

L'OSSATURE METALLIQUE

UNIVERSITEIT GENT
AFDEELING voor BOUWKUNST
22, Plateaustraat, GENT

15^e ANNÉE

7-8

JUILLET-AOUT 1950

REVUE MENSUELLE DES APPLICATIONS DE L'ACIER ÉDITÉE PAR
LE CENTRE BELGO-LUXEMBOURGEOIS D'INFORMATION DE L'ACIER



CHAUDRONNERIE

PONTS ET CHARPENTES
WAGONS ET VOITURES
APPAREILS DE LEVAGE
PRODUITS DE BOULONNERIE



SOCIÉTÉ MÉTALLURGIQUE D'

ENGHIEN-S^t ELOI

ENGHIEN-BELGIQUE



S. A.

L'OSSATURE MÉTALLIQUE

REVUE MENSUELLE DES APPLICATIONS DE L'ACIER

éditée par

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

154, avenue Louise, Bruxelles - Téléphone : 47.54.98 - 47.54.99

Chèques post. : 340.17 - Adr. télégr. : « Ossature-Bruxelles »

15^e ANNÉE

N^o 7-8

JUILLET-AOUT 1950

S O M M A I R E

La Foire Internationale de Liège 1950	325
Les Journées de la Métallurgie à la Foire Internationale de Liège, par F. Jacquet	335
La reconstruction du pont de Sclayn (détails sur le cintre tubulaire)	340
Le premier hangar de l'aérodrome de Zurich, par R. Schla- ginhaufen	342
La construction d'un grand garage à Merlebach (Lor- raine)	347
La maladie du rail traité, par M. Marx	355
Le pont du Luxembourg, à Namur	357
Réflexions concernant l'établissement de prescriptions rationnelles sur le flambage des barres de fer, par Ch. Massonnet	358
CHRONIQUE : Le marché de l'acier pendant le mois de mai 1950. - Travaux à L'I. B. N. - Courrier métallurgique A. Devis & Co. - Flaconnage métallique pour bière	379
BIBLIOTHÈQUE	382

ABONNEMENTS 1950 (11 numéros) :

Belgique, Grand-Duché de Luxembourg, Congo belge : francs belges 200,-,
France et Union française : 1.900 francs français, payables au dépositaire général
pour la France : Librairie des Sciences, GIRARDOT & Co, 27, quai des
Grands-Augustins, Paris 6^e (Compte chèques postaux : Paris n^o 1760.73).

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

Autres pays : 350 francs belges.

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

PRIX DU NUMÉRO :

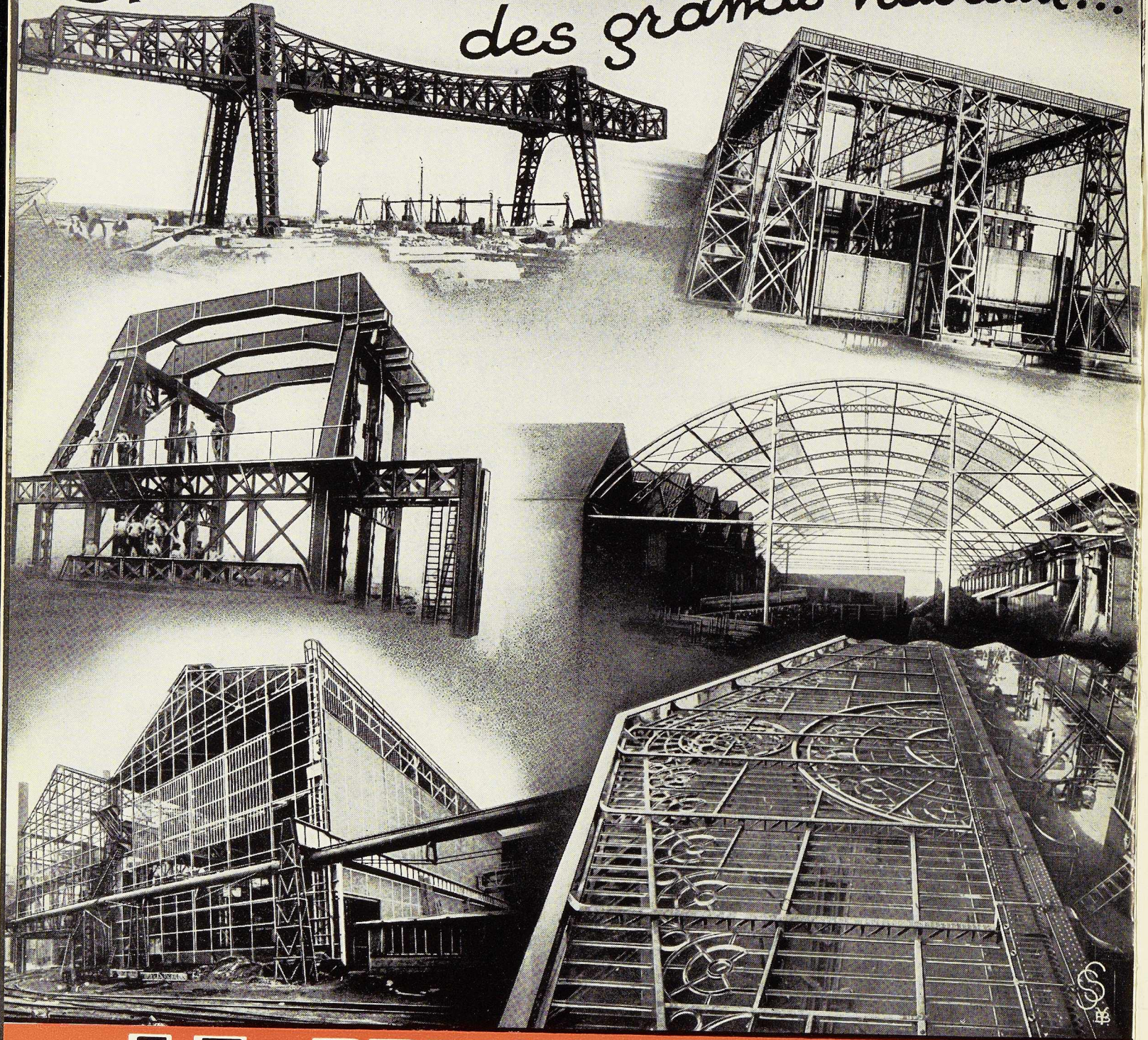
Belgique, Grand-Duché de Luxembourg, Congo belge : francs belges 25,-,
France : francs français 200,-, **autres pays** : francs belges 40.-.

DROIT DE REPRODUCTION :

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

UNIVERSITEIT GENT
AFDEELING voor BOUWKUNST
22, Plateaustraat, GENT

SPÉCIALISTES
des grands travaux...



**LA BRUGEOISE ET
NICAISE & DELCUVE**

SOCIÉTÉ ANONYME

ACIÉRIES, FORGES ET ATELIERS DE CONSTRUCTION
USINES : A SAINT-MICHEL-LEZ-BRUGES ET A LA LOUVIÈRE (BELGIQUE)



CENTRE BELGO-LUXEMBOURGEOIS D'INFORMATION DE L'ACIER

ASSOCIATION SANS BUT LUCRATIF

Présidents d'Honneur : M. Albert D'HEUR,
M. Léon GREINER

CONSEIL D'ADMINISTRATION

Président :

M. François PEROT, Administrateur-Délégué de la S. A. d'Ougrée-Marihaye, Vice-Président du Groupement des Hauts Fourneaux et Aciéries Belges,

Vice-Président :

M. Aloyse MEYER, Président des A. R. B. E. D., à Luxembourg.

Administrateur-Conseil :

M. Eugène FRANÇOIS, Professeur à l'Université de Bruxelles.

Membres :

M. Justin BAUGNEE, Directeur de la S. A. des Laminoirs, Hauts Fourneaux, Forges, Fonderies et Usines de la Providence,
M. Oscar BIHET, Administrateur-Directeur Gérant des Usines à Tubes de la Meuse, S. A.,
M. Fernand COURTOY, Président et Administrateur-Délégué du Bureau d'Etudes Industrielles F. COURTOY, S. A.,

M. Alexandre DEVIS, Associé commandité de la S. C. S. Alexandre Devis & C^{ie}, Délégué de la Chambre Syndicale des Marchands de fer et du Groupement des Marchands de fer et poutrelles de Belgique,
M. Jean DRIESEN, Directeur Général-Adjoint de la S. A. John Cockerill,
M. Hector DUMONT, Administrateur-Délégué de la S. A. des Ateliers de Construction de Jambes-Namur,
M. Louis ISAAC, Administrateur-Délégué de la S. A. Métallurgique d'Enghien-Saint-Eloi,
M. Louis NOBELS, Président et Administrateur Délégué des Anciens Etablissements Métallurgiques Nobels-Peelman,
M. Henri NOEZ, Administrateur-Délégué de la Fabrique de Fer de Charleroi,
M. Henri ROGER, Directeur Général des H. A. D. I. R., à Luxembourg,
M. Arthur SCHMITZ, Directeur de la Construction et de l'Entretien de la S. A. d'Ougrée-Marihaye.

Liste des Membres

ACIÉRIES BELGES

Usines Gustave Boël, S. A., à La Louvière.
Fabrique de Fer de Charleroi, S. A., à Charleroi.
Forges de Clabecq, S. A., à Clabecq.
John Cockerill, S. A., à Seraing-sur-Meuse.
Métallurgique d'Espérance Longdoz, S. A., 1, rue de Huy, Liège.
Usines Gilson, S. A., à La Croyère, Bois-d'Haine.
Usines Métallurgiques du Hainaut, S. A., à Couillet.
Forges et Laminoirs de Jemappes, S. A., à Jemappes.
Ougrée-Marihaye, S. A., à Ougrée.
Laminoirs, Hauts Fourneaux, Forges, Fonderies et Usines de la Providence, S. A., à Marchienne-au-Pont.
Aciéries et Minières de la Sambre, S. A., à Monceau-sur-Sambre.
Métallurgique de Sambre et Moselle, S. A., à Montigny-sur-Sambre.
Hauts Fourneaux, Forges et Aciéries de Thy-le-Château et Marcinelle, S. A., à Marcinelle.

ACIÉRIES LUXEMBOURGEOISES

Aciéries Réunies de Burbach-Eich-Dudelange (Arbed), S. A., avenue de la Liberté, Luxembourg.
Hauts Fourneaux et Aciéries de Differdange, Saint-Ingbert, Rumelange (Hadix), S. A., 26, avenue de la Porte Neuve, Luxembourg.
Minière et Métallurgique de Rodange, S. A., à Rodange.

TRANSFORMATEURS

Laminoirs d'Anvers, S. A., 38, rue Métropole, Schooten.
Forges et Laminoirs de Baume, S. A., à Haine-Saint-Pierre.

Tôleries Delloye-Matthieu, S. A., à Marchin (Huy).
Emailleries et Tôleries Réunies, S. A., Gosselies.
Usines Gilson, S. A., à La Croyère, Bois-d'Haine.
Laminoirs de Longtain, S. A., à La Croyère, Bois-d'Haine.
La Métal-Autogène, S. A., 490, rue Saint-Léonard, Liège.
Usines de Moncheret, à Acoz, Division de la S. A. des Aciéries et Minières de la Sambre.
Laminoirs de l'Ourthe, S. A., Sauheid-lez-Chênée.
Phénix Works, S. A., 1, rue Paul Borguet, Flémalle-Haute.
Laminoirs et Boulonneries du Ruau, S. A., à Monceau-sur-Sambre.
Travail Mécanique de la Tôle, S. A., 147, boulevard de la 11^e Armée Britannique, à Forest-Bruxelles.
Usines à Tubes de la Meuse, S. A., à Flémalle-Haute.
Usines à Tubes de Nimy, S. A., Nimy.

ATELIERS DE CONSTRUCTION

ACMA, S. A. Ateliers de Construction et Ets Geerts & Van Aalst réunis, à Mortsel-lez-Anvers.
Société Anglo-Franco-Belge des Ateliers de la Croyère, Senefte et Godarville, S. A., à La Croyère.
Awans-François, S. A., à Awans-Bierset.
Ateliers de Construction de la Basse-Sambre, S. A., à Moustier-sur-Sambre.
Baume et Marpent, S. A., à Haine-Saint-Pierre.
Ateliers de Bouchout et Thirion Réunis, S. A., 249-251, chaussée de Vleurgat, Bruxelles.
Ateliers de Construction Alphonse Bouillon, 58, rue de Birmingham, Molenbeek-Saint-Jean.

ATELIERS DE CONSTRUCTION (suite)

Ateliers de Construction Paul Bracke, s. p. r. l., 30-40 rue de l'Abondance, Bruxelles.
Usines de Braine-le-Comte, S. A., à Braine-le-Comte.
La Brugéoise et Nicaise & Delcuve, S. A., à Saint-Michel-lez-Bruges.
Société Anonyme Anciennes Usines Canon-Légrand, 17, rue Terre du Prince, Jemappes-lez-Mons.
Chaubobel, S. A., à Huyssinghen.
John Cockerill, S. A., à Seraing-sur-Meuse.
La Construction Soudée, Anciens Etablissements André Beckers, S. A., 64, avenue Rittweger, Haren-Bruxelles.
« Cribla », S. A., Construction de Criblages et Lavoirs à charbon, 31, rue du Lombard, Bruxelles.
Compagnie Centrale de Construction, S. A., à Haine-Saint-Pierre.
Les Ateliers De Meestere Frères, Heule-lez-Courtrai.
Ateliers de la Dyle, S. A., à Louvain.
Société Métallurgique d'Enghien-Saint-Eloi, S. A., à Enghien.
Ateliers de Construction et Chaudronnerie de l'Est, S. A., Marchienne-au-Pont.
Société Anonyme des Ateliers de Construction Flamen-court et Cie, 112-114, rue des Anciens Etangs, Forest-Bruxelles.
Ateliers Georges Heine, S. A., chaussée des Forges, Huy.
Ateliers de Construction Heuze, Malevez & Simon Réunis, S. A., 52, rue des Gloires Nationales, Auvelais.
L'Industrielle Boraine, S. A., Quiévrain.
Ateliers de Construction de Jambes-Namur, S. A., à Jambes-Namur.
Constructions Métalliques de Jemeppe-sur-Meuse, S. A., Anc. Ateliers Georges Dubois, à Jemeppe-sur-Meuse.
Ateliers de Construction J. Kihn, Rumelange (G.-D.).
Société Anonyme des Ateliers de La Louvière-Bouvy, La Louvière.
Usines Lauffer Frères, S. P. R. L., Hermalle s./Argenteau.
Leemans L. et Fils, S. A., 114, rue de Louvain, Vilvorde.
Maccima, S. A., Bouffiuoux-lez-Châtelineau.
Ateliers de Construction de Malines (Acomal), S. A., 29, Canal d'Hanswyck, Malines.
La Manutention Automatique, S. A., Machelen.
Les Ateliers Métallurgiques, S. A., à Nivelles.
Anciens Etablissements Métallurgiques Nobels-Peelman, S. A., à Saint-Nicolas (Waes).
Ougrée-Marihaye, S. A., à Ougrée.
Minière et Métallurgique de Rodange, S. A., à Rodange.
Ateliers Sainte-Barbe, S. A., Eysden-Sainte-Barbe.
Chaudronnerie A.-F. Smulders, S. A., à Grâce-Berleur-lez-Liège.
Ateliers Arthur Sougniez Fils, 42, rue des Forgerons, Marcinelle.
Etablissements D. Steyaert-Heene, à Eecloo.
Ateliers du Thiriau, S. A., La Croyère.
Ateliers de Construction Mécanique de Tirlemont, S. A., à Tirlemont.
Compagnie Belge des Freins Westinghouse, S. A., 105, rue des Anciens Etangs, Forest-Bruxelles.
Société Anonyme de Construction et des Ateliers de Willebroeck, à Willebroeck.
Société Anonyme des Anciens Etablissements Paul Würth, à Luxembourg.
Chaudronneries et Ateliers de Construction Lucien Xhignesse & Fils, S. A., rue d'Italie, Ans-Liège.

MENUISERIE MÉTALLIQUE

Chamebel (Le Châssis Métallique Belge), S. A. Belge, chaussée de Louvain, à Vilvorde.
Maison Desoer, S. A. (meubles métalliques ACIOR), 17-21, rue Ste-Véronique, Liège, 16, rue des Boiteux, Bruxelles.
« Soméba », Société Métallurgique de Baume, S. A., rue Lecat, La Louvière (Baume).
Ateliers Vanderplanck, s. p. r. l., Portes métalliques, Fayt-lez-Manage.

