

# L'OSSATURE MÉTALLIQUE

REVUE MENSUELLE DES APPLICATIONS DE L'ACIER

éditée par

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

38, boul. Bischoffsheim, Bruxelles - Téléph. : 17.16.63 (2 lignes)  
Chèques post. : 340.17 - Adr. télégr. : « Ossature-Bruxelles »

12<sup>e</sup> ANNÉE

N<sup>o</sup> 4 - AVRIL 1947

## S O M M A I R E

Le tube d'acier dans la construction des charpentes, par F. Indaco . . . . .	155
Les constructions de halls industriels, par A. Albrecht . . . . .	161
Essais de corrosion naturelle de longue durée, sur divers aciers de construction, dans l'air atmosphérique et dans différentes eaux de mer et de rivières . . . . .	167
Assemblée générale annuelle du Centre Belgo-Luxem- bourgeois d'Information de l'Acier . . . . .	180
Résolution de systèmes d'équations simultanées à un grand nombre d'inconnues, par W. Kerkhofs . . . . .	187
CHRONIQUE : Le marché de l'acier pendant le mois de février 1947. - Salon de l'agriculture à Bruxelles. - Les clous ont 3.000 ans d'âge. - Activité de l'Institut belge de Normalisation . . . . .	196
BIBLIOTHÈQUE . . . . .	199
BIBLIOGRAPHIE . . . . .	202

COUVERTURE : La photographie de la couverture représente la  
charpente tubulaire du pavillon de la Chimie et de la Santé à la  
Foire de Milan.

ABONNEMENTS 1947 (11 numéros) :

**Belgique, Grand-Duché de Luxembourg, Congo belge** : 160 francs belges.

**France et ses Colonies** : 700 francs français, payables au dépositaire général  
pour la France : Librairie des Sciences GIRARDOT & C<sup>ie</sup>, 27, quai des  
Grands-Augustins, Paris 6<sup>e</sup> (Compte chèques postaux : Paris n<sup>o</sup> 1760.73).

**Etats-Unis d'Amérique et leurs possessions** : 8 dollars, payables à M. Léon  
G. RUCQUOI, Technical Consultant to the Steel and Mechanical Indus-  
tries of Belgium & Luxemburg, 30 Rockefeller Plaza, New York 20, N. Y.

**Autres pays** : 280 francs belges.

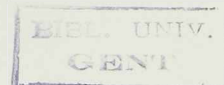
Tous les abonnements prennent cours le 1<sup>er</sup> janvier.

PRIX DU NUMÉRO :

**Belgique, Grand-Duché de Luxembourg, Congo belge** : francs belges 20,- ;  
**France** : francs français 80,- ; **autres pays** : francs belges 35,-.

DROIT DE REPRODUCTION :

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







ARCOS 5674

EN CONSTRUCTION MÉTALLIQUE SOUDÉE


*rien que la*  
**STABILEND**

FORMULE 1946

**ARCOS**

LA SOUDURE ÉLECTRIQUE AUTOGÈNE, S. A.  
58-62, RUE DES DEUX-GARES. - Tél. : 21.01.65 BRUXELLES





*Les constructeurs belges  
exposent  
150 machines - outils  
modernes à la  
**FOIRE de BRUXELLES***

**26 AVRIL - 11 MAI 1947**

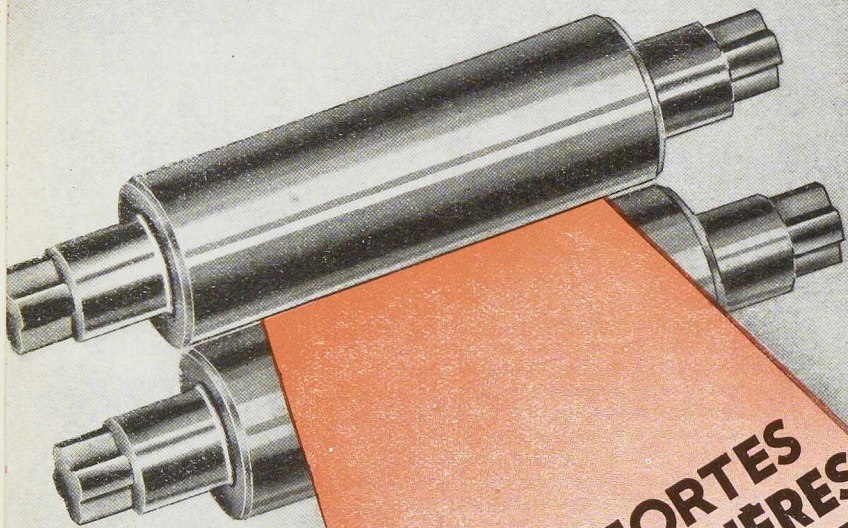
SYNDICAT DES CONSTRUCTEURS BELGES DE  
MACHINES-OUTILS POUR LE TRAVAIL DES METAUX  
COMITE D'EXPORTATION :

17, rue des Drapiers

Télégr. : SYCOMOM - BRUXELLES



# OUGRÉE MARIHAYE

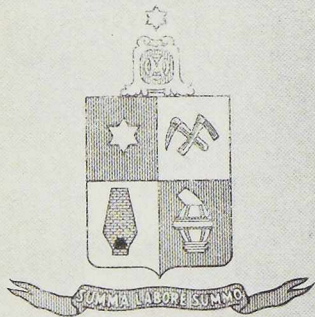


TÔLES FORTES  
TÔLES CHAUDIÈRES  
TÔLES NAVALES  
TÔLES FINES

S.O.M. TÔLES MAGNÉTIQUES S.O.M.

TÔLES EN ACIERS SPÉCIAUX  
ET INOXYDABLES

TÔLES GALVANISÉES  
PLANES ET ONDULÉES



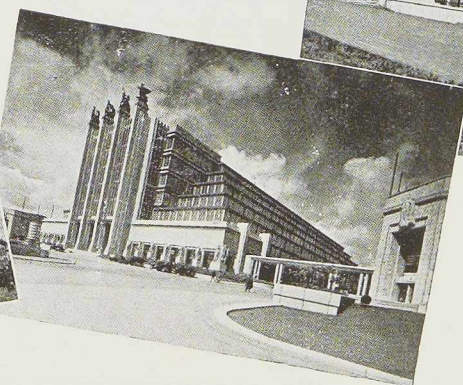
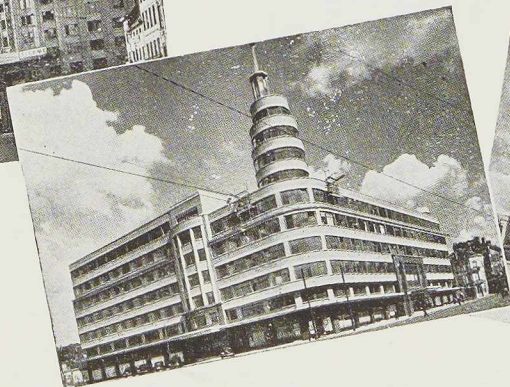
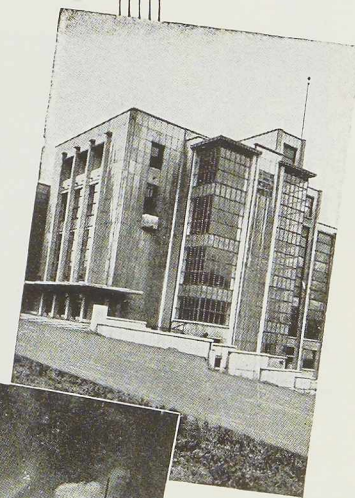
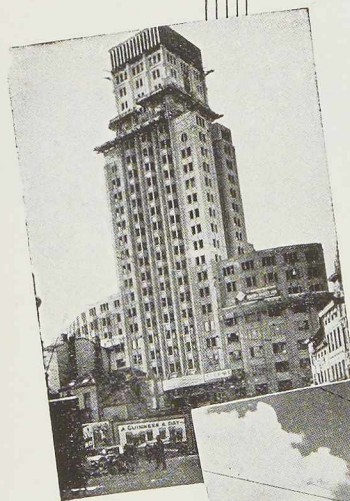
MONOPOLE DES VENTES  
SOCIÉTÉ COMMERCIALE D'OUGRÉE



# FARCOMETAL



Armature - coffrage métallique pour béton armé et lattis métallique léger pour cloisons et plafonds. • Supprime le bois de coffrage et tous ses inconvénients. " Accroche " le béton et les enduits de façon parfaite. Demandez-nous, sans engagement, notre notice détaillée.



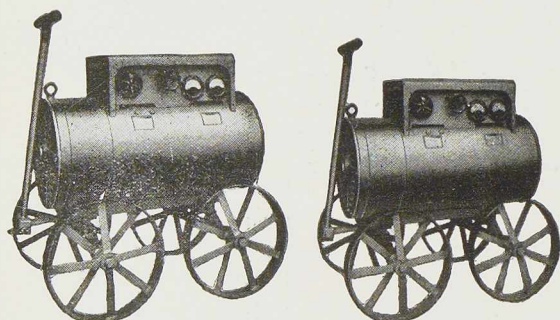
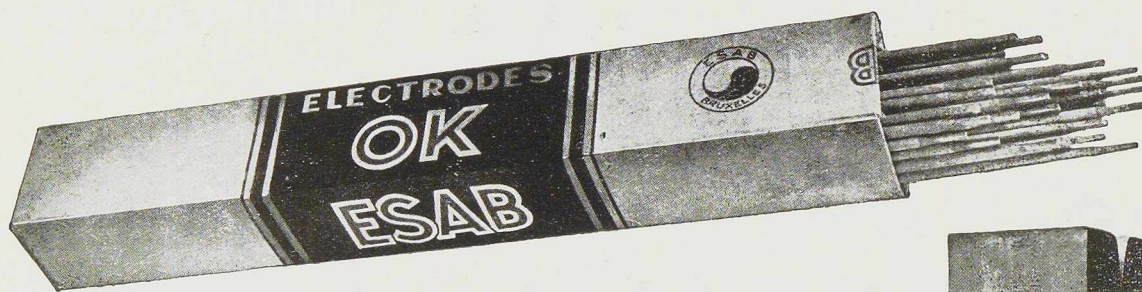
**ATELIERS DE BOUCHOUT & THIRION RÉUNIS**

SIÈGE SOCIAL : 249-253, CHAUSSÉE DE VLEURGAT, BRUXELLES • TEL. 44.48.80 (4 LIGNES)

USINES A BOUCHOUT ET VILVORDE



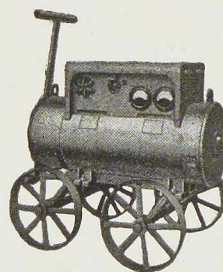
# ELECTRODES POSTES DE SOUDURE



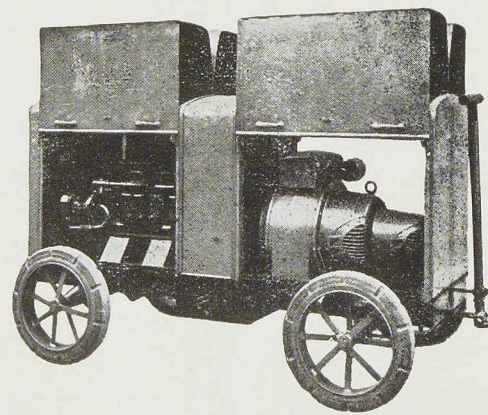
KW 500

KW 350

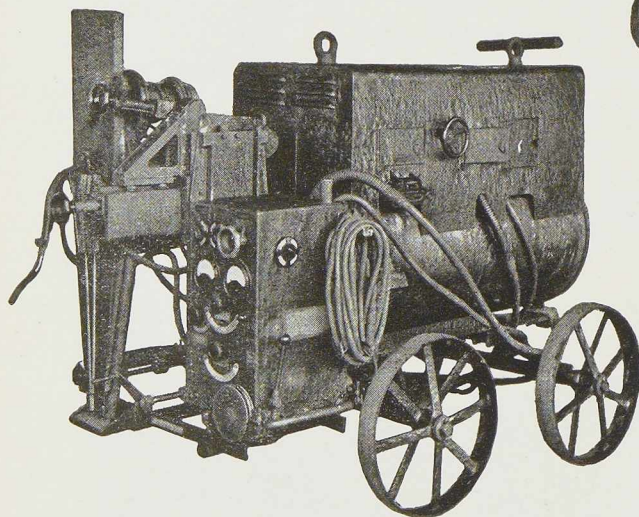
GROUPES ROTATIFS



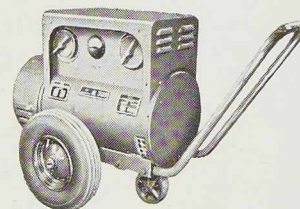
KW 250



GRUPE  
ELECTROGÈNE



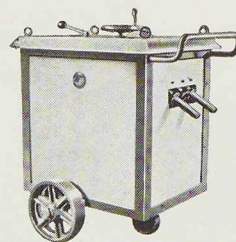
SOUDEUSE AUTOMATIQUE



K 300



K 200



TH 300



TH 200

TRANSFORMATEURS STATIQUES

*40 Années d'expérience à votre service*  
**ELECTRO-SOUDURE AUTOGÈNE BELGE**



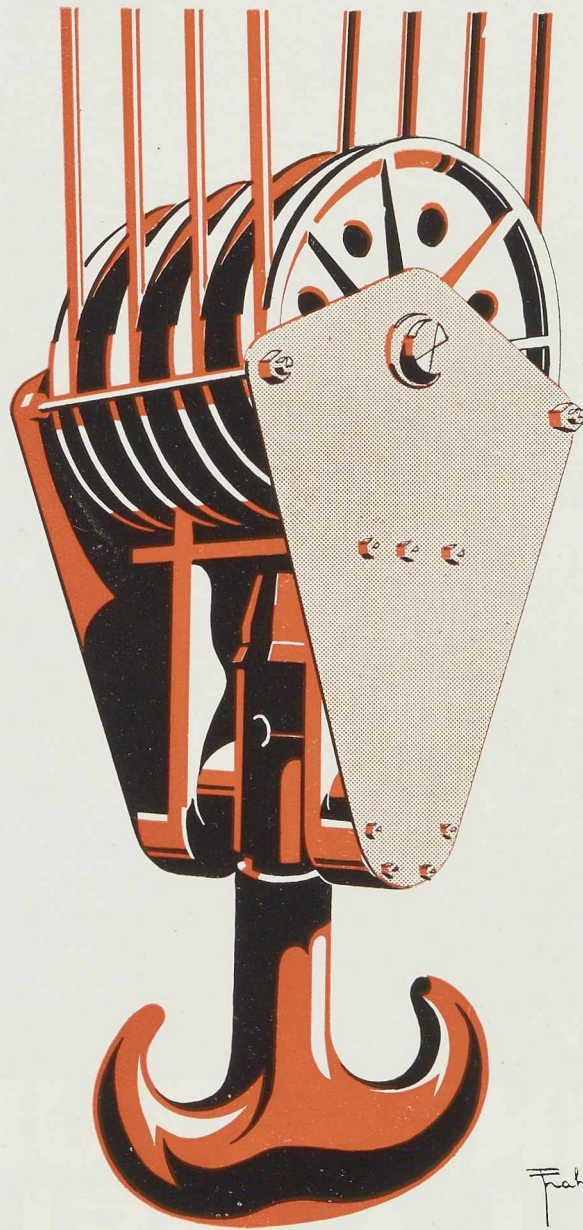
SOCIÉTÉ ANONYME

116 - 118, RUE STEPHENSON — BRUXELLES — TÉLÉPHONE 15.91.26



# LE TITAN ANVERSOIS

H O B O K E N . L E Z . A N V E R S



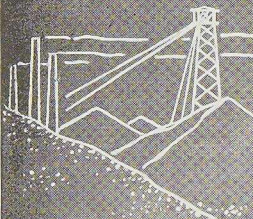
*Fisher*

TOUS APPAREILS DE LEVAGE



# TUBES POUR TOUTES ACTIVITÉS

CHARBONNAGES



CANALISATIONS

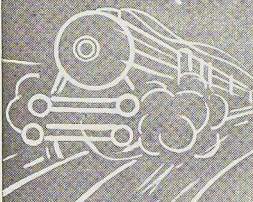


EAU

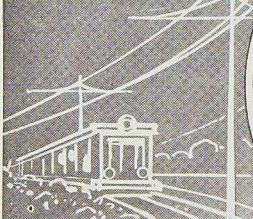


GAZ

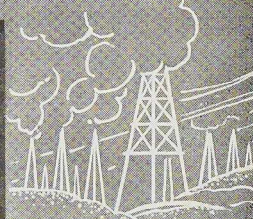
CONSTRUCTION MÉCANIQUE



TRANSPORT DE FORCE



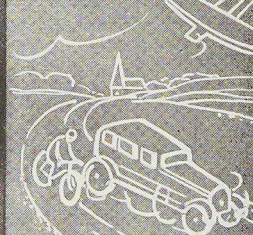
PÉTROLE



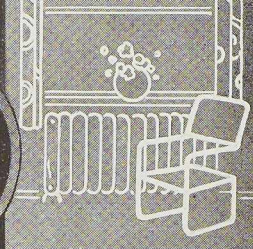
TRAVAUX PUBLICS



SPORTS



LE HOME



TOUS DIAMÈTRES  
DE 3<sup>m</sup>/<sub>m</sub> A 1250<sup>m</sup>/<sub>m</sub>  
ET PLUS

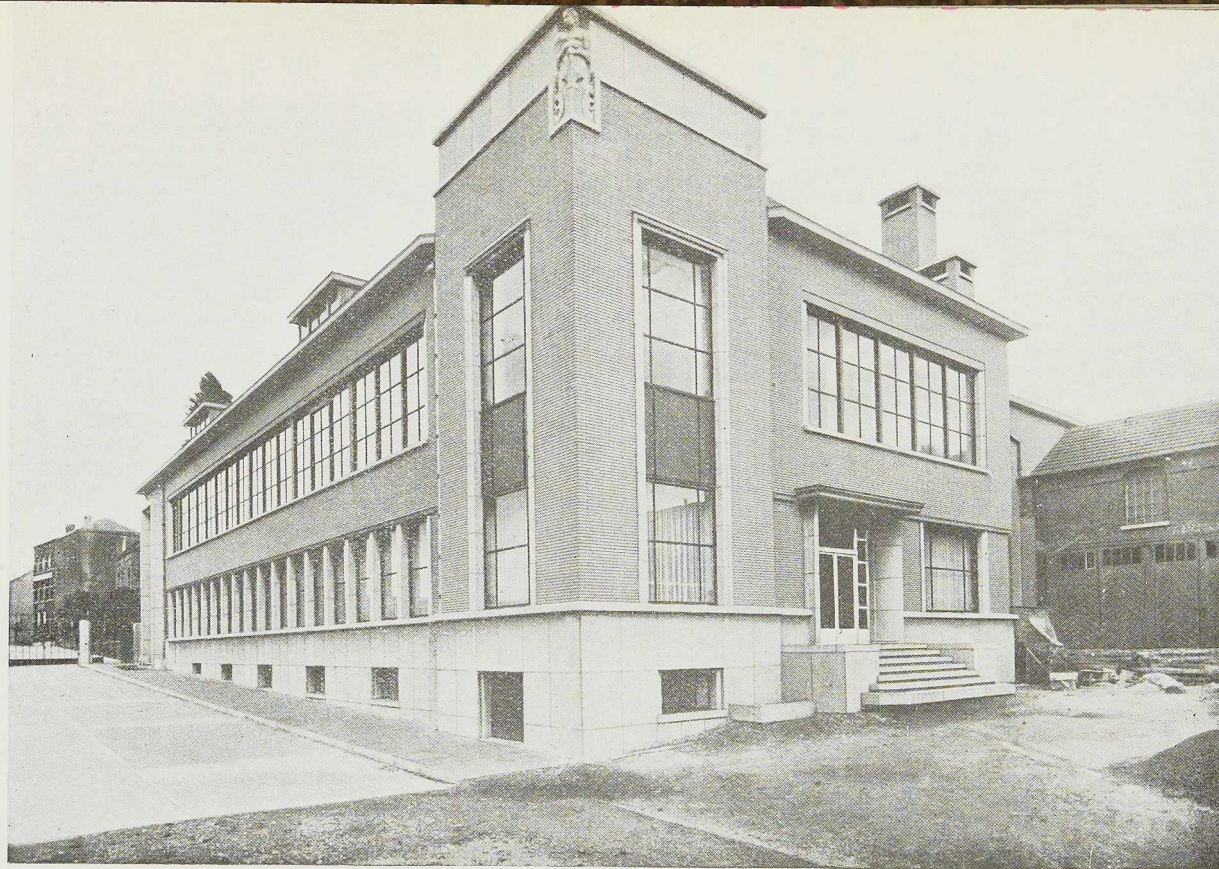


# USINES À TUBES DE LA MEUSE

STÉ AME FLÉMALLE-HAUTE BELGIQUE

SOBELPRO





Bureaux des Ateliers du Thiriau, La Croyère.

SOCIÉTÉ MÉTALLURGIQUE DE BAUME S. A.

# SOMIEBA

TÉLÉPHONES : 279 LA LOUVIÈRE  
15.81.57 BRUXELLES

LA LOUVIÈRE

## MENUISERIES MÉTALLIQUES

CHASSIS, PORTES, CLOISONS EN ACIER  
ANTICORODAL ET BRONZE  
CHAMBRANLES ET TOLERIES  
SABLAGE, PARKÉRISATION

MÉTALLISATION

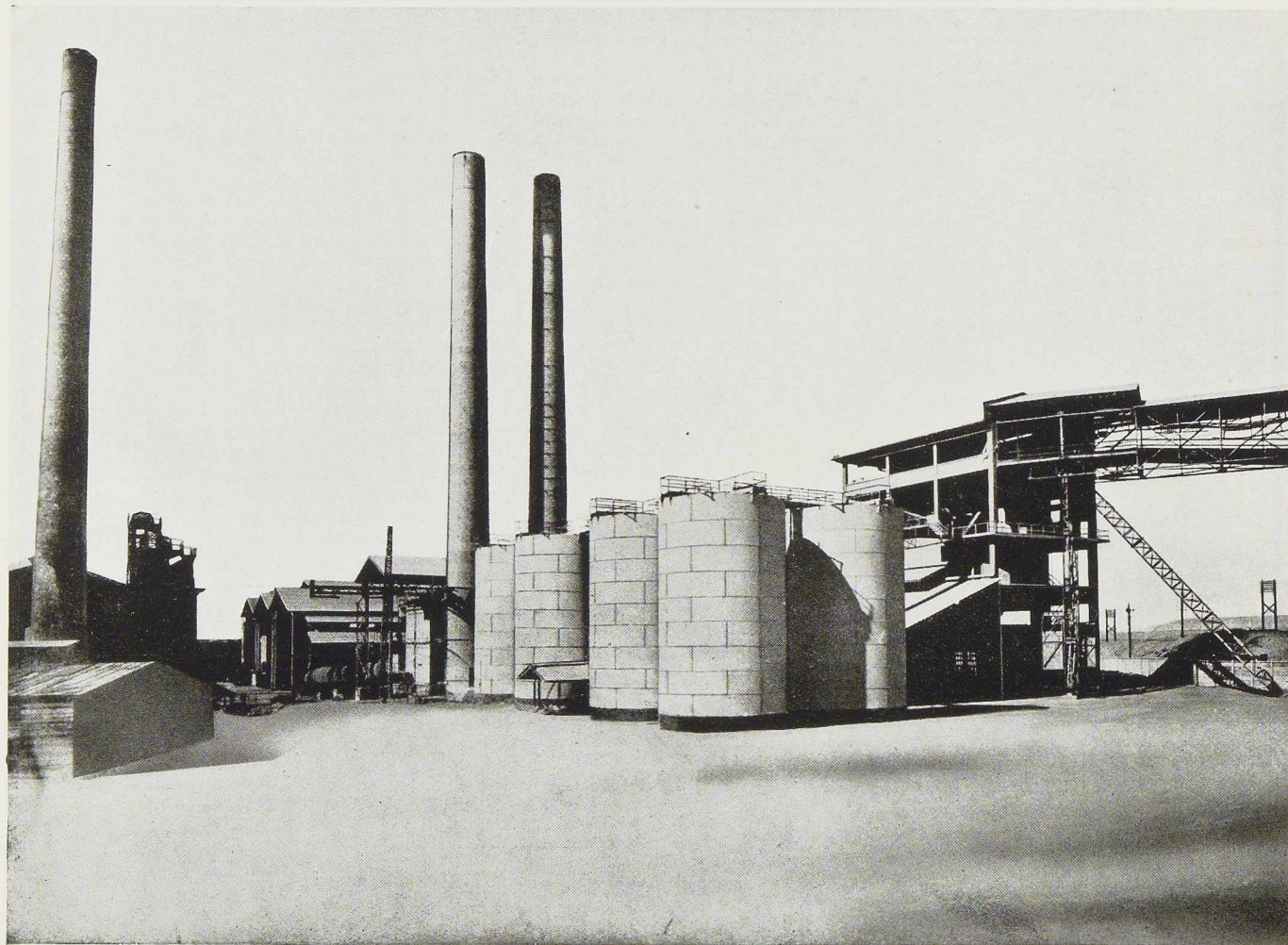
## CONSTRUCTION

CHARPENTES, RÉSERVOIRS  
TUYAUTERIES, POTEAUX  
SOUDURE ÉLECTRIQUE

REGISTRE DE COMMERCE : MONS 378



**SOCIETE ANONYME DES  
ANCIENS ETABLISSEMENTS**



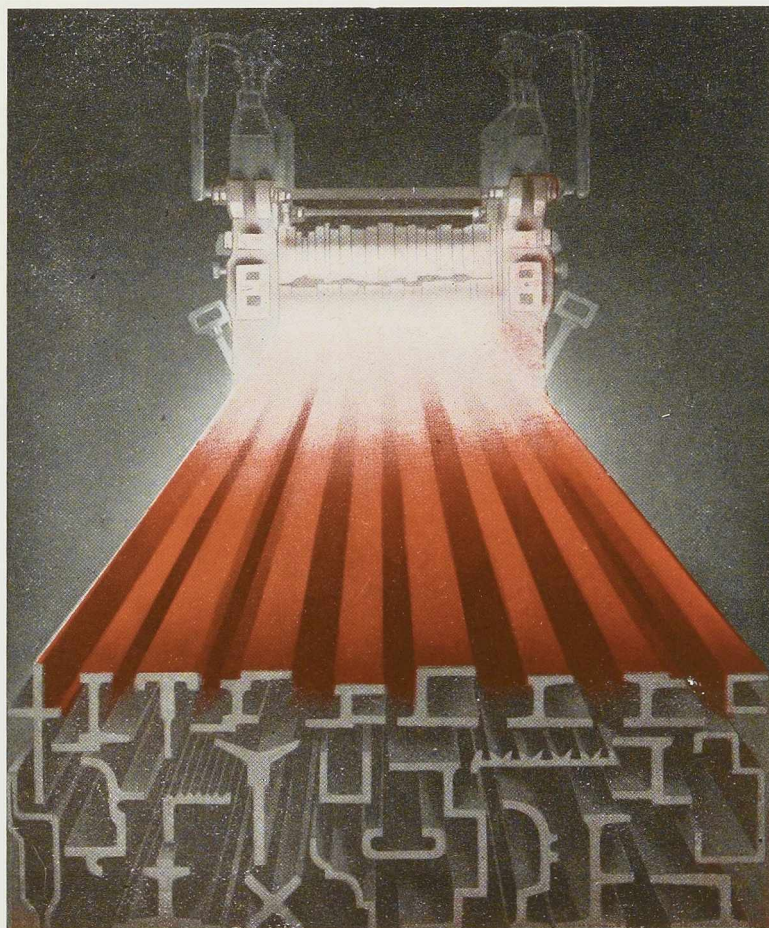
Charpentes métalliques et silos en tôle d'une cimenterie en Egypte. Poids : 650 tonnes

# **PAUL WURTH LUXEMBOURG**

TÉLÉPHONE : 23.22 - 23.23 - 28.52. ADRESSE TÉLÉGRAPHIQUE : PEWECO-LUXEMBOURG

**CONSTRUCTIONS METALLIQUES  
APPAREILS DE LEVAGE  
ET DE MANUTENTION  
FONDERIE D'ACIER  
MECANIQUE GENERALE**





Laminage à chaud

Profilage à froid

Toutes sections  
spéciales en acier

Création rapide de  
nouveaux profilés

Spécialistes en profilés  
pour huisserie  
et châssis métalliques

# LAMINOIRS

# DE LONGTAIN

TÉLÉPHONES : LA LOUVIÈRE 759 et 1527

TÉLÉGRAMMES : LAMILONG La Louvière

CODES : Bentley et Acme.

Société Anonyme

LA CROYÈRE (BELGIQUE)





PAL

CO

COMP

MEHLEN



# PALPLANCHES BELVAL

Le nouveau programme des profils ondulés de l'usine de Belval comprend :

1. **Profils normaux »N«** — Profils d'un module de 700 à 2350 cm<sup>3</sup> pouvant suffire pour la plupart des travaux courants. Ces profils, laminés en cycle régulier par l'usine, sont livrables à très court délai.

2. **Profils renforcés »R«** — Profils normaux renforcés spécialement par rapport aux ailes et à la diagonale. Ces profils sont désignés pour le battage dans des terrains difficiles et là où une plus grande sécurité contre la corrosion est requise.

3. **Profils spéciaux.** — Dans ce groupe sont classés tous les autres profils d'une application moins fréquente. Leur laminage est sujet à l'accord préalable de l'usine.

Profitant d'une longue expérience, l'usine de Belval a perfectionné l'emboîtement des profils **Belval - Z** en se basant sur une conception nouvelle. Une plus grande solidité a été réalisée par une modification des bourrelets et par le renforcement de leurs tenants à la base ; en plus, les bourrelets ont été arrondis à la pointe de façon à obtenir un enfilage et un glissement plus faciles.

Une brochure spéciale donnant des indications détaillées sur les trois types de profils ondulés :

Belval-Z, Terres Rouges et Belval-O est envoyée sur demande.

Pour la Belgique, s'adresser à

**LA BELGO-LUXEMBOURGEOISE S.A.**

11, QUAI DU COMMERCE, BRUXELLES

Tél. 17.22.46 - Adr. Tél. BELGOLUX BRUXELLES



# OLUMETA

COMPTOIR MÉTALLURGIQUE LUXEMBOURGEOIS S.A. LUXEMBOURG



§



TRIAGE LAVOIR - CHASSIS A MOLETTES - CADRES DE MINE, ETC.  
WAGONS CHARBONNIERS - AUTODÉCHARGEURS - A BENNES, ETC.  
WAGONNETS DE MINES

# NOBELS-PEELMAN

ST NIKLAAS

BRUGGEN - GEDINTEN - IJZERKETELMAKERIJ - SPOORWEGMATERIAAL



### Le tube d'acier dans la construction des charpentes <sup>(1)</sup>

par **Francesco Indaco**,

Ingénieur à la S. A. Dalmine (Italie).

#### Avantages du profil tubulaire

L'emploi du tube d'acier comme élément constructif est récent. Au début, les tubes d'acier n'ont été employés que sous la forme de poteaux ou de piquets verticaux d'une seule pièce; puis on a utilisé des tubes de faible diamètre pour monter des échafaudages légers, assemblés par manchons vissés, rapidement démontables et sans perte. Depuis quelques années et au fur et à

(1) L'ingénieur F. Indaco a publié la présente étude dans la revue italienne *L'Ingegnere*, n<sup>o</sup> 7-1946, avec l'obligeance de laquelle nous la reproduisons. *L'Ossature Métallique* a déjà consacré plusieurs articles aux constructions tubulaires, voir notamment l'étude du regretté professeur St. Bryla (n<sup>o</sup> 1-1934).

mesure du développement de la soudure, les tubes d'acier sont employés comme treillis et contreventements dans les constructions métalliques, aussi bien pour les arcs et les fermes que pour les poutres droites et les poteaux. La section circulaire ou même carrée des tubes présente des avantages par rapport à toute autre section pour la résistance aux charges concentrées. Grâce à la constance du moment d'inertie par rapport à n'importe quelle direction, les constructions tubulaires permettent d'adopter une section plus faible que celle d'autres profils sous l'effet des mêmes charges. C'est là un avantage fort appréciable, car il conduit à une importante économie du métal.

