les exigences de hauteur ont été satisfaites. De plus, cette solution a permis de résoudre une difficile question de niveau relatif de la chaussée et des trottoirs du pont.

Le Maître de l'ouvrage est le Ministère des Travaux publics, Administration des Ponts et Chaussées; l'auteur du projet est le Bureau d'études A. Lipski, Ingénieur-conseil; l'exécution de l'ouvrage a été confiée aux Entreprises E. H. B. A., à Ruysbroeck-lez-Boom.

L. BAES.

La maison C. E. C. A.

Deux architectes belges MM. Léon Palm et Willy Vandermeeren ont présenté à la récente Foire Internationale de Liège un prototype de logement familial muni de tout le confort souhaitable : salle de bain installée, chauffage général, cuisine équipée, au prix très réduit de 148 000 francs.

C'est à la suite d'un rapport de la C. E. C. A. sur les conditions de logement des travailleurs que MM. Palm et Vandermeeren se sont attachés à prouver que l'on pouvait réduire très fortement le prix de la construction par la rationalisation du plan et la normalisation des éléments constructifs.



Le plan de la maison C. E. C. A. ne comporte qu'une seule grande pièce de séjour, avec trois centres d'activité bien délimités : le coin de repos, le coin de repas et de travail, le coin de préparation des repas dissimulé par une armoire formant écran et pourvu d'un équipement rationnel.

Les architectes ont cherché à faciliter le travail, à simplifier l'entretien et à rendre le séjour agréable.

La façade de la maison est uniquement fonction de l'ossature qui s'y accuse avec franchise, dans laquelle s'encastrent de grands châssis métalliques normalisés.

Des panneaux de portes y alternent avec des panneaux vitrés et des panneaux pleins isolants.

La maison C. E. C. A. a rencontré un accueil chaleureux à la Foire de Liège et a reçu la visite de plus de 150 000 personnes.

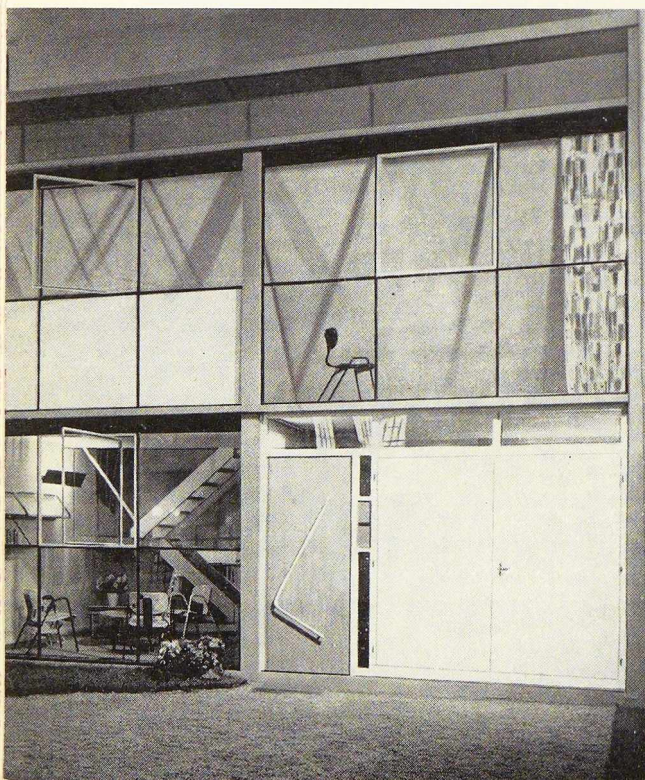


Fig. 5. Intérieur de la maison C. E. C. A. A l'avant-plan, la salle de séjour, au fond, le coin de préparation des repas. Derrière l'escalier, une partie de la composition du peintre Heerbrant.

Le chemin de fer Méditerranée-Niger

La loi du 22 mars 1941, validée par l'ordonnance du 2 novembre 1945, a autorisé la construction d'un réseau de chemin de fer à voie normale, dénommé Réseau Méditerranée-Niger, comprenant :

1° Une ligne partant de Bou-Arfa et passant par Colomb-Béchar, Beni-Abbès, Adrar, In-Tassit;

2° Deux embranchements suivant le cours du Niger et atteignant l'un Ségou et l'autre Niamey.

Les travaux commencés au début de la guerre, furent interrompus pendant les hostilités, et n'ont été repris qu'après la fin des hostilités à une cadence d'ailleurs très lente.