SOUDEURE AUTOGENE

Matériel, électrodes, exécution

Electromécanique, S. A., 19-21, rue Lambert Crickx, Bruxelles.
ESAB, S. A., 118, rue Stephenson, Bruxelles.
Philips, S. A., 37-39, rue d'Anderlecht, Bruxelles.
L'Air Liquide, S. A., 31, quai Orban, Liège.
La Soudure Electrique Autogène « Arcos », S. A., 58-62, rue des Deux Gares, Bruxelles.

L'Oxyhydrique Internationale, S. A., 31, rue Pierre van Humbeek, Bruxelles.
Soudométal, S. A., 83, chaussée de Ruysbroeck, Forest-Bruxelles.

COMPTOIRS DE VENTE DE PRODUITS MÉTALLURGIQUES

Columeta (Comptoir Métallurgique Luxembourgeois), S. A., Luxembourg.
Cosibel (Comptoir de Vente de la Sidérurgie Belge), S. C., 9, rue de la Chancellerie, Bruxelles.
Davum, S. A. Belge, 22, rue des Tanneurs, Anvers.
Gilsoco, S. A., La Louvière.
Société Commerciale de Sidérurgie, SIDERUR, 1A, rue du Bastion, Bruxelles.
Ucométal (Union Commerciale Belge de Métallurgie), 24, rue Royale, Bruxelles.

MARCHANDS DE FER ET DE POUTRELLES

Individuellement :

ACMA, S. A., Ateliers de Construction et Ets Geerts & Van Aalst réunis, à Mortsel-lez-Anvers.
P. et M. Cassart, 120-124, avenue du Port, Bruxelles.
Alexandre Devis et Cie, 43, rue Masui, Bruxelles.
Métaux Galler, S. A., 22, avenue d'Italie, Anvers.
Etablissements Gilot Hustin, 14, rue de l'Etoile, à Namur.
J. Libouton & Cie, S. A., 27, rue Léopold, Charleroi.
Fers et Aciers Pante et Masquelier, S. A., 30, rue du Limbourg, Gand.
Peeters Frères, 10, Marché-au-Poisson, Louvain.
Util, s. p. r. l., 404-412, avenue Van Volxem, Bruxelles.

Collectivement :

Groupement des Marchands de fer et poutrelles de Belgique, 10, rue du Midi, Bruxelles.
Chambre Syndicale des Marchands de fer, 10, rue du Midi, Bruxelles.

MARCHANDS D'ACIERS SPÉCIAUX

Etablissements Georges L.-J. Alexis, 31, rue Dartois, Liège.
Aciers Bungert, S. A., 141-143, chaussée de Mons, Bruxelles.
Jos. Bol, 86, rue Emile Féron, Bruxelles.
Maison Courard & Co, 9-11, place des Déportés, Liège.
Davum, S. A. Belge, 22, rue des Tanneurs, Anvers.
Etablissements Moréa et Nahon, 23-25, rue des Ateliers, Bruxelles.
Société des Aciers et Métaux, Soamet, 41, boulevard du Midi, Bruxelles.
Wauters Frères, 23, rue de Liverpool, Bruxelles.

BUREAUX D'ÉTUDES ET INGÉNIEURS-CONSEILS

Bureau d'Etudes Léon-Marcel Chapeaux, S. A., 54, rue du Pépin, Bruxelles.
Bureaux d'Etudes Industrielles Fernand Courtoy, S. A., 43, rue des Colonies, Bruxelles.
M. René Leboutte, ing. tech. I. G. Lg., 6, rue J. Delbœuf, Liège.
MM. C. et P. Molitor, Construction métallique et soudure électrique, 5, boulevard Emile Bockstaël, Bruxelles.
Multifer Grisard, Systèmes brevetés de const. mét., 199, avenue Louise, Bruxelles.
Robert et Musette, S. A., 59, rue de Namur, Bruxelles.
Bureau d'Etudes Ir. J. Ronsse, 63, boulevard de Dixmude, Bruxelles.
M. J. F. F. Van der Haeghen, ingénieur-conseil (U. I. Lv.), 104, boulevard Saint-Michel, Bruxelles.
MM. J. Verdeyen et P. Moenaert, ingénieurs-conseils (A. I. Br.), 15, rue Guimard, Bruxelles.

MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION

Tuileries et Briqueteries d'Hennuyères et de Wanlin, S. A., à Hennuyères.

DIVERS

Institut Belge des Hautes Pressions, 38, Pl. des Carabiniers, Bruxelles.
Société Métallurgique des Procédés Warnant, S. A., 71, rue Royale, Bruxelles.

MEMBRES INDIVIDUELS

M. Eug. François, professeur à l'Université de Bruxelles, 110, boulevard Auguste Reyers, Bruxelles.
M. Marcel François, membre associé de la firme François, 43, rue du Cornet, Bruxelles.
M. Léon G. Rucquoi, Technical Consultant to the Steel and Mechanical Industries of Belgium & Luxembourg, 30 Rockefeller Plaza, New York 20, N. Y.



TOUS LES PRODUITS MÉTALLURGIQUES

120-124, AVENUE DU PORT
4-6, QUAI DES CHARBONNAGES
200, RUE DE LA SOIERIE, FOREST
(Coin rue Emile Pathé)

Tél. 26.98.10 (plusieurs lignes)

Tél. 26.98.17 (deux lignes)

Tél. 43.72.69 - 43.72.70

C. C. P. 87.61

R. C. B. 10.741

L'Argon est produit désormais
en Belgique
et c'est par...

L'AIR LIQUIDE

Adressez-vous directement au
PRODUCTEUR

POUR ÊTRE APPROVISIONNÉ RAPIDEMENT,
SÛREMENT ET AU MEILLEUR PRIX DANS LA
QUALITÉ D'ARGON QUI VOUS CONVIENT :

- POUR LE SOUDAGE DE L'ALUMINIUM, DU MANGANESE, DU CUIVRE, DES ACIERS INOXYDABLES.
- POUR LA FABRICATION DES LAMPES ÉLECTRIQUES.
- POUR LES ENSEIGNES ET TUBES LUMINEUX.

LES SERVICES SPÉCIALISÉS DE L'AIR LIQUIDE
SONT ÉGALEMENT LES MEILLEURS POUR VOUS CONSEILLER
ET VOUS FOURNIR AUX CONDITIONS LES PLUS AVANTAGEUSES
**TOUT LE MATÉRIEL DE SOUDAGE
EN ATMOSPHÈRE D'ARGON.**

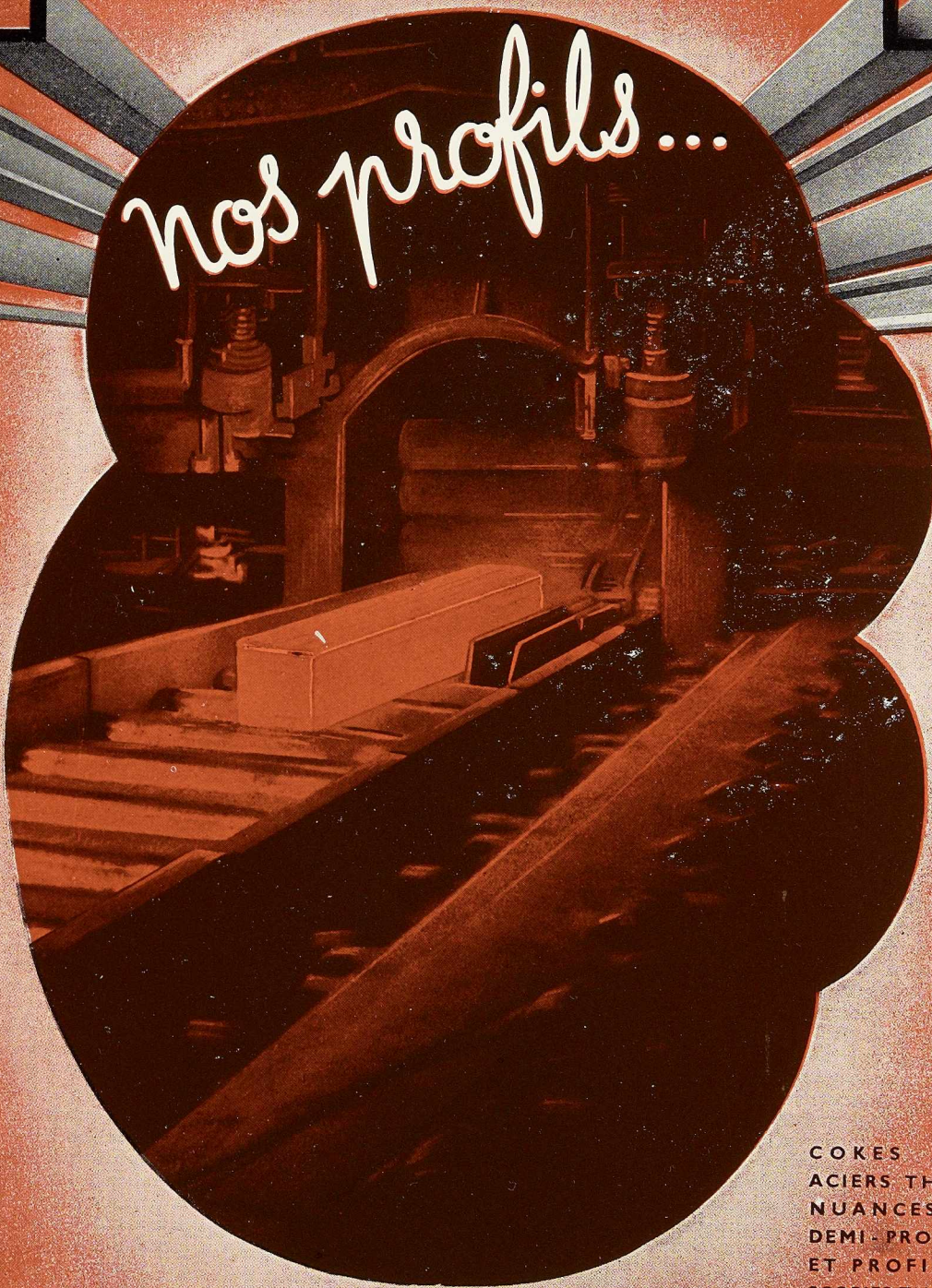
LA

L'AIR LIQUIDE

31, QUAI ORBAN,
LIÈGE TÉL. 43.65.55

S

nos profils...



COKES ET FONTES.
ACIERS THOMAS TOUTES
NUANCES EN LINGOTS,
DEMI-PRODUITS, BARRES
ET PROFILS SPÉCIAUX.
SCORIES THOMAS ET CIMENTS.

SOC. AN. DES HAUTS-FOURNEAUX FORGES & ACIERIES DE
THY-LE-CHATEAU & MARCINELLE

MARCINELLE : TÉL. CHARLEROI 222.93 • TÉLÉGR. WEZMIDI-CHARLEROI

Studio-Simar-Stevens



TYPE BELVAL Z
PALPLANCHES ONDULÉES

PALPLANC

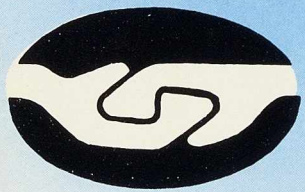
TYPE BELVAL P
PALPLANCHES PLATES

POUR TOUS RENSEIGNEMENTS S'ADRESSER A

POUR LA BELGIQUE ET LE CONGO BELGE:

LA BELGO-LUXEMBOURGEOISE

BRUXELLES • 11, QUAI DU COMMERCE




CHES ARBED-BELVAL



COLUMETA

COMPTOIR MÉTALLURGIQUE LUXEMBOURGEOIS • S. A. • LUXEMBOURG



CONSTRUCTIONS
MÉTALLIQUES DE
JEMEPPE-SUR-MEUSE

Société Anonyme

Anciennement « Ateliers Georges Dubois »
Registre du Commerce : Liège 4544
Téléphone : 33.78.80-33.78.89.
Adresse télégr. : Comeppe-Jemeppe-sur-Meuse

PONTS
CHARPENTES
CHAUDRONNERIE

BUREAU D'ETUDES
LISTE UNIQUE DE RÉFÉRENCES



C·M·J



**ARCHITECTES
ENTREPRENEURS**

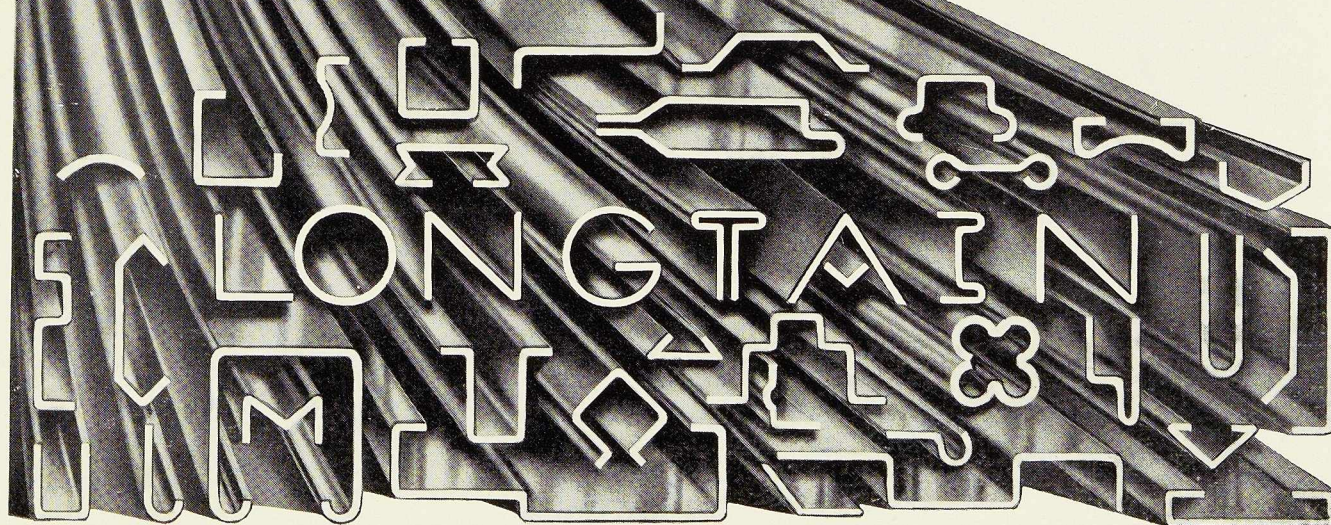
Pour vos besoins

EN PROFILS POUR FENÊTRES,
PORTES, CHAMBRANLES, ETC.