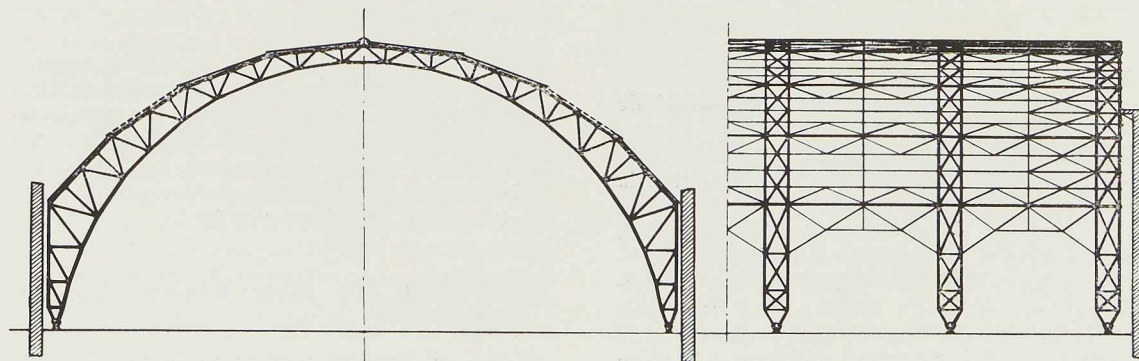
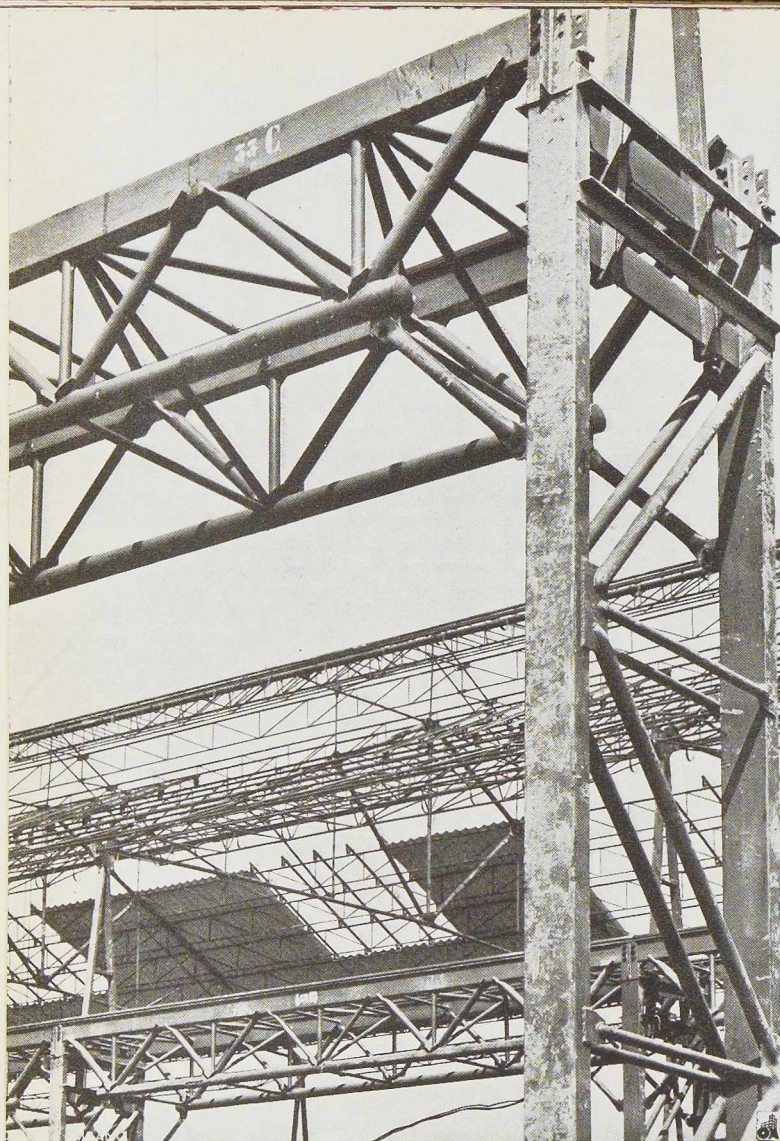


Fig. 204. Charpente tubulaire en arc à deux articulations.





**Fig. 205.** Constructions industrielles en tubes d'acier. Détail d'assemblage des poteaux et des poutres.

(Photo Crimella.)

A cet intéressant avantage purement géométrique du profil tubulaire s'ajoute la facilité de pouvoir obtenir une gamme étendue de dimensions, même en faibles tonnages unitaires. Cela permet de choisir, dans chaque cas, la section la mieux appropriée et d'exploiter le matériau au maximum sous l'effet des sollicitations en jeu. D'autres avantages accessoires, mais non négligeables des constructions tubulaires, sont constitués par une meilleure résistance au vent, une plus grande facilité de peinture, étant donné l'absence d'angles et d'autres anfractuosités et un encombrement extérieur des éléments très réduit.

La construction d'ouvrages complexes, composés de profils de différentes dimensions, ne présente pas d'obstacles, car il est possible d'obtenir facilement les diverses sections nécessaires et cela, dans la nuance voulue. Lorsqu'elles sont rationnellement étudiées, les constructions tubulaires permettent de réaliser des économies de métal pouvant atteindre jusqu'à 25 % ou même 35 %, par rapport aux constructions en profils laminés.

#### Aciers employés

Suivant la nature et l'intensité des sollicitations, on emploie, pour les constructions tubulaires, différents types d'aciers. En Italie, on utilise le plus souvent les nuances suivantes :

Nuance	Résistance à la rupture kg/mm <sup>2</sup>	Limite élastique kg/mm <sup>2</sup>	Tension admissible kg/mm <sup>2</sup>
Aq 35 UNI	35-45	22	14
Aq 55 UNI	55-65	34	24
Cr-Mn-Cu	55-65	50	36

De ces trois types, celui qui est employé le plus souvent est l'acier Aq 55. Cet acier au carbone possède une résistance élevée; il est par ailleurs soudable.

L'acier au Cr-Mn-Cu est employé dans les constructions tubulaires soumises à des sollicitations élevées. Les qualités maîtresses de cette nuance sont : une haute résistance et haute limite élastique, ainsi qu'une résilience élevée; par ailleurs, son prix de revient est intéressant, car il ne dépasse que *légèrement* le prix des aciers au carbone.

#### Assemblages

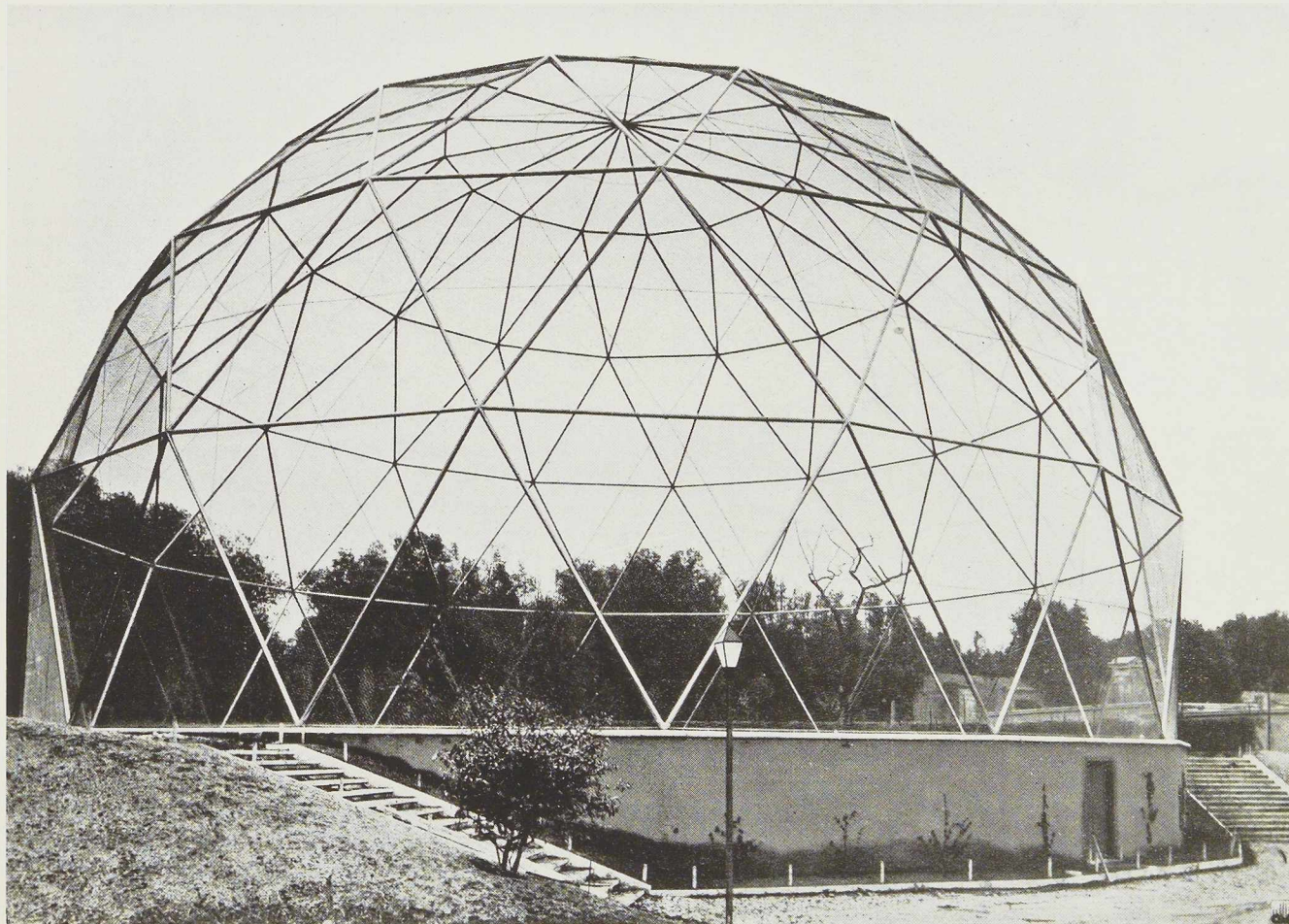
Le profil tubulaire, à cause de sa forme particulière, ne se prête pas bien à l'assemblage classique par rivure des constructions en profils laminés. Le développement des constructions en tubes d'acier est lié directement à l'application de la soudure, aussi bien des tubes entre eux que des tubes sur des pièces profilées.

#### Applications des tubes d'aciers dans les constructions

Grâce au perfectionnement de la technique de la soudure, désormais, tous les problèmes essen-







**Fig. 206.** Vue d'ensemble de la volière pour oiseaux de haut vol du Jardin zoologique de Rome. La volière, en acier inoxydable au chrome-nickel, a un diamètre de 30<sup>m</sup>22 et une hauteur de 18<sup>m</sup>07.

tiels de l'emploi du tube d'acier dans les ouvrages et les charpentes sont complètement et heureusement résolus. Le champ d'application du tube d'acier s'élargit constamment. Les ingénieurs italiens se sont attachés, depuis de nombreuses années, à l'étude et au développement des constructions en tube d'acier. Pendant la guerre, ils ont dû négliger ces intéressants problèmes, mais dès la fin des hostilités, leur attention s'est de nouveau portée vers ces questions.

La nécessité de réparer les énormes destructions causées par la guerre, incite à examiner la possibilité d'étendre les applications des constructions tubulaires dans les domaines de plus en plus vastes, tels que : appareils de levage, ponts,

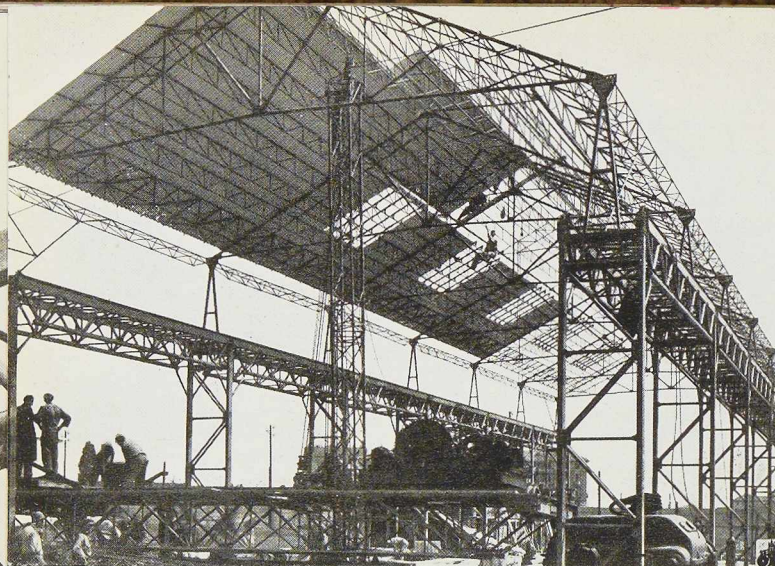
hangars industriels, ossatures de maisons d'habitations, etc.

#### **Hangars industriels et toitures**

Parmi les nombreux hangars construits jusqu'ici, les quatre pavillons fournis par la Société Dalmine à la Foire de Milan méritent une mention spéciale.

Le Pavillon de la Chimie et de la Santé, ainsi que le Pavillon des Sports offrent un exemple remarquable de l'emploi des tubes d'acier. Ces pavillons ont joui d'une faveur particulière des visiteurs à la Foire de Milan. Leur ossature est constituée par des arcs à trois rotules de section





**Fig. 207.** Hall industriel en tubes d'acier, en cours de montage. (Photo Crimella.)

triangulaire. Grâce aux contreventements dans les deux sens, la construction constitue un ensemble extrêmement robuste.

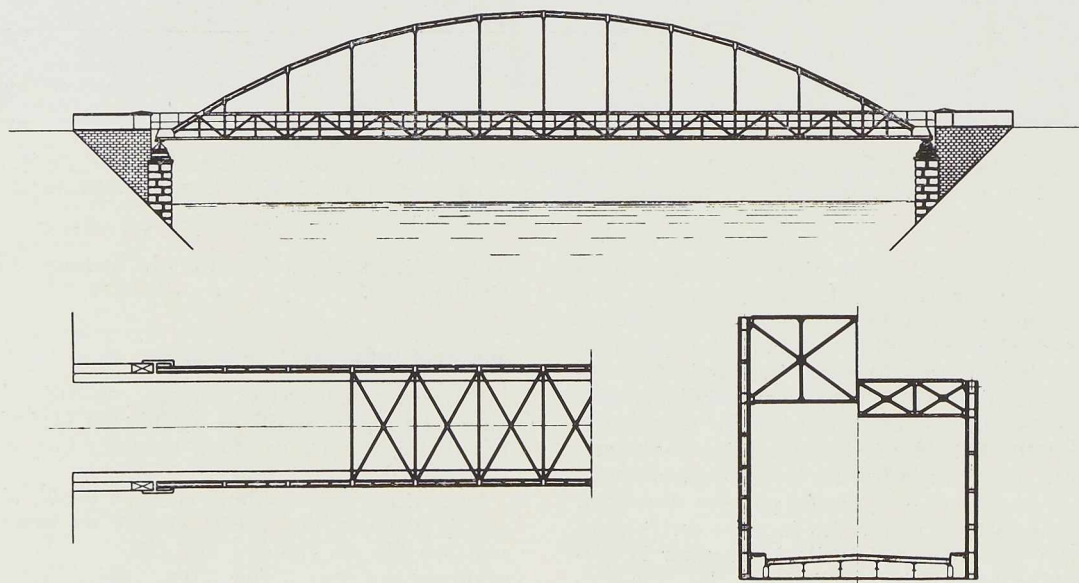
Une poutre triangulée en tubes d'acier est plus légère qu'une poutre à panneaux rectangulaires, soit par suite de la suppression des contrevente-

ments de la bride inférieure, soit parce que le coefficient d'éclatement de l'unique membrure inférieure est plus faible dans les poutres triangulaires que dans les poutres d'arcades. Nous avons cru opportun de donner une brève description de la construction adoptée pour le Pavillon de la Chimie et de la Santé de la Foire de Milan, en démontrant la facilité avec laquelle le tube d'acier se prête à la réalisation d'ouvrages industriels. Pour cette construction, on a utilisé l'acier :

Aq 55 UNI dans les éléments portants et l'acier;

Aq 35 UNI dans les pièces de contreventement.

Le poids de surface couverte se situe aux environs de  $15 \text{ kg/m}^2$  et pourrait être réduit éventuellement à  $13 \text{ kg/m}^2$ . La couverture peut être en verre, en feuilles d'aluminium ondulé ou en éternit. Nous donnons, en outre, une brève description d'un autre type de charpentes industrielles dont quelques exemplaires ont été récemment réalisés par la Société Dalmine pour la S. A. F. I. M. de Milan (fig. 205 et 207). Les charpentes en question avaient une largeur de 12 mètres et une longueur de 44 mètres. Elles sont constituées par une série de fermes.



**Fig. 208.** Projet pour un pont à une travée en arc, en tubes d'acier.





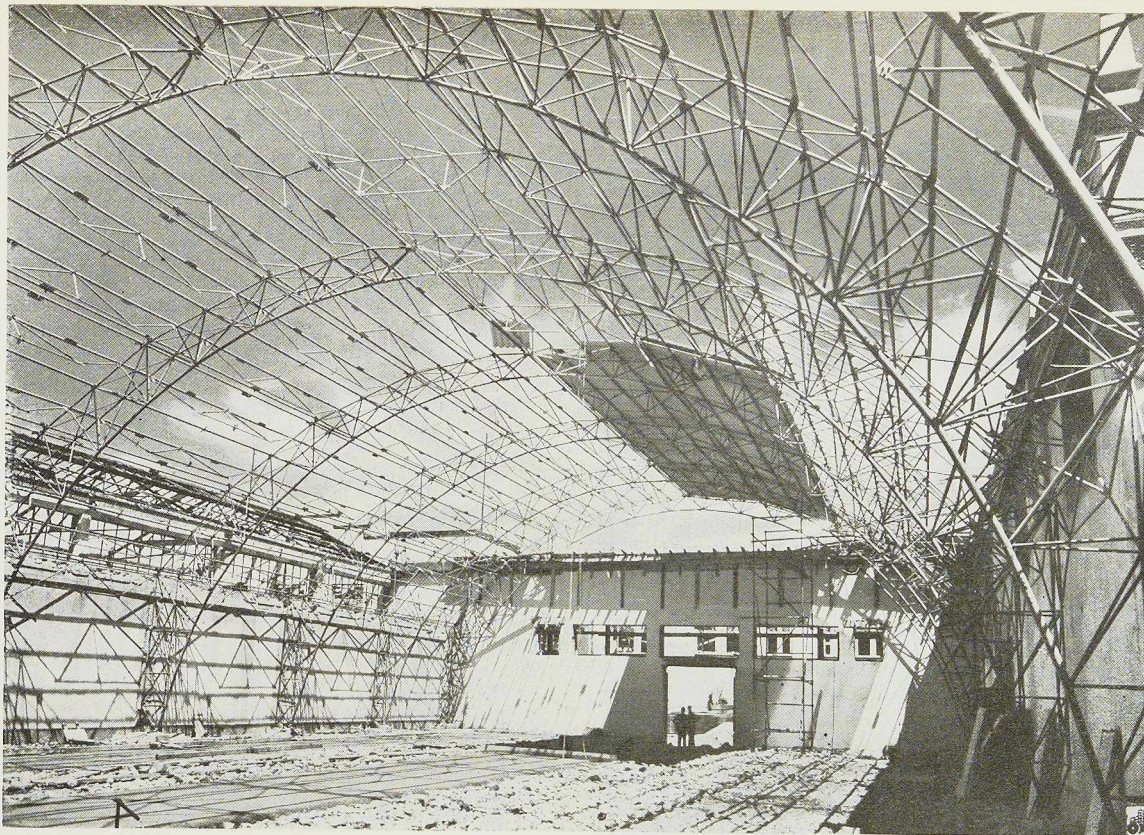


Fig. 209. Charpente tubulaire du pavillon de la Chimie et de la Santé à la Foire de Milan (Italie).

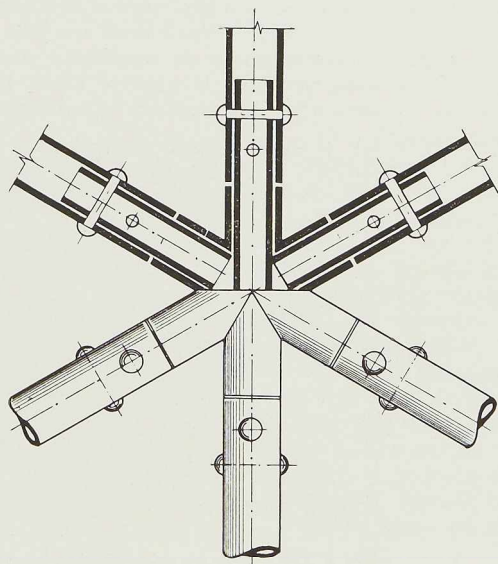


Fig. 210. Détail d'un nœud de la volière du Jardin zoologique de Rome, représentée à la figure 206, p. 157.

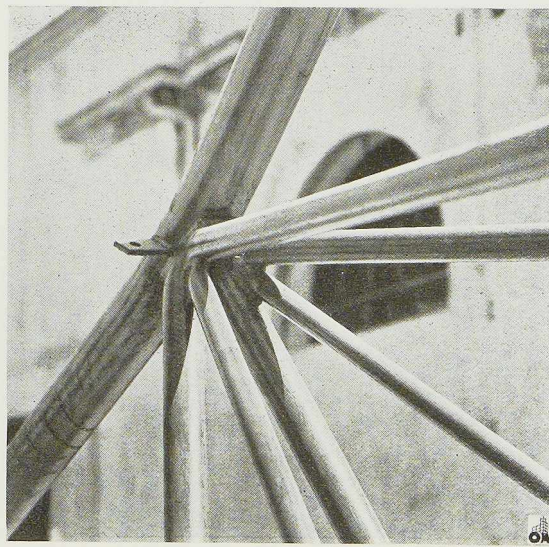
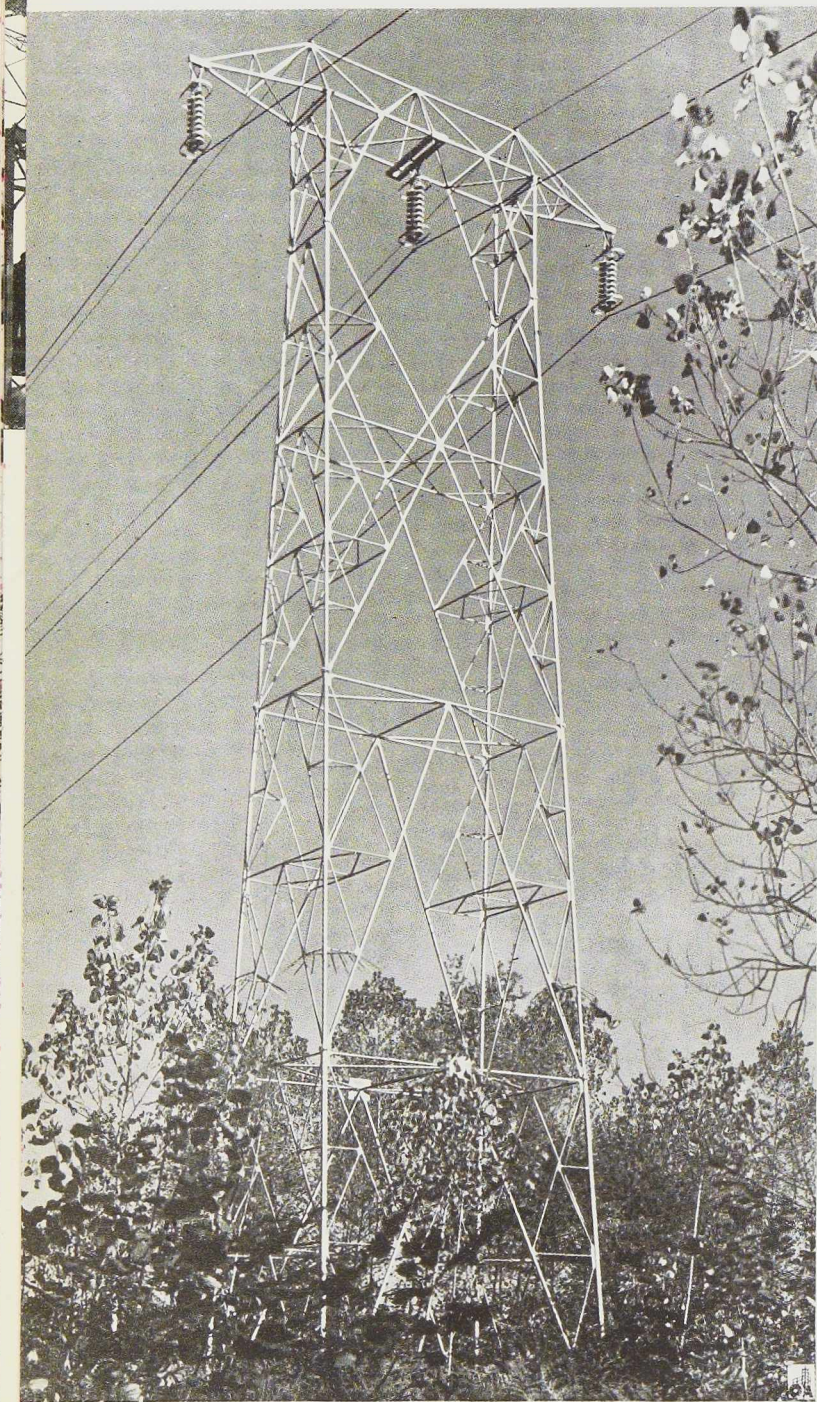


Fig. 211. Nœud en tubes d'acier montrant la simplicité d'assemblage de ce genre de construction.  
(Photos Crimella.)





**Fig. 212.** Pylône en tubes d'acier pour le transport de l'énergie électrique. Hauteur du pylône : 32<sup>m</sup>50.

La couverture est assemblée par soudure aux poutres de raidissement et l'ensemble est complété par des pièces de contreventement. A la hauteur d'environ 6 mètres, on a établi un chemin de roulement en tubes d'acier destiné à des ponts roulants de 10 et 15 tonnes. Le poids total par mètre carré de toute la construction métallique est d'environ 55 kilos, chiffre sensiblement inférieur à celui des toitures en profilés ordinaires.

Tous les assemblages de la construction décrite ci-dessus ont été réalisés par soudure à l'arc électrique; enfin, toutes les pièces importantes de la construction ont été exécutées en acier Aq 55 ayant une résistance à la rupture de 55 à 65 kg/mm<sup>2</sup>. Les figures 210 et 211, représentant des nœuds en tubes d'acier, montrent la simplicité d'assemblage que permet la construction tubulaire, même lorsque plusieurs profils se rencontrent au même point.

#### Autres ouvrages en tubes d'acier

Un autre champ d'application pour les constructions tubulaires est fourni par les appareils de levage et de manutention. Pour ces engins, parmi les avantages indiqués précédemment, il faut citer notamment l'économie de poids. La réduction des organes mécaniques et électriques qui en résulte conduit à un prix de construction moins élevé et à un coût d'exploitation moindre.

Les tubes d'acier auront également un rôle à jouer dans la reconstruction de nombreux ponts détruits en Italie pendant la guerre, ainsi que dans la construction des maisons d'habitation pour sinistrés <sup>(1)</sup>.

Les tubes d'acier trouvent, par ailleurs, une application dans les pylônes pour le transport de l'énergie électrique. La légèreté des profils tubulaires est particulièrement appréciée pour l'installation et le montage des pylônes dans les régions montagneuses.

L'examen des constructions érigées à la Foire de Milan, qui se distinguent d'autres ouvrages similaires par leur légèreté et leur élégance, mettent en relief les services que les constructions tubulaires peuvent rendre aux ingénieurs du génie civil. Leur faveur va grandissant tous les jours et il n'est pas exagéré de dire qu'elles constituent une étape décisive dans le progrès des ouvrages en acier.

F. I.

<sup>(1)</sup> Un exemple d'une maison à ossature tubulaire est donné par la maison Coventry décrite dans *L'Ossature Métallique*, n° 5/6-1946.





# La construction de halls industriels <sup>(1)</sup>

par A. Albrecht.

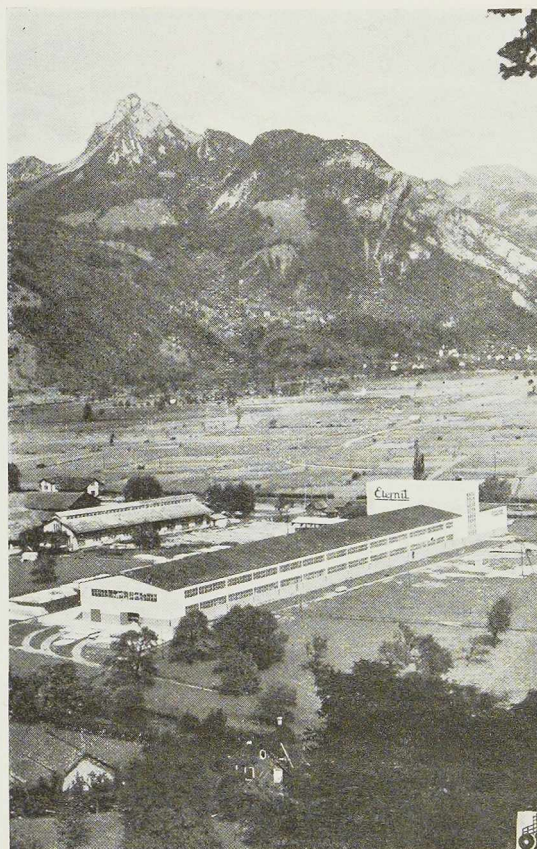


Fig. 213. Usines à Niederurnen.

Photo Schönwetter.

L'emploi de l'acier pour la construction des halls industriels constitue une application de la charpente métallique particulièrement judicieuse.

Le hall industriel à ossature métallique ne nécessite, par suite de la résistance très élevée de l'acier, que de faibles sections des éléments portants. Un autre avantage important consiste dans la possibilité de modifier ou de renforcer ultérieurement l'ossature pour l'adapter à des efforts supplémentaires ou à tout changement dans la destination du hall. De plus, l'ossature métallique présente toutes les facilités pour la pose des canalisations et des raccords. En cas de nécessité on peut également démonter l'ossature pour la reconstituer ailleurs, et ceci sans grande difficulté, notamment lorsque l'assemblage est boulonné (fig. 222 à 224).

Les croquis de la figure 214 représentent quel-

<sup>(1)</sup> Cette étude a paru dans la publication suisse *Stahlbau-Bericht*, n° 3, mars 1946.

ques-unes des nombreuses variantes possibles. Ces réalisations nous montrent la tendance actuelle qui consiste à édifier la construction industrielle envisagée non pas du seul point de vue utilitaire, calculée conformément à la résistance des matériaux et à la stabilité des constructions, mais également au point de vue esthétique. De ce fait, on accorde la préférence aux réalisations à âme pleine et ce n'est que pour les grandes portées que la construction à ossature apparente en treillis trouve son emploi.

Les facteurs principaux, influençant le dessin de la coupe transversale d'un hall industriel, sont :

- a) La disposition des vitrages dans la toiture et les murs (pour l'éclairage naturel);
- b) La conception de la toiture et l'évacuation des eaux pluviales;
- c) L'installation des ponts roulants;
- d) La portée entre points d'appui.