Le premier tronçon à réaliser, était le tronçon entre Colomb-Béchar et Gao soit une distance de 2 017 km. Le prolongement de la voie sur Niamey porte à 2 480 km la longueur du rail à poser, et si l'on ajoute la ligne In-Tassit à Ségou, la distance totale est de 2 835 km.

Les études de la section de 2 017 km, Gao-Colomb-Béchar, étaient terminées au 31 décembre 1947.

Ces études ont confirmé que :

— La construction ne soulevait aucun problème technique sérieux;

— L'absence de tunnels et le très petit nombre d'ouvrages d'art importants rendaient la ligne pratiquement invulnérable;

— Les caractéristiques prévues pour la ligne, courbes maximum 500 m et déclivité maximum de 6 mm étaient respectées;

— La condition d'exploitation par trains lourds avec traction Diesel et signalisation radio permettrait une exploitation simple et économique;

— Le prix de revient de la construction s'élève à 22,5 millions de francs fr. par km, dont plus de la moitié représente la fourniture de rails et de traverses métalliques.

Il est prévu dès maintenant 13 gares, stations ou haltes et 12 évitements permettant le garage des trains de 1 000 m, la distance entre deux points d'arrêt pouvant atteindre 140 km.

La voie ne fera pas saillie dans toutes les sections non susceptibles d'être inondées, pour éviter les risques d'ensablement.

Le sol sur lequel doit reposer la voie ferrée est constitué en général par du reg, terrain plus ou moins sableux ou caillouteux, incompressible, qui donnera une plate-forme de toute première qualité.

L'ensemble des terrassements est évalué à près de 10 000 000 m³ (déblais et remblais).

De plus les ouvrages d'art ne comporteront aucun

Fig. 6. Une vue extérieure du montage de la maison C. E. C. A.

Photos S. Vandercam.

Fig. 7. Carte montrant le tracé du chemin de fer Méditerranée-Niger.

contrevenement supérieur. De cette manière le gabarit ne sera pas limité en hauteur.

La voie sera constituée par du rail lourd, d'au moins 46 kg, reposant sur des traverses métalliques (1).

La signalisation fixe se limitera à quelques signaux de protection des gares et des voies de manœuvre. Chaque convoi sera relié par radio à un poste de régulation basé à Colomb-Béchar qui réglera la circulation sur toute la ligne. L'entretien de la voie ne paraît pas présenter de difficultés particulières. Facilité par les longues coupures qui figureront aux graphiques de marche des trains, mécanisé à l'extrême, il sera assuré par des trains de chantier du type rail-route. Dans ces conditions il suffira d'un personnel peu nombreux, un homme par kilomètre de voie.

La voie ferrée est la seule voie de communication moderne économiquement possible pour relier l'Afrique du Nord au Niger.

Le chemin de fer Méditerranée-Niger n'est pas seulement une entreprise commerciale; c'est également une œuvre dont on doit attendre des bénéfices impondérables qui s'expriment en termes de prestige, de stratégie, d'humanité et de politique (2).

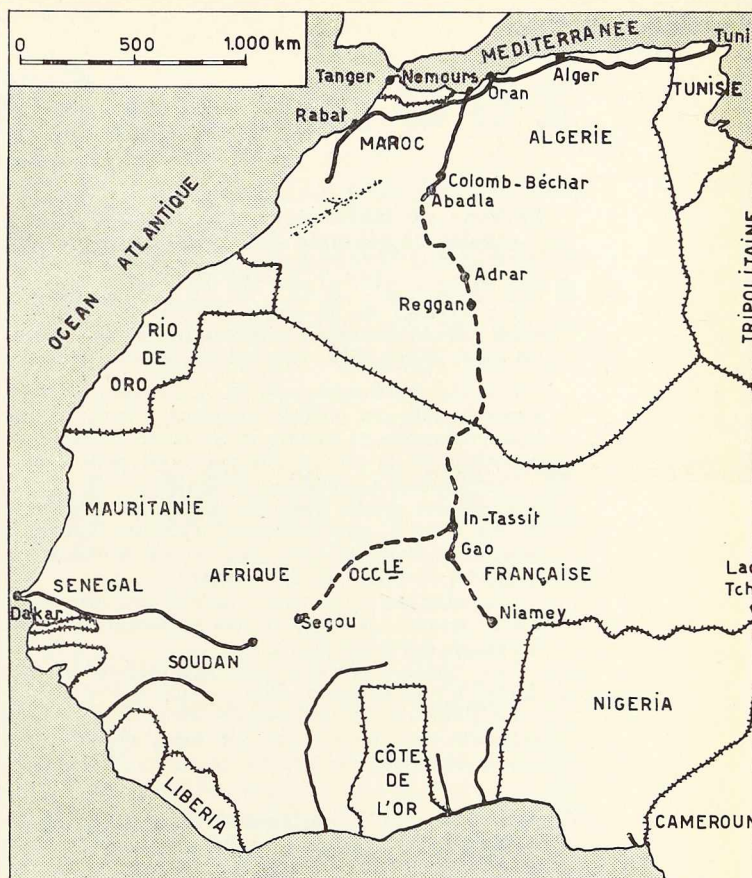
Le Congrès National de la Fédération de l'Urbanisme et de l'Habitation