EN POUTRELLES LÉGÈRES,
PROFILS DIVERS POUR MAISONS
PRÉFABRIQUÉES

PROFILÉS A FROID OU LAMINÉS
A CHAUD

LAMINOIRS DE LONGTAIN

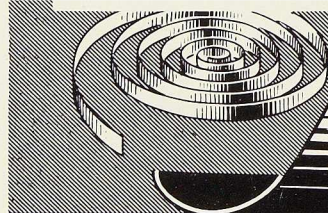


S.A. MÉTALLURGIQUE D'

ESPERANCE

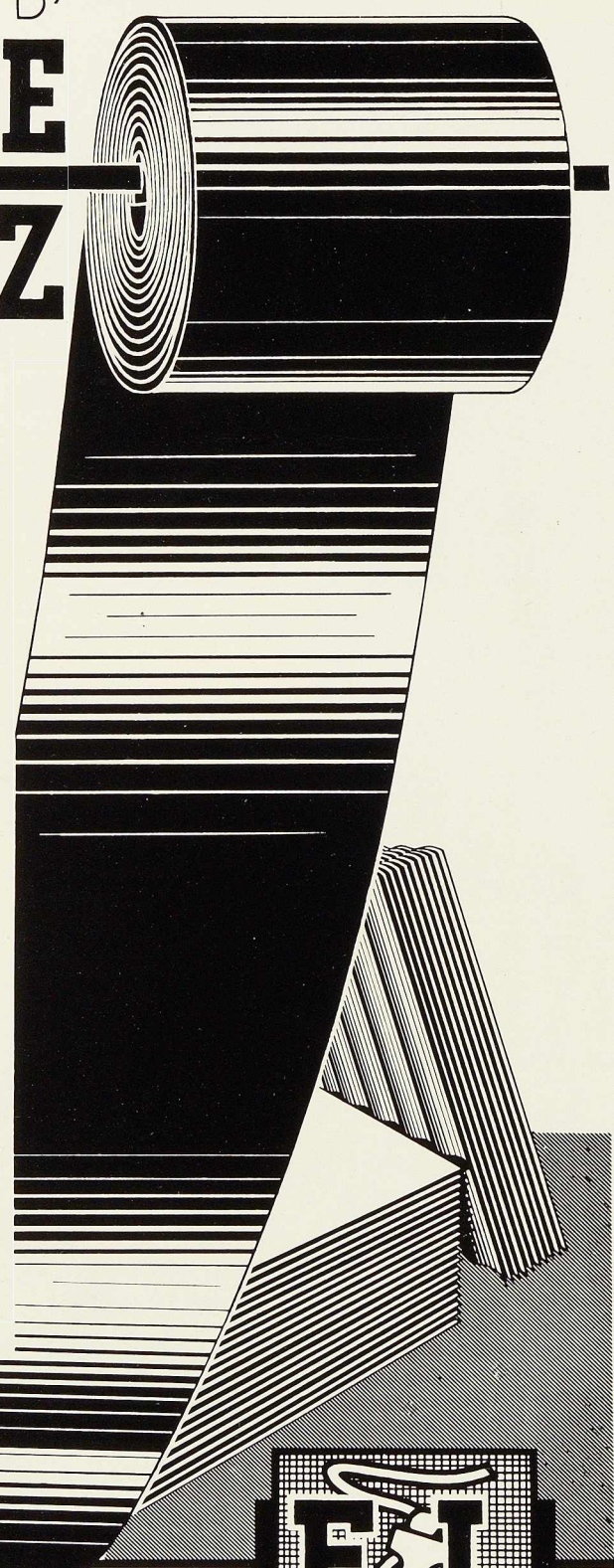
LONGDOZ

TÔLES FINES
ET MOYENNES
LAMINÉES À CHAUD
EN BOBINES
OU EN FEUILLES
TÔLES FINES
LAMINÉES À FROID
EN BOBINES
OU EN FEUILLES
FEUILLARDS À CHAUD
FEUILLARDS À FROID
TÔLES GALVANISÉES
PLANES ET ONDULÉES



60, RUE D'HARSCAMP

LIÈGE · TÉL : 43.74.68





*Soudage
trainant
en position verticale
descendante*

VERTEND D
ARCOS



LA SOUDURE ÉLECTRIQUE AUTOGENE, S. A.
58-62 RUE DES DEUX GARES - TÉLÉPHONE 21.01.65 - BRUXELLES



LE PONT DE FRANCE, A NAMUR,
réalisé par la

S. A. DES ATELIERS DE CONSTRUCTION
JAMBES-NAMUR

Anciens Établissements Th. FINET (Tél. 233.55 Namur)

JAMBES

JOURET

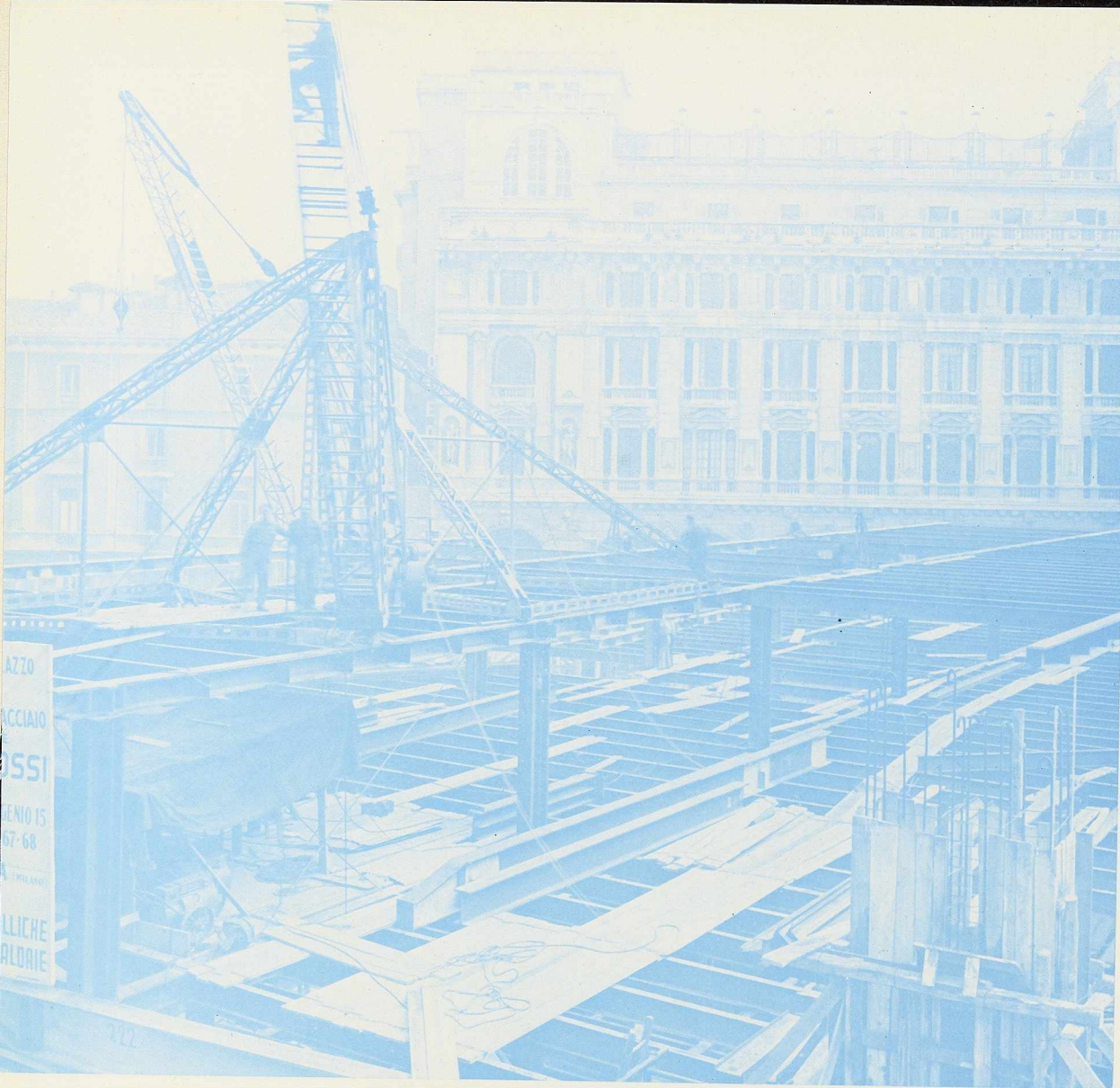
LUTTRE

Grey de Differdange



et tous les produits métallurgiques

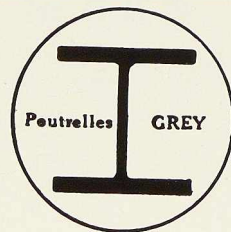
TEL : CHARLEROI 511.31
LUTTRE 248



**Grands Magasins
RINASCENTE,
MILAN**

CONSTRUCTEURS :
OFFICINE BOSSI S. P. A.
MILAN

POUTRELLES GREY DE DIFFERDANGE



Agence de vente pour la Belgique et le Congo belge :

DAVUM S. A.

22, RUE DES TANNEURS, ANVERS

Téléphone : 299.17 (5 lignes) — Télégramme : Davumport

LE TITAN ANVERSOIS

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

PONTS ROULANTS
EN TOUS GENRES
À CROCHET
ET À GRAPPIN

PONTS SPÉCIAUX
DE MÉTALLURGIE

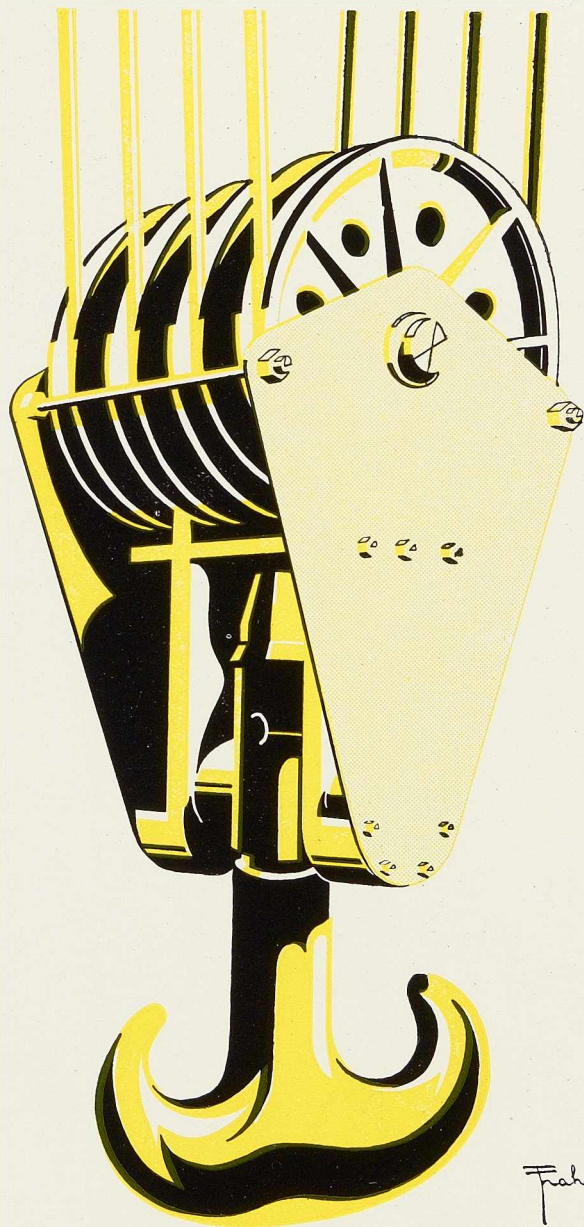
STRIPPEURS

MÉLANGEURS

ENFOURNEURS
DE FOURS MARTIN

PITTS

DÉFOURNEURS



GRUES DE PORT

GRUES POUR
CHANTIER NAVAL

GRUES
INDUSTRIELLES
À CROCHET
ET À GRAPPIN

GRUES
DE FAÇADE
POUR
ENTREPRENEURS

CABESTANS

GRAPPINS
AUTOMATIQUES

ETC.

APPAREILS DE LEVAGE ET DE TRACTION ÉLECTRIQUE

SOCIÉTÉ ANONYME

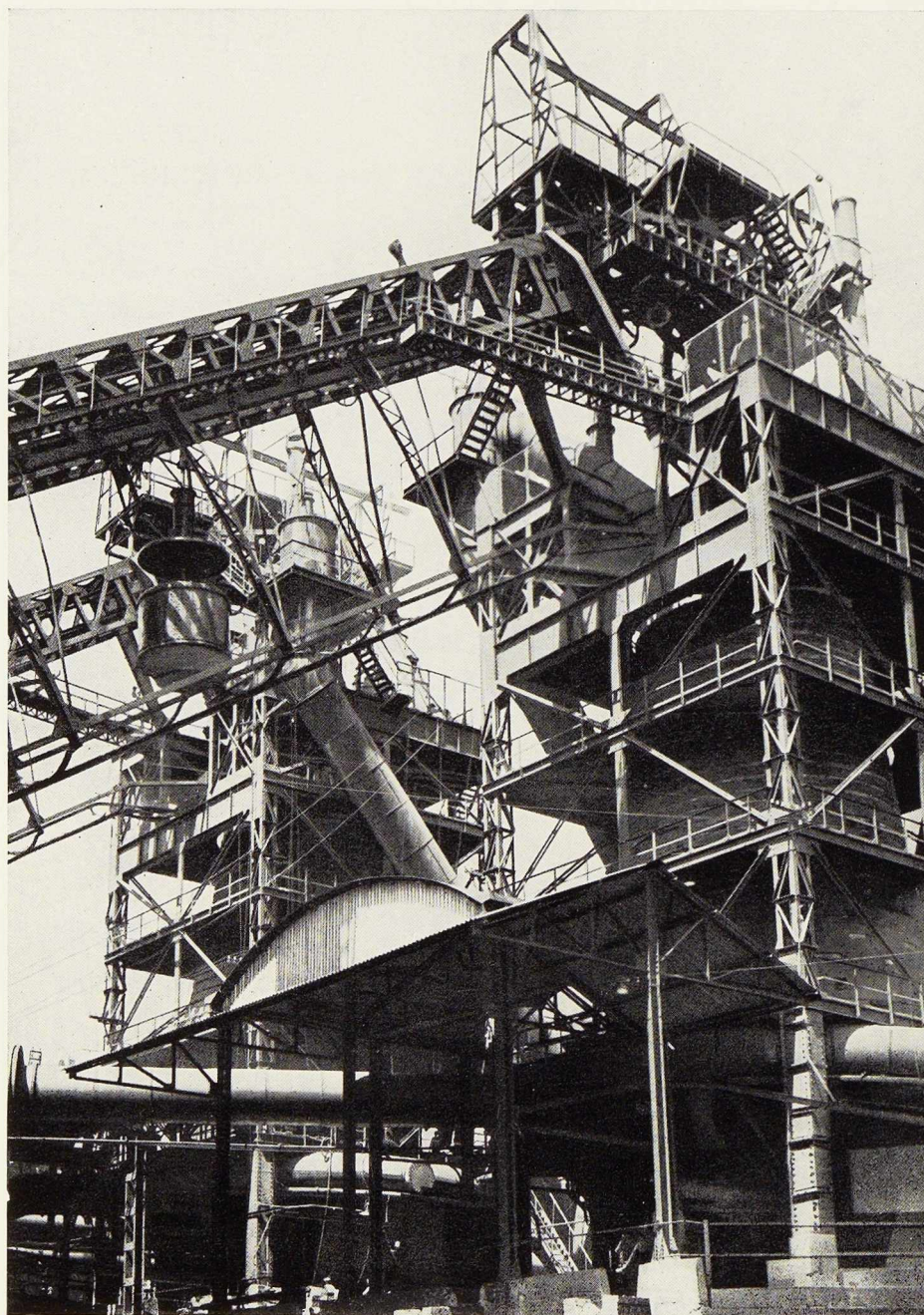
USINES GUSTAVE BOËL

LA LOUVIÈRE (BELGIQUE)

TÉLÉPHONES : 231.21 - 231.22 - 231.23 - 231.24

TÉLÉGRAMMES : BOËL, LA LOUVIÈRE

BOËL



Division LAMINOIRS

LARGES PLATS
TÔLES LISSES, TÔLES STRIÉES,
TÔLES À LARMES
RONDS À BÉTON - FIL MACHINE
RAILS - ÉCLISSES
DEMI-PRODUITS

Division FONDERIE D'ACIER

Moulage d'acier : Toutes pièces d'acier moulé brutes et parachevées pour matériel de chemin de fer et industries diverses. Spécialités de centres de roues et cuves à recuire pour feuillards, fils, tôles fines, etc. Essieux - Bandages - Trains montés - Pièces de forge.

Division BOULONNERIE

Boulons - Crampons - Tirefonds et rivets.

Produits D I V E R S

Cokes industriels et domestiques - Goudron
- Sulfate d'ammoniaque - Huiles légères.
Laitiers granulés et concassés - Scories
Thomas.