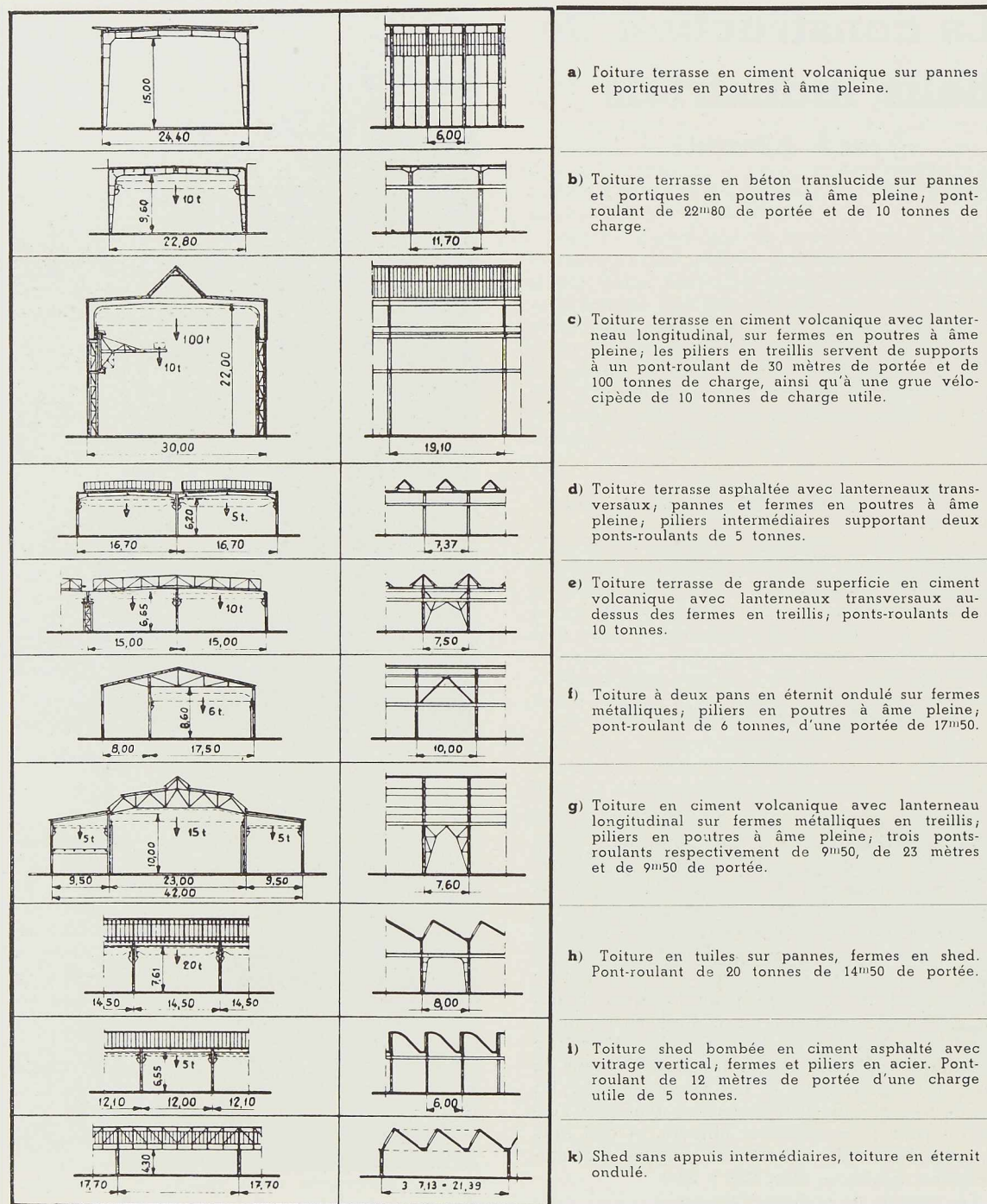
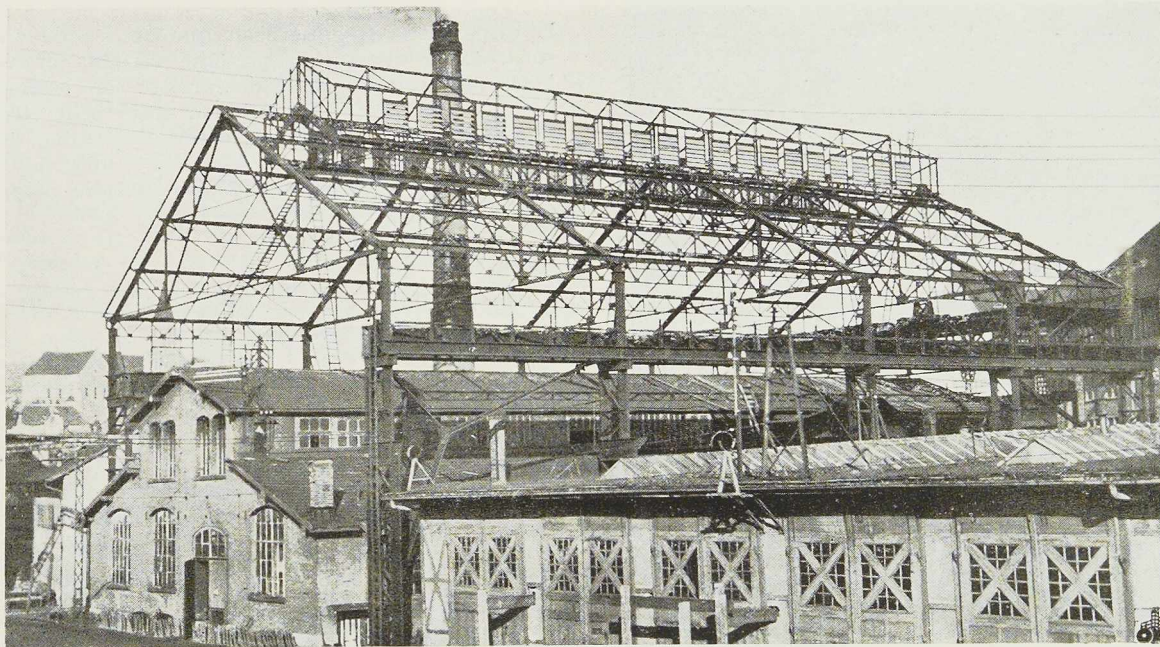


Fig. 214. Schémas d'exécution de quelques types de halls industriels.

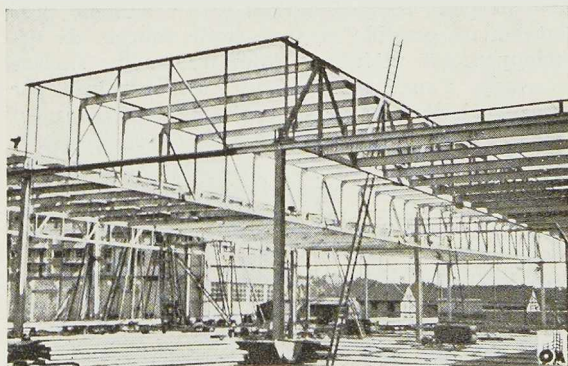






**Fig. 215.** Nouveau bâtiment des forges de la Société Industrielle de Neuhausen; la construction de ce bâtiment n'a pas exigé d'interruption du travail dans l'ancien atelier existant en dessous.

L'isolation thermique des parois extérieures est calculée actuellement suivant des bases scientifiques. Tous les détails d'exécution, tels que raccordement des lanterneaux à la toiture doivent être conçus en liaison étroite avec la conception de l'ossature métallique.



**Fig. 216.** Charpente du dépôt des voitures de tramway de la ville de Zurich-Oerlikon (en cours de montage).

#### Eclairage par la toiture

Les dimensions et emplacements des fenêtres furent choisis d'une manière empirique pendant très longtemps. Actuellement, les théories de l'éclairage sont suffisamment poussées pour calculer les déperditions de la lumière, déperditions d'ailleurs facilement contrôlables au moyen de luxmètres. Les facteurs modifiant cette déperdition sont :

Dimensions, emplacements et inclinaisons des vitrages;

Ecartement entre les châssis;

Nature et état de propreté des glaces.

Les systèmes les plus couramment utilisés en Suisse sont :

1° Lanterneaux transversaux, ceux-ci pouvant être placés au-dessus des poutres transversales (fig. 214e) ou bien entre deux maîtresses-poutres ou portiques successifs (fig. 214d);

2° Lanterneau longitudinal, solution souvent adoptée aux Etats-Unis. L'emplacement de celui-ci peut être dans l'axe du bâtiment (fig. 214e et g) ou exécuté au-dessus de la panne-faîtière (fig. 214g);

3° Toiture en shed, la partie vitrée pouvant





**Fig. 217.** Montage d'un hall de la Société B. B. C. (Suisse).  
(Cliché V. S. B.)

être conçue avec (fig. 214*k*) ou sans treillis apparent (fig. 214*h* et *i*). La figure 218 montre une telle réalisation avec treillis apparent donnant un aspect esthétique heureux, par suite de l'emploi de barres rondes de faible diamètre. A condition de choisir une couleur claire pour la sous-toiture, la toiture en shed permet d'augmenter la luminosité par réflexion.

Il existe également des dispositifs combinés de lanterneaux transversaux et longitudinaux. On a tendance, de plus en plus, à employer le plan vertical comme plan d'éclairage, aussi bien pour

**Fig. 218.** Vue d'une charpente en shed des Ateliers Stehli à Obfelden.  
(Cliché V. S. B.)



la disposition en lanterneau que pour celle en shed. Cette disposition présente certains avantages, bien que la perte de lumière soit légèrement augmentée; mais le verre armé peut être remplacé par des verres à vitres; l'exécution et l'entretien sont facilités et les ouvrants plus faciles à placer et à manœuvrer; enfin la neige n'a pas d'influence sur l'éclairage.

### Toitures

Pour la construction métallique, les dispositifs suivants sont généralement utilisés :

a) Toitures inclinées : tuiles, plaques d'éternit, tôles ou éternit ondulé, zinc, cuivre et aluminium;

b) Plates-formes : ciment volcanique, feutre asphaltique, zinc, cuivre et aluminium.

Les éléments portants sont constitués des matériaux suivants : bois, béton armé, béton de bims, hourdis et briques creuses, etc.

### Ponts roulants

La section transversale du bâtiment est pratiquement déterminée par les caractéristiques des ponts roulants : charges, hauteur de levage et portée. Ces caractéristiques sont imposées par le genre de fabrication. On utilise dans certains cas, afin de décharger le service du pont roulant principal, des grues consoles ou des grues vélocipèdes (fig. 214*c*).

La portée est généralement comprise entre 6 et 10 mètres, bien que des portées plus grandes ne présentent aucune difficulté en construction métallique.

### Portée entre points d'appui

L'écartement entre les piliers limitant la portée du pont roulant devrait être calculé le plus largement possible afin de tenir compte de développements ultérieurs. Pour une même surface couverte, l'augmentation de frais entraînée par rapport à l'ensemble du prix de revient, n'est d'ailleurs guère importante.

### Stabilité horizontale de l'ossature

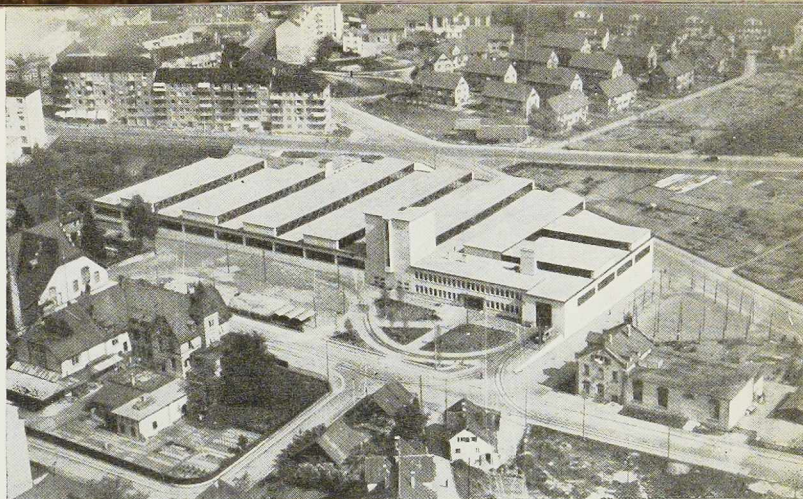
En plus des charges verticales (charge permanente, neige, ponts roulants et charges utiles), l'ossature métallique doit également résister aux charges horizontales (vents, efforts de freinage du pont roulant, etc.). Longitudinalement, le contreventement est réalisé dans et par les murs latéraux, ainsi que par des entretoises reliant les piliers entre eux de manière à former des portiques ne gênant en rien l'activité industrielle (fig. 214).



Latéralement, le contreventement est réalisé par divers procédés constructifs tels que :

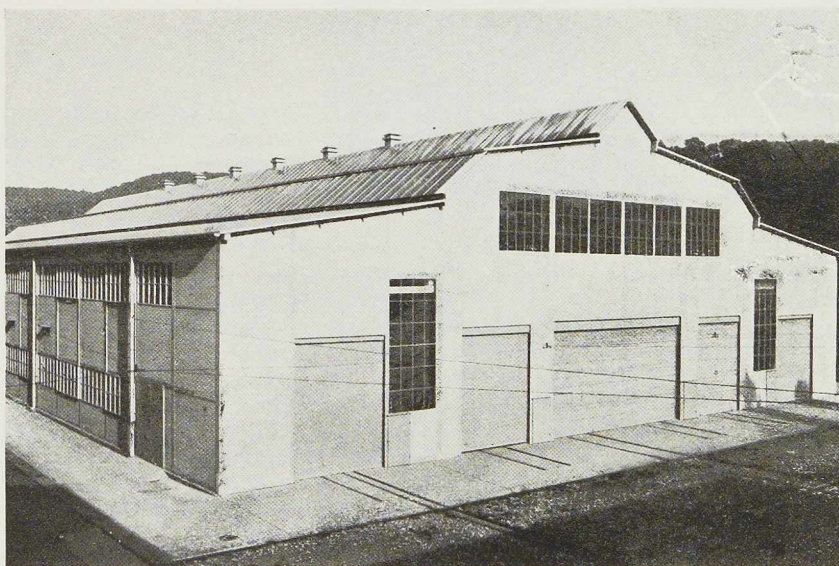
a) Encastrement des piliers dans les fondations, ou constitution de nœuds rigides entre les piliers et les poutres, ou bien encore une combinaison de ces deux procédés;

b) Sans encastrement, les têtes des colonnes étant reliées horizontalement par un contreventement en croix sur une partie ou sur toute la longueur du bâtiment, ce contreventement est encasturé dans les pignons et les murs latéraux. Cette disposition permet de réduire au minimum le poids de la charpente métallique, ainsi que



(Photo Swissair.)

**Fig. 219.** Vue d'ensemble d'un dépôt de voitures des tramways de Zurich-Oerlikon.



**Fig. 220.** Hall de montage de la Société Industrielle Suisse à Neuhausen.

(Cliché V. S. B.)

**Fig. 221.** Atelier de réparation des voitures automobiles postales à Stockacker, construit par la Société Wartmann et Cie, Brugg.

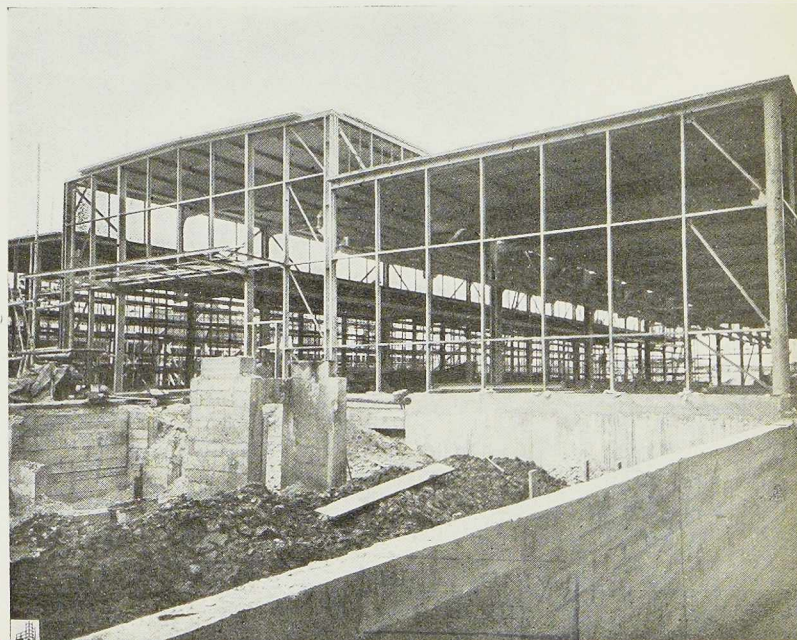
(Photo Hans Steiner.)

l'importance des fondations. Elle n'est toutefois utilisable que pour des bâtiments d'une longueur limitée, ne possédant pas de pont important. D'autre part, cette disposition ne permet pas un allongement ultérieur du bâtiment.

#### **Durée de la construction**

Une estimation rapide peut être obtenue en évaluant le poids de l'ossature conformément à des constructions analogues, par rapport à la surface couverte. Un calcul plus détaillé est toutefois nécessaire pour permettre la construction.

Immédiatement après l'établissement de l'avant-







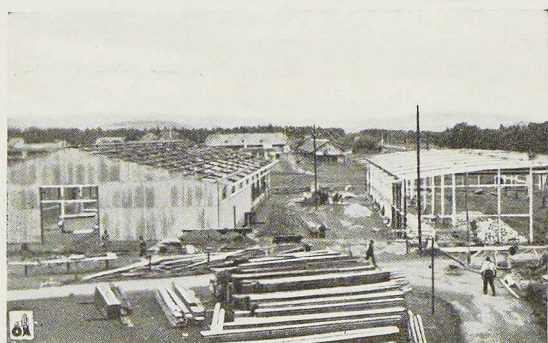
**Fig. 222.** Pavillon suisse à l'Exposition de Paris, 1937. (Voir fig. 223 et 224.)

projet, on passe commande au laminoir. Pendant que celui-ci procède au laminage des profilés, les dessins d'atelier sont exécutés de manière à pouvoir commencer les travaux dès l'arrivée des matériaux. En même temps, sont exécutées les fondations et éventuellement les sous-sols. La durée de fabrication est ainsi limitée à quelques semaines, car, au début des travaux, une partie seulement des matériaux est nécessaire. Après l'assem-

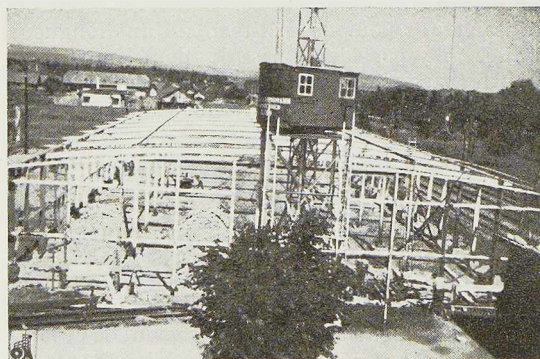
blage des premiers cadres, ceux-ci sont mis en place, ce qui permet de bétonner les fondations. Immédiatement après, l'ossature métallique peut recevoir les charges représentées par la toiture et les murs. On peut également procéder à l'installation des ponts roulants.

Le hall industriel métallique peut être exécuté en atelier dans les meilleures conditions de travail, de contrôle et de sécurité, et cela à n'importe quelle période de l'année, permettant ainsi d'exécuter l'ouvrage dans le délai le plus court.

A. A.



**Fig. 223 et 224.** Halls industriels construits en réutilisant la charpente et la toiture du pavillon édifié par la Suisse à l'Exposition de Paris en 1937.





# Essais de corrosion naturelle de longue durée sur divers aciers de construction dans l'air atmosphérique et dans différentes eaux de mer et de rivières <sup>(1)</sup>

## Organisation générale des essais, élaboration et préparation des échantillons mis en essais <sup>(2)</sup>

### I. Programme d'essais

En 1935 l'Office technique pour l'Utilisation de l'Acier (O. T. U. A.) chargeait sa Commission de corrosion d'entreprendre des essais de corrosion de longue durée dans différents milieux naturels, afin de classer suivant leur corrodabilité les aciers utilisés couramment dans la construction.

La Commission décida de définir une gamme de nuances d'aciers de construction correspondant soit à des teneurs variées des constituants habituels de l'acier, soit à des particularités de leur élaboration; ce fut la tâche de la Sous-commission des métaux.

Ces variétés devaient être soumises à la corrosion naturelle dans diverses stations en France. Ce fut fait par la Sous-commission des essais, aidée de la compétence du professeur Chaudron, et des moyens d'investigation de ses laboratoires. Ces essais seraient confrontés avec des essais rapides de corrosion à faire au laboratoire; de cette façon, il serait possible de vérifier :

Dans quelle mesure les variations de la composition chimique des aciers de construction et les détails pratiques de leur élaboration peuvent influencer la corrosion naturelle;

Si les prescriptions des essais administratifs de qualification sont d'accord avec les résultats de la corrosion naturelle des aciers.

<sup>(1)</sup> La *Revue de Métallurgie* a publié, dans son numéro 1-2, 1946, deux mémoires très importants de, respectivement, M. Henri Baudot, sur *L'Organisation générale des Essais* et du professeur Georges Chaudron, sur *La Conduite et l'Interprétation des Essais*.

Grâce à l'obligeance de la *Revue de Métallurgie*, le résumé que nous publions, établi par M. J. Lagasse, licencié ès sciences, secrétaire technique de la Commission Belge de la Corrosion (A. B. E. M.) a pu être illustré des clichés originaux.

<sup>(2)</sup> Résumé du mémoire de M. Henri Baudot.

Les résultats seront confrontés avec certaines corrosions naturelles dans les diverses utilisations pratiques de ces aciers.

\*  
\*\*

L'élaboration des aciers eut lieu en 1937, la mise en place dans les stations fut achevée au début de l'été 1938.

L'ensemble des essais, qui a porté sur 4.000 éprouvettes a pris fin dans le courant de 1943, c'est-à-dire après 5 ans d'exposition. Malgré la guerre, l'O. T. U. A. a pu suivre dans son ensemble le programme fixé en 1937.

Les stations sont les suivantes : Boulogne-sur-Mer, Lille, Merville (Nord), Vitry-sur-Seine, Dôle (Jura), Rueyres (Aveyron), La Cadène (Aveyron), La Girotte (Savoie), Monaco.

### II. Méthodes d'essais

#### Essais de corrosion naturelle

La méthode consiste à exposer des éprouvettes de diverses nuances dans des conditions variées et bien définies d'atmosphère, de milieu aqueux, de climatologie, d'orientation, etc.

Ces essais, atmosphériques et d'immersion ont été effectués sur acier nu.

Les éprouvettes sont des plaques dont on mesure au bout d'un certain temps, la variation de poids due à la corrosion, ainsi que, avant et après la corrosion, les caractéristiques mécaniques des aciers.

#### Essais préliminaires

Ces essais, effectués à Lille, ont eu pour but de renseigner sur la précision des mesures. Ces





Aciers	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cr %	Cu %	Al %	Mo %
<b>Aciers doux ordinaires au carbone</b>									
Thomas									
A <sub>1</sub> . . . . .	0,050	0,197	0,610	0,061	0,020		0,038		
A <sub>2</sub> . . . . .	0,034		0,310	0,142	0,044		0,042		
A <sub>3</sub> . . . . .	0,030		0,300	0,098	0,068		0,045		
A . . . . .	0,054		0,400	0,070	0,031		0,055		
Martin									
A <sub>4</sub> . . . . .	0,126		0,330	0,034	0,030		0,090		
A <sub>5</sub> . . . . .	0,063		0,320	0,013	0,028		0,093		
A <sub>6</sub> . . . . .	0,102	0,098	0,350	0,028	0,020		0,042		
A <sub>7</sub> . . . . .	0,106	0,126	0,340	0,013	0,029		0,105	0,036	
C . . . . .	0,053		0,280	0,012	0,020		0,085	0,038	
<b>Aciers au cuivre</b>									
Thomas									
B <sub>1</sub> . . . . .	0,053		0,430	0,047	0,045		0,527		
B <sub>2</sub> . . . . .	0,038		0,340	0,146	0,044		0,511		
B <sub>3</sub> bis . . . . .	0,062		0,530	0,136	0,073		0,480		
B . . . . .	0,046		0,350	0,040	0,028		0,365		
Martin									
B <sub>3</sub> . . . . .	0,105		0,420	0,034	0,028		0,495		
B <sub>4</sub> . . . . .	0,096	0,042	0,390	0,016	0,029		0,480	0,011	
B <sub>5</sub> . . . . .	0,110		0,400	0,156	0,028		0,527	0,007	
B <sub>6</sub> . . . . .	0,034		0,270	0,020	0,018		0,480	0,009	0,075
B <sub>6</sub> S . . . . .	—	—	—	—	—		—	—	—
D . . . . .	0,093		0,400	0,014	0,030		0,275		
<b>Aciers mi-doux ordinaires au carbone</b>									
C <sub>1</sub> . . . . .	0,218	0,122	0,710	0,025	0,031		0,048	0,043	
C <sub>2</sub> . . . . .	0,213	0,028	0,580	0,48	0,025		0,031	0,030	
<b>Aciers mi-doux au chrome-cuivre (Ac 54)</b>									
Thomas									
D <sub>1</sub> . . . . .	0,171	0,159	0,890	0,061	0,032	0,444	0,558		
D <sub>2</sub> . . . . .	0,104	0,178	0,990	0,114	0,055	0,421	0,654		
E . . . . .	0,180		0,810	0,047	0,030	0,355	0,650		
Martin									
D <sub>3</sub> . . . . .	0,242	0,282	0,700	0,045	0,027	0,433	0,510	0,009	
D <sub>4</sub> . . . . .	0,223	0,253	0,910	0,027	0,025	0,513	0,478	0,005	
D <sub>5</sub> . . . . .	0,200	0,239	0,770	0,105	0,025	0,446	0,414	0,007	
D <sub>6</sub> . . . . .	0,118	0,216	0,790	0,030	0,029	0,490	0,430	0,005	
D <sub>6</sub> S . . . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—
H . . . . .	0,173		0,500	0,014	0,032	0,243	0,620		
<b>Fers purs et aciers spéciaux</b>									
Fer de Suède (S)	0,023	0,009	0,026	0,021	0,010		traces		
Fer de Lancashire (L)	0,011		0,006	0,037	0,013				
Fer pur électrolytique (K)	0,011	0,009	0,006	0,037	0,013		traces		
Fer pur fondu au four Martin (Ar)	0,013		0,033	0,008	0,031		0,054		
Acier Izell (Z)	0,130	0,177	0,430	0,013	0,039				

TABLEAU I. — Analyse chimique des aciers



essais ont en outre été faits sur des échantillons de fers purs. Certaines plaques des essais préliminaires ont été soumises à la corrosion dans des stations d'essais.

### III. Nuances d'aciers

Le choix des nuances d'acier s'est porté sur deux groupes :

Acier doux, de résistance 40 kg/mm<sup>2</sup> environ;  
Acier mi-doux, de résistance voisine de 50 kg/mm<sup>2</sup>.

Par suite de l'importance des aciers inoxydables, chaque groupe a été divisé, le premier en :  
aciers doux ordinaires au carbone;

aciers doux au cuivre;

le second en :

aciers mi-doux ordinaires au carbone;

aciers dits Ac54 au chrome-nickel.

Les différents modes d'élaboration ont été appliqués en faisant varier :

Soit le procédé d'élaboration (Thomas, Martin);

Soit l'état du métal à la coulée (calmé, effervescent);

Soit la pureté des matières d'entrée;

Soit la pureté en soufre et phosphore de l'acier.

On a voulu se rendre compte de l'influence de la ségrégation, de la température de laminage, de la soudure (en opérant sur des plaques soudées bout-à-bout).

On a élaboré 24 nuances d'acier réparties en deux groupes; un troisième groupe a été constitué par des fers purs et des métaux spéciaux. Le tableau I (ci-contre) donne l'analyse chimique des diverses nuances d'aciers utilisés pour les essais.

### IV. Forme des éprouvettes

Trois sortes d'éprouvettes ont servi aux essais :

Plaques de 200 × 200 × 6 mm;

Plaquettes de 120 × 90 × 2 mm;

Fils de 2 mm de diamètre et de 1 mètre de longueur.

### V. Stations d'essais

#### A. Choix et climat des stations d'essais

##### 1) ESSAIS DE CORROSION ATMOSPHERIQUE

##### a) Atmosphère industrielle : Lille.

L'air contient une certaine proportion de SO<sub>3</sub>; le climat est très humide, même en été; autour



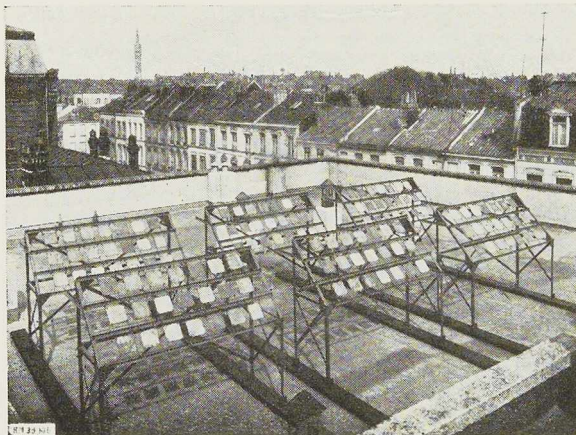


Fig. 225. Installation des plaques à Lille.

de la station, il y a plusieurs cheminées d'usines et de chauffage domestique. Le nombre de jours de pluie varie suivant les années de 110 à 250.

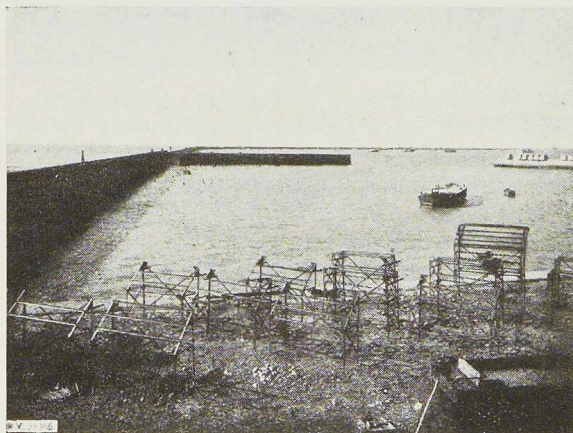
b) *Atmosphère semi-industrielle : Vitry-sur-Seine.*

Cette station se trouve dans la banlieue parisienne; il y a peu d'usines importantes; les jours de pluie sont du même ordre de grandeur qu'à Lille.

c) *Atmosphère continentale : Plateau de Ruyres (730 mètres).*

Le climat est celui du plateau central; l'atmosphère

Fig. 226. Préparation des pupitres de la station de Boulogne-sur-Mer.



(Clichés Revue de Métallurgie.)

phère est très pure; de 100 à 170 jours de pluie dont 60 à 80 en été.

d) *Atmosphère de montagne : Lac de La Girotte (1.735 mètres).*

150 jours de pluie dont 80 à 90 en été.

e) *Atmosphère marine septentrionale : Boulogne.*

La station se trouve sur le quai, les plaques sont face à la mer. Il y a plus de 150 jours de pluie par an.

f) *Atmosphère marine méridionale : Monaco.*

La station domine la mer de 30 mètres; les plaques sont face au sud; 65 jours de pluie en moyenne.

## 2) CORROSION PAR IMMERSION

Les eaux sont de mer et douces. Il y a 5 stations dans lesquelles les plaques sont immergées et mi-immersées.

a) *Eau de mer : Boulogne.*

A cause de la guerre, cette station n'a pu subsister que deux ans.

b) *Eau de mer : Monaco.*

La station se trouve à l'abri de la digue.

c) *Eau granitique de La Truyère : La Cadène.*

d) *Eau du Doubs : Dôle.*

Eau riche en calcaire.

e) *Eau de la Lys : Merville.*

Cette eau est calcaire et de plus est très polluée.

## B. Plaques et plaquettes

### 1) STATIONS ATMOSPHÉRIQUES

Les plaques sont exposées dans trois positions différentes : horizontalement, verticalement et à 45°.

a) *Nombre de plaques :* Il y a cinq plaques de chaque nuance d'acier placées à 45°; la première est retirée au bout d'un an pour examen, et ainsi de suite pendant cinq ans. Deux plaques sont placées verticalement et sont retirées respectivement après un et trois ans. Il y a encore deux plaques placées horizontalement également retirées après un et trois ans.

b) *Nombre de plaquettes :* Les plaquettes de mêmes nuances que les plaques sont destinées à obtenir une comparaison entre les essais de laboratoire et les essais naturels.

Leur nombre est de six : deux horizontales, deux verticales, et deux à 45°.



## 2) STATIONS D'IMMERSION

Les éprouvettes sont placées dans deux positions différentes : demi-immergées et complètement immergées.

a) *Nombre de plaques* : Par nuance d'acier, on a installé cinq plaques mi-immersées et cinq plaques immergées. On retire une plaque par année.

b) *Nombre de plaquettes* : Par nuance d'acier, on a installé deux plaques mi-immersées et deux plaques immergées. Ces plaquettes ont été retirées au bout d'un an.

### C. Repérage et comptabilité des plaques et plaquettes

Les 24 nuances d'acier ont été affectées d'un numéro d'ordre de 1 à 24, caractérisé par des encoches de dizaines et d'unités à gauche et à droite de la plaque; il y avait en outre un indice de 1 à 10 sur le bord supérieur ou inférieur pour les stations atmosphériques ou immergées. En plus, un trou indiquait l'orientation de la plaque.