Les 16 et 17 juin, s'est tenu à Bruxelles le Congrès National organisé par la Fédération Belge de l'Urbanisme et de l'Habitation. Le thème était : Les nouveaux quartiers d'habitation.

Les séances, présidées par M. Victor Bure, président de la Fédération et Directeur Général de l'Urbanisme au département des Travaux publics, ont été suivies par de nombreux congressistes. M. Van Glabbeke, Ministre des Travaux publics et de la Reconstruction souligna, dans son discours, tout l'intérêt qu'il porte à la construction d'habitations pour travailleurs, tant ouvriers qu'employés, et a insisté sur le rôle de premier plan de l'architecte-urbaniste.

(1) Le tonnage total de ces traverses atteindrait le chiffre de 400.000 t.

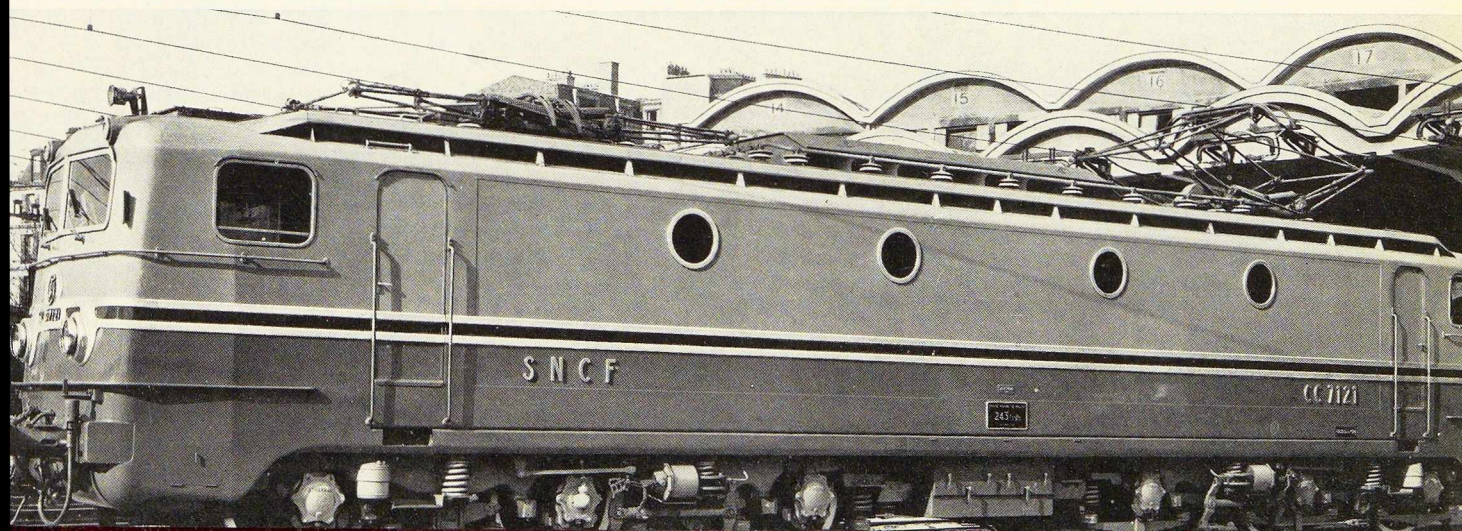
(2) Cette note est extraite de l'article du Capitaine Boucard, paru dans le n° 31-1953 de la Revue *La Ligne à Hommes*.



Dans ses conclusions le Congrès souhaite un large développement des études, recherches et expériences en vue de réduire le coût des logements et d'en améliorer la qualité et l'aspect.