DÉCAPAGE A LA FLAMME
D'UN PONT MÉTALLIQUE
(S.A. BAUME & MARPENT)



INSTALLATIONS

pour le

DECAPAGE

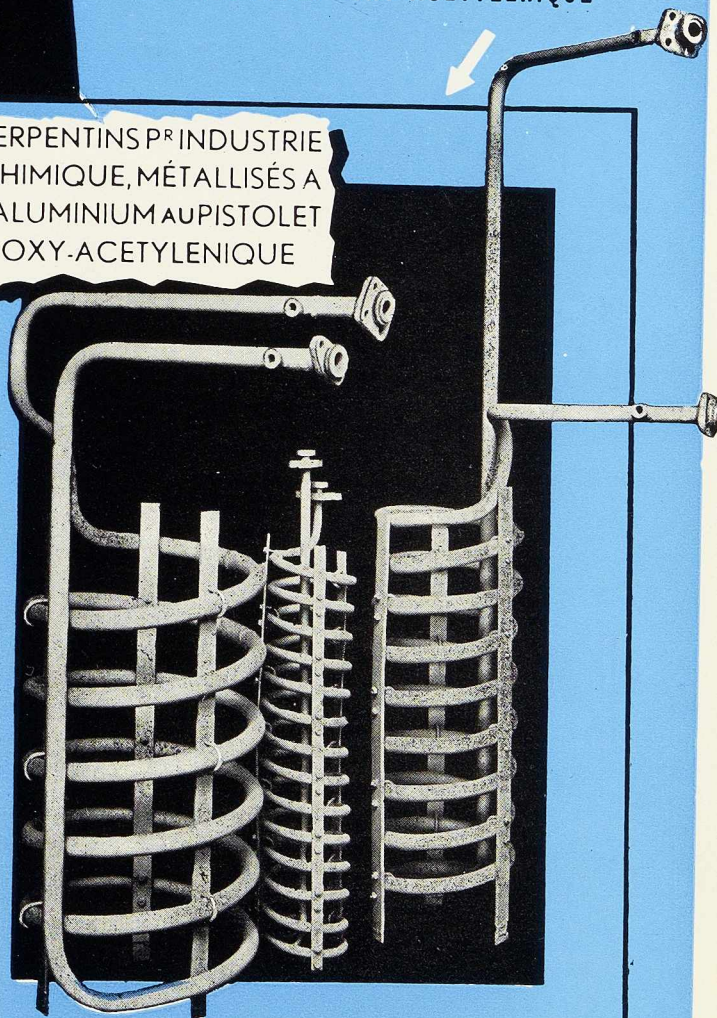
A LA FLAMME OXY-ACETYLENIQUE

et pour la

METALLISATION

AU PISTOLET OXY-ACETYLENIQUE

SERPENTINS ^{PR} INDUSTRIE
CHIMIQUE, MÉTALLISÉS A
L'ALUMINIUM AU PISTOLET
OXY-ACETYLENIQUE



**L'OXHYDRIQUE
INTERNATIONALE**

SOCIÉTÉ ANONYME

31, RUE P. VAN HUMBEEK, BRUXELLES

STUDIO SIMAR-STEVEN



Contrôle par radiographie des joints soudés bout à bout d'une colonne en caisson

TÉLÉPHONE : 23.22-23.23
ADRESSE TÉLÉGRAPHIQUE
PEWECO - LUXEMBOURG

SOCIÉTÉ ANONYME DES
**ANCIENS ETABLISSEMENTS
PAUL WURTH
LUXEMBOURG**

Soudez deux fois moins cher
parce que trois fois plus vite!



GRACE A LA

COMETE ROUGE

ÉLECTRODE À TRÈS FORTE PÉNÉTRATION

PLUS DE 100.000 MÈTRES DE JOINTS ONT DÉJÀ FAIT LEURS
PREUVES DANS LES APPLICATIONS LES PLUS DIVERSES.

SOUDOMETAL

SOCIÉTÉ ANONYME

SOUDAGE SUR CHANTIER
D'ÉLÉMENTS DE PONT DE
NAVIRE.



83, CHAUSSEE DE RUYSBROECK, FOREST-BRUXELLES — TÉL. 43.45.65 - 44.09.02

LES "CHAMEBEL" SE RIENT DES BOURRASQUÉS



CHAMEBEL

LE CHASSIS MÉTALLIQUE BELGE

SOCIÉTÉ ANONYME

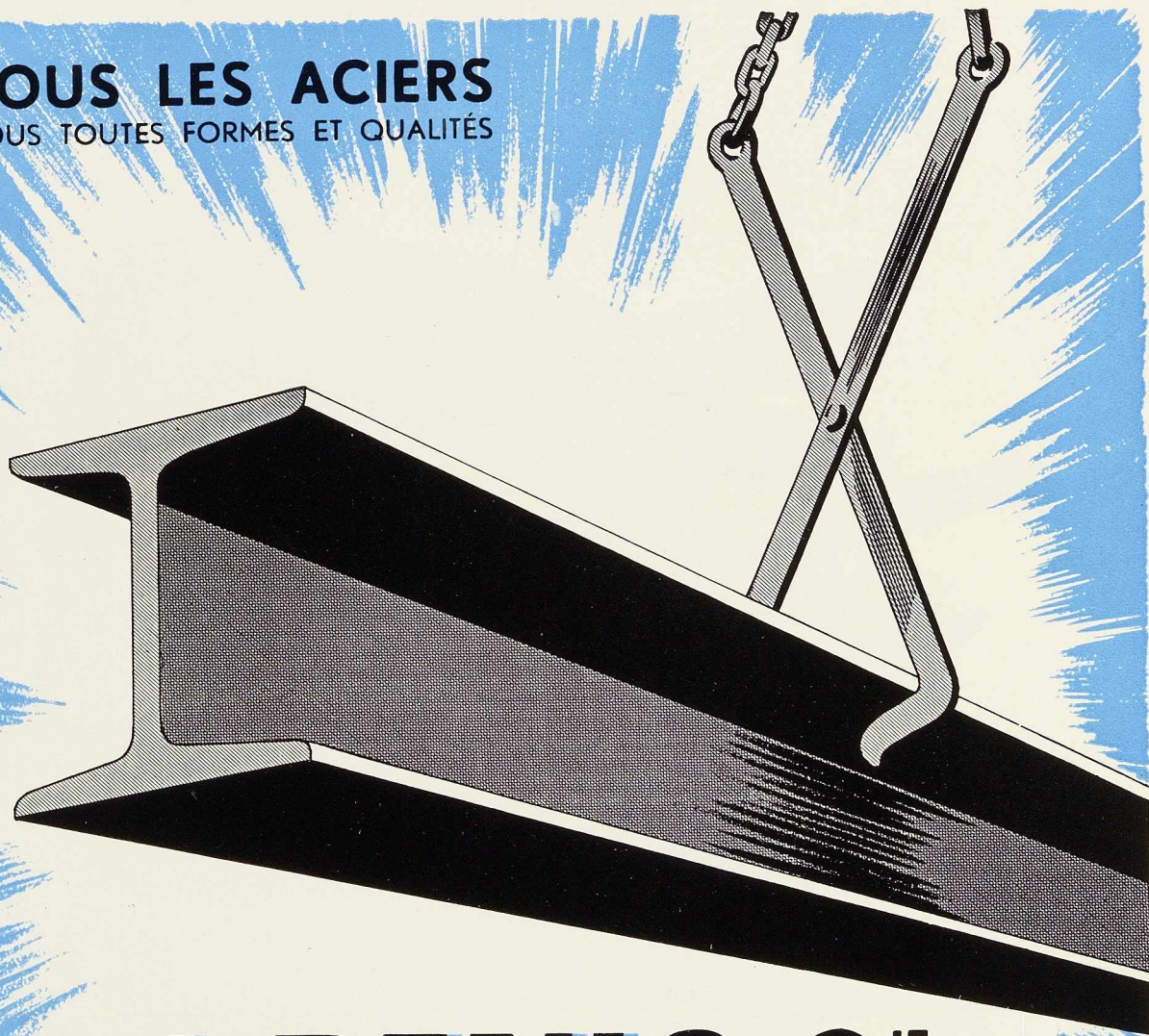
VILVORDE • TÉL.: 15.84.24 - 15.99.20

BUREAUX A BRUXELLES • 27, RUE ROYALE • TÉL: 17.47.40 • 17.21.81

Exigez l'étiquette de garantie



TOUS LES ACIERS
SOUS TOUTES FORMES ET QUALITÉS



A. DEVIS & C^{IE}

ACIERS MARCHANDS • TOLES • BOULONS
43, RUE MASUI • BRUXELLES • TÉL. : 15.49.40 (6 lignes)

ACIERS SPÉCIAUX • OUTILS
158, RUE ST-DENIS, FOREST-MIDI • Tél : 43.50.20 (6 l.)

POUTRELLES • FERS U • RONDS A BETON
296, RUE ST-DENIS, FOREST-MIDI • Tél. : 44.48.50 (6 l.)

TOUS PRODUITS



**24 RUE F
BRUXE**

COCKERILL - PROVIDENC

C.G.P.I.

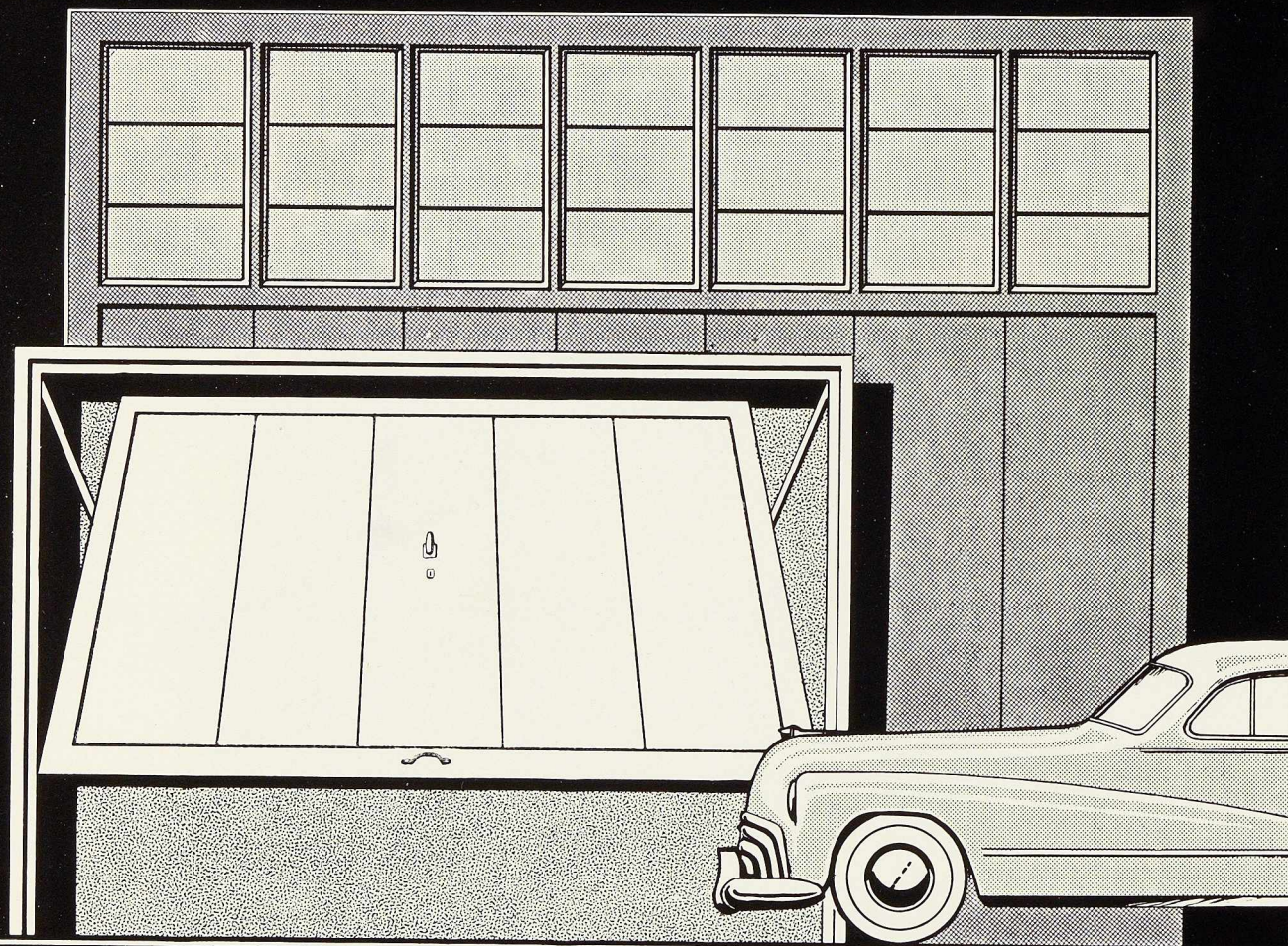
MÉTALLURGIQUES



IE ROYALE
XELLES

ICE - SAMBRE & MOSELLE

Portes métalliques basculantes



VANDERPLANCK

FAYT - LEZ - MANAGE (BELGIQUE)

Licence DE VRIES ROBBÉ, à GORINCHEM, (Hollande) Brevet 464.708



L. LEEMANS & FILS

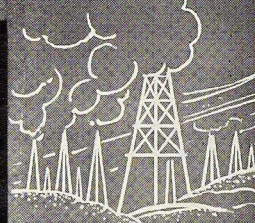
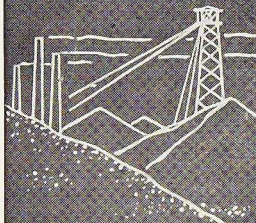
DELENNE+MALEVEZ

**SOCIETE ANONYME
TEL. 51.03.25-51.16.50
VILVORDE**

TUBES POUR TOUTES ACTIVITÉS

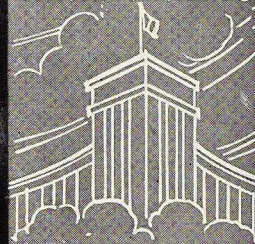
CHARBONNAGES

PÉTROLE



CANALISATIONS

TRAVAUX PUBLICS



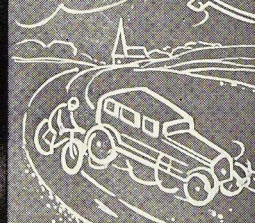
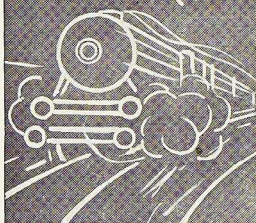
EAU

GAZ

CONSTRUCTION MÉCANIQUE

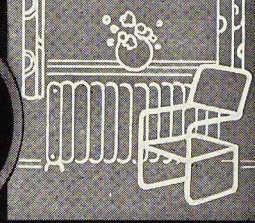
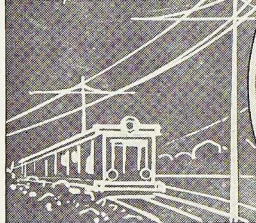
TOUS DIAMÈTRES
DE 3^m/_m À 1250^m/_m
ET PLUS

SPORTS



TRANSPORT DE FORCE

LE HOME



USINES A TUBES DE LA MEUSE

STÉ AME FLÉMALLE-HAUTE BELGIQUE

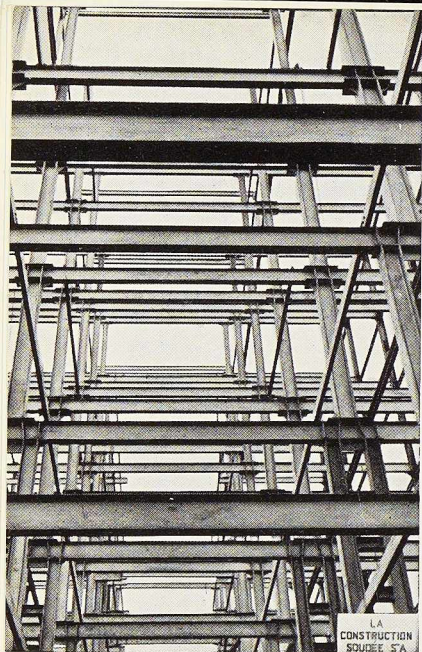
SOBELPRO



PONTS FIXES ET MOBILES, CHARPENTES
DE TOUS GENRES ET PORTEES, OSSATURES
METALLIQUES POUR USINES ET MAISONS,
HANGARS, PYLONES, TANKS, RESER-
VOIRS, MATERIEL FIXE POUR CHEMIN DE
FER, PORTES, ESCALIERS, ETC., ETC.

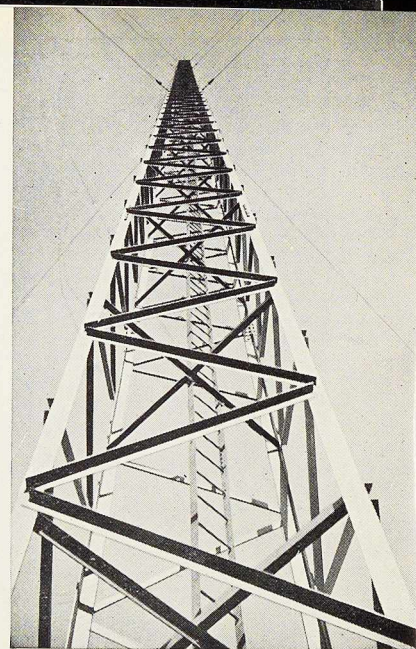
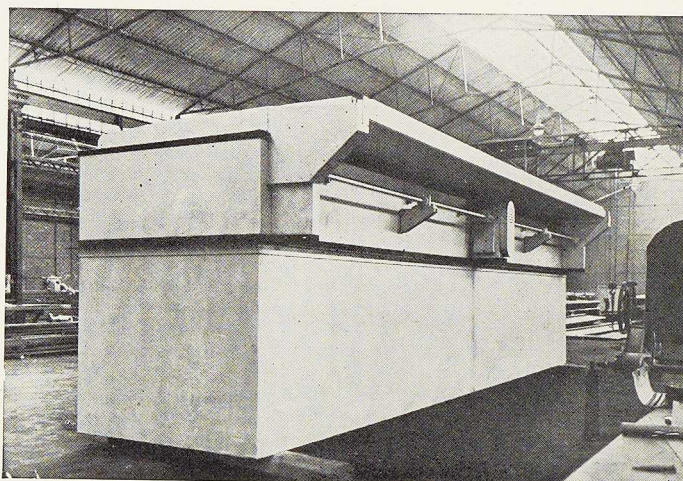


ETABLISSEMENTS D. STEYAERT-HEENE



Moulins de Trois-Fontaines
Ossature soudée de 600 t.