### D. Installation des stations

#### 1) INSTALLATION DES PLAQUES DANS LES DIFFÉRENTES STATIONS

a) *Stations atmosphériques*. Les plaques verticales ou inclinées à 45° sont installées en regard vers le Sud, les éprouvettes sont arrangées de façon à être bien aérées. Les plaques et plaquettes sont suspendues par les quatre angles au moyen de crochets.

b) *Stations d'immersion*. Les plaques et plaquettes sont montées sur un cadre à deux rangées, la supérieure pour les essais mi-immersés, l'inférieure pour les essais totalement immergés.

Les plaques et plaquettes sont isolées électriquement du système portant.

c) *Particularités d'installation dans certaines stations*. Afin d'empêcher les plaques d'être en contact avec la neige, et de subir l'action de l'humidité du sol, certains pupitres sont surélevés à l'aide de cornières.

A la station de La Cadène, les radeaux sont suspendus à des potences destinées à leur éviter de toucher le fond, par suite des variations de débit de la rivière.

#### 2) INSTALLATION DES FILS DE RÉSISTIVITÉ DE 2 mm

Des fils ont été étirés dans chaque nuance d'acier.

#### 3) INSTALLATION DES APPAREILS D'ENREGISTREMENT DE LA TEMPÉRATURE ET DU DEGRÉ D'HUMIDITÉ

Les appareils enregistreurs sont du type Richard. Des cahiers sont tenus par les gardiens, qui y indiquent tous les accidents climatologiques : pluie, orages, neige, vents, etc.

A Lille, on a en outre enregistré la direction et la vitesse du vent. On employait également un pluviomètre, et on a étudié complètement l'action des poussières.

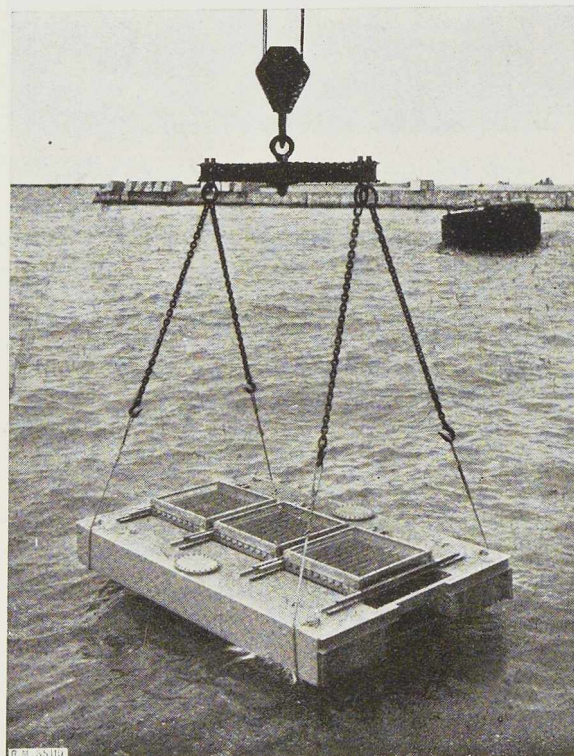


Fig. 227. Mise à l'eau d'un radeau à Boulogne-sur-Mer.

### E. Préparation des plaques avant expédition aux stations, et organisation des pesées

#### 1) ETATS DE SURFACE

Pour le décapage, on a eu recours au « Décapant gras B D ».

Les plaques ont été décapées, égouttées et rincées à l'eau, puis neutralisées en solution à 10 % de carbonate de soude, et rincées de nouveau à l'eau, enfin essuyées au linge et passées à la benzine pour faire disparaître tout film gras.





## 2) EMBALLAGE

Les plaques, séparées par des papiers, ont été déposées dans des boîtes paraffinées intérieurement.

## 3) PESÉES

Les plaques sont examinées pour l'étude de la rouille (adhérente, feuilletée, composition, etc.);

elles sont dérouillées par l'acide chlorhydrique dilué additionné d'un inhibiteur, limitant l'attaque à la rouille. Les plaques, brossées, rincées, essuyées et séchées à l'alcool et à l'éther sont pesées.

Les plaques pesant environ 2 kg sont pesées au centigramme par une balance Trayvou.

Les plaquettes de 150 gr. sont pesées au milligramme.

# Conduites des essais. - Interprétation des résultats.

## Conclusions <sup>(1)</sup>

### VI. Introduction

#### A. But scientifique des essais

Ces essais doivent être une sorte d'étalonnage des différents essais de laboratoire et ont pour but de rechercher une correspondance entre les essais de longue durée et les essais rapides.

On veut également confronter les résultats avec les prévisions fournies par les théories de la corrosion, et voir quelle est la part, dans la corrosion totale, de l'attaque par le processus électrochimique.

#### B. Expérience sur les fers purs

Il s'agit de corrosion purement chimique, les inclusions gênant l'établissement d'un film d'oxyde continu.

Quelques plaquettes de fer très pur ont très bien résisté.

#### C. Etat de surface bien défini

Les éprouvettes sont débarrassées de la pellicule de laminage et de la rouille; les peintures doivent du reste toujours être appliquées sur un métal parfaitement décapé.

#### D. Méthodes pour apprécier la corrosion

Il y a trois méthodes différentes :

*Méthode par perte de poids* : Elle n'est valable que pour les corrosions superficielles. On n'a jamais constaté de corrosion intercrystalline.

(1)Résumé du mémoire du professeur Georges Chaudron.

*Mesure de la diminution des caractéristiques mécaniques* : Cette méthode met en évidence la corrosion par piqûres profondes et surtout l'attaque intercrystalline.

*Méthode par variation de la conductibilité électrique* : Elle suppose une corrosion parfaitement uniforme du fil, ce qui n'est pas en pratique. Cette méthode fut abandonnée par suite de points d'attaque plus ou moins profonds qui perturbent complètement les mesures.

### VII. Essais préliminaires

#### A. Echantillons utilisés

L'analyse chimique des échantillons utilisés est donnée au tableau I (page 168).

#### B. Marche des essais préliminaires

##### 1) CHOIX DE L'ÉTAT DE SURFACE INITIAL

Les essais sont effectués sur des métaux décalaminés par :

*Sablage*, donnant des résultats variables suivant la grosseur des grains;

*Décapage électrolytique* et par *décapage acide* en présence d'un inhibiteur donnant un état de surface conduisant sensiblement à la même vitesse d'attaque (plus faible que dans le cas du sablage).

Les essais de comparaison de vitesse d'attaque ont été faits dans l'acide sulfurique.

Le décapage cathodique électrolytique s'emploie surtout pour des petites éprouvettes en nombre limité.





Pour le décapage acide, on a adopté un bain de : 50 volumes d'eau, 50 volumes d'acide chlorhydrique (20° B) et 1 volume d'huile de méthylène.

#### 2) DISPOSITION DES PLAQUES DANS LES STATIONS DE CORROSION

Pour une même plaque, la vitesse d'attaque est différente suivant sa position; toutefois quantitativement il n'y a aucune différence nette.

#### 3) CORROSION EN HIVER ET EN ÉTÉ

La corrosion est en moyenne deux fois plus importante en hiver qu'en été, l'humidité persistant pendant un temps plus long.

#### 4) INFLUENCE DU VIEILLISSEMENT DE LA PELLICULE DE ROUILLE SUR LA VITESSE D'ATTAQUE

Certaines plaques séchées artificiellement pendant environ un mois présentent un abaissement de la vitesse de corrosion, attribué à une évolution de la pellicule de rouille, donnant une protection relative.

#### 5) INFLUENCE DES POUSSIÈRES DE L'ATMOSPHÈRE SUR LA VITESSE DE CORROSION

On a constaté que les poussières de l'atmosphère des villes activaient la corrosion.

### C. Quelques conclusions au sujet des essais préliminaires

Les additions de cuivre et de chrome-cuivre donnent une nette protection en atmosphère de ville : la diminution est de 20 % pour chrome-cuivre sur acier Thomas ordinaire.

Le fer puddlé de Suède se corrode très peu dans les premiers mois, mais au bout d'un an, ces échantillons sont de beaucoup les plus corrodés.

D'une façon générale, les inclusions ont un rôle accélérateur.

## VIII. Essais définitifs de longue durée

### A. Généralités

Les essais ont porté sur 24 nuances d'acier, servant au classement, se répartissant en quatre groupes.

Les échantillons sont de deux sortes : plaques et plaquettes.

Les plaques sont pesées avant et après corrosion, après enlèvement par décapage, de la rouille formée. On a constaté après décapage une faible attaque du métal, considérée comme négligeable par rapport à la perte de poids.

Les plaques sont décapées par série de 25, en présence d'une plaque de fer servant de témoin.

1) PLAQUES DES STATIONS ATMOSPHÉRIQUES : La perte de poids due au décapage est d'environ 1,5 %. On constate une assez bonne concordance; dans certains cas, l'erreur est de 10 %, les erreurs extrêmes sont de l'ordre de 30 %.

2) PLAQUES DES STATIONS D'IMMERSION : La couche de rouille est ici beaucoup plus épaisse. L'erreur due au décapage est de 1,8 %. Les erreurs extrêmes sont de 10 %. La concordance est très bonne.

### B. Conclusions sur l'opération de décapage

1) ERREURS DUES AU DÉCAPAGE : Le décapage semble introduire la même erreur dans les deux sortes de corrosion. L'inhibiteur joue un rôle même en présence d'une forte proportion de rouille.

Pour les plaques atmosphériques, le décapage a une durée de l'ordre d'une heure; dans la corrosion immergée, le temps de décapage est de l'ordre de quatre heures.

2) FIDÉLITÉ DES RÉSULTATS : L'erreur moyenne est de l'ordre de 10 %, dans les cas extrêmes, elle varie de 30 à 40 %.

On peut en conclure que seuls des essais statiques, portant sur un grand nombre d'essais peuvent donner une idée exacte de la corrodabilité relative des différentes nuances.

### C. Résultats des essais de corrosion atmosphérique

Ces résultats sont consignés au tableau II (ci-contre), qui appelle les commentaires suivants :

#### 1) STATION DE LILLE

##### a) Essais sur plaques de 6 mm.

En ce qui concerne les plaques disposées à 45°, c'est l'acier Thomas A<sub>3</sub> qui est de beaucoup le plus corrodé. L'acier Martin D<sub>5</sub> est la nuance qui a le mieux résisté à l'attaque atmosphérique.





Nuances	Lille		Boulogne		Monaco		Rueyres		La Girotte	
	Corroda- bilité relative maxi- mum en 5 ans	Classe- ment moyen	Corroda- bilité relative en 2 ans	Classe- ment moyen	Corroda- bilité relative en 5 ans	Classe- ment moyen	Corroda- bilité relative en 5 ans	Classe- ment moyen	Corroda- bilité relative en 5 ans	Classe- ment moyen
	C ‰		C ‰		C ‰		C ‰		C ‰	
<b>Aciers Martin ordinaires (A)</b>	95	18	95	19	98	16	95	19	90	20
acier normal effervescent (A <sub>4</sub> )	100	21	100	19	100	20	100	22	100	22
acier calmé (A <sub>7</sub> )	92	16	—	—	—	—	—	—	—	—
<b>Aciers Martin au Cu (B)</b>	87	11	80	11	90	11	90	14	80	12
acier au Cu (B <sub>3</sub> )	90	13	90	11	96	17	87	15	95	17
acier au Cu riche en P (B <sub>5</sub> )	80	7	93	15	93	15	86	15	80	11
<b>Aciers Martin mi-doux (C)</b>	100	21	100	21	100	20	100	22	100	23
<b>Aciers Martin au Cr-Cu (D)</b>	80	8	75	6	85	4	75	4	70	4
acier au Cr-Cu (D <sub>3</sub> )	80	6	80	6	90	4	75	4	—	—
acier riche en P (D <sub>5</sub> )	70	2	80	6	80	2	70	1	70	2
<b>Aciers Thomas ordinaires (A)</b>	100	23	100	21	—	—	100	15	100	14
acier normal effervescent (A <sub>1</sub> )	100	23	100	18	100	19	100	17	100	15
<b>Aciers Thomas au Cu (B)</b>	75	5	80	10	—	—	88	8	80	7
acier au Cu (B <sub>1</sub> )	85	10	90	12	—	—	95	14	94	12
acier au Cu riche en P (B <sub>2</sub> )	80	4	80	7	85	6	75	3	85	7
<b>Aciers Thomas au Cr-Cu (D)</b>	76	6	—	—	—	—	—	—	95	13
acier au Cr-Cu riche en P (D <sub>2</sub> )	75	2	—	—	100	20	—	—	—	—

TABLEAU II. — Essais de corrosion atmosphérique

Pour les plaques horizontales et verticales, le classement montre que ce sont les nuances D et B qui se corrodent le moins. Les plaques horizontales se corrodent plus vite que les plaques à 45°. Pour les plaques verticales, la corrosion est légèrement inférieure à celle des plaques à 45°; cela serait dû à la vitesse de séchage, moins rapide pour les plaques horizontales. Les faces inférieures séchant moins vite, cela explique la corrosion plus forte que sur les faces supérieures.

b) *Essais sur plaquettes de 2 mm* : Les résultats sont identiques à ceux exposés pour les plaques. Les aciers A et C se corrodent le plus vite, au contraire des aciers D et B.

c) *Essais sur échantillons spéciaux* : On ne peut pas conclure à une influence importante des traitements de laminage ou du métal pris dans la tête du lingot; les écarts sont dans l'ordre des erreurs admises.

d) *Classement des aciers Martin* : Les aciers D et B sont les moins corrodés. La corrosion des aciers Cr-Cu est inférieure à celle des aciers au cuivre. Ce sont les aciers mi-doux (C) et les aciers Martin ordinaires (A) qui sont les plus attaqués.

Les aciers C se corrodent plus que les aciers A (voir tableau II, ci-dessus).

On définit la corrodabilité relative par le rapport :

$$C \% = \frac{m'}{m} \times 100$$

dans lequel  $m'$  représente la perte de poids de l'échantillon représentant le sous-groupe considéré, et  $m$  la perte de poids de l'échantillon représentant le sous-groupe le plus corrodé comme base.

En ce qui concerne les nuances fabriquées dans les mêmes conditions on note une amélioration de l'ordre de 10 % si l'on passe des aciers A<sub>4</sub> à B<sub>3</sub>. De même si l'on passe de l'acier Martin B<sub>3</sub> à la nuance riche en phosphore (B<sub>5</sub>). Egalement de D<sub>3</sub> à D<sub>5</sub>.

En comparant un acier calmé A<sub>7</sub> à un effervescent normal A<sub>4</sub>, on constate une amélioration pour le métal calmé.

e) *Classement des aciers Thomas* : On peut également comparer les classements des nuances en Martin-Thomas.

Le fer puddlé est le métal ayant le plus mauvais classement. Le fer pur Ar a un classement moyen. Le fer électrolytique refondu dans le vide a un bon classement.

Les résultats des essais préliminaires correspondent bien aux résultats définitifs.



## 2) STATION DE BOULOGNE

Les essais ne portent que sur deux ans par suite des destructions dues à la guerre.

Les aciers D et B résistent le mieux à l'air marin. L'acier Thomas  $A_3$  est fortement corrodé ainsi que le fer puddlé Lancashire.

## 3) STATION DE MONACO

La corrosion est ici bien plus faible qu'à Lille et à Boulogne.

On constate une attaque plus rapide des plaques horizontales; la pellicule de rouille serait ici semi-protectrice, par suite de l'intervention du facteur température (relativement élevée).

Le cuivre apporte généralement aux aciers Thomas une protection très nette, mais les résultats sont trop irréguliers pour permettre d'établir un classement.

On remarquera que le classement dans les deux stations marines sont pratiquement les mêmes.

La corrosion à Monaco est moins active qu'à Boulogne, à cause de la différence dans le nombre de jours de pluie.

Au bout de deux ans, l'attaque est deux fois plus faible à Monaco.

## 4) STATION DE RUEYRES

Dans cette station, le nombre de jours de pluie est du même ordre de grandeur qu'à Lille, mais l'air est très pur.

On constate une plus grande corrodabilité des plaques horizontales; la corrosion est plus forte sur les faces inférieures que sur les faces supérieures.

## 5) STATION DE LA GIROTTE

La corrosion est sensiblement moitié de celle de Rueyres, et près de vingt fois plus faible qu'à Lille.

## 6) CLASSEMENT GÉNÉRAL DES ACIERS ET DES FERS DANS LES DIFFÉRENTES STATIONS ATMOSPHÉRIQUES

Les aciers Martin sont très réguliers.

Les aciers Thomas donnent des résultats irréguliers par suite de l'addition double chrome-cuivre.

### a) Classement des aciers Martin

D acier Martin Cr-Cu.	} 70 %
B acier Martin Cu.	
A acier Martin ordin.	} à
C acier semi-doux.	
	} 100 %

Les échantillons de fers puddlés sont les plus corrodés.

Les fers purs du genre Ar ont un classement moins bon que les Martin au cuivre.

### b) Classement des aciers Thomas

Aciers Thomas au Cu . . . . . 80 %

Aciers Thomas ordinaires . . . . . 100 %

Les aciers Thomas au chrome-cuivre sont irréguliers.

Dans toutes les stations, le cuivre joue un rôle protecteur de l'ordre de 20 %.

Le fer puddlé donne les mêmes résultats dans les stations de forte attaque, que la nuance Thomas la plus mauvaise ( $A_3$ ).

La corrosion atmosphérique semble due, d'après les résultats dans les différentes stations, à l'influence de deux facteurs :

a) Humidité;

b) Impuretés de l'atmosphère.

Les impuretés les plus actives sont  $SO_3$  et  $Cl_2$ .

Par comparaison des résultats des pesées des plaques et plaquettes, on a pu déterminer que la ségrégation n'était pas un facteur important de la corrosion atmosphérique.

## D. Résultats des essais de corrosion par immersion dans différentes eaux

Ces essais comportent deux modes d'expérimentation : immersion complète et demi-immersion.

Il s'agissait de savoir s'il existait une attaque électrochimique à la ligne d'eau. Les résultats de ces essais sont consignés au tableau III (ci-contre).

### 1) STATION DE MONACO

Le classement est assez irrégulier. Les plaques corrodées à l'eau de mer présentent une rouille très compacte, contenant de la rouille proprement dite et des matières organiques.

On a aussi constaté une corrosion irrégulière, superficielle, donnant lieu à la formation de cavités assez profondes.

Les écarts entre les nuances extrêmes sont supérieurs à 40 %.

La corrosion est plus active en demi-immersion, mais on constate cependant que la ligne d'eau ne suffit pas à expliquer la corrosion.

### a) Classement des aciers Martin

$\alpha$  Immersion : Les aciers chrome-cuivre se trouvent presque toujours parmi les échantillons les plus attaqués.





	Monaco		Boulogne		La Cadène		Merville		Dôle	
	Immer- gées	Demi- immer- gées	Immer- gées	Demi- immer- gées	Immer- gées	Demi- immer- gées	Immer- gées	Demi- immer- gées	Immer- gées	Demi- immer- gées
<b>Aciers Martin ordinaires (A)</b>	—	10	15	8	11	18	18	16	—	—
acier doux calmé (A <sub>2</sub> )	—	—	11	8	—	—	—	—	—	—
acier normal effervescent (A <sub>4</sub> )	12	11	17	8	18	17	13	14	24	10
<b>Aciers Martin au Cu (B)</b>	—	11	9	12	14	10	5	12	—	—
acier au Cu riche en P (B <sub>1</sub> )	—	—	—	—	—	—	—	—	3	1
acier au Cu (B <sub>3</sub> )	15	12	—	—	17	14	12	8	—	3
acier au Cu riche en P (B <sub>5</sub> )	14	7	3	3	12	9	—	—	—	—
acier au Cu (B <sub>7</sub> )	—	—	9	13	—	—	—	—	—	—
<b>Aciers Martin mi-doux (C)</b>	18	15	15	15	17	20	17	18	21	18
<b>Aciers Martin au Cr-Cu (D)</b>	—	20	9	19	12	10	13	10	—	—
acier au Cr-Cu (D <sub>3</sub> )	—	—	—	—	—	—	—	—	11	—
acier au Cr-Cu riche en P (D <sub>5</sub> )	21	20	5	15	4	8	13	10	12	11
<b>Aciers Thomas ordinaires (A)</b>	7	8	21	10	17	19	17	17	—	—
acier normal effervescent (A <sub>1</sub> )	13	8	20	9	18	18	18	11	9	22
<b>Aciers Thomas au Cu (B)</b>	5	5	12	7	4	7	5	6	—	—
acier au Cu (B <sub>1</sub> )	9	10	16	13	10	12	5	5	—	—
acier au Cu riche en P (B <sub>2</sub> )	2	2	10	4	2	2	3	3	7	4
<b>Aciers Thomas Cr-Cu (D)</b>	20	19	16	18	15	15	16	16	—	—
acier au Cr-Cu (D <sub>1</sub> )	—	—	—	—	—	—	21	17	15	21
acier au Cr-Cu (D <sub>2</sub> )	18	19	11	14	11	12	13	12	4	24

TABLEAU III. — Essais de corrosion par immersion (classement moyen)

β) *Demi-immersion* : Les aciers Martin au cuivre et sans cuivre se corrodent le moins.

Les essais totalement immergés ne permettent pas de différencier les groupes de nuances.

#### 2) STATION DE BOULOGNE

Les écarts entre les plaques immergées et mi-immersées ne sont pas très grands, à cause d'une forte houle mettant toutes les éprouvettes dans les mêmes conditions, on ne constate pas de ligne d'eau.

L'ordre de classement est le même dans les deux stations marines, en dépit de certaines affirmations attribuant une agressivité plus grande aux eaux de la Méditerranée.

#### 3) STATION DE LA CADÈNE (eau pure granitique)

L'attaque se faisant par l'eau pure, donc peu conductrice, il s'agit d'une corrosion purement chimique du fer. La vitesse d'attaque est sensiblement moitié qu'avec l'eau de mer.

#### 4) STATION DE MERVILLE (eau douce calcaire polluée)

La corrosion est plus forte pour les plaques

demi-immersées; la ligne d'eau est peu accentuée.

#### 5) STATION DE DÔLE (eau pure très calcaire)

La corrosion est ici la moins forte. Les éprouvettes sont protégées par une couche de calcaire très adhérente.

Comparaison de la corrosion dans différentes eaux : l'attaque de l'eau pure (La Cadène) est sensiblement moitié de la corrosion marine. A Merville et à Dôle, l'attaque est beaucoup plus faible : de l'ordre atmosphérique.

La corrosion marine des plaques mi-immersées est plus forte que pour les plaques immergées complètement, ce qui démontre l'existence d'une attaque électrochimique.

#### E. Essais mécaniques sur les plaques après exposition dans les stations de corrosion

##### 1) BUT DES ESSAIS MÉCANIQUES

Il était intéressant de rechercher l'influence de la corrosion sur les propriétés mécaniques (résistance à la traction) des diverses nuances d'acier exposées.





Il y avait particulièrement lieu de vérifier si la diminution de la charge de rupture d'un élément est seulement proportionnelle à la diminution de section, ou bien si elle suit une loi plus rapide, par suite d'une corrosion intergranulaire.

## 2) RÉSULTATS

Les éprouvettes employées avaient la forme décrite dans la figure 228.

Les résultats sont donnés dans le tableau IV (ci-contre).

## IX. Comparaison des essais naturels avec les essais de laboratoire

On a cherché à se rendre compte si les essais accélérés donnaient des classements identiques ou voisins de ceux obtenus par les essais naturels de longue durée.

### A. Essais par la méthode des potentiels de dissolution

Les résultats de ces essais pour les eaux de ville, les eaux de La Cadène, les eaux de la Lys (Merville), l'eau de pluie et l'eau distillée sont consignés au tableau V (ci-contre).

#### a) Mesure du potentiel de dissolution dans les eaux douces

Ces mesures de potentiel de dissolution font comprendre la grande corrodabilité des fers purs: les inclusions gênent la formation d'une couche d'oxyde continue et empêchent la passivité de se manifester.

L'addition de cuivre donne au fer un potentiel plus noble et facilite donc l'établissement d'une pellicule d'oxyde.

#### b) Mesure du potentiel de dissolution dans une solution saline à 3 %

On ne constate aucune passivation; au contraire, avec de l'eau de mer synthétique, on a des effets de passivation et on observe finalement le classement obtenu dans l'eau de mer.

### B. Essais par attaque dans le brouillard salin ou par immersion et émergence dans une solution de chlorure de Na

On n'a pas pu obtenir un classement cohérent.

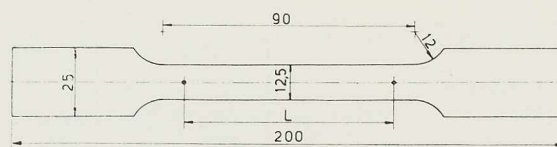


Fig. 228. Epreuve de traction.

Il semble que les fers et aciers se corrodent avec la même vitesse.

### C. Essais d'immersion et d'émergence alternées dans différentes eaux pures (eau distillée, eau de ville, eau de pluie)

Il est possible de différencier les nuances. Les aciers C<sub>1</sub> et C<sub>2</sub> se corrodent le plus vite.

Les aciers au cuivre sont nettement protégés. Cette méthode est très fidèle. Les aciers au

Nuances d'acier	Résistance à la traction kg/mm <sup>2</sup> (d'apr. l'épaiss. moyenne calc.)						Allongement %					Nuances d'acier
	R <sub>0</sub>	R					La Girotte 1 an	Lille 5 ans	La Cadène 5 ans	Boulogne Eau 2 ans	Monaco Eau 4 ans	
		La Girotte 1 an	Lille 5 ans	La Cadène 5 ans	Boulogne Eau 2 ans	Monaco Eau 4 ans						
A <sub>1</sub>	42,4	40,8	—	39,8	—	25	23	—	6,4	—	A <sub>1</sub>	
A <sub>2</sub>	—	40,9	—	37,9	43,3	—	24,6	—	15,6	14,5	A <sub>2</sub>	
A <sub>3</sub>	40,1	38,6	35,2	41,5	39,5	23	23,5	18	9,7	13	A <sub>3</sub>	
A <sub>4</sub>	42,5	41,7	39,8	43,7	43,3	24	21	13	16	18,3	A <sub>4</sub>	
A <sub>5</sub>	33,7	34,3	35	31,2	33,4	35	38,5	30	12,5	28,7	A <sub>5</sub>	
A <sub>6</sub>	42,2	43,4	40,4	42,2	42,4	23,5	26	21	22,1	8,2	A <sub>6</sub>	
A <sub>7</sub>	39,2	—	36	43	36,4	32,5	—	32	13,5	21,4	A <sub>7</sub>	
B <sub>1</sub>	44,3	43,2	40,4	43,5	44,2	29	25,4	22,3	14,3	21,4	B <sub>1</sub>	
B <sub>2</sub>	50	52,3	—	42,8	51,5	25,5	19	—	5,3	7,4	B <sub>2</sub>	
B <sub>20</sub>	49,5	49,2	50,2	—	47,3	26	27	32	—	10,6	B <sub>20</sub>	
B <sub>3</sub>	44,2	44,6	41,1	44,6	44,7	25,8	21	21	19	15,8	B <sub>3</sub>	
B <sub>4</sub>	41,1	41,3	39,7	—	41,6	32,7	31,3	23,5	—	13,4	B <sub>4</sub>	
B <sub>5</sub>	52,3	53,1	52,9	—	48,3	19,3	20	17,6	—	14,5	B <sub>5</sub>	
B <sub>6</sub>	32,6	33,9	29,2	31,4	29,3	28,5	35	26	13,9	18,3	B <sub>6</sub>	
B <sub>7</sub>	39,2	38,5	32	42,5	36,4	22	21	15,5	19,7	6,2	B <sub>7</sub>	
C <sub>1</sub>	51,9	51,6	53	54,4	50,2	28	29,4	18	22	18	C <sub>1</sub>	
C <sub>2</sub>	46,3	46,2	41,8	47,8	45	31,5	31	19,6	15,4	22	C <sub>2</sub>	
D <sub>1</sub>	56	57,8	54,9	60,2	54,4	28	24	20	10	13	D <sub>1</sub>	
D <sub>2</sub>	53,8	57,3	—	54,6	48,3	29	21,4	—	18,4	11,6	D <sub>2</sub>	
D <sub>3</sub>	56,8	61,3	52,5	66,4	64,5	27	23	23,5	14,5	17,7	D <sub>3</sub>	
D <sub>4</sub>	60,4	59,1	56,6	60,6	56,8	23,6	21	20	15,2	9,6	D <sub>4</sub>	
D <sub>5</sub>	60,7	60,8	58,8	61	54	24	28,5	15,5	19,1	10,5	D <sub>5</sub>	
D <sub>6</sub>	47,8	50,3	43	45,2	48,7	34,8	33,7	25,5	21,5	16,1	D <sub>6</sub>	
D <sub>6s</sub>	48,8	49,6	46,9	48,7	—	29,5	32	27	16	—	D <sub>6s</sub>	

TABLEAU IV Essais de traction sur éprouvettes de corrosion





NUANCES	Eau de ville		Eau de la Truyère		Eau de pluie	Eau distillée	Chlorure de sodium 3 ‰	Eau de mer synthétique
	Potentiel de dissolution $\pi$ au bout d'une heure	Observations	Potentiel de dissolution $\pi$ au bout d'une heure	Observations	Potentiel de dissolution $\pi$ au bout d'une heure	Potentiel de dissolution $\pi$ au bout d'une heure	Potentiel de dissolution $\pi$ au bout d'une heure	Potentiel de dissolution $\pi$ au bout d'une heure
Aciers Martin A 4 . . . . .	—		—		—	—0,36	—	—
acier ordinaire (A 5) . . . . .	—	activation dès le début	—0,35	phénomène d'activation	—0,45	—	—	—
acier ordinaire (A 6) . . . . .	—0,54		—0,60		—0,53	—	—0,57	—0,76
acier ordinaire (A 7) . . . . .	—0,54		—		—	—	—	—
acier (A 8) . . . . .	—		—		—0,40	—0,47	—	—0,50
acier (B 3) . . . . .	—	passivation au début de l'immersion	—	phénomène d'activation	—0,45	—0,26	—	—
acier au Cu (B 4) . . . . .	—0,30		—0,52		—0,37	—0,34	—0,54	—
acier au Cu (B 5) . . . . .	—0,31		—	phénomène d'activation	—0,22	—0,50	—0,43	
acier au Cu riche en P (B 5)	—0,22		—0,30		—	—	—	—
acier (C 1) . . . . .	—		—		—	—	—	—0,76
acier au Cr-Cu (D 3) . . . . .	—0,50	activation dès le début	—0,52	phénomène d'activation	—0,54	—0,47	—0,60	—0,76
acier au Cr-Cu (D 4) . . . . .	—0,54		—0,55		—0,54	—0,47	—	—
acier au Cr-Cu (D 4) . . . . .	—0,54		—		—	—	—	—
acier au Cr-Cu (D 6) . . . . .	—0,50		—	phénomène d'activation	—0,42	—0,30	—0,50	—0,58
Ac fer pur fondu au four Martin .	—0,50		—0,35		—	—	—	—0,50
Aciers Thomas (B 1) . . . . .	—		—		—	—	—	—0,50
Aciers Thomas (D 1) . . . . .	—		—		—	—	—	—0,76

TABLEAU V. — Mesure du potentiel de dissolution

chrome-cuivre sont mauvais dans l'eau de pluie et médiocres dans l'eau distillée.

Les meilleures nuances sont constituées par les aciers au cuivre et en particulier par les nuances riches en phosphore (eau distillée B<sub>5</sub>, eau de ville B<sub>2</sub>).

Les résultats sont d'accord avec les essais atmosphériques et par immersion.

En remplaçant l'eau distillée par l'eau de pluie, on retrouve le même classement.

#### D. Essais par attaque aux acides

##### a) Essais Ferrier.

L'éprouvette décapée puis passivée est attaquée pendant trois heures dans une solution d'acide sulfurique à 30 %.

##### b) Mesure de la vitesse d'attaque dans les acides au moyen de l'appareil Thyssen-Bourdhouze

Cet appareil permet de suivre le dégagement

d'hydrogène au cours de l'attaque, sans modifier les conditions d'attaque.

Les résultats montrent qu'avec cet essai, les vitesses d'attaque varient d'une nuance à l'autre dans de grandes proportions, ce qui n'a jamais été constaté dans la corrosion naturelle.

#### E. Essais statiques à la goutte

L'attaque d'une surface métallique est accélérée lorsque le réactif est disposé sur celle-ci sous forme de gouttes.

Les résultats obtenus permettent de différencier les modes d'élaboration Martin/Thomas.