D'autre part, il vient de s'ouvrir au Palais des Beaux-Arts à Bruxelles une exposition ayant comme thème : « Que sera demain Bruxelles ? »

Fig. 8. Locomotive électrique CC 7121 de la S.N.C.F. qui vient d'obtenir le label « Beauté France ».



Bibliothèque

Nouvelles entrées (1)

Système de tables pour une solution rapide, précise et générale de la poutre continue

par A. P. SKAYANNIS

Un ouvrage de 44 pages, format 17 × 25 cm, édité par la Librairie « Technique et Documentation », Paris 1949. Prix : 1 300 francs français.

Les tables présentées par M. A. Skayannis, Ingénieur à Athènes (Grèce) peuvent fournir d'une manière rapide et exacte, la solution générale du problème de la poutre continue qui peut avoir : Un nombre quelconque de travées.

N'importe quelle différence entre les longueurs de ces travées, des moments d'inertie constants dans chaque travée mais qui varient d'une façon quelconque d'une travée à l'autre.

Des charges uniformes variant en grandeur d'une travée à l'autre et qui occupent toute la longueur de la travée.

Des charges concentrées appliquées en des points d'une division décimale de la travée.

Le livre de M. Skayannis sera certainement accueilli avec faveur par les ingénieurs de bureaux d'études.

Procedures in Experimental Metallurgy (Procédés de métallurgie expérimentale)

par A. U. SEYBOLT et J. E. BURKE

Un volume relié de 330 pages format 15 × 23 cm, illustré de nombreuses figures, édité par John Wiley & Sons Inc. New York 1953.

L'ouvrage de MM. Seybolt et Burke s'adresse particulièrement aux ingénieurs chargés de recherches métallurgiques. Les auteurs, spécialisés dans ce genre de recherches ont réuni une documentation solidement étayée sur les méthodes d'obtention des températures élevées et leur mesure, le contrôle de température, les produits réfractaires, les atmosphères contrôlées, les systèmes sous vide, le moulage, les traitements thermiques, la production des métaux, la métallurgie des poudres. Tous les chapitres sont bien illustrés et accompagnés de nombreuses références bibliographiques.

Das Blech und seine Prüfung (La tôle et son contrôle)

par G. OEHLER

Un volume relié de 298 pages, format

(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.

16 × 23 cm, illustré de 258 figures. Edité par Springer-Verlag, 1953. Prix : 25,5 DM.

La tôle occupe une place de plus en plus importante parmi les produits sidérurgiques. Les travaux de recherches ayant trait aux épaisseurs et qualités ont été entrepris dans tous les laboratoires.

Une bibliographie importante figurant à la fin de cet ouvrage renvoie à ces recherches.

L'auteur s'est tout spécialement attaché à montrer la mise en œuvre des appareils de contrôle et de mesure; il passe en revue successivement :

Tôles et feuillards pour emboutissage. — Effet du cisailage et du pliage sur l'emboutissage, le soudage et le brasage. — Mesure des épaisseurs. — Mesure des propriétés mécaniques. — Autres essais (analyse chimique, contrôles non destructifs), etc.

Cet ouvrage, un des plus complets dans ce domaine, rendra de nombreux services à ceux qui sont amenés à contrôler ou à transformer des produits plats.

Strength, safety and economical dimensions of structures (Résistance, sécurité et dimensions économiques des constructions)

par A. I. JOHNSON

Un ouvrage de 168 pages, format 16 × 24 cm, illustré de 43 figures. Edité par le Comité d'Etat pour la Recherche sur le Bâtiment, Stockholm, 1953. Prix : 10 couronnes.

Cet ouvrage traite du calcul des dimensions économiques des constructions, compte tenu de l'incertitude des divers facteurs tels que surcharges, main-d'œuvre et résistance.

Après des considérations théoriques, l'auteur relate les recherches expérimentales effectuées en Suède. Il conclut en montrant comment on doit calculer les dimensions économiques d'une construction.

Metal Industry Handbook Directory (Manuel et livre d'adresses de l'industrie des métaux) 1953

Un ouvrage de 456 pages, format 15 × 22 cm, illustré de plusieurs figures. Edité par Louis Cassier, Co. Ltd., Londres, 1953.

Cet ouvrage qui en est à sa 42^e édition, contient de nombreux renseignements utiles sur les propriétés des divers métaux et alliages, la galvanoplastie, le polissage, etc.

On y trouve en outre une liste d'adresses de firmes britanniques intéressées.