Carcasse pour four électrique



Station de Ruysede — 4 pylones
haubannés de 125 m. de haut

PYLONES

POUR TRANSPORT DE FORCE ET T. S. F.

CHARPENTES

OSSATURES

APPAREILS DE LEVAGE

PONTS ROULANTS - PORTIQUES - DERRICKS

CHAUDRONNERIE

RÉSERVOIRS - SILOS - TRÉMIES, ETC.

SPÉCIALITÉ DE TOUTES LES
APPLICATIONS DE SOUDAGE A L'ARC

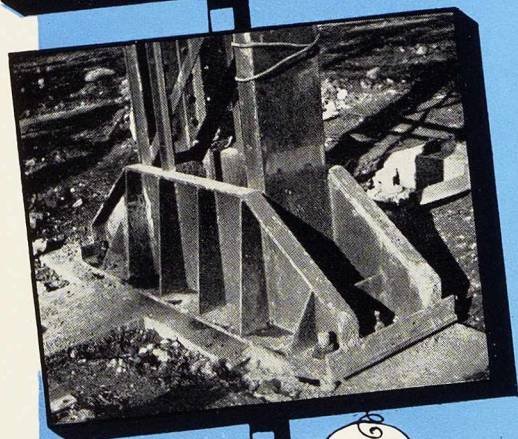
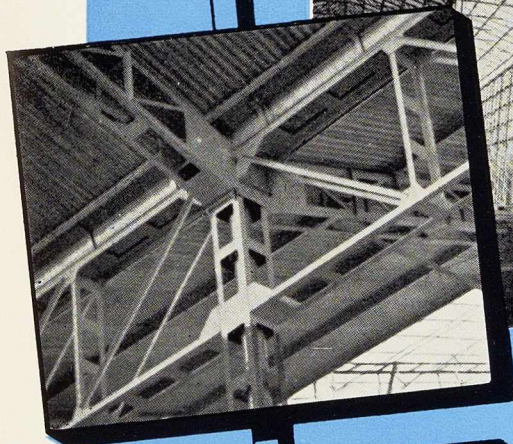
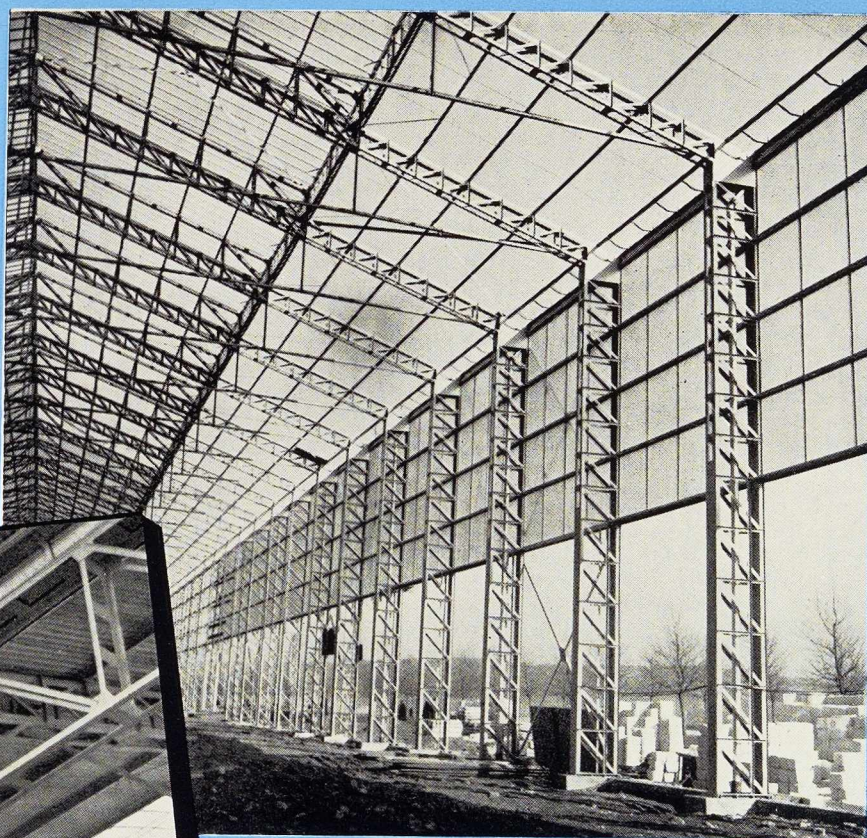
LA CONSTRUCTION SOUDÉE

ANCIENS ÉTABLISSEMENTS ANDRÉ BECKERS. S. A.

64, AVENUE RITWEGER, HAREN-BRUXELLES

TÉLÉPHONE 15.96.62 - 16.39.04

REALISATION
PUBLIGRAPHE
BRUXELLES
TEL. 37.91.85



LE NOUVEAU HALL
DE LA METALLURGIE
DE LA FOIRE INTER-
NATIONALE DE LIEGE
CONSTRUCTEUR :

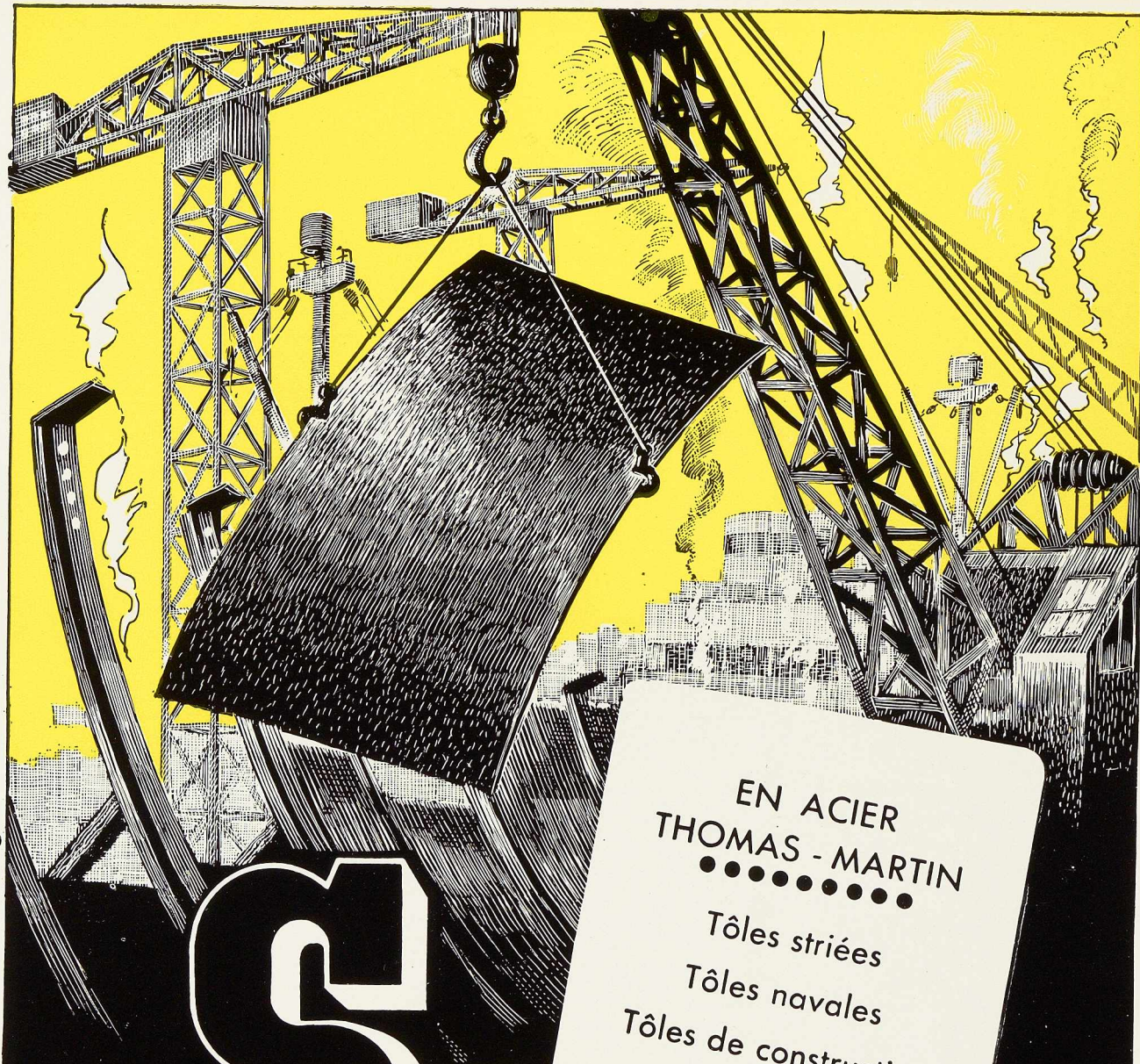
S. A. D'UGREE-MARIHAYE

réalisé avec ...

OK47P

ESAB

ELECTRO SOUDURE AUTOGENE BELGE S. A.
116-118, RUE STEPHENSON - BRUXELLES
TELEPHONES : 15.91.26 • 15.05.32



AS
SIDERUR

EN ACIER
THOMAS - MARTIN
●●●●●●●●

Tôles striées
Tôles navales
Tôles de construction
Tôles chaudières

SOCIETE COMMERCIALE DE SIDERURGIE, S. A.

1^{er}, RUE DU BASTION (ELITE HOUSE) BRUXELLES
TELEPHONES : 12.31.70 (4 LIGNES) 12.00.53 (3 LIGNES)
COMPTE CHEQ. POST. 33.79 — TELEGR : SIDERUR-BRUXELLES
REGISTRE DU COMMERCE : BRUXELLES 207.794

ORGANISME DE VENTE DE

SOCIETE ANONYME D'UGREE - MARIHAYE, à Ougrée
S. A. MINIERE ET METALLURGIQUE DE RODANGE, à Rodange (G. D. Luxembourg)
S. A. ACIERIES ET MINIERES DE LA SAMBRE, à Monceau-sur-Sambre
SOCIETE ANONYME LAMINOIRS D'ANVERS, à Schoten-lez-Anvers

Office Technique de Publicité

L'OSSATURE MÉTALLIQUE

REVUE MENSUELLE DES APPLICATIONS DE L'ACIER

15^e ANNÉE - N° 7-8

JUILLET-AOÛT 1950



Photo Eclair-Photo.

La Foire Internationale de Liège 1950

La deuxième Foire Internationale de Mines, Métallurgie, Mécanique et Electricité Industrielle s'est tenue à Liège du 29 avril au 14 mai 1950. Cette Foire technique, hautement spécialisée, a été rehaussée cette année par la présentation du salon de la construction navale consacré au matériel pour navires.

En raison du succès obtenu en Belgique et à l'étranger par la première Foire, son Comité exécutif a fait édifier un nouveau hall dit « Hall de la Métallurgie », couvrant une superficie de 15 000 m². Cette importante construction, dont l'architecture extérieure est l'œuvre de l'architecte G. Dedoyard, comporte une charpente métallique de 700 tonnes, montée en un temps record par la S. A. d'Ougrée-Marihaye, d'après les plans de MM. Robert et Musette, Ingénieurs-Conseils ⁽¹⁾.

La Foire des trois « M » a connu, en 1950, un très vif succès. Les produits de 607 usines se groupaient dans des ensembles d'une valeur tech-

nique remarquable. Le nombre des visiteurs a dépassé largement le chiffre de 200 000, atteint en 1949. Ceux venus de l'étranger étaient originaires de 42 pays différents.

Les secteurs industriels les plus représentatifs étaient l'électricité industrielle et l'électronique, les mines, les machines-outils et l'outillage, le matériel d'entreprises de travaux et les appareils de manutention et de levage, la fonte et l'acier, les machines motrices, etc.

A côté de fabrications de la Belgique figuraient celles de quinze pays étrangers dont les principales étaient en provenance de l'Allemagne, la France, la Grande-Bretagne, la Suisse, la Suède, les Pays-Bas et les U. S. A.

Des séances d'études, organisées par l'Association des Ingénieurs sortis de l'Ecole de Liège (A. I. Lg.), ont eu lieu en marge de la Foire. Elles ont porté sur certaines spécialités actuellement à l'ordre du jour ⁽²⁾.

⁽¹⁾ Voir *L'Ossature Métallique*, n° 4-1950, p. 173.

⁽²⁾ Voir le compte rendu de ces séances aux pages 335 et suivantes du présent numéro.

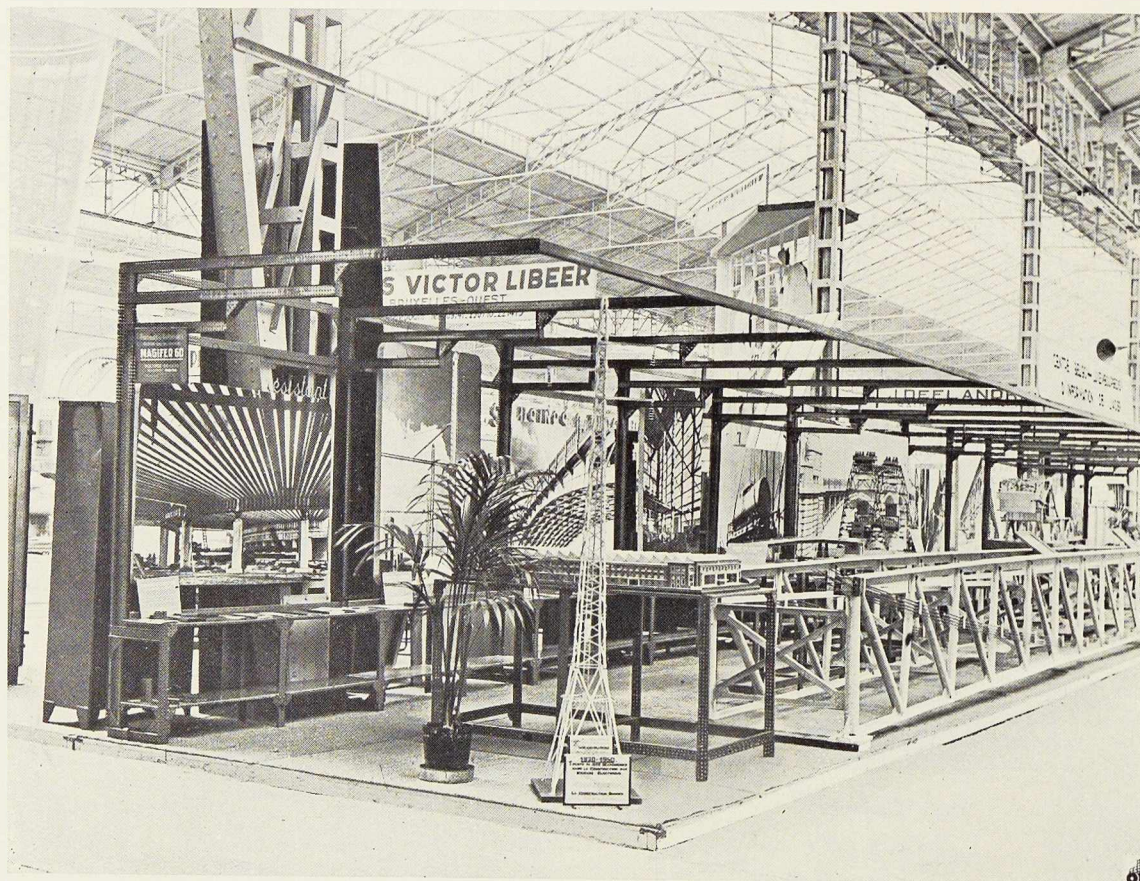


Fig. 455. Vue d'enfilade du Stand du Centre Belgo-Luxembourgeois d'Information de l'Acier.