Cette méthode peut être envisagée pour apprécier l'homogénéité d'un métal, mais les classements sont assez différents de ceux obtenus par corrosion naturelle.

## Conclusions générales

### X. Résultats des essais naturels de longue durée

#### A. Facteurs de la corrosion atmosphérique

Pour une même nuance, on a constaté dans

les stations, des vitesses d'attaque très différentes.

L'attaque la plus importante est à Lille, et La Grotte est la station la moins corrosive.

La comparaison des résultats dans les différentes stations montre que la corrosion à l'air





marin à Boulogne est du même ordre de grandeur que celle observée dans l'atmosphère très industrielle de Lille.

a) *Influence de la composition de l'air atmosphérique et des conditions d'exposition des échantillons* : La comparaison des résultats montre que les deux facteurs principaux de l'attaque sont l'humidité atmosphérique et l'existence d'impuretés dans l'air.

L'attaque varie dans une proportion assez notable avec l'inclinaison des plaques : les plaques horizontales se corrodent le plus vite.

L'orientation des plaques n'a en général qu'une importance secondaire, sauf en présence de vents dominants chargés d'impuretés.

b) *Influence de la nature des aciers* : La corrodabilité des diverses nuances n'est pas très différente. La corrodabilité naturelle des aciers Martin et Thomas est pratiquement la même; il n'en est pas de même lorsque ces aciers contiennent des additions. Les aciers Martin avec addition ont une corrodabilité plus régulière que les aciers Thomas.

c) *Influence de la composition des aciers* : Le tableau VI consigne le classement des aciers Martin (ordre D, B, A, C) et Thomas (ordre D, B, A).

Le classement par nuances met en évidence le rôle protecteur très efficace du phosphore (tableau VII, ci-dessous).

En atmosphère marine (Boulogne, Monaco), le

classement par groupes des aciers Thomas n'a pas la même valeur qu'à Lille. Dans les stations marines ainsi qu'à Rueyres et à La Girotte, les aciers Thomas au carbone riches en phosphore donnent de meilleurs résultats.

Dans les stations atmosphériques, les fers puddlés présentent la plus forte attaque.

d) *Influence des modes d'élaboration* : Pour les aciers Martin, il y a une amélioration dans le cas du métal calmé.

Il n'y a pas de différence entre l'échantillon normal et celui pris à la tête du lingot, ni entre les métaux laminés à froid ou à chaud.

L'influence de la ségrégation n'a pas été mise en évidence.

Le métal soudé à l'autogène ne présente aucune attaque particulière.

## B. Facteurs de la corrosion dans l'eau de mer et dans les eaux douces

La vitesse de corrosion varie notablement. Les stations sont classées en trois groupes.

a) *Corrosion dans l'eau de mer* (Boulogne et Monaco)

Le processus électrochimique joue un rôle efficace. Les aciers ayant une structure en deux phases sont fortement corrodés. L'addition chrome-cuivre est inefficace.

Le classement par nuances montre que les aciers

Numéro de Classement	STATIONS ATMOSPHÉRIQUES									
	LILLE		BOULOGNE		MONACO		RUEYRES		LA GIROTTE	
	Thomas	Martin	Thomas	Martin	Thomas	Martin	Thomas	Martin	Thomas	Martin
0										
4	D 15 B 16	D 16		D 17		D 18		D 19		D 20
8		B 21	B 22	B 23		B 24	B 25	B 26		B 27
12										
16		A 28		A 29		A 30		A 31		A 32
20	A 33	C 34	A 35	C 36		C 37	A 38	C 39		A 40
24	A 41									C 42

TABLEAU VI. — Corrosion atmosphérique  
Classement par groupes de nuances

Numéro de Classement	STATIONS ATMOSPHÉRIQUES									
	LILLE		BOULOGNE		MONACO		RUEYRES		LA GIROTTE	
	Thomas	Martin	Thomas	Martin	Thomas	Martin	Thomas	Martin	Thomas	Martin
0										
4	D2 21 B2 22	D5 23				D5 24	B2 25	D5 26		D5 27
8		D5 28 B5 29	B2 30	D5-D5 31		B2 32	D5 33			B2 34
12			B1 35	B5 36		A7 37				B5 38
16		A7 39		B5 40		B5 41	B1 42	A7 43	B5-B5 44	A7 45
20			A1 46	A7-A4 47	A1 48	D2 49	A4 50	A1 51		A1 52
24	A1 53 A5 54	Fer S 55	A3 56		A3 57		A4 58	A3 59	A4 60	A4 61

TABLEAU VII. — Corrosion atmosphérique  
Classement par nuances  
(Clichés Revue de Métallurgie)





résistant le mieux sont l'acier Martin au cuivre riche en phosphore (B<sub>3</sub>) et l'acier Thomas au cuivre riche en phosphore (B<sub>2</sub>).

Les résultats ne montrent aucune corrodabilité particulière dans l'eau de mer des aciers calmés et non calmés, ni aucune influence de la ségrégation.

b) *Corrosion dans l'eau pure* (La Cadène)

Il n'y a pas d'attaque électrochimique. La corrosion est cependant importante, et vaut sensiblement moitié de la corrosion marine.

Les aciers Martin B et D résistent le mieux.

Pour les aciers Thomas, c'est le groupe B qui est en tête.

c) *Corrosion dans les eaux calcaires* (Merville et Dôle)

La corrosion est moins rapide à cause d'un dépôt de calcaire.

Pour les aciers Martin, on retrouve le classement des groupes obtenu dans l'eau pure.

d) *Rôle protecteur du cuivre*

Les meilleurs classements sont obtenus pour les aciers Martin au cuivre riches en phosphore et pour les aciers Thomas au cuivre riches en phosphore.

Les différents modes d'élaboration n'ont aucune influence.

**C. Résultats des essais micrographiques et des essais mécaniques**

Dans les expériences, on n'a jamais constaté la présence d'une attaque intergranulaire.

**XI. Résultats des essais de laboratoire**

**A. Emploi de la méthode des potentiels de dissolution**

L'acier Martin au cuivre se passive le plus facilement. Ces résultats sont en accord avec l'attaque naturelle dans l'eau.

Dans le cas des aciers Thomas, les résultats sont très irréguliers.

La méthode est inapplicable avec le chlorure de sodium; dans l'eau de mer synthétique, elle permet de différencier nettement les aciers et fers au cuivre.

Cette méthode n'est pas fidèle, elle est trop sensible aux inclusions.

**B. Essais par attaque dans le brouillard salin ou par immersion et émergence dans le chlorure de sodium**

Toutes les nuances donnant des résultats sensiblement identiques, cette méthode n'a pas de signification pratique.

**C. Essais d'immersion et d'émergence alternées dans l'eau douce**

Cette méthode fournit un classement comparable à celui de l'attaque naturelle.

**D. Essais par attaque aux acides**

L'essai Ferrier donne un classement ayant peu de points communs avec les cas de corrosion naturelle.

**E. Essais statiques à la goutte**

Le classement obtenu est assez différent de celui obtenu par les essais de corrosion naturelle.

Cette méthode est très sensible à la présence des inclusions.

Elle met bien en évidence l'aptitude d'un métal à se passiver.

\*  
\* \*

En résumé, seule, la méthode d'immersion et d'émergence a fourni un classement fidèle et assez comparable à celui obtenu par les essais naturels.

L'ensemble des expériences a montré que la corrosion chimique joue un rôle souvent aussi important que l'attaque électrochimique.

Il semble bien que les conditions de formation, de continuité et de stabilité de la pellicule superficielle d'oxyde initiale ont une importance capitale. Certaines additions, comme le cuivre, le chrome, le phosphore favorisent l'établissement de cette pellicule protectrice. Certaines structures hétérogènes, au contraire, lui sont défavorables et en particulier les inclusions.

Il est très important de remarquer que les essais naturels au bout d'une année d'attaque ont fourni les mêmes classements que les expériences d'une durée beaucoup plus longue.

Un essai naturel de référence pour chaque milieu pourrait donc être institué : sa durée serait de l'ordre d'une année.





# Rapport du Conseil d'Administration à l'Assemblée générale du 26 mars 1947, sur l'activité du Centre Belgo-Luxembourgeois d'Information de l'Acier, au cours de l'année 1946

## Considérations générales

L'année 1945 avait été celle d'une reprise régulière de l'activité industrielle et certains faisaient des prévisions particulièrement brillantes pour l'année 1946. Ces perspectives ne se sont pas suffisamment réalisées; l'optimisme dont tous étaient animés au début de l'année 1946 n'a pas été, dans tous les domaines, confirmé par les faits. Comme au cours de l'année 1945, le niveau d'activité, dans les différents secteurs dont le Centre Belgo-Luxembourgeois d'Information de l'Acier se préoccupe, a été variable.

Dans l'industrie sidérurgique, on a certes vu progressivement, de mois en mois, la production d'acier de la Belgique et du Luxembourg, se relever et passer de 200.000 t en décembre 1945 à 250.000 t en mars 1946, et, enfin, à plus de 300.000 t en juillet 1946. Cependant, si l'on compare la production totale de l'année ou même la production moyenne de ce dernier trimestre 1946, avec les productions d'avant-guerre, on est bien forcé de constater qu'elles sont encore inférieures au niveau d'activité le plus bas de l'entre-deux guerres. La moyenne annuelle de l'année 1946 reste, en effet, inférieure à 300.000 t contre plus de 300.000 t pour l'année de crise extrême que fut 1938, et contre une moyenne, au cours des cinq années d'avant-guerre, de plus de 400.000 t. La situation qui en est résultée a été d'autant plus regrettable en sidérurgie, que des estimations sérieuses avaient fait croire à un relèvement sensible des attributions de charbon de l'industrie sidérurgique au printemps 1946 et avaient conduit l'industrie à accepter, notamment dans le cadre des accords commerciaux du Gouvernement, des engagements à l'exportation, relativement importants.

Le relèvement de la production ne s'étant opéré que faiblement et l'industrie ayant à faire face aux besoins intérieurs très importants dus aux nécessités de la reconstruction, on n'a pu donner que difficilement satisfaction aux acheteurs étrangers. Sur la production totale de 3.529.000 t un peu moins de la moitié a été directement expédié à l'étranger, le reste étant utilisé sur le marché intérieur. A l'exportation, la pénurie mondiale d'acier nous a permis de reprendre rapidement

pied dans de nombreux marchés traditionnels, et nos comptoirs de vente ont pu renouer des relations avec près d'une cinquantaine de pays, répartis dans le monde entier. Le relèvement de la production a été particulièrement important dans les usines du Grand-Duché de Luxembourg qui, à la fin de l'année 1945, avaient encore un niveau d'activité extrêmement faible.

En fabrication métallique, le niveau d'activité est resté important et a, au cours de l'année, augmenté. Les besoins intérieurs et les besoins à l'étranger sont très élevés et, dans de nombreux secteurs de l'industrie, l'activité est assurée pour de nombreux mois encore. Les exportations se sont normalement développées pour atteindre, en fin d'année, un pourcentage représentant environ le quart de l'activité de l'industrie. Le problème des prix se pose, cependant, dès aujourd'hui, dans cette industrie.

Dans le domaine des ponts et charpentes et du matériel roulant, l'activité, tout en étant grande, est principalement limitée à des travaux industriels ou à la construction de matériel roulant. La construction n'a repris que lentement en raison des difficultés d'approvisionnement et de main-d'œuvre, aussi bien en Belgique qu'à l'étranger. Les grands organismes publics et privés disposent maintenant de crédits limités et l'on constate notamment qu'une grande partie des ouvrages détruits en 1944, n'a pas encore été remise en construction, pour des raisons de crédits.

D'autre part, les engagements de la construction métallique sont très élevés dans certains secteurs et conduisent cette industrie à pratiquer des délais très longs. La construction métallique perd, de ce chef, l'un de ses avantages marquants et on peut regretter, dans certains cas, que l'utilisateur ait été amené à y renoncer et à chercher à employer d'autres matériaux pour gagner du temps. Il est nécessaire d'insister sur le fait que cette situation, toute temporaire, risque de causer un préjudice de longue durée à la construction métallique.

## Considérations techniques

L'année 1946 est, au point de vue technique, intéressante, car elle constitue la liaison entre





l'économie de guerre et l'économie de paix; cette année a vu appliquer peu à peu, dans l'industrie normale, des progrès considérables, en partie dus à l'enseignement des fabrications militaires. Nous croyons intéressant d'attirer l'attention de nos membres sur quelques aspects importants de cette évolution.

1° *Soudabilité des aciers.* — Ce problème a fait l'objet de travaux systématiques à l'étranger comme dans notre pays. Les accidents très graves, rencontrés aux Etats-Unis, lors de la construction des Liberty-Ships sont venus confirmer exactement les constatations faites en Europe avant guerre. La présence, généralisée, de cassures sèches sans striction, avait inquiété les ingénieurs qui avaient perdu de vue qu'un acier soumis à des tensions bi- ou triaxées, comme c'est le cas en soudure, se rompt sans déformations.

Il est intéressant de noter que la Belgique, après avoir étudié systématiquement cette question, a, bonne première, établi une spécification provisoire des aciers pour construction soudée, adaptant la soudabilité métallurgique de l'acier aux difficultés que rencontre le constructeur et créant, pour chaque nuance d'acier, des degrés de soudabilité.

Ces spécifications, provisoires sans doute, ont le mérite de fixer les idées sur un problème très complexe. Nous espérons qu'elles seront confirmées par les décisions que prendront d'autres pays qui continuent à étudier cette question.

2° *Plasticité des aciers.* — Il y a plus de quinze ans que la caractéristique fondamentale des aciers, de posséder un palier de plasticité, a fait l'objet d'études en vue de l'allègement des constructions. Dans une certaine mesure, on a pu soutenir que l'acier se prêtait aux hypothèses de calcul et permettait de tirer parti des réserves de résistance des endroits de la charpente, moins sollicités. Mais, ces études ont été rendues très lentes à cause de la difficulté de déterminer les cas où l'on pouvait, sans danger, utiliser la réserve de résistance, résultant du palier de plasticité. Les travaux de Kist, Bleich, Colonetti, Baes, Verdeyen, etc., ont fait faire des progrès à cette technique. Nadaï, enfin, savant américain, a développé une méthode de calcul des métaux en zone plastique, méthode de calcul qui présente un réel intérêt par son analogie avec les méthodes de l'élasticité. D'autre part, un ingénieur luxembourgeois, M. Schnadt, a proposé l'établissement d'abaques qui permettraient de connaître quelles sont les possibilités de déformation plastique d'une construction déterminée exécutée en un acier connu. Certains espèrent que le déve-

loppement de ces théories permettra, en connaissance de cause, de relever sensiblement les tensions admissibles de certaines constructions civiles, sans toutefois, entrer dans la zone plastique pour les sollicitations normales du service. Dans les constructions mécaniques, par contre, des applications de sollicitations dans la zone plastique sont connues.

3° *Allègement des constructions.* — La tendance à l'allègement des constructions se marque de plus en plus. Sans tomber dans des exagérations où la rigidité d'ensemble devient insuffisante, on doit constater qu'on s'oriente systématiquement dans cette voie. En 1946, nous avons pu visiter des ateliers de construction étrangers, où l'emploi intensif, voire même exclusif, de profils en tôle pliée, a permis un allègement sensible des voitures de chemins de fer. Nous avons fait la constatation que l'allègement était déjà de l'ordre de 30 %, tout en ne faisant usage que d'aciers strictement normaux. Cet allègement sera augmenté encore en faisant emploi d'acier à haute limite élastique, que la sidérurgie nationale a, maintenant, à son programme. En Belgique, certains spécialistes envisagent de fournir des profils de charpentes en tôle pliée de faible épaisseur, qui permettent, dans les constructions légères, voire même dans des charpentes de portée déjà notable, un allègement de l'ordre de 30 %. En ce faisant, ils ne font que suivre certaines réalisations américaines.

4° *Développement de la préfabrication.* — L'année 1946 a vu l'essor pratique de la préfabrication dans le bâtiment. Malheureusement, c'est essentiellement à l'étranger que cet essor se fait. Qu'il s'agisse de la France, de l'Angleterre ou des Etats-Unis, dès 1946, une partie importante des éléments d'habitation — voire même des habitations entières — ont été réalisées en préfabriqué. Cette préfabrication est effectuée en acier, en bois et en béton. Parmi les faits les plus typiques, il y a lieu de noter que l'une des plus puissantes aciéries de l'Amérique a fait, en 1946, des investissements considérables pour le développement d'une société de construction de maisons en acier. En Angleterre, à l'initiative de la British Steelwork Association, la construction de dizaines de mille maisons du type A<sub>1</sub> à trois chambres à coucher, a été entreprise. Ces maisons ont été exécutées en usine dans le courant de l'année 1946 et ont littéralement jailli de terre pendant les premiers jours de 1947. En France, après la réalisation d'un programme d'habitations provisoires, pour la plupart préfabriquées et pour lesquelles, pratiquement, le métal n'est pas intervenu par suite de la pénurie d'acier, la construc-





tion définitive met en œuvre plusieurs systèmes de maisons métalliques et notamment à Brest, on voit s'ériger d'importants ensembles d'un type unique métallique.

En Belgique, malheureusement, nous voyons peu de réalisations et, après le gros effort fait par les constructeurs, à l'initiative de l'Institut National du Logement et de l'Habitation, en créant l'exposition du Cinquantenaire, il faut reconnaître que, parmi les maisons reconstruites, il y a peu de maisons préfabriquées. La raison semble en être notamment en ce qui concerne la construction métallique, la surcharge considérable des ateliers de construction qui ne peuvent pas accorder à ce problème tout l'intérêt qu'il mérite. Nous voudrions, pour terminer ce point, attirer à nouveau l'attention sur les solutions intéressantes, réalisées en Angleterre et en France, et qui sont directement applicables dans notre pays; sur la nécessité économique de mettre en fabrication la construction d'éléments standardisés par série, ne comportant que très peu de types; sur la nécessité, pour les constructeurs, d'associer à l'exécution de leurs maisons, des artisans habituels du bâtiment, et notamment l'architecte et l'entrepreneur, seuls capables de leur apporter, par un concours compétent, basé sur une longue expérience, un appui qui leur évitera des mécomptes: dans le domaine du bâtiment, plus que dans tout autre, c'est la perfection du détail qui, seule, assure le succès.

Ajoutons qu'un aspect différent, mais qui s'inspire d'une même tendance de la préfabrication, se développe dans la construction des charpentes. On constate de plus en plus la construction en atelier de très grands ensembles réalisés par une main-d'œuvre à haut rendement, dont le travail peut être organisé et contrôlé, et n'est pas dépendant des conditions atmosphériques. Ces ensembles très importants, de poids allant jusqu'à 40 tonnes dans notre pays, sont ensuite expédiés sur place, où le montage est ainsi réduit au minimum.

5° Après la grande tourmente de la guerre, on voit de nouvelles applications importantes de l'acier, se faire jour actuellement. Citons notamment, le développement de l'emploi de l'acier dans les travaux du génie civil. Pour la première fois, pensons-nous, en Belgique, si l'on exclut certains travaux strictement militaires, réalisés avant guerre, sur la Meuse, près de Namur, on a employé des pieux de fondation en acier.

C'est, entre autres, le cas de différents ponts sur la Meuse, dont les piles, en rivière, sont en acier foncées directement. Ces pieux ont donné parfaitement satisfaction, leur fonçage n'ayant pas

présenté de difficultés, et ils allient, à une élégance incontestable, une souplesse favorable au point de vue stabilité et une diminution de la section mouillée. Il n'est pas nécessaire de rappeler que cette technique des pieux de fondation en acier est, aujourd'hui, classique aux Etats-Unis, à l'égal de celle des palplanches métalliques, qui ont remplacé partout les palplanches en bois et en béton.

Une seconde application, dans la construction, est le développement des *coffrages métalliques*. Evidemment, avant guerre, nous avons déjà, en Belgique, appliqué parfois ce système: pour en citer un exemple, rappelons les travaux de voûtement de la Senne; mais il semble que les coffrages métalliques jouissent, à l'heure actuelle, d'un intérêt réel de la part des entrepreneurs. Leur construction entraîne des travaux de charpentes semi-mécanisés de précision.

Citons, dans ce domaine, une troisième application, celle des *échafaudages tubulaires*, qui, après avoir été utilisés systématiquement en Italie et en Angleterre notamment, ont fait leur apparition, dès 1935, en Belgique, mais n'avaient reçu que peu d'applications dans l'entreprise proprement dite, avant guerre. Aujourd'hui, les entrepreneurs considèrent avec un vif intérêt, ce système d'échafaudages et semblent désireux de l'utiliser systématiquement.

Voilà quelques points, choisis parmi d'autres, où la technique a évolué d'une façon favorable à la construction métallique: nous avons cru nécessaire d'en faire une rapide synthèse dans le présent rapport.

#### Activités du C. B. L. I. A.

1° Revue « *L'Ossature Métallique* ». — La décision prise, dès la libération, par le Conseil d'Administration, de publier, le plus tôt possible, à nouveau, l'organe technique du C. B. L. I. A., s'est révélée particulièrement fructueuse. Le besoin des ingénieurs, architectes et utilisateurs d'acier, de retrouver, de nouveau, une documentation régulière, mise à jour, sur les applications nouvelles de l'acier et sur tous les problèmes ayant trait à sa mise en œuvre, était très grand, et nous avons eu la satisfaction de voir la revue L'OSSATURE MÉTALLIQUE appréciée très vivement dès sa réapparition. Cet intérêt n'a fait que s'accroître et si, dès l'année 1945, et bien que notre revue n'ait paru qu'à partir du mois d'avril, nous avons atteint le nombre des abonnements d'avant guerre, en 1946, ce mouvement s'est poursuivi et l'augmentation de nos services d'abonnements a été très sensible. D'autre part, nous avons peu à peu, souvent avec des diffi-





cultés et des retards considérables, renoué nos contacts à l'étranger, qui assurent à la documentation de L'OSSATURE MÉTALLIQUE d'une part, une diffusion étendue et, d'autre part, une collaboration de tous les pays.

Nous avons publié, en 1946, 6 numéros bimestriels avec un tirage total de 14.200 exemplaires, soit, en moyenne, 2.366 exemplaires par tirage. Chacun de ces numéros a comporté 80 pages, dont 31 pages d'annonces. Il faut rappeler qu'en 1939, nous avons tiré 33.000 exemplaires au cours de l'année, soit une moyenne supérieure à 3.000 exemplaires. Nous nous efforçons, à l'heure actuelle, d'atteindre ce but, au cours de l'année 1947.

*Abonnés.* — Le chiffre de nos abonnements a toujours été en augmentation régulière au cours de l'année 1946 et a atteint plus de 150 % de l'avant guerre. La rapidité avec laquelle les abonnements ont été renouvelés en 1947 (dès le 12 février, nous avons dépassé le chiffre de 1946) nous permet d'être optimistes au sujet de l'augmentation de nos abonnements au cours de 1947. Cela dépendra évidemment de l'importance du tirage total de la revue et du nombre de numéros qui pourront être distribués auprès des usagers éventuels de la construction métallique.

*2° Editions diverses.* — Au cours de l'année 1946, le C. B. L. I. A. a procédé à l'édition d'un catalogue de profils laminés en Belgique et au Luxembourg. Ce catalogue comprenait, en fin d'année, les feuillets suivants :

*Poutrelles de 80 mm et plus (2 feuillets).* — Ces feuillets comprennent à côté des profils standard un nouveau profil allégé, qui constitue un progrès sensible dans la voie de l'allègement de la construction.

*Poutrelles légères à ailes très étroites.*

*Poutrelles anglaises à ailes étroites.*

*Poutrelles anglaises à ailes larges.*

*Poutrelles américaines.*

*Fers U de 80 mm et plus (2 feuillets).* — Ces feuillets comportent des profils allégés et pour chaque profil une gamme complète de profils renforcés. Les calculs complets de tous ces profils en permettent l'utilisation pratique.

*Fers U spéciaux pour wagons et divers.*

*Fers U anglais et américains.*

*Cornières égales (2 feuillets).*

*Cornières inégales (2 feuillets).*

*Poutrelles à larges ailes et à très larges ailes (4 feuillets).*

L'établissement de ces feuillets a été confié à une Sous-commission de la *Commission Mixte*

*des Aciers*, créée à l'initiative de la Fédération de l'Industrie des Fabrications Métalliques. Il est intéressant de noter que nous avons pu alléger sensiblement les programmes de fabrication, donner les caractéristiques complètes de profils légers et de profils renforcés, enfin, indiquer pour chaque profil, le nom des usines qui les laminent. Le succès remporté par ce document, qui met entre les mains des utilisateurs, sous une seule reliure, la gamme principale des produits sidéurgiques, est très grand. Ce document doit être complété — et nous nous en préoccupons — par des feuillets consacrés aux fers T, aux profils spéciaux pour soudure, aux larges plats, aux tôles, etc.

Nous avons, d'autre part, édité un album reprenant les *Essais spéciaux pour les aciers soudables*. Cet album, résultat des travaux de la Commission Mixte des Aciers, donne la spécification exacte des essais spéciaux adoptés pour la réception des aciers pour constructions soudées. Il est complété par un *Essai de Flexion* par choc sur éprouvette non entaillée, destiné spécialement aux fournitures pour la S. N. C. B.

Enfin, nous avons préparé la publication d'un catalogue des aciers pour la Construction mécanique et les Normes des Qualités pour les Aciers soudables, ouvrages qui viennent d'ailleurs de sortir de presse.

Simultanément, nous avons continué à diffuser différents autres documents publiés au cours des années précédentes, et notamment les *Tableaux et Abaques pour le calcul rapide des constructions métalliques*, par H. Schnadt, les *Tableaux pour le calcul rapide des poutres à âme pleine*, par O. Houbrechts, le *Catalogue* de notre Bibliothèque établi fin 1944, et pour lequel nous envisageons la publication d'un addendum; l'*Album de macrographies* pour la réception des tôles et larges plats en acier calmé, l'*Abaque général pour le calcul des pièces soumises à flambage*, par H. Schnadt. Au fur et à mesure que nous avons édité ces différents ouvrages, nous avons eu la satisfaction de constater qu'ils répondaient à un besoin, et étaient rapidement demandés par les utilisateurs qualifiés.

*3° Bibliothèque et service de documentation.* — La reprise de nos relations avec des revues étrangères, qui nous permet de tenir régulièrement à jour notre documentation, a été laborieuse. En fin d'année 1946 cependant notre bibliothèque a pu s'assurer à nouveau, le service de la plupart des grandes revues qu'elle recevait avant guerre. Nous recevions, en effet, en fin d'année, 165 revues provenant de 15 pays, notamment :





France : 35, Empire britannique : 29, Etats-Unis d'Amérique : 12, Suisse : 15.

Le rétablissement de nos relations a entraîné un développement assez sensible des fiches bibliographiques établies par nos services. A l'heure actuelle, nous possédons environ 22.000 fiches classées méthodiquement, selon 300 postes intéressant les applications principales de l'acier; ces fiches sont également classées par ancienneté et nous permettent de retrouver des ensembles d'études relatives à des questions nous intéressant.

En ce qui concerne les ouvrages, notre bibliothèque s'est accrue, au cours de l'année 1946, de 76 volumes nouveaux, ce qui porte son actif à 1.390 livres et traités relatifs à la construction métallique et aux applications de l'acier. La valeur d'achat de notre bibliothèque représente une somme de 265.000 francs. Au cours de l'année 1946, le nombre de nos visiteurs s'est élevé à 320, le nombre de nos prêts d'ouvrages à l'extérieur, à 340.

4° *Contacts avec les Centres d'Information de l'Acier.* — Nous devons nous féliciter des contacts que nous avons systématiquement avec les Centres d'Information de l'étranger, et notamment avec les centres anglais, italien, français, américain et suisse. Nous avons également repris contact avec des sidérurgistes tchécoslovaques, qui viennent de remettre sur pied leur organisation, et nous avons, par courrier, renoué contact avec les producteurs polonais et roumains. Ces contacts se sont concrétisés par une réunion des Centres d'Information de l'Acier, faite à notre invitation à Bruxelles, à la fin du mois de septembre et à laquelle participaient des délégués anglais, français, suisses et tchécoslovaques. Cette réunion a eu pour thème le rôle de l'acier dans la reconstruction. Des rapports d'activité y ont été présentés par les organismes anglais, américain, français, suisse et italien. Enfin, des exposés particuliers ont eu trait à l'emploi de l'acier dans le bâtiment, ainsi qu'aux questions suivantes :

*Organisation des Centres d'Information de l'Acier,* que l'on souhaite constituer en Sociétés indépendantes, ayant comme seul objectif le développement des emplois de l'acier.

*Utilisation de l'Acier dans le Bâtiment;* on a insisté sur la nécessité de pousser très loin l'organisation des chantiers et de faire appel aux professions traditionnelles du bâtiment.

*Concurrence des métaux légers.*

*Nouvelles utilisations de l'Acier.*

*Protection contre l'incendie.*

*Tensions admissibles dans la construction métallique :* Il est à noter que se généralise partout la tension de 14 kg/mm<sup>2</sup> comme tension normale pour les aciers doux.

*La maison métallique.*

*Le problème de l'assurance peinture et la protection contre la corrosion.*

*Les aciers pour constructions soudées.*

Enfin, au cours d'un échange de vues préliminaire, il a été rappelé l'intérêt des travaux entrepris avant guerre par le Centre International d'Information de l'Acier, question qui devra faire l'objet d'un réexamen ultérieur, lorsque les circonstances économiques mondiales seront redevenues normales.

Ainsi que nous l'avons signalé plus haut, le centre anglais a pris l'initiative de la mise au point d'une série de maisons métalliques d'un type aisément réalisable. L'un de ces types a fait l'objet d'une commande très importante par les services de la reconstruction de Grande-Bretagne. En Italie, après une longue période de politique économique tendant à réserver l'emploi de l'acier à des usages d'intérêt militaire ou national, le Centre de diffusion doit faire face à de grands problèmes. L'O. T. U. A. de Paris prépare, à l'heure actuelle, de nouveaux documentaires cinématographiques. M. Peissi, directeur de l'O. T. U. A., a d'ailleurs fait un exposé illustré d'un film remarquable, le 5 avril 1946, à Bruxelles.

Un dîner a été offert en l'honneur de la réunion des Centres d'Information de l'Acier, par le Groupement des Hauts Fourneaux et Aciéries belges et la Fédération de l'Industrie des Fabrications métalliques. Au cours d'une visite de deux jours à Luxembourg, nos hôtes ont été reçus par le Groupement des Industries sidérurgiques luxembourgeoises et ont visité les Usines de HADIR et de l'ARBED.

5° *Voyage d'études.* — M. Nihoul s'est rendu à Paris en mars 1946 pour participer à une réunion préparatoire à la reprise d'activité de l'Association Internationale des Ponts et Charpentes. Cette réunion a été fructueuse.

Nous avons organisé un voyage d'information dans la région parisienne pour montrer la résistance des maisons métalliques à l'épreuve du temps. Participaient à ce voyage des fonctionnaires de la Société Nationale des Habitations à Bon Marché, des architectes et des ingénieurs. Ce voyage a été particulièrement concluant et a permis de montrer des maisons métalliques anciennes en parfait état d'entretien et d'un confort satisfaisant.

M. Balbachevsky, ingénieur au Centre Belgo-





Luxembourgeois d'Information de l'Acier, s'est rendu à la Foire de Bâle en mai 1946. Il a pu constater le développement considérable de la soudure dans la construction suisse.

M. Nihoul s'est rendu à Zurich les 11, 12 et 13 novembre 1946. Les visites d'ateliers qui ont été faites à ce moment ont souligné le développement de la construction en tôle pliée, le développement de la soudure par point, même pour de très fortes épaisseurs, le développement de l'emploi d'aciers inoxydables.

Le 11 décembre M. Nihoul a pris contact, à Paris, avec les dirigeants du Centre de Documentation Sidérurgique, en vue de coopérer avec cet organisme.

6° *Conférences.* — Les conférences ou exposés suivants ont été donnés dans le courant de l'année 1946, par M. Nihoul.

— Rapport de voyage aux Etats-Unis, devant le Groupement des Hauts Fourneaux et Acieries Belges le 8 janvier 1946 et devant le Groupement des Industries Sidérurgiques Luxembourgeoises, le 1<sup>er</sup> février 1946.

— La Construction du Matériel roulant et la Construction métallique aux Etats-Unis, exposé devant le Conseil d'administration et les cadres supérieurs de la Société Nationale des Chemins de Fer belges, le 12 février 1946.

— L'évolution de la Construction des Charpentes aux Etats-Unis, exposé fait devant le corps des Ponts et Chaussées, le 30 mars 1946.

— Impressions techniques de voyage aux Etats-Unis, exposé fait devant l'Association des Ingénieurs A. I. G., à Gand, le 2 avril 1946 et à Bruges le 12 octobre 1946.

— La Reconstruction, solutions nationales et étrangères, conférence donnée à la tribune des conférences de la Société Royale Belge des Ingénieurs et Industriels, le 27 avril 1946.

— La Maison Métallique, solutions nationales et étrangères, conférence faite à l'Association Luxembourgeoise des Ingénieurs et Industriels à Luxembourg, le 30 novembre 1946 et à l'Association des Architectes de Liège, le 3 décembre 1946.

7° *Notes d'information et lettres-circulaires.* — Nous avons continué à adresser régulièrement à nos membres, des notes d'information sur des questions technologiques ou économiques, dont la publication dans L'OSSATURE MÉTALLIQUE ne paraissait pas indiquée.

Au cours de l'année 1946, 16 notes d'information et 100 lettres-circulaires ont été adressées à nos membres. Elles ont, entre autres, traité des sujets suivants :

- Le développement de la soudure par point.
- Progrès récents de la sidérurgie en Grande-Bretagne.
- L'industrie métallurgique en U. R. S. S.
- L'évolution de nos connaissances dans le fluage des métaux.
- Les tendances modernes dans la construction des ponts-routes.
- La préfabrication en France.
- Le nouveau règlement italien relatif aux constructions métalliques.
- La résistance des ossatures métalliques aux chocs et au feu.
- La construction soudée en Suisse.
- Les silos en acier pour céréales.
- L'industrie sidérurgique américaine pendant la guerre.

8° *Diffusion de films documentaires.* — Nous avons de nouveau mis à la disposition des établissements d'enseignement technique, professionnel et des Universités, quatre films dus au professeur Cantagrel, de Paris, sur la technique du haut fourneau, l'aciérie Thomas, l'aciérie Martin et le laminoir. Ces films ont été notamment projetés à Bruxelles, à l'Université et à l'Institut technique Cardinal Mercier, à Termonde, à Anvers devant plusieurs écoles, à Morlanwelz, à Ypres, à Gand, à Grammont, à Bruges, à Gheel, à Turnhout, à Charleroi; au total, environ 5.000 étudiants ont assisté à la projection de ces documents.

9° *Participation aux activités d'autres organismes.* — Nous considérons que l'une de nos missions essentielles est de suivre très activement les travaux d'Associations professionnelles techniques ou scientifiques, de façon à mettre à leur disposition toute documentation intéressant les emplois de l'acier et à faciliter leur activité dans ce domaine. Nous avons signalé plus haut que les travaux de la Commission Mixte des Aciers avaient conduit à l'édition de différents documents. Les contacts que cette Commission, créée par la Fédération de l'Industrie des Fabrications Métalliques FABRIMETAL, et dont M. Nihoul est secrétaire, a permis entre les producteurs et les constructeurs, se sont révélés des plus fructueux. D'autre part, nous participons directement aux travaux de la Commission des Ponts, en vue de doter le pays d'un règlement complet moderne.

Nous avons activement participé à la mise sur pied d'une semaine de conférences techniques par la Société Royale Belge des Ingénieurs et des Industriels, du 13 au 19 mai 1946. Ces conférences ont notamment comporté une série d'exposés par





le professeur Roš de Zurich, sur le développement de la construction métallique soudée suisse. Les méthodes de calcul adoptées dans ce pays, sont du plus haut intérêt, et sont susceptibles d'applications intéressantes, notamment dans le domaine de la chaudronnerie. Le professeur Desch a fait, pendant ces mêmes journées, un exposé général sur les progrès de la métallurgie en Angleterre.

Nous avons continué à participer aux travaux de l'Association Belge de Standardisation, transformée, au cours de l'exercice, en Institut Belge de Normalisation, dont M. Nihoul a été nommé administrateur; à ceux de l'Institut Belge de la Soudure; de l'Association Belge pour l'Etude, l'Essai et l'Emploi des Matériaux; du Bureau Seco; etc...

Mentionnons spécialement la réunion, à Bruxelles, le 5 octobre 1946, du Comité Permanent de l'Association Internationale des Ponts et Charpentes et la reprise des travaux de la Section belge de cette Association. Au cours de la réunion du Comité permanent, une visite a été faite, des travaux de la Jonction Nord-Midi et du Chevalement de mines, construit à Maurage, par les Ateliers de Construction de Jambes-Namur. Cette visite a fait une vive impression sur les visiteurs étrangers. Signalons enfin des activités diverses, telles que la participation à la rédaction du numéro spécial du *Journal de Genève*, consacré à l'industrie belge.

10° *Organisation d'un concours d'architecture.*  
— Nous avons organisé, du 19 août 1946 au 30 novembre, un concours d'architecture pour la construction d'un immeuble de bureaux sur le terrain des 15, 17, 21 et 23, rue des Drapiers, à Bruxelles, d'accord avec Fabrimétal, propriétaire du terrain. Le programme comportait l'édification d'un immeuble destiné à rassembler tous les services de l'industrie sidérurgique et de l'industrie des fabrications métalliques, en un ensemble équipé de façon tout à fait moderne. Le jury, composé de M. Eugène François, président; de MM. les architectes de Braey, d'Anvers; Flesch, d'Esch-sur-Alzette; Lobet, de Liège; Stubbe, de Bruxelles; de M. l'architecte Bourgeois, délégué des concurrents, a décerné les primes suivantes :

Une prime de 30.000 francs à chacun des trois projets suivants :

— Projet n° 6, M. Yvan Blomme, ing. cons. S. Titundji.

— Projet n° 12, M. G. Ricquier, ing. cons. M. L. M. Chapeaux.

— Projet n° 13, MM. Loschetter et P. Reuter, ing. cons. F. Assa.

Une prime de 20.000 francs au projet n° 7, de

M. S. Jasinski, ing. cons. MM. Verdeyen et Moenaert.

Une prime de 15.000 francs au projet n° 4 de M. M. Brunfaut, ing. cons. S. A. des Ateliers de Construction de et à Willebroek.

Une prime de 10.000 francs au projet n° 3, de M. L. de Vestel, ing. cons. B. E. I. Courtoy.

Le problème présenté aux concurrents présentait le grand intérêt de laisser, à chacun d'entre eux, une parfaite liberté d'expression et par conséquent, une grande initiative. Le jury a attiré l'attention des concurrents sur l'importance des problèmes techniques dans un bâtiment du genre envisagé. Le concours a montré des solutions extrêmement intéressantes de la construction métallique, non seulement dans l'ossature portante, mais également dans l'équipement intérieur du bâtiment. Les projets primés feront l'objet d'une publication prochaine.

### Conclusions

Le rapport d'activité que nous vous soumettons vous montre que l'évolution de la construction métallique a été, au cours de l'année 1946, importante. Il y a, cependant, lieu de s'inquiéter des conditions difficiles dans lesquelles les constructeurs travaillent à l'heure actuelle, par suite des longs délais de livraison des produits sidérurgiques, et du manque de personnel qualifié. Les constructeurs, eux-mêmes, encombrés d'ordres très importants dus à un retard d'équipement provoqué par les années de guerre, ne peuvent satisfaire, qu'avec de longs délais, les utilisateurs. Ceux-ci trouvent, dans cette situation, une raison de s'adresser à d'autres matériaux de construction ou à d'autres produits, et nous connaissons divers cas où des ouvrages d'art en acier sont systématiquement remplacés par des ouvrages en béton, pour des raisons de délais. C'est là un premier sujet de préoccupation qui nous obligera à faire un gros effort auprès des utilisateurs, pour les intéresser à nouveau à la construction traditionnelle.

D'autre part, l'année 1946 nous a montré clairement que la construction métallique était susceptible de faire des progrès importants dans la voie de l'économie d'une part et dans la voie des nouvelles utilisations de l'acier d'autre part. Nous nous emploierons activement à diffuser les nouvelles techniques et à en souligner l'importance auprès des utilisateurs. C'est surtout dans la voie des nouvelles applications de l'acier que nous estimons que notre effort sera le plus fructueux et assurera, au cours des années à venir, un marché normal aux industries qui patronnent notre activité.





# Résolution de systèmes d'équations simultanées à un grand nombre d'inconnues

par W. Kerkhofs,

Ingénieur A. I. G.,

Chef des Services Techniques à La Brugeoise et Nicaise et Delcuve (Division de Bruges)

Dans le numéro de décembre 1939 de L'Ossature MÉTALLIQUE, nous avons publié, sous le titre *Méthode mi-graphique de résolution d'un système d'équations simultanées à un grand nombre d'inconnues*, une méthode simple et pratique pour résoudre rapidement un système d'équations linéaires à un grand nombre d'inconnues. La méthode appliquée telle quelle n'est cependant applicable que dans les cas, très fréquents d'ailleurs en pratique, où dans les équations mises sous la forme :

$$\begin{aligned}x &= a_1y + a_2z + a_3u + \dots + A \\y &= b_1x + b_2z + b_3u + \dots + B \\z &= c_1x + c_2y + c_3u + \dots + C \\&\dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots\end{aligned}$$

les coefficients sont petits, ou du moins si un grand nombre de ces coefficients le sont. Cette condition est réalisée notamment dans le calcul des poutres en treillis à croix de Saint-André et des poutres Vierendeel, dans les systèmes résultant de l'application de la loi de Kirchoff pour le calcul des réseaux électriques, dans le calcul des carters des moteurs d'avions, etc.

Cependant, il y a des cas où cette condition n'est pas réalisée et dans lesquels plusieurs coefficients sont supérieurs à l'unité. Dans ces cas, les termes à chacun des sommets du polygone ne sont pas suffisamment décroissants et peuvent même devenir de plus en plus grands. Il en résulte que la méthode n'est pas suffisamment rapide, ou même plus applicable, car on n'arrive jamais à des termes négligeables.

Dans ce qui va suivre, nous donnerons des artifices de calculs pour résoudre les systèmes d'équations linéaires dans tous les cas.

Cependant nous attirons l'attention du lecteur sur le fait qu'il est toujours avantageux de remplacer le système d'équations proposé par un système équivalent de la forme ci-dessus avec des coefficients les plus petits possible. On arrivera

très souvent à ce résultat en choisissant adéquatement l'équation de laquelle on tirera la valeur de  $x$ , celle de laquelle on tirera la valeur de  $y$ , etc. Parfois, une équation devra être obtenue en combinant deux ou plusieurs équations proposées. Cependant, comme il n'y a aucune règle fixe à suivre, ce procédé n'est pas toujours applicable pour toutes les équations du système et dans ce cas, on doit avoir recours aux méthodes qui suivent.

## Cas de deux équations à deux inconnues

Considérons le système suivant :

$$\begin{aligned}x &= a_1y + A \\y &= b_1x + B.\end{aligned}$$

En appliquant la méthode ordinaire, nous obtenons les calculs de la figure 229.

Dans le cas où le produit  $a_1b_1$  est inférieur à l'unité

$$1 + a_1b_1 + (a_1b_1)^2 + (a_1b_1)^3 + \dots$$

représente la limite de la somme des termes d'une progression géométrique ayant  $a_1b_1$  comme raison. Cette limite est égale à

$$\frac{1}{1 - a_1b_1}.$$

Nous trouverons

$$\begin{aligned}x &= \frac{A + a_1B}{1 - a_1b_1} \\y &= \frac{B + b_1A}{1 - a_1b_1}.\end{aligned}$$

De plus, même si le produit  $a_1b_1$  est supérieur à l'unité, les méthodes classiques de résolution d'un système de deux équations à deux inconnues conduisent aux mêmes formules pour  $x$  et  $y$ .





$\begin{array}{r} x \xrightarrow{a_1} \qquad \qquad \qquad b_1 \xrightarrow{\quad} y \\ A \qquad \qquad \qquad b_1 A + \quad B \\ (a_1 b_1) A + \quad a_1 B \qquad \qquad b_1(a_1 b_1) A + (a_1 b_1) B \\ (a_1 b_1)^2 A + a_1 (a_1 b_1) B \qquad \qquad b_1(a_1 b_1)^2 A + (a_1 b_1)^2 B \\ \hline \dots \qquad \qquad \qquad \dots \\ \hline x = A [1 + a_1 b_1 + (a_1 b_1)^2 + \dots] \qquad y = b_1 A [1 + a_1 b_1 + (a_1 b_1)^2 + \dots] \\ + a_1 B [1 + a_1 b_1 + (a_1 b_1)^2 + \dots] \qquad + B [1 + a_1 b_1 + (a_1 b_1)^2 + \dots] \end{array}$	
---	--

Aussi, plutôt que d'écrire

$$1 + a_1 b_1 + (a_1 b_1)^2 + \dots$$

nous disposerons le calcul comme dans la figure 230.

Sur la ligne  $xy$ , nous écrirons entre parenthèses la valeur de

$$\frac{1}{1 - a_1 b_1}$$

D'après ce qui précède,  $A$  est remplacé par

$$A \times \frac{1}{1 - a_1 b_1}$$

par conséquent, nous barrons  $A$  et écrivons

$$\frac{A}{1 - a_1 b_1} = A'$$

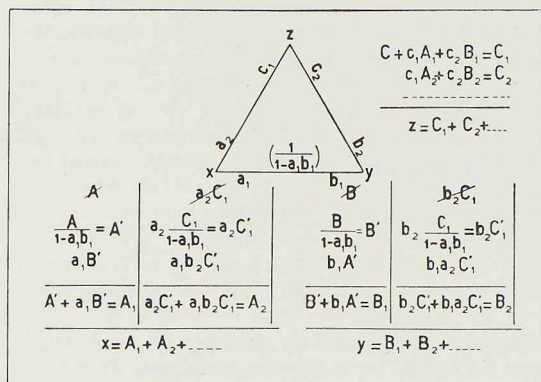


Fig. 231. Résolution d'un système de trois équations à 3 inconnues.

$\begin{array}{r} x \xrightarrow{a_1} \qquad \qquad \qquad b_1 \xrightarrow{\quad} y \\ A \qquad \qquad \qquad b_1 A + \quad B \\ \frac{A}{1 - a_1 b_1} = A' \qquad \qquad \frac{B}{1 - a_1 b_1} = B' \\ \hline x = A' + a_1 B' \end{array}$	$\begin{array}{r} \frac{B}{1 - a_1 b_1} = B' \\ \hline y = B' + b_1 A' \end{array}$
--	---

Fig. 229 et 230. Résolution d'un système de deux équations à 2 inconnues respectivement par la méthode ordinaire et par la méthode simplifiée.

De même en  $y$ , nous barrons  $B$  et le remplaçons par

$$B' = \frac{B}{1 - a_1 b_1}$$

L'influence totale de  $A$  sur  $y$  vaut  $b_1 A'$ ; celle de  $B$  sur  $x$  vaut  $a_1 B'$ .

On a

$$\begin{array}{l} x = A' + a_1 B' \\ y = B' + b_1 A' \end{array}$$

#### Cas de plus de deux équations

$$x = a_1 y + a_2 z + A \quad (1)$$

$$y = b_1 x + b_2 z + B \quad (2)$$

$$z = c_1 x + c_2 y + C \quad (3)$$

#### A) Certains des coefficients sont grands

Supposons, par exemple, que le produit  $a_1 b_1$  soit plus grand, ou voisin de l'unité.

Dessinons le triangle  $xyz$  (fig. 231); considérons l'existence des sommets  $x$  et  $y$  seulement.

Dans ce cas,  $A$  devient

$$A \frac{1}{1 - a_1 b_1} = A'$$

et l'influence totale de  $A$  sur le sommet  $y$  est  $b_1 A'$ .

Ces deux formules sont exactes quelle que soit la valeur du produit  $a_1 b_1$ .

De même  $B$  devient

$$B \frac{1}{1 - a_1 b_1} = B'$$

et l'influence totale de  $B$  sur le sommet  $x$  est  $a_1 B'$ .

Par conséquent, si nous ne considérons que





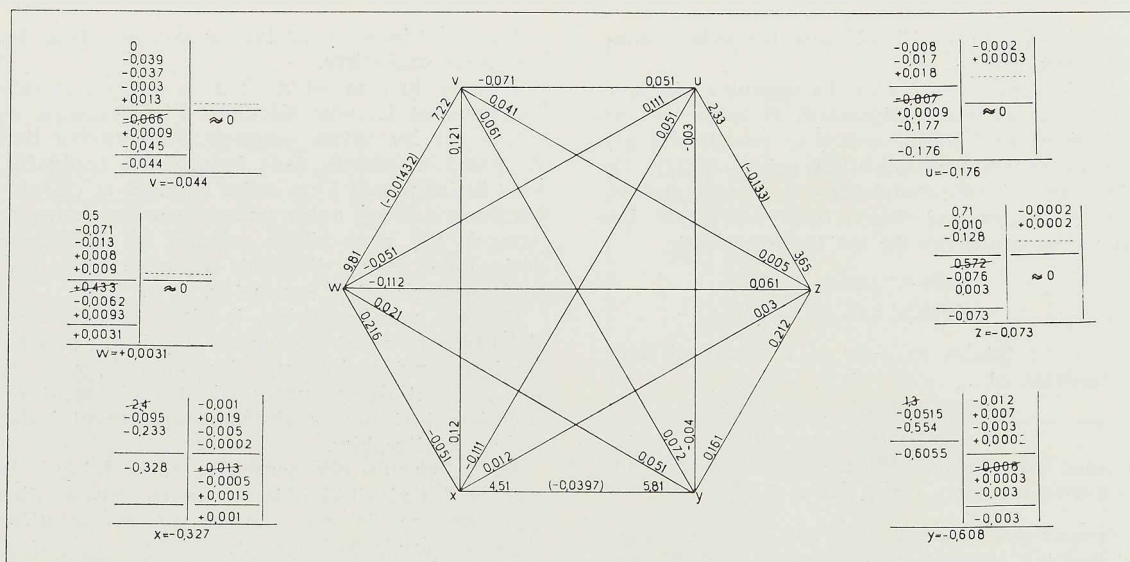


Fig. 232. Exemple numérique de la résolution d'un système de six équations à six inconnues.

L'existence des sommets  $x$  et  $y$ ,  $A$  sera remplacé par

$$A' + a_1 B' = A_1$$

et  $B$  sera remplacé par

$$b_1 A' + B' = B_1.$$

Il nous reste à calculer l'influence de  $A_1$  et de  $B_1$  sur  $z$ , ce que nous faisons par les méthodes ordinaires. Nous calculons ensuite l'influence de  $z$  sur  $x$  et  $y$ . Nous opérons ensuite sur les nouvelles valeurs trouvées en  $x$  et  $y$  comme plus haut avec  $A$  et  $B$  et ainsi de suite.

#### Remarque

Cette méthode n'est applicable que pour autant qu'il n'y ait pas beaucoup de coefficients supérieurs ou voisins de l'unité. Si, par exemple,  $c_2$  était également grand, la méthode pourrait ne pas être applicable. Le calculateur se rendra facilement compte a priori si cette méthode a des chances de succès. L'exemple numérique suivant fera d'ailleurs sentir comment le calculateur doit s'y prendre dans un cas général.

#### EXEMPLE NUMÉRIQUE

Soit à résoudre le système de six équations (fig. 232).

$$x = 4,51 y + 0,012 z - 0,111 u + 0,12 v - 0,051 w + 2,4 \quad (1)$$

$$y = 5,81 x + 0,161 z - 0,04 u + 0,072 v + 0,051 w + 1,3 \quad (2)$$

$$z = 0,03 x + 0,212 y + 3,65 u + 0,005 v + 0,061 w + 0,71 \quad (3)$$

$$u = 0,051 x - 0,03 y + 2,33 z + 0,051 v + 0,111 w - 0,008 \quad (4)$$

$$v = 0,121 x + 0,061 y + 0,041 z - 0,071 u + 7,22 w \quad (5)$$

$$w = 0,216 x + 0,021 y - 0,112 z - 0,051 u + 9,81 v + 0,5 \quad (6)$$

sur le côté  $xy$ , écrivons la valeur de

$$\frac{1}{1 - 4,51 \times 5,81} = -0,0397;$$

sur le côté  $zu$ , écrivons la valeur de

$$\frac{1}{1 - 3,65 \times 2,33} = -0,133;$$

sur le côté  $wv$ , écrivons la valeur de

$$\frac{1}{1 - 9,81 \times 7,22} = -0,01432.$$

Considérons les sommets  $x$  et  $y$  :

2,4 sera remplacé par  $2,4 \times (-0,0397) = -0,095$   
et l'influence totale de 2,4 sur  $y$  sera

$$-0,095 \times 5,81 = -0,554;$$

1,3 sera remplacé par  $1,3 \times (-0,0397) = -0,0515$   
et l'influence totale de 1,3 sur  $x$  sera

$$-0,0515 \times 4,51 = -0,233.$$

Nous devons calculer l'influence de  $x$ , c'est-à-dire de  $-0,095 - 0,233 = -0,328$  sur les autres sommets (sauf sur  $y$ ); nous calculons ces influences par la méthode de base. De même, nous calculerons l'influence de  $y$ , c'est-à-dire de



$-0,554 - 0,0515 = -0,6055$  sur les autres sommets (sauf sur  $x$ ).

Considérons le sommet  $z$ . La somme algébrique des termes (terme indépendant et influences de  $x$  et de  $y$ ) vaut  $0,572$ , que nous remplaçons par  $-0,076$  (après multiplication par  $-0,133$ ). De même en  $u$ , nous remplaçons la somme algébrique des termes, qui vaut  $-0,007$  par  $0,0009$ . Les influences mutuelles de ces termes valent

$$\begin{aligned} & -0,076 \times 2,33 = -0,177 \\ \text{et} & \quad 0,0009 \times 3,65 = 0,003; \end{aligned}$$

les valeurs totales en  $z$  et en  $u$  vaudront donc respectivement

$$\begin{aligned} & -0,076 + 0,003 = -0,073 \\ \text{et} & \quad -0,177 + 0,0009 = -0,176 \end{aligned}$$

et nous calculons l'influence de ces termes sur les autres sommets (sauf sur  $z$  et  $u$ ).

Passons aux sommets  $v$  et  $w$ : la somme algébrique des termes vaut  $-0,066$  et  $0,433$  que nous remplaçons par  $0,0009$  et  $-0,0062$  (après multiplication par  $-0,01432$ ), produisant, par influence mutuelle, les valeurs respectives  $-0,045$  et  $0,0093$ ; les valeurs totales en  $v$  et  $w$  vaudront

$$-0,044 \quad \text{et} \quad 0,0031;$$

et nous calculerons l'influence de ces valeurs sur les autres sommets.

Repassons aux sommets  $x$  et  $y$ ; les sommes des termes placés sous les traits horizontaux valent  $0,013$  et  $-0,008$ , que nous remplaçons par les valeurs approximatives (après multiplication par  $-0,0397$ )  $-0,0005$  et  $0$  produisant les influences mutuelles respectivement égales à  $+0,0015$  et  $-0,003$ ; les nouvelles valeurs partielles en  $x$  et  $y$  vaudront donc  $+0,001$  et  $-0,003$ .

Les influences de  $+0,001$  et  $-0,003$  sur les autres sommets sont négligeables; nous arrêtons les calculs et nous trouvons, en dessous des traits horizontaux, les valeurs des inconnues.

## B) Les coefficients d'une seule équation sont grands

Premier cas

Soit à résoudre le système

$$\begin{aligned} x &= a_1y + a_2z + a_3u + \dots + 1 \\ y &= b_1x + b_2z + b_3u + \dots + 0 \\ z &= c_1x + c_2y + c_3u + \dots + 0 \\ & \dots \end{aligned}$$

dans lequel tous les termes indépendants sont nuls, sauf un et dans lequel seuls certains des coefficients  $a_1, a_2, a_3, \dots$  sont grands, à l'exclusion des autres coefficients.

Nous dessinons le polygone comme dans les méthodes ordinaires.

Partant du sommet  $x$  où nous avons le terme indépendant  $1$ , nous calculons l'influence de ce terme sur les autres sommets. Ensuite, au lieu de procéder comme dans la méthode ordinaire, c'est-à-dire passer à un autre sommet et calculer l'influence de cet autre sommet sur les autres ( $y$  compris  $x$ ), nous allons calculer les influences réciproques de ces différents sommets entre eux, mais en excluant le sommet  $x$ .

Comme, par hypothèse, il n'y a que les coefficients se trouvant au sommet  $x$  qui sont grands, les influences réciproques des sommets  $y, z, u, v, \dots$  seront des nombres allant rapidement en décroissant et nous arriverons rapidement à des termes négligeables.

Si, à chacun des sommets, nous faisons la somme des résultats obtenus, nous pouvons dire que chacune de ces sommes est la *première influence totale* de  $1$  (en  $x$ ).

Nous désignerons ces influences totales en  $y, z, u, \dots$  respectivement par  $i_y, i_z, i_u, \dots$ .

Comme jusqu'à présent nous avons exclu le sommet  $x$ , nous devons calculer maintenant l'influence de  $i_y, i_z, i_u, \dots$  sur  $x$ . Soit  $i_x$  la somme de toutes ces influences;  $i_x$  sera la *première influence totale* de  $1$  (en  $x$ ) sur  $x$ .

En raisonnant sur  $i_x$  comme nous avons raisonné précédemment sur  $1$ , nous trouverions que la *deuxième influence totale* de  $1$  sur  $x$  vaut  $i_x^2$ .

De même, la *troisième influence totale* de  $1$  sur  $x$  vaut  $i_x^3$  et ainsi de suite.

En  $x$ , nous trouverons donc

$$x = 1 + i_x + i_x^2 + i_x^3 + \dots$$

De même :

$$\begin{aligned} y &= i_y + i_x i_y + i_x^2 i_y + \dots = i_y (1 + i_x + i_x^2 + \dots) \\ z &= i_z + i_x i_z + i_x^2 i_z + \dots = i_z (1 + i_x + i_x^2 + \dots) \end{aligned}$$

Et quoique  $i_x$  puisse être supérieur à l'unité, nous aurons toujours, en appliquant la formule de la limite de la somme d'une progression géométrique de raison  $i_x$ ,

$$x = \frac{1}{1 - i_x}, \quad y = \frac{i_y}{1 - i_x}, \quad z = \frac{i_z}{1 - i_x}, \quad \text{etc.}$$

ou

$$x = \frac{1}{1 - i_x}, \quad y = i_y x, \quad z = i_z x, \quad \text{etc.}$$

Deuxième cas

Si, dans la première équation, le terme indépendant valait  $A$ , il est entendu que tous les résultats précédents seraient multipliés par  $A$ .





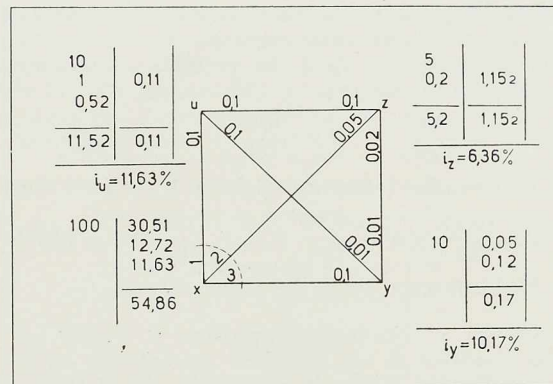
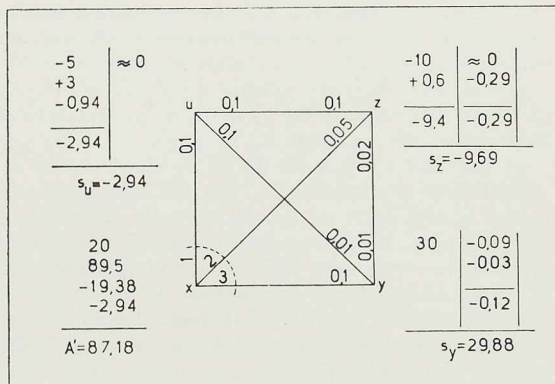


Fig. 233 et 234. Exemple numérique de la résolution d'un système de quatre équations à quatre inconnues.

Troisième cas : Les termes indépendants ne sont pas nuls

Dans le cas où les termes indépendants des équations (2), (3), (4), etc. ne sont pas nuls, il y a lieu d'opérer comme suit :

a) Chercher les influences réciproques des sommets  $y, z, u, \dots$ , en faisant abstraction du sommet  $x$  ;

b) A chacun des sommets, faire la somme des résultats obtenus, soient  $s_y, s_z, s_u, \dots$  ces différentes sommes ;

c) Calculer l'influence de  $s_y, s_z, \dots$  sur  $x$ , soient  $i_{1x}, i_{2x}, i_{3x}$  ces influences ;

d) Faire la somme

$$A + i_{1x} + i_{2x} + i_{3x} + \dots = A'$$

e) Calculer l'influence de  $A'$  sur chacun des sommets.

Nous ferons, à cet effet, une nouvelle figure dans laquelle ce ne sera qu'en  $x$  qu'il y aura un terme indépendant  $A'$ . Nous sommes donc ramenés au deuxième cas ;

f) En  $x$  nous trouverons

$$x = A' (1 + i_x + i_x^2 + \dots) = A' \frac{1}{1 - i_x}$$

En  $y$  nous aurons

$$y = s_y + xi_y$$

De même

$$z = s_z + xi_z, \text{ etc.}$$

Remarque

Cette méthode peut évidemment être appliquée, combinée avec la précédente.

En faisant abstraction du sommet  $x$  et en calculant les influences réciproques des sommets

$y, z, u, v, \dots$ , on peut évidemment introduire la méthode précédente si certains des coefficients étaient voisins, voire supérieurs à l'unité.

EXEMPLE NUMÉRIQUE

Soit à résoudre le système

$$\begin{aligned} x &= 3y + 2z + u + 20 \\ y &= 0,1x + 0,01z + 0,01u + 30 \\ z &= 0,05x + 0,02y + 0,1u - 10 \\ u &= 0,1x + 0,1y + 0,1z - 5 \end{aligned}$$

Comme les coefficients de la première équation sont grands, nous faisons abstraction de sommet  $x$  et calculons les influences réciproques des sommets  $y, z$  et  $u$ .

Nous trouvons rapidement (fig. 233)

$$s_y = 29,88 \quad s_z = -9,69 \quad s_u = -2,94$$

Nous calculons ensuite l'influence de  $s_y, s_z$  et  $s_u$  sur  $x$ .

Nous trouvons

$$\begin{aligned} i_{1x} + i_{2x} + i_{3x} &= 29,88 \times 3 - 9,69 \times 2 - 2,94 \times 1 \\ &= 89,5 - 19,38 - 2,94 \end{aligned}$$

Donc

$$A' = 20 + 89,5 - 19,38 - 2,94 = 87,18$$

Nous devons maintenant calculer l'influence de  $A'$  sur les autres sommets. A cet effet, nous calculons l'influence de 100 sur les différents sommets (fig. 234).

Pour calculer cette influence, nous opérons comme dans le premier cas ; nous calculons donc l'influence directe de 100 sur les sommets  $y, z$  et  $u$ , ce qui donne respectivement 10, 5 et 10 ;





nous calculons les influences réciproques de  $y$ ,  $z$  et  $u$  (en faisant abstraction de  $x$ ).

Nous trouvons ainsi les premières influences totales de 1 sur  $y$ ,  $z$ ,  $u$ . Elles valent

$$i_y = \frac{10,17}{100} \quad i_z = \frac{6,36}{100} \quad i_u = \frac{11,63}{100}$$

La première influence totale de 1 sur  $x$  est donc

$$i_x = \frac{10,17}{100} \times 3 + \frac{6,36}{100} \times 2 + \frac{11,63}{100} \times 1 = 0,5486$$

Et l'influence totale de 1 sur  $x$  sera

$$\frac{1}{1 - 0,5486}$$

L'influence totale de  $A' = 87,18$  sur  $x$  sera

$$\frac{87,18}{1 - 0,5486} = 193,5$$

Donc  $x = 193,5$

$$y = s_y + x \times i_y = 29,88 + 193,5 \times \frac{10,17}{100} = 49,58$$

$$z = s_z + x \times i_z = -9,69 + 193,5 \times \frac{6,36}{100} = 2,91$$

$$u = s_u + x \times i_u = -2,94 + 193,5 \times \frac{11,63}{100} = 19,56$$

### C) Les coefficients de plusieurs équations sont grands

La variante précédente peut évidemment être généralisée.

Supposons que dans deux équations proposées, les coefficients des inconnues soient grands. Pour fixer les idées, supposons que ce soient dans les équations  $x = \dots$  et  $y = \dots$ .