Photo Malevez.

A travers les stands de la Foire

Centre Belgo-Luxembourgeois d'Information de l'Acier (fig. 455 et 456).

Le Centre Belgo-Luxembourgeois d'Information de l'Acier (C. B. L. I. A.) a présenté dans son stand les maquettes suivantes :

- Pont de Luslin sur la Meuse;
- Palais n° 3 du Centenaire, à Bruxelles;
- Pylône d'une ligne de transport d'énergie électrique;
- Pont-levant sur le Rupel, à Capelle-au-Bois;
- Pont basculant « Strauss », à l'entrée du canal Albert, à Anvers (1).

Le clou du stand était constitué par une poutre

(1) Voir *L'Ossature Métallique*, nos 11-1939, 6-1948 et 3-1950.

en acier précomprimé. D'une portée de 21,17 m, cette poutre pèse 2 600 kg. Haute de 1 mètre, elle porte 40 000 kg uniformément répartis.

L'agent de la précompression est un groupe de fils d'acier à haute limite élastique (2).

Le C. B. L. I. A. a exposé également une série de photographies grand format se rapportant aux ouvrages métalliques suivants :

- Plateforme de répartition des voies à la gare du Midi, à Bruxelles;
- Echafaudages au Palais de Justice, Bruxelles;
- Pont de France, à Namur;
- Centrale électrique de Merxem;

(2) Voir dans *L'Ossature Métallique*, n° 6-1950, une importante étude du Professeur G. Magnel sur les constructions métalliques précomprimées.



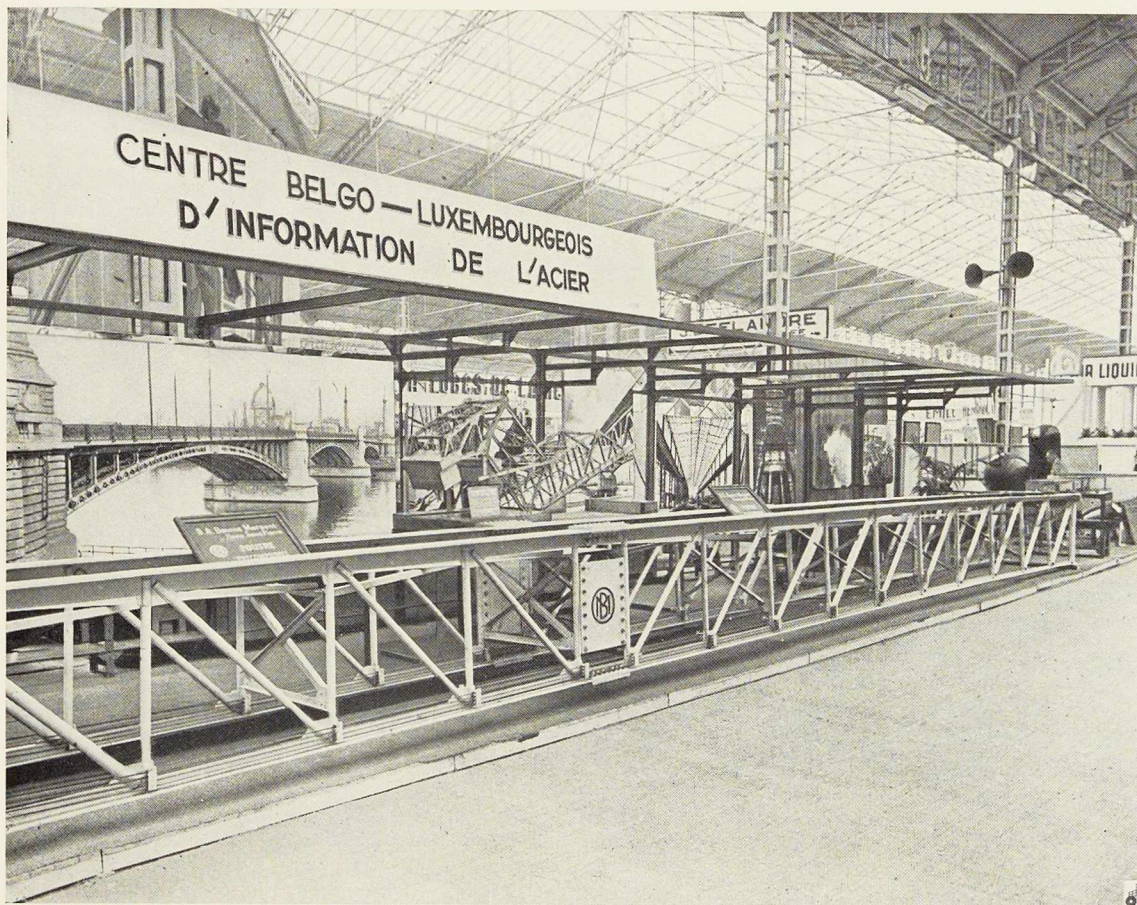


Fig. 456. Autre vue du Stand du Centre Belgo-Luxembourgeois d'Information de l'Acier; au premier plan, la poutre expérimentale en acier précomprimé de 21 mètres de portée, réalisée par la S. A. Baume et Marpent.

Photo Malevez.

- Hall de laminoir d'Espérance-Longdoz;
- Pont de Visé;
- Pylônes de caténaires, à la gare du Nord;
- Wagon-citerne en cours d'embarquement;
- Battage de palplanches en rivière;
- Pont de Fragnée, à Liège.

Le rayonnage et les portiques étaient réalisés en Magifer Grisard.

S. A. John Cockerill (fig. 457).

La Foire Internationale de Liège 1950 coïncidant avec le cinquième anniversaire de la fin de la seconde guerre mondiale, la S. A. John Cockerill a cru opportun de profiter de cette occasion pour montrer les résultats de ses efforts de rééquipement pendant ces cinq dernières années

et en faire le thème de sa participation à ce grand événement de notre vie industrielle.

Elle a, dans ce domaine, mis en œuvre en ses usines de Seraing d'importantes installations actuellement terminées ou en cours d'exécution, telles que notamment :

- La construction d'une nouvelle batterie de 56 fours à coke mise à feu récemment et qui, avec son équipement électromécanique perfectionné, assure une production de haute qualité;

- La mécanisation complète de la manutention des minerais, depuis l'arrivée en gare jusqu'à l'introduction au haut fourneau et, au cours de cet acheminement automatique par bandes convoyeuses, conditionnement de ces minerais selon les techniques les plus modernes : concassage, stockage, criblage, agglomération des fines,



Fig. 457. Stand de la S. A. John Cockerill montrant l'effort fourni par cette Société au cours des cinq dernières années.

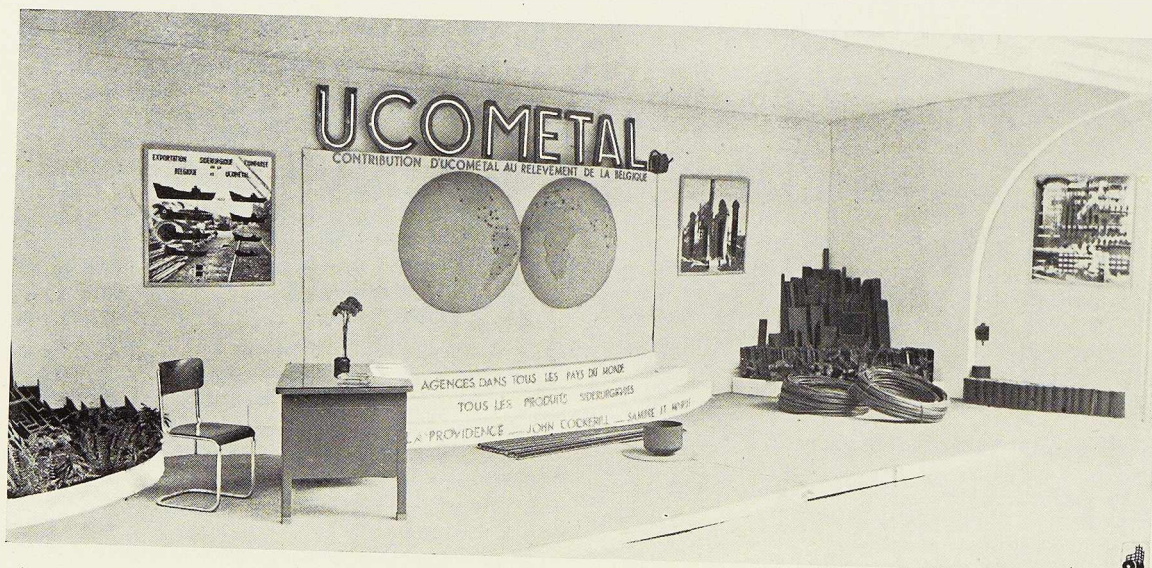


Fig. 458. Stand de l'Union Commerciale Belge de Métallurgie (Ucométal).
Photo Malevez.



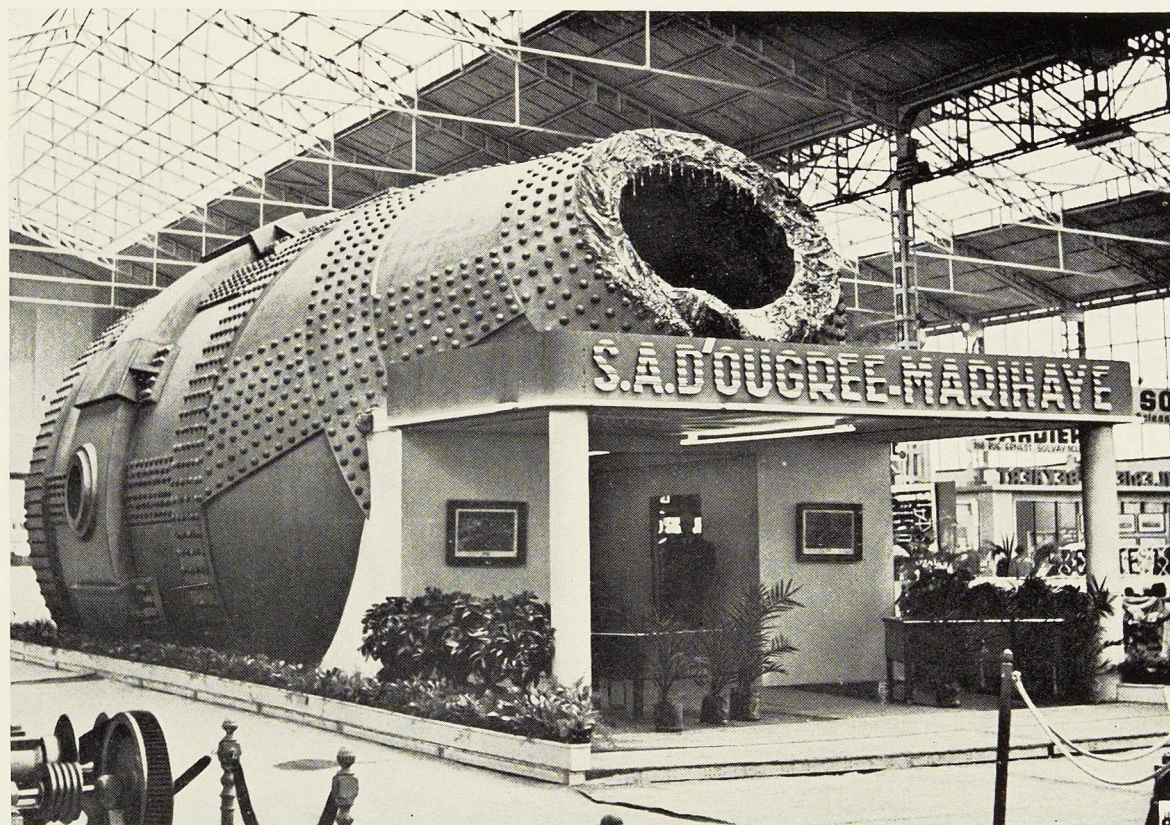


Fig. 459. Vue extérieure de la cornue Thomas constituant le stand de la S. A. d'Ougrée-Marihaye.

dosage précis et mélange des divers constituants du lit de fusion, le tout dans les meilleures conditions de sécurité et d'hygiène;

— Le remplacement de certains de ses hauts fourneaux par de nouvelles unités, ainsi que la construction d'un four électrique basculant de grande capacité fonctionnant sous le contrôle de la spectranalyse;

— L'édification d'un atelier des plus modernes où sont fabriqués, à la chaîne, les cadres de soutènement T. H. pour les charbonnages, dont la production mensuelle dépasse 30 000 pièces.

— Le remplacement d'une partie de l'outillage ancien par de nombreuses machines-outils modernes.

Dirigeant également ses efforts vers ses divisions extérieures, la Société Cockerill a renforcé considérablement la puissance des souffleries des hauts fourneaux d'Athus, ainsi que la capacité de l'aciérie Thomas, mettant en outre, en cons-

truction, d'importantes installations de broyage des scories. Elle édifiait aussi, à son chantier naval de Hoboken, de vastes halles pour la préfabrication d'éléments de navires pouvant atteindre jusqu'à 20 tonnes, ainsi qu'un atelier de soudure muni d'un outillage répondant aux derniers perfectionnements de la technique. Elle rééquipait aussi progressivement sa ligne de navigation Ostende-Tilbury, qui avait payé un lourd tribut à la guerre et dont quatre unités rapides assurent aujourd'hui le service régulier.

Complétant ce programme, elle a créé, au début de 1948, une filiale à Tilleur, la Compagnie des Fers Blancs et Tôles à froid « Ferblatil », qui achève la construction d'une vaste usine appelée à produire, outre toute la gamme des tôles laminées à froid, d'importants tonnages de fer blanc étamé par le procédé électrolytique, selon la technique qui a conquis la faveur des Etats-Unis.



Fig. 460 (à gauche). Stand de la S. A. Phenix-Works.

Photo Jacoby.

De nombreux agrandissements photographiques, occupant une partie du panneau de fond du stand de la Société Cockerill, ont montré plusieurs des réalisations rappelées ci-dessus.

Pour illustrer ses différentes possibilités, la Société Cockerill a complété sa présentation par quelques vues caractéristiques telles que les grues de 85 tonnes pour le relevage des grosses locomotives, fournies à la S. N. C. F. et les locomotives Diesel et Diesel électriques du type Baldwin dont elle est la licenciée.

Une vue panoramique du chantier naval à Hoboken achève cette présentation, véritable synthèse par l'image de l'effort de rééquipement de la Société Cockerill et de son potentiel industriel.

Ucométal (fig. 458)

La S. A. Ucométal (Union Commerciale Belge de Métallurgie), organisme de vente des produits sidérurgiques des Usines John Cockerill, Forges de la Providence, Sambre et Moselle, était également présente au Hall de la Métallurgie.

Ucométal a voulu montrer par l'image et le

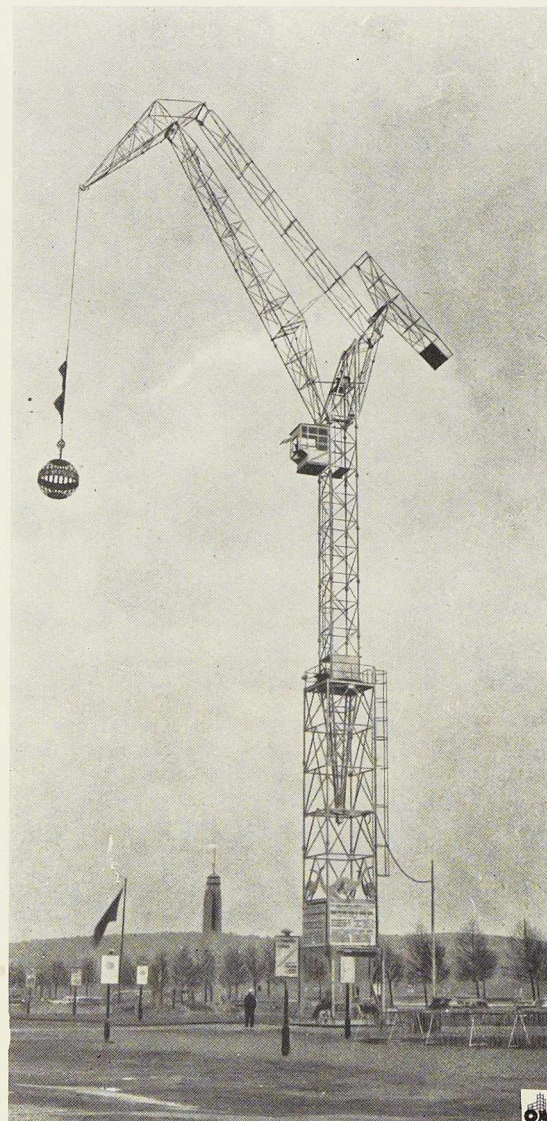
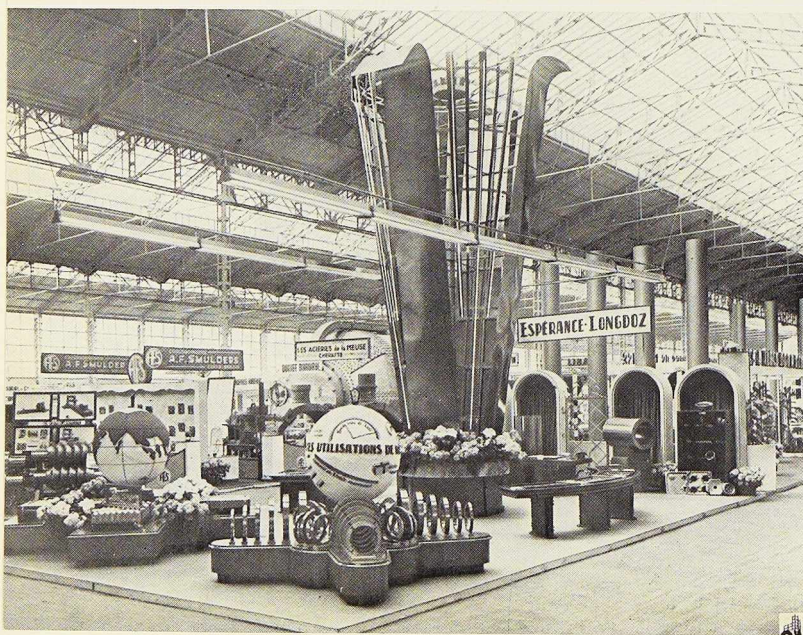


Fig. 461 (ci-dessus). Grue-pylône des Usines à Tubes de la Meuse.

Photo G. Depouhon.

Fig. 462 (à gauche). Stand de la Société Métallurgique d'Espérance-Longdoz.

Photo Malevez.

Fig. 463. Stand de la Société Minière et Métallurgique de Rodange.

graphique l'importance de son organisation commerciale et sa contribution au relèvement de la Belgique. Rappelons qu'Ucométal représente un ensemble d'usines sidérurgiques dont la capacité de production atteint 3 millions de tonnes par an.

Société Métallurgique d'Espérance-Longdoz
(fig. 462)

Constituée en 1836, la Société Métallurgique d'Espérance-Longdoz a accompli, au cours d'un siècle, diverses étapes qui l'ont méthodiquement développée et lui ont assuré, dans la fabrication de la tôle fine en Belgique, une place très importante. La Société d'Espérance-Longdoz, qui s'est récemment adjoint une nouvelle fabrication : les tôles galvanisées, exposait dans son stand des échantillons de ses principales productions.

Société Minière et Métallurgique de Rodange
(Grand-Duché de Luxembourg) (fig. 463)

Spécialisée depuis de nombreuses années dans la fabrication des palplanches et des rails, la S. A. Minière et Métallurgique de Rodange a entouré son stand d'une palissade en profils Z de grande rigidité.

Le centre du stand était constitué par un massif de laminés divers taillés en biseau.

La S. A. Minière et Métallurgique de Rodange ayant réalisé un effort particulier dans la confection de l'outillage mécanique de métallurgie, exposait également des appareils à réaléser sur place les trous des boulons de fixation de très gros accouplements de machines motrices, une machine à rafraîchir sur place les coudés et manetons de moteurs à gaz, etc.

S. A. d'Ougrée-Marihaye (fig. 459)

La S. A. d'Ougrée-Marihaye a réalisé cette année un stand d'une conception fort originale. Elle est partie de la synthèse de son activité : l'acier, et a monté, en ses ateliers, une énorme cornue de déphosphoration Thomas qui contient son exposition à proprement parler.

L'intérieur de la cornue est aménagé en salon et révèle, dans deux vitrines longitudinales ayant l'aspect de bijoutières, toute la gamme des pro-



duits fabriqués par un des piliers de notre industrie nationale.

Chaque groupe de produits exposés est illustré par une photographie en couleurs représentant une scène de leur fabrication.

Une autre vitrine, placée dans le fond du stand, contient tous les produits de récupération, à savoir les sous-produits de la houille, laitiers, ciments, briques, engrais chimiques, etc.

Le centre du stand est réservé entre autres à quelques nouveautés dont les profils allégés, les plats nervurés à boules et les tôles plastifiées « Ferelaq ».

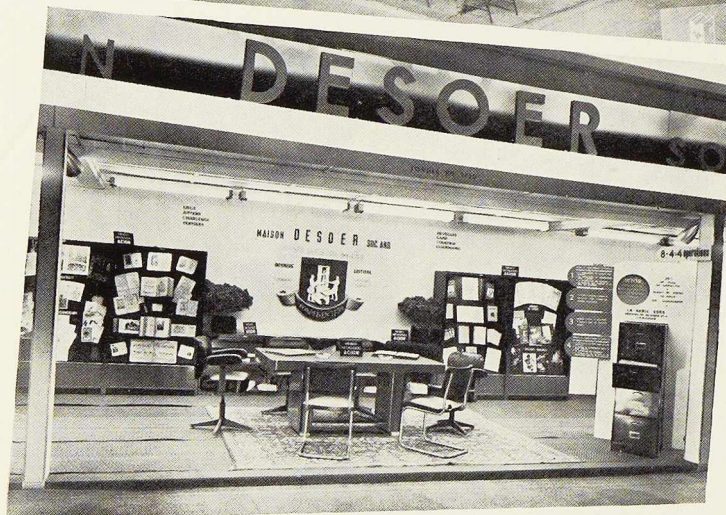
Les profils allégés sont des laminés à chaud étudiés spécialement pour être plus économiques au flambage que les profils ordinaires. Ils sont surtout conçus pour la construction soudée quoique pouvant être utilisés en rivure et permettent de réaliser une économie de l'ordre de 20 à 25 % en poids de matière.

Les plats nervurés à boules sont spécialement conçus pour donner plus de raideur au flambage et sont destinés à servir de colonnes, de membrures comprimées de poutres à âme pleine et, éventuellement, de membrures tendues sujettes à vibrations.

L'emploi de ces plats à boules permet de réa-

Fig. 464. Stand des Usines à Tubes de la Meuse.
Photo G. Depouhon.





liser une construction plus légère, de donner aux poutres et aux colonnes un profil plus élégant en même temps que l'égale résistance.

Une réduction au 1/5 de la coupe transversale d'un hall donne une application rationnelle des profils allégés et des plats nervurés à boules appelés aussi plats à trois nervures.

L'Oxydrique Internationale (fig. 465)

Le stand de l'Oxydrique Internationale était placé sous le signe de la modernisation des installations qui produisent, distribuent et utilisent les gaz oxygène et acétylène dans l'industrie.

On y remarquait, d'une part, un générateur d'acétylène à fonctionnement complètement automatique, à tambour rotatif commandé électriquement, et dont la caractéristique principale est l'obtention d'un résidu constitué par de la chaux sèche et pulvérulente, d'une manutention propre et aisée.

Du côté de la distribution d'oxygène, l'Oxydrique Internationale présentait, d'autre part, une rampe double de dix bouteilles avec tableau central portant tous les appareils de manœuvre et de contrôle; chacun des deux circuits oxygène est pourvu d'un réchauffeur électrique à interrupteur automatique par thermostat.

Enfin, le procédé breveté « Cinox », qui permet le découpage destructif ou constructif des aciers inoxydables et de la fonte, était représenté par une installation complète et une série de pièces coupées.

S. A. Maison Desoer (fig. 466)

La S. A. Maison Desoer, qui fêtera cette année son 200^e anniversaire, exposait quelques échantillons pris dans sa gamme de meubles métalliques. On y voyait notamment son nouveau classeur breveté, le « 2 000 », qui présente des avantages sur les classeurs ordinaires.

Le reste du stand de la Maison Desoer était occupé par les réalisations de son imprimerie et les produits de son département « Machines à écrire et machines de bureau ».

S. A. Soudure Electrique Autogène « Arcos » (fig. 467)

La S. A. « Arcos » a présenté dans son stand une cabine de soudage ainsi qu'une série de nouveaux produits Arcos : électrodes Navalend, Ver-

Fig. 465 à 467. Stands des Sociétés L'Oxydrique Internationale, Maison Desoer et La Soudure Electrique Autogène Arcos.

Photos Graaff & Jacoby.

tend D et Vertend M pour le soudage vertical et sur assemblages mal ajustés, etc.

Des échantillons de coupe oxyarc et de soudage à l'arc et au chalumeau étaient disposés sur des comptoirs ainsi que l'outillage nécessaire à ces travaux. Le stand Arcas était complété par un transformateur de soudage B 300 à réglage continu, monté avec parois transparentes.

Ateliers de Bouchout et Thirion Réunis, S. A.
(fig. 470)

Le stand des Ateliers de Bouchout et Thirion Réunis (A. B. T. R.) avait pour but de donner aux visiteurs une idée de la diversité des activités de cette firme. Le centre du stand est occupé par une construction où sont réunis les produits des A. B. T. R. qui interviennent dans le bâtiment. Une autre partie du stand était consacrée au matériel de mine : berlines, couloirs, etc.

Le stand contenait en outre un modèle à l'échelle réduite d'une cabine galvanisée pour un bateau destiné à la navigation intérieure sous les tropiques.

S. A. des Ateliers de Construction et Chaudronnerie de l'Est (fig. 469)

Les Ateliers de Construction et Chaudronnerie de l'Est, dont le stand était réalisé conjointement avec la maison mère, la S. A. des Rhéolaveurs A. France, de Liège, exposait notamment : une batterie de transporteur à courroie, une batterie de rouleaux de transporteur du type pivotant, dont le but est de régulariser le cheminement rectiligne de la bande transporteuse. Dans le domaine du lavage de charbon, le stand montrait un couloir de lavage de grosses catégories, un tronçon de batterie de lavage des fines catégories, un tronçon de couloir à schlamm, munis de rhéolaveurs spéciaux à longues pointes, etc.

S. A. l'Air Liquide (fig. 468)

L'Air Liquide présentait une gamme complète d'appareils pour le soudage et le coupage. Outre les chalumeaux, postes de soudure, produits d'apport et électrodes classiques, on remarquait le matériel nécessaire au soudage en atmosphère gazeuse d'Argon, procédé spécialement indiqué pour le soudage des aciers inoxydables, des aciers réfractaires et des alliages légers.

Fig. 468 à 470. Stands des Sociétés L'Air liquide, les Ateliers de Construction et Chaudronnerie de l'Est et les Ateliers de Bouchout et Thirion Réunis.

Photos Malevez, Jacoby & D. Daniel.





Fig. 471. Stand des Ateliers de La Louvière-Bouvy.

Une nouveauté intéressante résidait dans une installation manuelle d'oxycoupage à la poudre des aciers inoxydables et des fontes.

Enfin, une série de machines de soudage sous flux Unionmelt, automatiques et semi-automatiques, donnaient une idée des performances de ce procédé.



Fig. 472. Stand de la S. A. des Usines Gilson, La Croÿère.

Photo Eclair-Photo.

Usines à Tubes de la Meuse (fig. 461 et 464)

Les Usines à Tubes de la Meuse (U. T. M.) montraient les tubes d'acier de leur fabrication dans toutes leurs applications. On y voyait les tubes soudés, noirs et galvanisés utilisés pour la distribution d'eau, de gaz et de vapeur, installations sanitaires, chauffage central, etc.

Les U. T. M. exposaient également un modèle d'échafaudage tubulaire roulant ainsi qu'un nouveau potelet lumineux de signalisation, utilisant la plaque émaillée.

Le clou de la participation des U. T. M. était toutefois constitué par une énorme grue-pylône, dont la silhouette gracieuse faisait songer à une cigogne géante. Cet engin, qui a d'ailleurs été baptisé « La Cigogne », a une hauteur de levage de 42 mètres. Le poids de la grue-pylône est de 18 tonnes environ (sans compter le lest). L'engin est capable de lever une charge de 3 tonnes avec un bras de 10 mètres et une charge de 1 1/2 tonne avec un bras de 20 mètres.

Parmi les très nombreux participants à la Foire Internationale de Liège, il convient de citer encore les firmes suivantes :

Les *Ateliers de Constructions de Jambes-Namur*, qui présentaient des maquettes de maisons métalliques, le locopulseur Pulso, le moteur industriel à essence A. L. P. 602, d'une puissance de 8 à 12 CV;

Les *Ateliers de Construction Nobels-Peelman et La Brugeoise et Nicaise & Delcuve* qui ont participé à la Foire en exposant des photographies et des maquettes d'ouvrages réalisés par eux.

La *S. A. des Usines Gilson* qui ont présenté leurs aciers de qualité reconnus tant en Belgique qu'à l'étranger, les outillages Dynasteel et leur nouvelle division Precimetal (fig. 472).

Citons encore, pour terminer cette brève énumération, la S. A. Baume et Marpent, les Ateliers de Construction Awans-François, la S. A. Phenix-Works (fig. 460), les Usines Emile Henricot, les Grosses Forges et Usines de la Hestre, Magifer Grisard, la S. A. l'Acier Inoxydable liquide, etc.

*
**

Grâce à l'impulsion de son Président du Conseil d'Administration, M. A. Neef de Sainval, et de ses collaborateurs, la Foire Internationale de Liège a connu un succès total. Cette manifestation a acquis désormais droit de cité; nul doute que les Foires à venir récompenseront l'effort des promoteurs en intensifiant les échanges commerciaux entre la Belgique et l'étranger.



F. Jacquet,
Secrétaire technique
du Groupement
des Hauts Fourneaux
et Aciéries Belges

Les Journées de Métallurgie de la Foire Internationale de Liège

Dans le cadre de la Foire Internationale de Liège, se sont tenues en cette ville, les 9, 10 et 11 mai 1950, les Journées de Métallurgie qui remportèrent un très vif succès.

Au cours de la séance inaugurale, qui eut lieu le mardi 9 mai, au local de la Société Libre d'Emulation, M. François PEROT, Administrateur-Délégué de la S. A. d'Ougrée-Marihaye, Président du Centre National de Recherches Métallurgiques (C. N. R. M.) et Président des Journées de Métallurgie, souhaite la bienvenue aux autorités, aux personnalités et à tous ceux qui, à des titres divers, assistaient à cette manifestation. Il adressa ensuite ses vifs remerciements aux ingénieurs et professeurs éminents qui avaient bien voulu se charger des conférences et communications inscrites au programme des Journées de Métallurgie, ainsi qu'aux personnalités qui avaient accepté de diriger les débats.

Il dit enfin toute sa reconnaissance à l'Association des Ingénieurs sortis de l'Ecole de Liège (A. I. Lg.) pour avoir conçu et organisé ces Journées Scientifiques de Métallurgie.

Poursuivant son allocution, M. PEROT rendit un éloquent et vibrant hommage à la mémoire du génial inventeur Sidney Gilchrist Thomas dont on célèbre, cette année, le centenaire de la naissance. Après avoir souligné l'importance de sa sensationnelle découverte et retracé sa vie exemplaire, il dédia les Journées de Métallurgie de la Foire Internationale de Liège à son impérissable souvenir.

L'allocution de M. PEROT fut suivie d'une communication de M. P. COHEUR, Chargé de cours à l'Université de Liège et Directeur du Centre National de Recherches Métallurgiques, Section de Liège, sur les « Tendances de la Recherche Scientifique en Métallurgie dans le monde ».

M. COHEUR rappela en premier lieu qu'à la suite de l'appel lancé par S. M. le Roi Albert, le Fonds National de la Recherche Scientifique (F. N. R. S.) a été créé il y a plus de vingt ans

déjà et il souligna le rôle important et l'influence très grande exercée par cet organisme sur le développement de la Science en Belgique.

Cependant, le Fonds National n'a entrepris qu'un nombre restreint de recherches relatives à la Métallurgie et il a fallu que l'initiative privée fasse d'importants efforts en ce domaine. Il cita, à titre d'exemple, la création en 1938 du Fonds du Centenaire de l'Ecole de Liège et la création du Centre de Recherches privées, tel celui de Providence-Arcos.