Nous faisons d'abord abstraction du sommet  $x$  et cherchons les influences réciproques des sommets  $y$ ,  $z$ ,  $u$ ,  $v$ , ...

Cependant, comme dans le cas présent, les coefficients se trouvant près du sommet  $y$  sont grands, en appliquant la méthode de base pour calculer les influences réciproques des sommets  $y$ ,  $z$ ,  $u$ ,  $v$ , ..., les termes pourraient ne pas aller en décroissant, aussi pour calculer les influences réciproques de  $y$ ,  $z$ ,  $u$ ,  $v$ , ... nous pouvons appliquer également la méthode précédente et faire abstraction momentanément du sommet  $y$ .

En résumé, le processus est le suivant :

a) Calculer les influences réciproques de  $z$ ,  $u$ ,  $v$ , ... ;

b) A chacun des sommets  $z$ ,  $u$ ,  $v$ , ... faire la somme des termes obtenus, soient  $s_{1z}$ ,  $s_{1u}$ ,  $s_{1v}$ , ... ces sommes ;

c) Calculer l'influence de  $s_{1z}$ ,  $s_{1u}$ ,  $s_{1v}$  sur  $y$  ;

d) Faire la somme de ces influences en  $y$  avec le terme B qui se trouvait déjà en  $y$ , soit  $B'$  cette somme ;

e) Tout en continuant à faire abstraction du sommet  $x$ , calculer les influences de  $B'$  sur les sommets  $z$ ,  $u$ , ... ;

f) Calculer ainsi les valeurs de  $y'$ ,  $z'$ ,  $u'$ ,  $v'$ , ..., qui sont les valeurs de  $y$ ,  $z$ ,  $u$ ,  $v$ , ... en faisant abstraction du sommet  $x$  ;

g) Calculer l'influence de  $y'$ ,  $z'$ ,  $u'$ ,  $v'$ , ... sur  $x$  ;

h) Faire la somme de ces influences et du terme A déjà écrit en  $x$ , soit  $A'$  cette somme ;

i) Calculer l'influence de  $A'$  sur les sommets  $y$ ,  $z$ ,  $u$ , ... et les influences réciproques de  $y$ ,  $z$ ,  $u$ , ... en faisant abstraction de  $x$  ;

j) Calculer la première influence totale sur  $x$  ;

k) Calculer l'influence totale sur  $x$ , c'est-à-dire calculer la valeur de  $x$  ;

l) Calculer les valeurs de  $y$ ,  $z$ ,  $u$ , ...

### Remarque

La méthode de base, combinée avec les deux ou trois variantes précédentes, permet de résoudre 95 % des cas pratiques. Nous sommes persuadés que cette méthode sera de plus en plus employée en pratique par suite de sa facilité d'application. De plus, elle a un grand avantage sur les méthodes classiques, car lorsque, dans l'application des dernières méthodes, on fait une erreur de calcul, on est obligé de refaire le calcul de la première ligne à la dernière, alors que par l'application de la méthode précédente on peut corriger les faux résultats obtenus sans rechercher l'endroit où l'on a commis l'erreur ou les erreurs, en faisant simplement un petit calcul complémentaire de correction.

### Correction des erreurs

Soit à résoudre le système

$$x = a_1y + a_2z + A \quad (1)$$

$$y = b_1x + b_2z + B \quad (2)$$

$$z = c_1x + c_2y + C \quad (3)$$

Supposons que nous ayons commis une ou plusieurs erreurs dans le calcul et que nous arrivions aux faux résultats

$$x_f, y_f, z_f$$

Il est évident que si  $x'$ ,  $y'$  et  $z'$  sont les corrections à calculer, nous avons

$$x = x_f + x' \quad y = y_f + y' \quad z = z_f + z'$$

En remplaçant  $x$ ,  $y$  et  $z$  par les valeurs précédentes dans le système ci-dessus, nous trouvons

$$x_f + x' = a_1(y_f + y') + a_2(z_f + z') + A$$

ou

$$x' = a_1y' + a_2z' + a_1y_f + a_2z_f - x_f + A$$

ou

$$x' = a_1y' + a_2z' + A' \quad (1')$$





Nous constatons que (1') ne diffère de (I) que par le terme indépendant.

Nous aurons de même

$$y' = b_1 x' + b_2 z' + B', \quad (2')$$

$$z' = c_1 x' + c_2 y' + C'. \quad (3')$$

Le système (1'), (2'), (3') permet de calculer la valeur de  $x'$ ,  $y'$  et  $z'$ .

Pour résoudre ce dernier système, nous avons à dessiner le même triangle que pour calculer le premier système; cependant, remarquons que les termes indépendants  $A'$ ,  $B'$  et  $C'$  sont assez petits si les erreurs que nous avons commises sont relativement petites et qu'ils sont d'autant plus petits que ces erreurs sont petites ( $A' = B' = C' = 0$  si  $x'$ ,  $y'$ ,  $z'$  sont nuls, c'est-à-dire si nous n'avons pas commis d'erreurs).

Comme les termes  $A'$ ,  $B'$  et  $C'$  dont nous parlons pour faire le calcul de corrections sont petits, le calcul sera court.

Nous trouverons ainsi

$$x', y' \text{ et } z'$$

et  $x$ ,  $y$ ,  $z$  seront donnés par

$$x = x_i + x'$$

$$y = y_i + y'$$

$$z = z_i + z'.$$

*Remarque*

Comme en pratique on a souvent à l'avance une idée du résultat, on estimera à l'avance  $x_i$ ,  $y_i$  et  $z_i$  et le calcul se résumera à calculer  $x'$ ,  $y'$  et  $z'$ . Ce dernier calcul sera d'autant plus court qu'on aura eu l'œil dans l'estimation de  $x$ ,  $y$ ,  $z$ .

D) Un grand nombre de coefficients sont grands

La méthode reprise sous le C n'est pas facilement applicable lorsque les coefficients sont grands dans plus de deux des équations. Dans ce cas on aura recours à l'une des trois méthodes suivantes.

PREMIÈRE MÉTHODE

Soit à résoudre le système de  $n$  équations

$$\begin{aligned} x &= a_1 y + a_2 z + a_3 u + \dots + A \\ y &= b_1 x + b_2 z + b_3 u + \dots + B \\ z &= c_1 x + c_2 y + c_3 u + \dots + C \end{aligned} \quad (I)$$

Supposons que parmi ces  $n$  équations, il y en

ait  $p$  dans lesquelles plusieurs coefficients sont grands. Nous considérerons le système dans lequel nous aurons multiplié par  $k$  ( $k$  étant plus grand que l'unité) le premier membre des  $p$  équations en question. Nous obtiendrons

$$\begin{aligned} kx &= a_1 y + a_2 z + a_3 u + \dots + A \\ ky &= b_1 x + b_2 z + b_3 u + \dots + B \\ kz &= c_1 x + c_2 y + c_3 u + \dots + C \\ \dots & \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \\ v &= e_1 x + e_2 y + e_3 z + \dots + E \\ w &= f_1 x + f_2 y + f_3 z + \dots + F \end{aligned} \quad (II)$$

En faisant  $k$  suffisamment grand, le système (II) est rapidement résoluble par la méthode de base.

Nous obtiendrons ainsi les racines  $x_k$ ,  $y_k$ ,  $z_k$  du système (II).

Nous allons voir comment, connaissant  $x_k$ ,  $y_k$ ,  $z_k$  nous pouvons déterminer les racines  $x$ ,  $y$ ,  $z$  de (I).

A cet effet, remarquons que si nous avons résolu le système (II) par la méthode des déterminants, nous aurions obtenu

$$x_k = \frac{\begin{vmatrix} A & -a_1 & -a_2 & -a_3 & \dots \\ B & k & -b_2 & -b_3 & \dots \\ C & -c_2 & k & -c_3 & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ E & -e_2 & -e_3 & -e_4 & \dots \\ F & -f_2 & -f_3 & -f_4 & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} k & -a_1 & -a_2 & -a_3 & \dots \\ -b_1 & k & -b_2 & -b_3 & \dots \\ -c_1 & -c_2 & k & -c_3 & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ -e_1 & -e_2 & -e_3 & -e_4 & \dots \\ -f_1 & -f_2 & -f_3 & -f_4 & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \end{vmatrix}} = \frac{D_{xk}}{\Delta_k}$$

ou

$$x_k = \frac{\alpha_1' k^{p-1} + \alpha_2' k^{p-2} + \dots + \alpha_p'}{\mu_0' k^p + \mu_1' k^{p-1} + \dots + \mu_p'}$$

ou en divisant haut et bas par  $\mu_0'$

$$x_k = \frac{\alpha_1 k^{p-1} + \alpha_2 k^{p-2} + \dots + \alpha_p}{k^p + \mu_1 k^{p-1} + \dots + \mu_p}. \quad (1)$$

De même

$$y_k = \frac{\beta_1 k^{p-1} + \beta_2 k^{p-2} + \dots + \beta_p}{k^p + \mu_1 k^{p-1} + \dots + \mu_p} \quad (2)$$

$$v_k = \frac{\varepsilon_0 k^p + \varepsilon_1 k^{p-1} + \dots + \varepsilon_p}{k^p + \mu_1 k^{p-1} + \dots + \mu_p} \quad (p+1)$$





Pour  $k=1$  les formules précédentes donnent

$$\begin{aligned} x &= \frac{\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_p}{1 + \mu_1 + \dots + \mu_p} \\ y &= \frac{\beta_1 + \beta_2 + \dots + \beta_p}{1 + \mu_1 + \dots + \mu_p} \\ &\dots \dots \dots \\ v &= \frac{\varepsilon_0 + \varepsilon_1 + \dots + \varepsilon_p}{1 + \mu_1 + \dots + \mu_p} \\ &\dots \dots \dots \end{aligned}$$

Par conséquent, pour calculer  $x, y, z, \dots, v, \dots$  il suffit de déterminer les coefficients

$$\alpha_1, \alpha_2, \dots, \beta_1, \beta_2, \dots, \varepsilon_0, \varepsilon_1, \dots, \mu_1, \mu_2, \dots$$

Or, en donnant  $2p$  valeurs à  $k$  (pour fixer les idées, par exemple : 3, -3, 4, -4, 5, -5, ...) et en déterminant par la méthode de base les valeurs correspondantes de  $x_k$  l'équation (1) nous donnera les coefficients

$$\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_p, \mu_1, \mu_2, \dots, \mu_p.$$

De même, en donnant  $p$  valeurs à  $k$ , et en calculant les valeurs correspondantes de  $y_k$  (ce qui se fait d'ailleurs autour du même polygone que celui qui sert à déterminer  $x_k$ ), (2) donnera  $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p$ , etc.

Pour calculer  $\varepsilon_0$  nous ferons  $k = \infty$  : ( $p+1$ ) devient en effet

$$v_\infty = \varepsilon_0.$$

Pour calculer  $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_p$  nous opérerons comme plus haut.

#### Remarques

1. Pour que

$$\alpha_1, \dots, \beta_1, \dots, \mu_1, \dots, \mu_p$$

soient calculés d'une façon précise (par exemple à 1/5.000<sup>e</sup> près) et qu'on puisse malgré tout utiliser la règle à calcul pour la détermination de  $x_k, y_k, \dots$ , il faudra opérer en deux étapes.

a) Calculer ces valeurs à 1/100<sup>e</sup> près ; celles-ci constitueront des valeurs approchées ;

b) Remplacer ces valeurs dans le système d'équations et faire, à cet effet, les opérations à 1/5.000<sup>e</sup> près. On obtiendra, comme nous l'avons exposé sous le titre « correction des erreurs » un nouveau système d'équations à termes indépendants petits ;

c) Faire le calcul de corrections à la règle à calcul (à 1/100<sup>e</sup> près).

2. Le calcul sera d'autant plus précis que  $k$  sera voisin de l'unité. D'autre part, pour que (II) soit facilement résoluble, il faudra donner à  $k$  des valeurs telles que tout en divisant les deux

membres des  $p$  équations par  $k$ , les coefficients soient petits.

3. Notons que le système d'équations servant à déterminer  $\alpha_1, \dots, \alpha_p, \mu_1, \dots, \mu_p$ , peut être résolu une fois pour toutes et que sa résolution ne constitue pas un obstacle à l'application de cette méthode.

4. La méthode précédente est indiquée si le nombre d'équations ( $n$ ) est grand (pour fixer les idées au moins 6 équations) et si le nombre des  $p$  équations est relativement petit ( $p=2$  ou 3). Si le nombre  $p$  d'équations est trop grand, comme il faut donner  $2p$  valeurs à  $k$  pour calculer  $\alpha_1, \dots, \alpha_p, \mu_1, \dots, \mu_p$  et que ces valeurs de  $k$  doivent être assez différentes pour que la méthode soit assez précise, ou bien la valeur la plus petite de  $k$  doit être trop voisine de l'unité (ce qui augmente la longueur du calcul de  $x_k, y_k, \dots$ ) ou bien la valeur la plus grande de  $k$  est trop élevée (ce qui diminue fortement la précision).

#### DEUXIÈME MÉTHODE

Cette méthode est indiquée quand le nombre d'équations n'est pas trop élevé, ou bien si le nombre des  $p$  équations dont question plus haut est relativement élevé.

Nous opérons comme dans la méthode précédente et remplaçons le système (I) par le système (II).

Nous déterminons  $\mu_0', \mu_1', \dots, \mu_p'$ , en développant le déterminant  $\Delta_k$  (et en ne remplaçant pas  $k$  par une valeur numérique).

$\mu_1, \dots, \mu_p$  sont déterminés par les formules

$$\mu_1 = \frac{\mu_1'}{\mu_0'} ; \mu_2 = \frac{\mu_2'}{\mu_0'} ; \dots ; \mu_p = \frac{\mu_p'}{\mu_0'}.$$

En donnant  $p$  valeurs à  $k$ , (1) nous donnera les valeurs de  $\alpha_1, \dots, \alpha_p$  et ainsi de suite.

#### Remarque

Cette méthode a le grand désavantage de demander le calcul du développement de  $\Delta_k$ , opération très longue. Mais quand on songe que pour résoudre un système de 9 équations à 9 inconnues par la méthode classique, il faut calculer 10 déterminants du genre de  $\Delta_k$ , alors que par la méthode précédente, on n'en a qu'un seul à calculer, on se rendra compte que malgré tout, la méthode précédente contribue largement à diminuer la longueur des calculs.

#### TROISIÈME MÉTHODE

Soit à résoudre le système I (page 193) et supposons, pour fixer les idées, que les coefficients





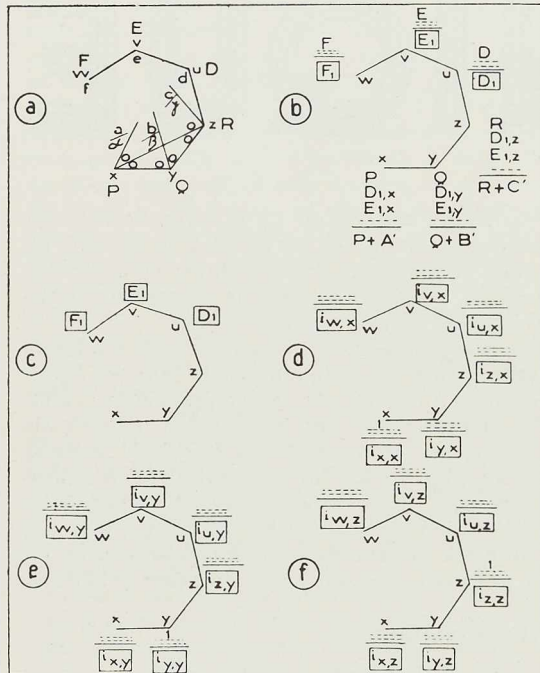


Fig. 235. Résolution d'un système d'équations par la 3<sup>ème</sup> méthode générale.

des trois premières équations soient grands; ajoutons aux deux membres de ces équations, respectivement  $(\alpha-1)x$ ,  $(\beta-1)y$  et  $(\gamma-1)z$ . Divisons les deux membres de ces équations ainsi transformées respectivement par  $\alpha$ ,  $\beta$  et  $\gamma$ .

Nous obtiendrons, en posant :

$$P = \frac{A}{\alpha} + \frac{\alpha-1}{\alpha}x + \frac{a_1}{\alpha}y + \frac{a_2}{\alpha}z \quad (1)$$

$$Q = \frac{B}{\beta} + \frac{\beta-1}{\beta}y + \frac{b_1}{\beta}x + \frac{b_2}{\beta}z \quad (2)$$

$$R = \frac{C}{\gamma} + \frac{\gamma-1}{\gamma}z + \frac{c_1}{\gamma}x + \frac{c_2}{\gamma}y \quad (3)$$

et en considérant ces termes comme termes indépendants

$$\begin{aligned} x &= \frac{a_3}{\alpha}u + \dots + P \\ y &= \frac{b_3}{\beta}u + \dots + Q \\ z &= \frac{c_3}{\gamma}u + \dots + R \\ u &= d_1x + d_2y + d_3z + \dots + D \\ v &= e_1x + e_2y + e_3z + \dots + E \end{aligned} \quad (II)$$

En choisissant  $\alpha$ ,  $\beta$  et  $\gamma$  suffisamment grands tous les coefficients de (II) sont petits et nous résoudrons (II) comme suit :

Le système (II) peut être représenté par la figure 235a. Sur cette figure, nous avons indiqué au sommet  $x$  les coefficients qui sont toujours nuls, les autres étant de la forme  $\frac{a}{z}$ ; nous avons mis les indications semblables près des sommets  $y$  et  $z$ ; auprès des autres sommets, nous avons simplement représenté par  $d, e, f, \dots$  l'ensemble des coefficients  $d_1, d_2, \dots, e_1, e_2, \dots, f_1, f_2, \dots$ .

Les influences mutuelles de  $u, v, \dots$  en faisant abstraction des sommets  $x, y$  et  $z$  donnent les résultats  $D_1, E_1, F_1, \dots$ . Les influences sur  $x, y$  et  $z$  sont respectivement  $D_{1,x}, E_{1,x}, F_{1,x}, \dots; D_{1,y}, E_{1,y}, F_{1,y}, \dots$  et  $D_{1,z}, E_{1,z}, F_{1,z}$ . Nous obtiendrons la figure 235b et nous aurons symboliquement

fig. 235a = fig. 235b.

Remarquons que nous avons encadré  $D_1, E_1, F_1$ , montrant par là que nous avons calculé leurs influences sur tous les sommets.

Il est aisé de voir que nous avons symboliquement

$$\text{fig. 235b} = \text{fig. 235c} + (P+A') \times \text{fig. 235d} + (Q+B') \times \text{fig. 235e} + (R+C') \times \text{fig. 235f}$$

ce qui donne respectivement en  $x, y, z, \dots$

$$\begin{aligned} x' &= (P+A')i_{x,x} + (Q+B')i_{x,y} + (R+C')i_{x,z} \\ y &= (P+A')i_{y,x} + (Q+B')i_{y,y} + (R+C')i_{y,z} \\ z &= (P+A')i_{z,x} + (Q+B')i_{z,y} + (R+C')i_{z,z} \\ u &= D_1 + (P+A')i_{u,x} + (Q+B')i_{u,y} + (R+C')i_{u,z} \\ &\dots \end{aligned}$$

En remplaçant  $P, Q$  et  $R$  par leur valeur, les trois premières équations de ce système permettent de calculer  $x, y$  et  $z$ . Des équations suivantes, nous tirerons respectivement les valeurs de  $u, v, \dots$

#### Remarque

Nous devons donner à  $\alpha, \beta$  et  $\gamma$  des valeurs suffisamment grandes pour que les coefficients dans (II) soient suffisamment petits. Cependant, plus  $\alpha, \beta$  et  $\gamma$  sont grands, moins le calcul est précis, aussi ne considérerons-nous les résultats obtenus que comme première approximation et calculerons-nous les corrections d'après la méthode renseignée page 192. Ceci sera d'ailleurs très rapide car les calculs des figures  $d, e$  et  $f$  ne doivent plus être refaits.

W. K.





# CHRONIQUE

## Marché de l'acier pendant le mois de février 1947

	Production acier lingot en tonnes		
	Belgique	Luxembourg	Total
Février 1947	199.927	106.226	306.153
Février 1946	145.224	73.887	219.111
Janv.-fév. 1947	425.420	203.013	628.433

La production de février, mois de 28 jours, a fortement fléchi en Belgique. Par contre, au Grand-Duché, deux hauts fourneaux ont été rallumés et le pays a regagné une partie du terrain perdu en décembre et en janvier. La production est cependant encore en dessous du tonnage convenu, soit environ 2/5 de la production totale

de fonte des deux pays. Le manque de coke au Luxembourg étant dû en partie à la pénurie de moyens de transport entre la Ruhr et le Grand-Duché, la Belgique a mis à la disposition de ce dernier, 400 wagons belges.

L'approvisionnement en charbon reste d'ailleurs le point faible de notre industrie tant en Belgique qu'au Luxembourg. Si la production nationale marque bien une progression lente mais régulière, les arrivages de la Ruhr, de Pologne et d'Amérique accusent au contraire un retard considérable. Le maintien de la production intérieure à un niveau suffisant, après le départ des prisonniers de guerre, qui doit commencer en mai prochain, pose en outre un grave problème.

### Marché intérieur

Les débats relatifs au prix du charbon, au lieu

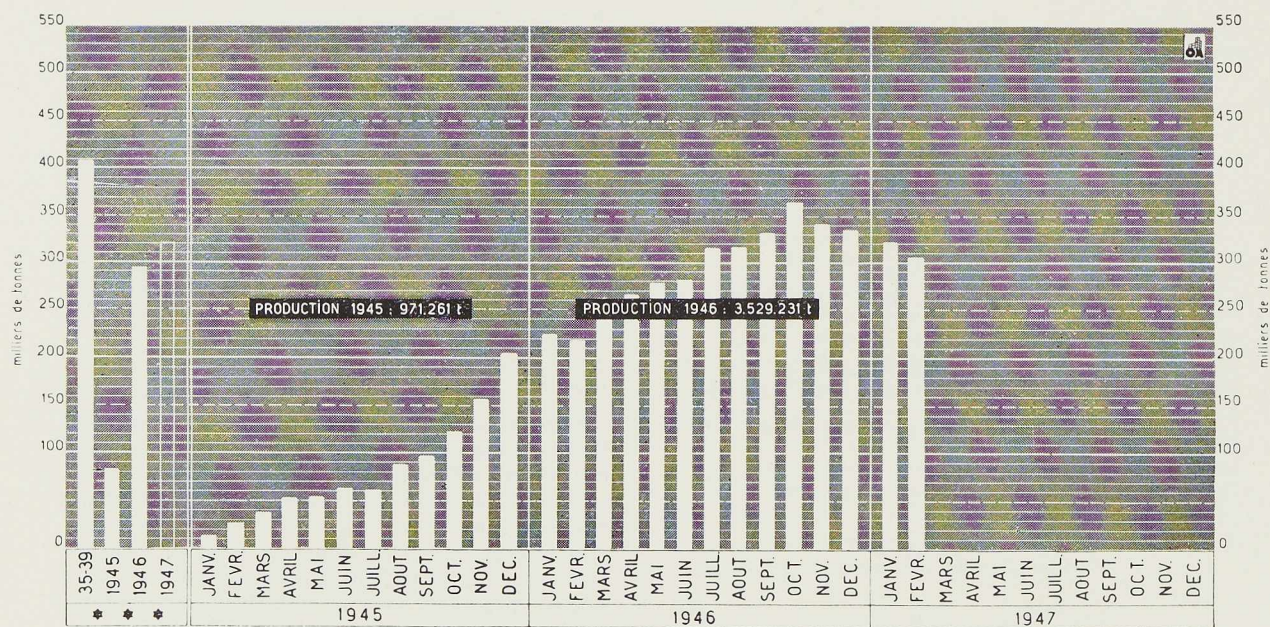


Fig. 236. Production des aciéries belges et luxembourgeoises.

\*\*\* Moyennes mensuelles des années 1935-1939, 1945, 1946 et des deux premiers mois 1947.





de trouver leur solution, attendue depuis sept mois, ont finalement amené une crise gouvernementale. Notons que le Gouvernement, avant de se retirer, avait décidé de fixer le prix de base de l'acier, sur le marché intérieur, à 3.150 francs la tonne. Cette cotation est précisément celle qui était prévue déjà dans l'arrêté du 9 août 1946. Au même moment, le prix de base du charbon a été porté à 629 francs, ce qui ne manquera pas d'avoir une nouvelle répercussion sur les prix de revient dans la sidérurgie. Simultanément, le Gouvernement a fixé un prix intermédiaire de 2.970 francs applicable à titre rétroactif de fin septembre à fin janvier. On peut se demander comment une telle mesure sera pratiquement applicable à tous les échelons du commerce de l'acier.

L'approvisionnement en minerai, malgré quelques difficultés de transport dues aux grands froids de février, a été suffisant. Le récent accord belgo-suédois nous assure la fourniture mensuelle de 100.000 tonnes de minerai suédois. Le marché des mitrailles est ferme et la hausse continue en toutes catégories.

Certains secteurs de l'industrie de la construction métallique ont eu à faire face à des difficultés charbonnières, dues aux fortes gelées. Par contre, la grève dans les chantiers navals de la région d'Anvers, s'est terminée, après une durée de dix-sept semaines.

Les constructeurs voient leur activité limitée par les possibilités d'approvisionnement. Il y a pénurie notamment de tôles fines et de roulements à billes.

#### Marché extérieur

La situation sur les marchés d'exportation se maintient, les prix variant suivant les destinations et les accords conclus. Les pourparlers avec l'Angleterre progressent lentement et on s'attend à un accord prochain prévoyant pour 1947 des fournitures de 95.000 tonnes de produits finis. Les grandes difficultés que l'Angleterre rencontre actuellement auront pour conséquence une diminution de ses exportations de produits bruts. Le « Board of Trade » vient de réduire en effet les exportations pour le premier trimestre à 225.000 tonnes. En 1938, les exportations avaient atteint 479.000 tonnes pour ce trimestre.

Par contre, aux Etats-Unis, on prévoit qu'endéans les six mois, la production sera parvenue à satisfaire entièrement les demandes de l'intérieur. Les aciéries américaines ont produit, en effet, en janvier 7.200.000 *short tons* et en février 7.600.000 tonnes. Les Etats-Unis ont exporté en

1945, environ 5 millions de *short tons* et en 1946, environ 6 millions de tonnes. Il est vrai qu'à l'heure actuelle, les délais de livraison américains restent très longs. D'autre part, les prix sont toujours en hausse. La capacité de production américaine, en tôles et feuillards à froid augmenterait en 1947, de 2,5 à 3 millions de tonnes.

Les prix pour les fournitures à faire au Congo belge, qui jusqu'ici étaient ceux des livraisons intérieures de Belgique, viennent d'être relevés légèrement et se rapprochent des prix des pays nordiques. La France bénéficie des mêmes prix, qui sont les plus bas cotés à l'exportation, et les pourparlers avec l'Angleterre sont également conduits sur les mêmes bases.

La récente convention signée entre la Belgique et la Norvège comporte pour l'année 1947 un contingent de produits métallurgiques d'une valeur de 330 millions de francs, et la convention belgodoanoise, un contingent de 175 millions de francs.

Les exportations de l'industrie de la construction métallique, mécanique et électrique, vers un ensemble de 76 marchés répartis à travers le monde, ont atteint en 1946, un total de 4,67 milliards de francs, soit 16 % de nos exportations belges. (Rappelons que l'exportation directe de produits sidérurgiques représente de son côté 20 % du commerce d'exportation en 1946.)

#### Salon de l'Agriculture à Bruxelles

A Bruxelles, dans le grand hall du Centenaire, vient de se tenir le 27<sup>e</sup> Salon de l'Agriculture qui a rencontré un grand succès.

Parmi les nombreux exposants nous avons relevé des constructeurs de hangars métalliques : Les Ateliers V. Buyck à Eecloo, de Munck Frères à Couthuin, Fromont à Mons, Grégoire à Alost; les déchargeurs pour fourrages et appareils de manutention des firmes Muller à Namur et Noël à Fosses; les clôtures « URSUS » des tréfileries Bekaert. La Société SIMA a exposé notamment un silo métallique qui a suscité un vif intérêt.

#### Les clous ont 3.000 ans d'âge

Le clou a une histoire de plus de 3.000 ans. D'après les références qu'on trouve dans la Bible, des clous, probablement de fer, furent employés en construction vers 1100 avant Jésus-Christ. Une autre référence dans la Bible mentionne des clous utilisés comme arme de destruction, pour tuer des hommes endormis.





D'après la revue américaine *Steel Facts*, l'histoire des clous aux Etats-Unis trouve son origine dans l'époque coloniale, lorsque la production des clous forgés à la main était une entreprise artisanale. Des familles entières s'occupaient de cette fabrication pendant les longs jours d'hiver, lorsque les travaux du dehors étaient impossibles, ainsi que pendant les soirées.

Les ronds à partir desquels on fabriquait les clous étaient obtenus des marchands de fer locaux. Les ronds à clous étaient chauffés jusqu'au rouge vif dans des forges installées dans les demeures des artisans, et ensuite découpés en pièces étroites. La tête du clou était obtenue en plaçant le rond dans une matrice et en le frappant avec un marteau. Chaque famille renvoyait les clous ainsi obtenus au marchand qui fournissait les ronds, et le paiement pour le travail fourni par la famille était effectué en nature par le marchand.

Cette méthode de fabrication des clous à la main par forgeage à chaud a été remplacée par la production mécanique vers 1777 lorsque Jeremiah Wilkinson inventa la machine à couper le clou.

Les clous, fabriqués à partir du fil de fer firent leur apparition en France en 1834. La première machine pour fabriquer ce type de clou a été installée aux Etats-Unis en 1850. Cette machine a travaillé avec plein succès pendant 52 ans et a été ensuite retirée de la circulation et mise dans un musée.

Les machines modernes pour la fabrication des clous à partir du fil de fer travaillent d'après le même principe de base qui caractérisait la première machine américaine.

## Activité de l'Institut belge de Normalisation

Le rapport annuel de l'Institut Belge de Normalisation présenté à l'assemblée générale statutaire du 31 mars 1947 signale entre autres la présentation à l'enquête publique des normes suivantes :

Norme 117 : Produits sidérurgiques — Méthodes d'essais.

Norme 147 : Produits sidérurgiques — Désignation abrégée des aciers.

Norme 148 : Produits sidérurgiques — Prélèvement et préparation des échantillons et des éprouvettes.

Norme 149 : Produits sidérurgiques — Tarage des machines d'essais.

Norme 150 : Produits sidérurgiques — Conditions générales techniques de livraison.

Norme 152 : Produits sidérurgiques — Barres laminées et profilés.

Rappelons que la Commission Mixte des Aciers a publié simultanément un document 117bis sur les méthodes d'essais spéciaux pour aciers pour constructions soudées, et une feuille de qualité des aciers pour constructions soudées (152.11bis).

Le rapport de l'I. B. N. précise en outre que la révision du règlement pour la construction des ponts métalliques N. B. N. 5 est entreprise; que la partie relative aux calculs des charpentes du règlement pour la construction des engins de levage va être soumise à l'enquête publique; qu'un avant-projet de prescriptions pour le code de bonne pratique des appareils en acier soudé, est en voie d'examen.

---

### Articles à paraître prochainement :

**Théorie de la flexion, torsion et flambage des barres à parois minces et à section ouverte**, par S. P. TIMOSHENKO.

**Le nouveau théâtre de Malmö (Suède).**

**Le pont Reine Alexandrine (Danemark).**

**Les jouets métalliques**, par F. LEBBE.

**Le pont bow-string de Tortosa (Espagne).**

**La nouvelle gare d'Amsterdam**, par C. F. B. LEMAIRE.

**Les ponts de Vedeggio et de Frodoba en Suisse**, par C. F. KOLLBRUNNER et O. WICHSER.

**Le pavillon de la Société CIBA à la Foire de Bâle.**

---





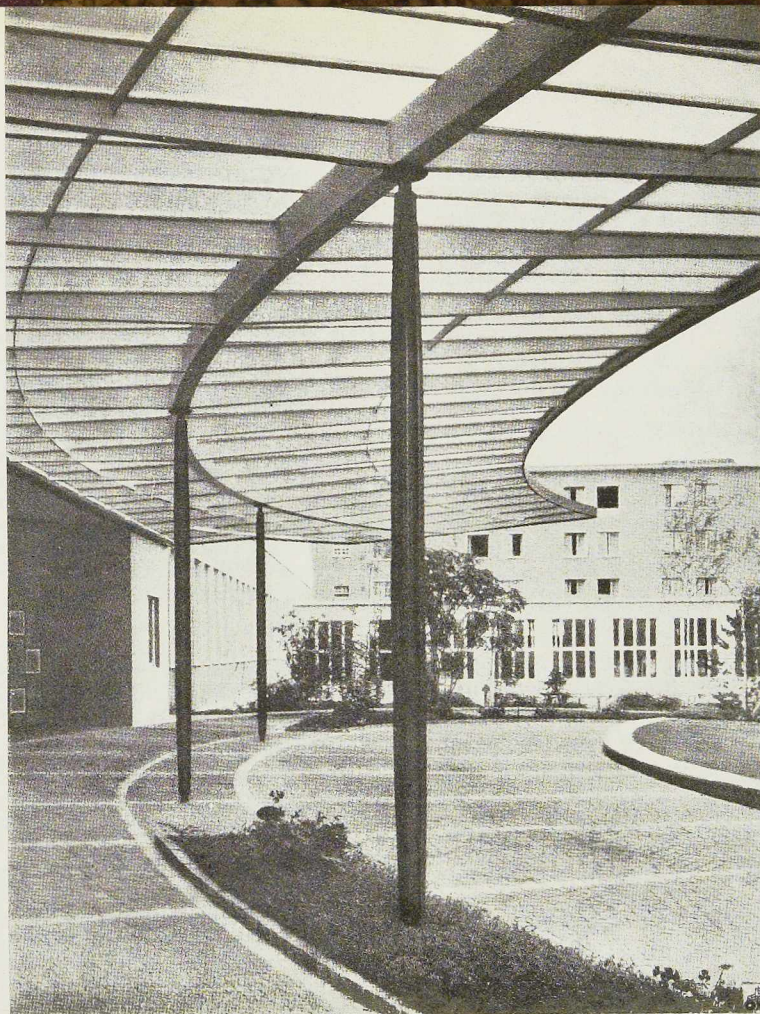


Fig. 237. Entrée principale du nouvel hôpital civil de Bâle (Suisse).

## Bibliothèque

**40 Jahre-Verband Schweizerischer Brückenbau und Stahlhochbau Unternehmungen** (40<sup>e</sup> anniversaire de l'Union des Constructeurs suisses de Ponts et Charpentes)

Un volume relié de 128 pages, format 21 × 30 cm, illustré de 66 figures. Edité par l'Union des Constructeurs Suisses de Ponts et Charpentes, Zurich, 1946.

Les constructeurs suisses ont fêté récemment le 40<sup>e</sup> anniversaire de leur Union (V. S. B.). A cette occasion, ils ont publié un magnifique recueil jubilaire.

Cet ouvrage retrace l'histoire du V. S. B. et en

fait celle de toute la construction métallique de la Confédération helvétique. Les Suisses, qui jouissent d'une renommée méritée dans de nombreuses branches de la technique, occupent également une place de choix parmi les constructeurs mondiaux de ponts et de charpentes.

Les principaux chapitres, après une introduction concernant les divers modes de construction en usage, sont :

La construction métallique (matériau et conditions d'utilisation, ainsi que divers cas d'application : ponts, construction industrielle, halls divers, tours et échafaudages, réservoirs et silos, constructions hydrauliques, etc.).

Le développement historique de la construction métallique depuis ses débuts en 1850.





Le développement du V. S. B. depuis sa création.

Les buts et missions actuels et futurs du V.S.B.

Présenté avec goût et largement illustré, ce volume fait honneur à l'Union des Constructeurs Suisses, qui l'a conçu et réalisé et à son secrétaire M. E. Pestalozzi.

### Palplanches métalliques Rodange

Un volume relié de 285 pages, format 22 X 27 cm, illustré de 357 figures. Edité par la S. A. Minière et Métallurgique de Rodange (Grand-Duché de Luxembourg).

Cet important ouvrage sur les palplanches métalliques Rodange, dont la Société Commerciale d'Ougrée a le monopole des ventes, contient une documentation sur les profils « Ransome », « Ougrée », « Z » et « Universels ».

A côté de nombreuses descriptions d'applications des palplanches, le volume donne d'utiles indications sur le calcul d'un rideau de palplanches, ainsi que sur les éléments déterminant le choix du profil et du métal.

### Engineers' Technical Dictionary (Dictionnaire technique anglais-français pour ingénieurs)

par M. LYOFF

Un ouvrage relié de 296 pages, format 11 X 16 cm. Edité par E. & F. N. Spon, Ltd., Londres. Prix 9 shillings.

Un ingénieur moderne doit se tenir au courant de la littérature technique mondiale, dans laquelle les publications anglo-saxonnes occupent une place de premier plan. La publication d'un dictionnaire technique anglais-français sera donc particulièrement appréciée par les ingénieurs. Le fait que ce dictionnaire a pour auteur M. Mark Lyoff, spécialisé depuis de longues années dans les traductions techniques, est une garantie pour la traduction exacte des termes techniques. Le dictionnaire, édité avec soin, contient plus de 10.000 mots utilisés dans les différentes branches de l'art de l'ingénieur.

### Architecture préfabriquée

par Pol ABRAHAM

Un ouvrage de 144 pages, format 13 X 21 cm, illustré de 69 figures. Edité par Dunod, Paris, 1947. Prix 240 francs français.

M. Pol Abraham, architecte en chef de la Reconstruction d'Orléans, défend dans ce livre la thèse suivante :

La préfabrication se limitant aux « blocs » s'intégrera à l'industrie du bâtiment, elle en changera progressivement l'esprit et les méthodes et la régénérera dans toutes ses parties. Elle se créera ainsi des possibilités illimitées apportant au problème de la reconstruction des solutions d'ensemble.

M. Abraham estime que les architectes qui vont bâtir doivent, d'une part, accepter les contraintes industrielles, condition d'une production massive et accélérée; ils doivent, d'autre part, les discipliner et les organiser, en vue de sauvegarder cette liberté d'agencer les volumes, les pleins et les vides, sans laquelle il n'y a plus de « composition » possible, donc plus d'architecture.

Les idées de M. Abraham sont originales et ne manqueront pas de retenir l'attention des différents techniciens du bâtiment : architectes, ingénieurs, entrepreneurs.

### Standard Methods of analysis of iron, steel and ferro-alloys (Méthodes standards d'analyse chimique du fer, de l'acier et des alliages ferreux)

Un ouvrage relié de 93 pages, format 15 X 23 cm. Edité par United Steel Companies Ltd., Sheffield (Angleterre), 1945. Prix 7 sh. 6 d.

Cet ouvrage est relatif aux méthodes d'analyse utilisées aux laboratoires de chimie des aciéries anglaises United Steel Companies. On y trouve des indications précises sur le dosage de Al, As, C, Cr, Co, Cb, Cu, Pb, Mn, Mo, Ni, N, P, Se, Si, S, Sn, Ti, W, Va et Zn dans le fer et l'acier. Un chapitre spécial est réservé aux dosages de différents éléments chimiques dans les alliages ferreux.

### Ponts métalliques - Rédaction des projets

par G. BOLL

Un ouvrage de 272 pages, format 16 X 25 cm, illustré de 335 figures. Edité par Eyrolles, Paris, 1946. Prix 290 francs français.

M. Boll a une longue pratique dans le domaine des constructions métalliques. Son ouvrage porte l'empreinte de l'ingénieur rompu aux multiples difficultés de calcul, spécialement en ce qui concerne les ponts métalliques. Aussi les praticiens ne manqueront pas d'accueillir avec faveur son excellent livre sur la rédaction des projets d'ouvrages d'art; ils y trouveront des données sur les matériaux de construction, la fabrication des pièces dans les ateliers, les poutres principales (poutres à âme pleine et poutres en treillis), les entretoises, les platelages, les trottoirs, les contreventements, les épreuves, les avant-métrés, etc.





### Le port de Gand 1939-1945

Une brochure de 86 pages, format 16 × 24 cm, illustrée de nombreuses figures. Editée par l'Administration Communale de Gand.

Cette publication donne un aperçu général de l'activité au port de Gand pendant la période 1939-1945.

Elle montre, notamment, la situation du port avant les hostilités et l'effort qu'il joua dans l'effort final des Alliés en 1945.

### Steel hardening, tempering and annealing (Trempe, revenu et recuit de l'acier)

par J. J. HALL

Un ouvrage relié de 160 pages, format 11 × 17 cm. Edité par George Newnes, Ltd., Londres, 1945. Prix 6 shillings.

Cet ouvrage donne, sous une forme simple et concise, l'essentiel de la théorie et de la pratique concernant les traitements thermiques de l'acier. Les deux premiers chapitres sont relatifs à la composition et au comportement de l'acier et des alliages ferreux sous l'effet des traitements mécaniques (chauffage, forgeage, laminage). Viennent ensuite des chapitres sur la trempe, le revenu, le refroidissement, le recuit, la trempe superficielle, la dureté, etc.

L'ouvrage contient, en outre, différents tableaux utiles aux métallurgistes donnant notamment la comparaison entre les duretés Brinell, Rockwell et Shore.

### Manuel de la soudure à l'arc, 2<sup>e</sup> édition

par Ch. MELLER

Un ouvrage de 192 pages, format 14 × 22 cm, illustré de 101 figures. Edité par Dunod, Paris, 1946. Prix 320 francs français.

L'ouvrage de M. Meller, traduit par M. Neumayer, est destiné aux praticiens auxquels l'auteur a voulu donner la possibilité de comprendre des phénomènes qui se produisent pendant la soudure et d'utiliser les connaissances acquises pour améliorer et faciliter leur travail. Ce manuel donne, en outre, aux ingénieurs, des conseils pratiques, des renseignements sur l'équipement des ateliers de soudure et surtout des éléments pour la discrimination des électrodes.

La table des matières comporte les sujets suivants : Procédés de soudure, Electrodes, Soudure de l'acier, Soudure de fonte et d'acier moulé, Examen des assemblages de soudure, Formation

et contrôle des soudeurs, Recueil des normes et des prescriptions allemandes et françaises.

### Mechanical testing of metallic materials (Essais mécaniques des matériaux métalliques)

par R.-A. BEAUMONT

Un ouvrage relié de 141 pages, format 15 × 23 cm, illustré de 94 figures. Edité par Sir Isaac Pitman & Sons Ltd., Londres, 1945. Prix 8 sh. 6 d. (Envoyé par le British Council.)

Bien que s'appliquant plus spécialement aux constructions aéronautiques, l'ouvrage de M. Beaumont sera consulté avec profit par les ingénieurs-mécaniciens.

Les différents chapitres du livre se rapportent aux sujets suivants : Essai de traction, Recherche de limite apparente d'élasticité, Machines et instruments utilisés pour l'essai de traction, Essais de dureté et de choc, Etalonnage des machines d'essais, Essais des tôles, feuillards, fils et tubes, Essais radiographiques.

### Publications de l'Association des Anciens Elèves de l'Ecole Centrale Lyonnaise (E. C. L.)

L'Association E. C. L. nous a envoyé deux ouvrages qu'elle vient d'éditer :

#### La Reconstruction française

100 pages, format 23 × 31 cm, illustré de nombreuses figures.

#### Paul Séjourné (1851-1939)

par A. JOURET,

27 pages, format 15 × 24 cm, illustré de 10 figures. Prix : 40 francs français.

L'ouvrage sur la reconstruction française relate le travail entrepris en France au lendemain de la Libération, en vue de reconstruire le pays dévasté par la guerre. Cet intéressant document, préfacé par M. Raoul Dautry, contient notamment les divisions suivantes :

Données générales de la reconstruction. — Reconstruction immobilière et urbanisme. — Chemins de fer. — Routes. — Ports. — Canaux. — Techniques récentes de la construction. — Parmi les techniciens éminents qui ont collaboré à la rédaction de ce volume, on relève les noms de MM. Abraham, Cassan, Freyssinet, Lossier, Mook-Aray, Suquet, Vallette; c'est dire que la valeur documentaire de l'ouvrage est grande.

La plaquette consacrée à Paul Séjourné retrace la carrière de ce grand constructeur français, dont on peut dire qu'il fut l'auteur de la théorie scientifique des voûtes.





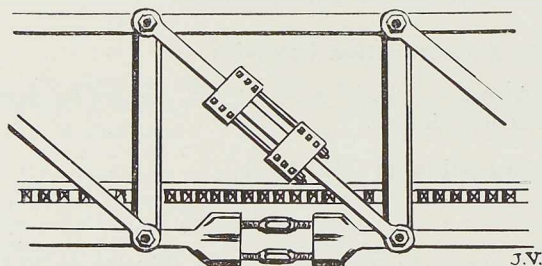
# Bibliographie

## Résumé d'articles relatifs aux applications de l'acier <sup>(1)</sup>

### 20.4. — Ponts à nœuds non rigides. Méthode rapide pour ajuster les diagonales lorsque le pont est en service

*Welding Journal*, déc. 1946, pp. 849 à 856, 13 fig.

Dans ces ponts métalliques, on remarque qu'au bout de quelques années, plusieurs diagonales ne prennent plus toute la charge pour laquelle elles ont été calculées. Le pont se lasse mal sous les charges répétées et à cause des trépidations. De ce fait, certaines diagonales prennent même un jeu relatif par rapport aux autres qui, elles, sont alors soumises à des fatigues exagérées. Ces dernières peuvent être mesurées. La technique consiste à réajuster les efforts dans ces diagonales, de façon à ce que toutes travaillent à l'unisson. Le rendement et la durée de vie du pont s'en trouvent améliorés.



J.V.

On peut allonger les barres obliques en les chauffant au chalumeau oxyacétylénique, avec température contrôlée au pyromètre. On peut les raccourcir en coupant une faible partie centrale : on rejoint les deux bouts par soudure ou par rivetage. Ces méthodes, qui sont devenues courantes, demandent environ une heure avec une équipe entraînée. Elles ne retardent donc en rien le trafic ferroviaire et ont le grand avantage de reconsolidier les efforts dans tous les éléments constitutifs du pont. La fatigue dans les barres, due au poids mort, pouvant être déterminée, on

(1) Les listes des périodiques reçus par notre Association ont été publiées dans les numéros 1/2-1946 et 2-1947 de *L'Ossature Métallique*. Ces périodiques peuvent être consultés en la salle de lecture du Centre Belgo-Luxembourgeois d'Information de l'Acier, rue Van Orley, à Bruxelles, ouverte de 8 h. 30 à 17 heures tous les jours ouvrables (les samedis de 8 h. 30 à 12 heures).

Les numéros d'indexation indiqués correspondent au système de classification, dont le tableau a été publié dans *L'Ossature Métallique*, n° 7/8-1946, p. 199.

peut graduer la sollicitation pour chaque diagonale du pont.

### 30.1. — Ossature métallique soudée d'un édifice supportant de très lourdes charges

Mark FALK, *Engineering News Record*, 14 nov. 1946, pp. 98 à 100, 5 fig.

Lors du montage de l'ossature métallique d'une usine à trois étages, on s'est décidé à souder tous les joints. La majeure partie d'entre eux furent exécutés à l'atelier. Les joints restants devant forcément être terminés dans le bâtiment même, on les a étudiés de façon à ce qu'ils se soudent tous de haut en bas. C'est un premier point dans l'économie et la bonne exécution des joints. Un autre avantage s'est réalisé dans la disposition des poutres horizontales principales qui, toutes, sont continues sur toute la longueur du bâtiment. Par le fait même, on réalise aisément des moments d'encastrement.

Pour une même charge utile, on a pu utiliser ainsi des poutres de 750 mm de hauteur d'âme, au lieu de 900 mm prévus par le calcul en cas d'encastrement imparfait.

Les colonnes montantes sont donc sectionnées par le passage de ces poutres horizontales continues de 750 mm. Les joints entre ces deux profils sont soudés, dans la suite, dans le bâtiment même.

Un autre avantage de la continuité de ces poutres de 750 mm réside dans la possibilité d'organiser aisément l'avancement rapide de la construction de l'usine.

S'étant décidé en faveur des planchers en béton, on eut recours à deux entrepreneurs différents : celui pour le montage de la charpente et celui chargé de l'exécution du béton. Le danger existait que leurs équipes se gênent et pour donner plus de liberté aux ouvriers bétonneurs, on a omis temporairement plusieurs colonnes portantes entre les poutres horizontales de 750 mm de hauteur d'âme. Ces poutres ne devaient supporter, durant la période de construction, que leur poids mort et celui des planchers en béton. Les ouvriers bétonneurs purent donc étendre leurs chantiers sans incommoder leurs confrères soudeurs.

Dès qu'on eut terminé de bétonner tout un plancher, les ouvriers chargés du montage de la charpente purent placer et souder les colonnes manquantes et le tout était prêt à supporter les surcharges prévues lors de la mise en marche de l'usine.





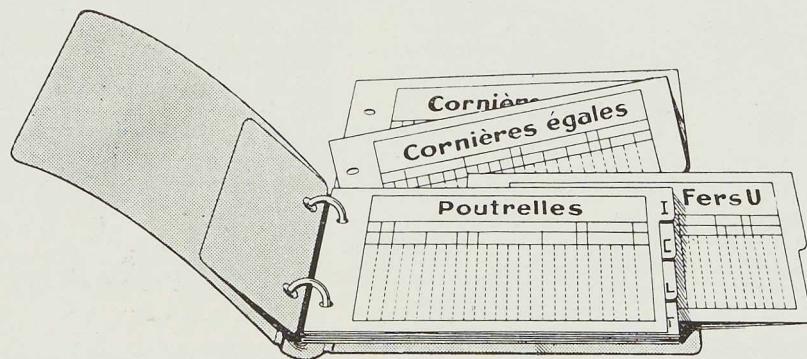


## Editions du Centre Belgo-Luxembourgeois d'Information de l'Acier :

<b>Abaques et Tableaux pour le calcul rapide des constructions métalliques</b> , par H. M. SCHNADT . . . . .	Frs 150,-
<b>Tableaux pour le calcul rapide des poutres à âme pleine</b> , par O. HOÛBRECHTS . . . . .	Frs 150,-
<b>Abaque Général de Flambage</b> , par H. M. SCHNADT . . . . .	Frs 40,-
<b>Album de Macrographies pour la réception des tôles et larges plats en acier calmé</b> , par la Commission Mixte des Aciers . . . . .	Frs 40,-
<b>Catalogue de la Bibliothèque du C. B. L. I. A.</b> . . . . .	Frs 40,-
<b>Essais spéciaux pour les aciers soudables</b> , par la Commission Mixte des Aciers . . . . .	Frs 50,-
<b>Essai de Flexion</b> , par la Commission Mixte des Aciers . . . . .	Frs 10,-

### VIENNENT DE PARAÎTRE :

<b>Normes de qualité pour les aciers soudables</b> , par la Commission Mixte des Aciers.	Frs 30,-
<b>Catalogue des aciers pour constructions mécaniques</b> , par la Commission Mixte des Aciers.	Frs 60,-



## CATALOGUE DES PROFILES laminés par les usines belges et luxembourgeoises

### FEUILLETS PUBLIÉS À CE JOUR :

#### **Poutrelles de 80 mm et plus**

- 1-2 profils normaux
- 3 poutrelles légères à ailes très étroites
- 4 profils anglais, ailes étroites
- 5 profils anglais, ailes larges
- 6 profils américains

#### **Fers U de 80 mm et plus**

- 1-2 profils normaux

- 3 profils spéciaux (wagons et divers)
- 4 profils anglais et américains

#### **Cornières**

- A. Cornières égales : profils normaux
- B. Cornières inégales : profils normaux

#### **Poutrelles à larges ailes parallèles**

- 1-4 DIE, DIL, DIN, DIR 10-100, DIH 10-20

### FEUILLETS EN PRÉPARATION :

Larges plats

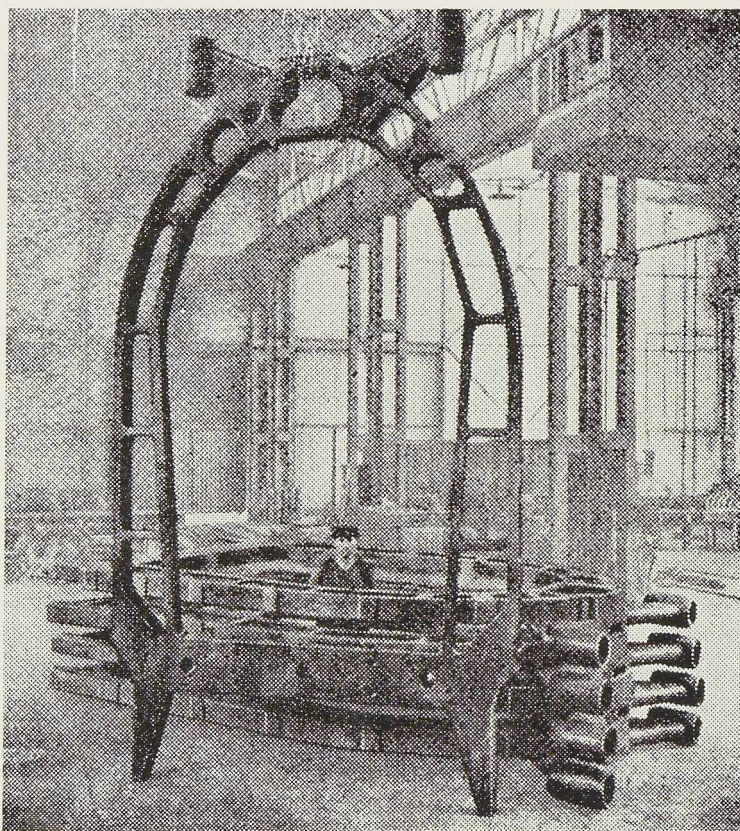
Profils à bulbes

Plats nervurés

Fers T

**Prix du Catalogue :** Fr. 100,— payables au C. C. P. n° 340.17 du Centre Belgo-Luxembourgeois d'Information de l'Acier, 38, Boulevard Bischoffsheim, Bruxelles.





Avant-corps monoblocs en acier moulé pour châssis  
d'automotrices

**Aciers coulés  
ordinaires et spéciaux**

Spécialités :

- Attelages automatiques
- Appareils de voie
- Bogies
- Ossatures monoblocs
- Boîtes à huile
- Revêtements à tétons  
pour broyeurs
- Cuvelages de mines
- Fontes alliées
- Aciers spéciaux forgés et  
laminés pour l'outillage et  
la construction
- Aimants permanents

# USINES EMILE HENRICOT

**COURT-SAINTE-ETIENNE**

TÉLÉPHONE : Ottignies 205, 355 et 480

**BELGIQUE**

TÉLÉGRAMMES : HENRICOT, Court-Saint-Etienne



# Le décapage

# Oxy-Acétylénique

*Assure des surfaces*

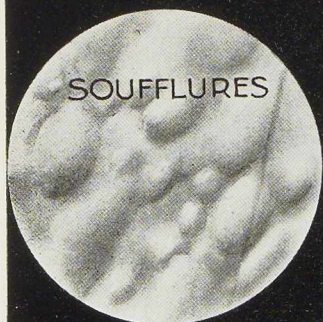
- *sèches*
- *tièdes*
- *adhérentes*

*avant  
peinturage...  
et*



J.Em. Dupuis

# SUPPRIME



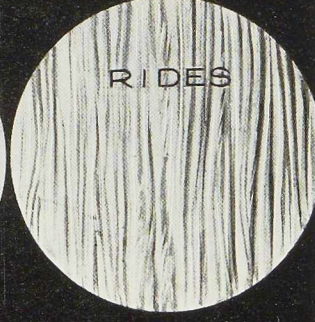
SOUFFLURES



ÉCAILLES



PIQURES DE ROUILLE



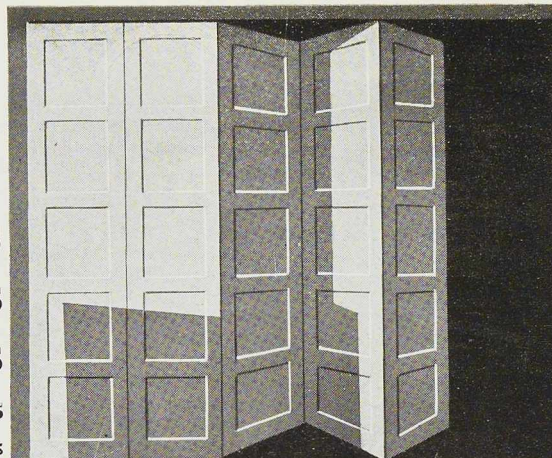
RIDES

par l'emploi des BRULEURS DE DÉCAPAGE DE  
"L'AIR LIQUIDE, S.A." 31, Quai Orban, Liège



*portes industrielles  
métalliques*

maniabiles  
rigides  
légères  
tous modèles  
toutes dimensions

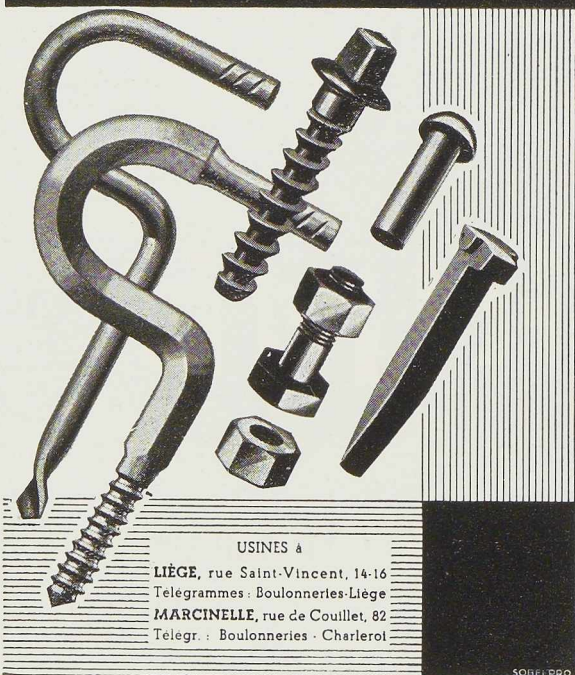


**VANDERPLANCK**

Tél. MANAGE 124 · FAYT · LEZ · MANAGE

S. P. R. L.  
Studio Simar-Stevens

**SYNTHÈME DES BOULONNERIES DE LIÈGE  
ET DE LA BLANCHISSERIE**



**INDUSTRIELS**

La concurrence s'annonce âpre.  
Abaissez vos prix de revient!



Spécialisé en  
ÉLECTRICITÉ  
MÉCANIQUE  
THERMO-DYNAMIQUE  
GÉNIE CIVIL

Se charge d'étudier  
l'ORGANISATION  
l'AMÉLIORATION  
la TRANSFORMATION  
l'AGRANDISSEMENT  
de vos usines

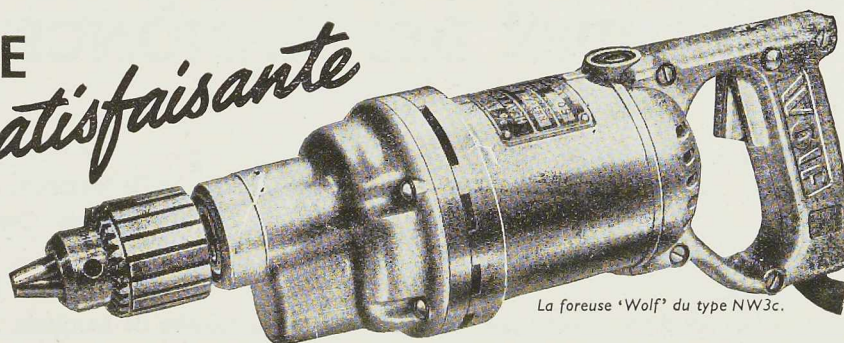
**Bureau d'Etudes Industrielles F. COURTOY**  
S. A. — 43, rue des Colonies, BRUXELLES



LA FOREUSE

*la plus satisfaisante*

DU MONDE



La foreuse 'Wolf' du type NW3c.

Quels que soient les matériaux employés (bois, métaux ou matières plastiques), cette puissante foreuse accomplira le travail plus rapidement, mieux et à moins de frais. Conçue et fabriquée par la Soc. Wolf, cette machine universelle assure tous les avantages que seul l'outillage Wolf sait com-

biner : légèreté, équilibre parfait, manipulation aisée, puissance et rendement supérieurs. Toutes les machines Wolf sont éprouvées sous une tension de 1.500 volts, ce qui leur assure un fonctionnement incomparable et garanti contre tous dangers.

★ Catalogue complet sur demande.

FABRICANTS: SOC. ANON. S. WOLF & CO., LONDRES, ANGLETERRE

Concessionnaires pour la Belgique et le Grand Duché de Luxembourg  
(Vente en Gros et Entretien) :

J. & R. LENAERS, 5, AVENUE ERNEST RENAN, BRUXELLES 3.

**Wolf**  
OUTILS ELECTRIQUES

## MÉCANIQUE ET CHAUDRONNERIE DE BOUFFIOULX

Anciennement  
« LA BIESME »

Société Anonyme

BOUFFIOULX  
(Belgique)

Téléphone : Charleroi : 300.65 - 300.66 - 300.67 Adresse télégraphique : Biesme - Châtelineau

**GRUES** électriques ou à moteur Diesel, sur rails ou sur chenilles, avec équipement en pelle, dragline, grappin, crochet.

**GRUES A VAPEUR** sur rails à écartement normal  
Type 643 - 6 T. à 4 m      Type 1243 - 12 T. à 4 m.  
à 1 et 2 tambours de levage.

PONTS ROULANTS, SAUTERELLES, TRANSPORTEURS, GRAPPINS, APPAREILS DE LEVAGE ET DE MANUTENTION

**MECANIQUE GENERALE - CHAUDRONNERIE**



# INDEX DES ANNONCEURS

	Pages		Pages
<b>A</b>			
A. C. E. C. . . . .	22	Usines <b>Emile Henricot</b> . . . . .	28
A. C. M. T. . . . .	7	S. A. Ateliers de Construction <b>Jambes</b> <b>Namur</b> . . . . .	8
L'Air Liquide . . . . .	29	<b>I</b>	
Arcos, « La Soudure Electrique Auto- gène » . . . . .	2	<b>Laminoirs de Longtain</b> . . . . .	23
Ateliers Métallurgiques Nivelles . . . . .	12	<b>Marigrée, Société Commerciale d'Ou- grée</b> . . . . .	16
<b>B</b>			
B.E.I. . . . .	30	<b>N</b>	
Usines Gustave <b>Boël</b> . . . . .	6	<b>Nobels-Peelman.</b> . . . . .	26
Ateliers de <b>Bouchout et Thirion Réunis.</b> Mécanique et Chaudronnerie de <b>Bouf- fioulx, S. A.</b> . . . . .	17 31	<b>O</b>	
S. A. des <b>Boulonneries de Liège et de la Blanchisserie</b> . . . . .	30	<b>L'Oxydrique Internationale</b> . . . . .	14
La <b>Brugeoise et Nicaise &amp; Delcuve</b> . couv. II		<b>S</b>	
<b>C</b>			
<b>P. &amp; M. Cassart</b> . . . . .	5	<b>Someba</b> . . . . .	21
Editions <b>C. B. L. I. A.</b> . . . . .	27	<b>Soudométal</b> . . . . .	12
<b>Cockerill</b> . . . . .	11	<b>Sycomom</b> . . . . .	15
<b>Columeta</b> . . . . .	24-25	<b>T</b>	
<b>D</b>			
<b>Davum</b> . . . . . couv. III		S. A. Hauts-Fourneaux, Forges et Aciéries de <b>Thy-le-Château et Marcinelle</b> . . . . .	9
Alexandre <b>Devis &amp; C<sup>o</sup></b> . . . . .	10	<b>Titan Anversois</b> . . . . .	19
<b>E</b>			
Société Métallurgique d' <b>Enghien-Saint- Eloi</b> . . . . . couv. IV		Usines à <b>Tubes de la Meuse</b> . . . . .	18
<b>E.S.A.B.</b> . . . . .	18	<b>U</b>	
<b>V</b>			
<b>W</b>			
<b>S. Wolf &amp; C<sup>ie</sup></b> . . . . . 31			
<b>Anciens Ets Paul Würth</b> . . . . . 22			



Nous rachetons à l'heure actuelle, à Frs 25,- l'exemplaire, les numéros suivants de L'OSSATURE MÉTALLIQUE :

1932 : n° 1, 2, 4.  
1933 : n° 2, 3, 6.  
1934 : n° 2, 4, 6.

1936 : n° 4.  
1940 : n° 1.  
1946 : n° 1.

Sur votre envoi, prière d'indiquer vos nom et adresse et le numéro de votre Compte Ch. Postaux.  
L'OSSATURE MÉTALLIQUE, 38, boulevard Bischoffsheim, Bruxelles.