Ces efforts devaient aboutir, en 1946, à la création du Centre Belge de Métallurgie physique qui, peu de temps après se transformait en un Centre National de Recherches Métallurgiques.

Avant de dire ce qu'était ce Centre National, ce qu'il a fait et les résultats qu'il a obtenus, M. COHEUR exposa sommairement l'état de la recherche métallurgique en Grande-Bretagne, en Allemagne, en France, en Suède puis, à titre documentaire, aux Etats-Unis et aux Indes. Pour simplifier son exposé, il se limita à un seul secteur de la Métallurgie, à savoir la Sidérurgie. Il résulta de cet exposé qu'en prenant la Grande-Bretagne, la France et la Suède comme point de comparaison, la recherche sidérurgique belge devrait disposer d'un crédit annuel de 20 à 30 millions de francs.

Revenant au C. N. R. M., M. COHEUR définit comme suit la formule selon laquelle cet organisme fut conçu et qui consistait à faire tout d'abord appel aux chercheurs des universités et des usines qui voulaient ou pourraient prêter leur concours à un travail de collaboration.

On utilisa ensuite au maximum les laboratoires universitaires et industriels existants et, enfin, on créa pour le surplus un ou des laboratoires dans lesquels sont concentrées des disciplines nouvelles. Pour la réalisation de ses travaux, le Centre dispose actuellement de deux sections, situées chacune dans les bassins industriels de Liège et du Hainaut, ayant leurs laboratoires



propres, dans lesquels sont mises au point des méthodes expérimentales qui ne se trouvent généralement pas dans les laboratoires industriels ou universitaires.

Ainsi, en 1947, le Centre disposait d'un laboratoire de microscopie électronique, d'un laboratoire d'analyse spectrale directe, d'un laboratoire de diffraction des rayons X et de laboratoires d'analyse des gaz dans les métaux avec diverses méthodes de dosage. Passant ensuite à l'examen des méthodes de travail adoptées par le Centre National, M. COHEUR signala qu'indépendamment des recherches effectuées dans leurs laboratoires, les sections passent des contrats avec les laboratoires spécialisés universitaires ou industriels. C'est ainsi que les sections travaillent avec les laboratoires de spectrochimie des Universités de Liège, de Gand et de Louvain, les laboratoires de métallurgie des facultés de Bruxelles, de Liège et de Mons et les laboratoires de microchimie de Bruxelles. Les programmes généraux de recherches sont établis dans chacune des sections par leur Comité technique. Dans le cas de recherches spéciales, les Comités ont recours à des Commissions d'Etudes réunissant des spécialistes tant universitaires qu'industriels.

Parlant ensuite du financement du Centre National, M. COHEUR signala que son budget ordinaire annuel, qui est de l'ordre de 6 millions, est assuré par les sociétés membres du Centre et par l'Institut pour l'Encouragement de la Recherche Scientifique dans l'Industrie et l'Agriculture (I. R. S. I. A.).

Il termina son exposé en mentionnant, à titre d'exemple, quelques-uns des problèmes que, parmi une centaine, le Centre a résolus. Il cita notamment des études déjà publiées en Belgique et à l'étranger et qui ont pour objets le mécanisme des déformations plastiques dans les métaux, la recristallisation, les textures réticulaires et l'examen au microscope électronique des aciers destinés au fluage à chaud. Cette dernière étude a mis en évidence des phénomènes nouveaux de précipitation et de coalescence qui ont été confirmés par des études de diffraction de rayons X. Il indiqua aussi une étude qui se rapporte à la métallurgie du zinc et qui a trait à l'évolution au cours de la réduction des divers composés que l'on rencontre dans les blendes supergrillées. Parmi les recherches de caractère plus spécial, M. COHEUR signala l'analyse des gaz dans les aciers et les fontes par diverses méthodes; il mentionna également les méthodes de cémentation à l'aluminium, de fusion sous vide et d'extraction diverses. D'autre part, le Centre a considérablement développé la spectrochimie d'émission. Enfin, dans le cadre des recherches

entreprises par les Commissions d'Ingénieurs, il y a lieu de mentionner, parmi la dizaine d'études actuellement en cours, celle sur la dés-oxydation de l'acier et les recherches entreprises en aciérie Thomas. M. COHEUR souligna que les résultats obtenus améliorent très nettement la qualité de l'acier Thomas.

Après avoir brièvement passé en revue les communications inscrites au programme des Journées de Métallurgie, M. COHEUR termina son exposé en exprimant son entière confiance en l'avenir du Centre National de Recherches Métallurgiques.

La communication de M. COHEUR terminait la séance inaugurale des Journées de Métallurgie de la Foire Internationale de Liège. L'après-midi de cette première journée fut consacrée à la visite de la Foire.

Les communications figurant au programme de la seconde journée ont eu lieu dans la salle de conférences du Palais de la Libération de la Foire, sous la présidence de M. E. DE COENE, Directeur honoraire à la S. A. Métallurgique d'Espérance-Longdoz. Elles avaient principalement pour objet l'acier Thomas.

On trouvera, ci-dessous, les résumés des principales communications.

M. WURTH, Directeur de la Métallurgie à la S. A. John Cockerill, a fait une synthèse des processus de fabrication susceptibles d'améliorer la qualité de l'acier Thomas. Les efforts tendant à produire de l'acier Thomas de qualité supérieure doivent logiquement être précédés d'une régularisation de l'élaboration de cet acier, selon le mode conventionnel, par le contrôle très strict des matières mises en œuvre et des conditions opératoires. Le recours à des procédés spéciaux, qui tous augmentent le prix de revient, sera réservé à une partie seulement de la production.

M. A. DESOER, Directeur de la Métallurgie des Usines d'Ougrée de la S. A. d'Ougrée-Marihaye, a parlé des résultats obtenus dans les essais d'enrichissement en oxygène du vent soufflé. L'idée d'utiliser l'oxygène pour la conversion des fontes en acier par les procédés d'affinage pneumatique n'est pas neuve. En 1856 déjà, Bessemer signalait, dans son brevet, la possibilité de souffler, en lieu et place d'air, soit un mélange de gaz et d'oxygène, soit un mélange d'oxygène et de vapeur d'eau.

Après la mise au point de 1878 par le génial inventeur Sidney Gilchrist Thomas du procédé permettant le traitement des fontes phosphoreuses en cornue, procédé appelé au développement que l'on sait, l'idée d'enrichir l'air de soufflage en oxygène fut maintes fois reprise. Toutefois, le prix auquel il était possible de produire l'oxygène s'opposait à son emploi écono-



Fig. 473. M. F. Perot, Président des Journées de la Métallurgie, prononçant le discours d'inauguration.

mique et ce n'est qu'il y a une dizaine d'années que de nouveaux procédés, permettant la production massive d'oxygène à bas prix de revient, virent le jour et remirent la question de l'emploi d'oxygène au premier plan de l'actualité sidérurgique.

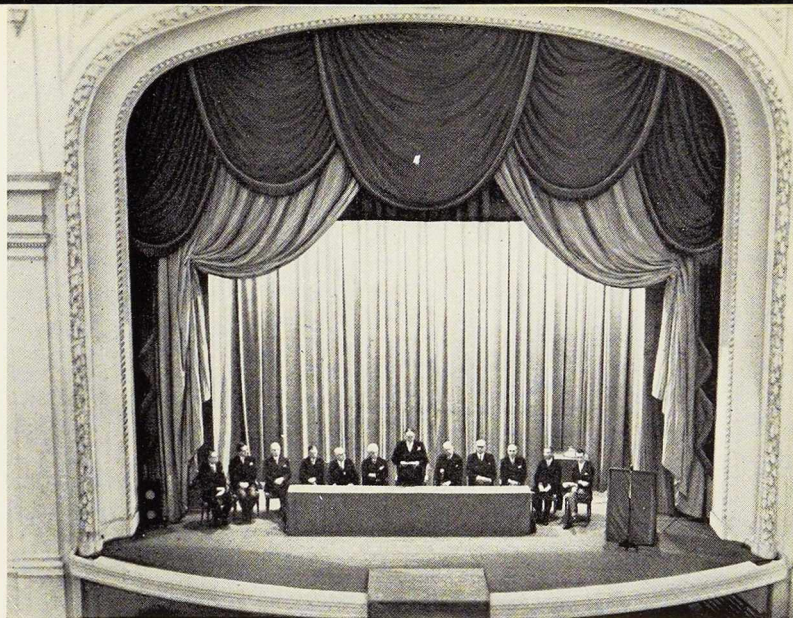
Conscients du rôle important que pouvait avoir l'emploi d'oxygène à l'aciérie Thomas, tant au point de vue de l'amélioration de la qualité des aciers qu'au point de vue économique, les usines sidérurgiques du bassin de Liège se groupèrent sous l'égide du C. N. R. M. pour entreprendre un vaste programme d'essais à l'échelle industrielle. Etant donné l'intérêt que présente cette question pour l'industrie sidérurgique belge, ce programme fut approuvé et subsidié par l'I. R. S. I. A.

Les essais furent exécutés dans les aciéries de la Société Anonyme d'Ougrée-Marihaye et de la Société Métallurgique d'Espérance-Longdoz.

M. O. L. ВИЕТ, Ingénieur en chef, Adjoint à la Direction des Usines à Tubes de la Meuse, a traité des aciers pour chaudières à haute pression et haute température.

La recherche de l'amélioration du rendement des installations de production de l'électricité a mis les sidérurgistes dans l'obligation de produire des aciers résistant aux effets de la température. On sait en effet qu'aux températures dépassant 400°, l'acier a une tendance à se déformer lentement sous charge constante. De plus, les gaz de combustion à température élevée, surtout s'ils sont riches en soufre, amènent l'oxydation de l'acier. Afin de résister à ce double effet de la température, on a été conduit à incorporer à l'acier des éléments d'alliages, dont les plus fréquemment employés dans ce but sont le chrome et le molybdène. On utilisait déjà, avant 1950, des aciers au chrome-molybdène, dont le plus connu est l'acier à 0,5 % de chrome et 0,5 % de molybdène. Pour les surchauffeurs, compte tenu de l'oxydation plus importante, on utilisait généralement un acier à 5 % de chrome et 0,5 % de molybdène.

Ces aciers avaient été étudiés avant la guerre par le Comité des Recherches sur le Comportement des Métaux aux Températures élevées qui groupait les organismes et les industriels intéressés à la question. La détermination des limites d'emploi de ces aciers nécessite en effet des études compliquées qui avaient été amorcées à



cette époque par cet organisme qui a bénéficié de l'aide du Comité « Science-Industrie » du F. N. R. S. et a utilisé les laboratoires de l'Université de Bruxelles.

A cette époque déjà, la question du genre d'essai à choisir pour mesurer la résistance du fluage des aciers, s'était posée et le Comité avait reconnu la nécessité de recourir à des essais de longue durée pour caractériser les propriétés de résistance au fluage des aciers. On est arrivé ainsi à constater que les aciers cités plus haut, pouvaient être utilisés jusqu'à une température de 500° et des indications concernant la tension admissible à choisir pour obtenir une sécurité suffisante ont pu être données aux constructeurs de chaudières.

Depuis la guerre, le problème a évolué, car on désire actuellement utiliser des températures de surchauffe de 525° et même 550°. Ceci a conduit à reformer un nouveau Comité de Recherches, intitulé « Comité pour l'étude du fluage des métaux aux températures élevées ». Il fonctionne depuis le 1^{er} octobre 1947 et a reçu l'aide de l'I. R. S. I. A.

La direction des recherches a été confiée au Professeur Gottignies, de l'Université de Bruxelles.

La tendance actuelle s'oriente vers les essais de longue durée, c'est-à-dire de plusieurs milliers d'heures de fluage. Le Comité a donc été amené à faire construire de nouvelles machines, afin d'augmenter les possibilités de recherches du laboratoire de l'Université de Bruxelles. Jusqu'à présent, trois types d'acier ont été étudiés, à savoir un acier pour tuyauteries à 2 1/4 % de chrome et 1 % de molybdène, un acier pour surchauffeurs à 9 % de chrome et 1 % de molybdène et un acier pour boulons.

Les résultats donnés pour les aciers fabriqués

à cette occasion dans l'Union Belgo-Luxembourgeoise ont été satisfaisants et on peut envisager, dès à présent, l'application de températures de surchauffe nettement plus élevées que celles généralement employées.

MM. HANS, Chercheur au C. N. R. M. et LACOMBLE, Ingénieur à la S. A. John Cockerill, ont fait un exposé sur ce qu'on pouvait attendre de l'utilisation de la spectrochimie en sidérurgie.

Les auteurs donnent les résultats qu'ils ont acquis dans le dosage des éléments résiduels et l'addition dans les aciers en utilisant la spectrochimie.

Par voie graphique, ils ont dosé le Mn, Si, Ni, Cr, Mo, etc. avec une erreur quadratique moyenne de 1,5 à 2 %. Le temps nécessaire à une analyse complète s'élève à 6 minutes pour le premier élément, auxquelles il faut ajouter 25 secondes par élément supplémentaire. Ces résultats obtenus au laboratoire de recherches sont complétés par des résultats obtenus dans un laboratoire de contrôle industriel.

L'emploi de l'analyse directe permet de les améliorer. L'erreur quadratique est, dans ce cas, de l'ordre de 1 % et le temps d'analyse est de 50 secondes pour le premier élément et de 3 secondes par élément supplémentaire.

M. L. HABRAKEN, Assistant à l'Université de Liège, Ingénieur au C. N. R. M. (section de Liège), a montré ce qu'on pouvait attendre de la microscopie électronique en métallurgie.

Après un rappel succinct des possibilités du microscope électronique, l'auteur exposa les deux champs d'application où la métallurgie peut bénéficier de ce nouvel outil de recherche : l'étude des poudres d'une part, l'étude des surfaces métalliques ou métallographie électronique, d'autre part.

Dans chacun de ces domaines, il présenta diverses applications qu'il a eu l'occasion d'étudier. En métallographie électronique notamment, on peut envisager diverses études d'ordre structural : fontes nodulaires, transformations bainitiques, puis des études de précipités dans des aciers au Cr-Mo.

M. Fr. MEUNIER, Professeur à la Faculté Polytechnique de Mons, a fait un exposé sur la valeur actuelle des méthodes d'analyse des gaz des aciers.

L'importance prise par le contrôle de l'élaboration des aciers et par les recherches entreprises pour l'amélioration de leur qualité a mis le problème du dosage des gaz au premier plan des préoccupations des laboratoires sidérurgiques.

Pour passer de la recherche scientifique à la pratique industrielle, les méthodes de dosage doivent être simples, rapides et reproductibles.

L'étude critique, comparative et systématique des méthodes actuellement connues est la seule voie pouvant conduire au choix de celles qui répondent le mieux aux critères ci-dessus. Des exemples en sont donnés.

Mais la détermination des teneurs totales en gaz, tels qu'oxygène, azote et hydrogène, ne présentent qu'un intérêt relatif, car l'influence des éléments sur les propriétés des aciers dépend souvent plus de leur état et de leur répartition dans le métal que de leur teneur totale ou moyenne.

La valeur actuelle des méthodes les plus connues de dosage des gaz des aciers est discutée à la lumière des connaissances acquises à ce jour dans ce domaine complexe.

M. MASSIXON, Chef du Laboratoire des Forges de la Providence, a fait un exposé sur « L'Évolution des gaz à partir de la fonte et jusqu'aux produits finis ».

Il a indiqué une méthode de dosage de l'azote dans les fontes avec séparation des nitrures en deux catégories; il montre que jusqu'en ces derniers temps, on a peu tenu compte de la teneur en azote des fontes que les méthodes connues de dosages renseignaient être si basse qu'on pouvait la supposer sans influence sur l'acier.

De nombreux dosages systématiques ont montré une relation entre l'azote de la fonte et celle de l'acier. Il y a de grandes variations de l'azote d'une coulée à l'autre d'un même haut fourneau ainsi que des différences entre fourneaux, mais on n'a pas pu établir une liaison entre ces teneurs diverses et l'allure de marche du haut fourneau. La teneur en P et C semble être plus ou moins liée à la teneur en azote.

Dans le domaine des aciers, on a développé une méthode de séparation des nitrures en trois catégories. Les contrôles effectués sur des aciers de nuances très diverses dont certains ont été spécialement élaborés pour l'étude montrent que cette méthode permet déjà une première classification de nitrures. Des cas d'applications sont mentionnés.

L'évolution de l'azote et de l'oxygène a été suivie au cours de l'élaboration au convertisseur Thomas ainsi qu'ultérieurement à la coulée et jusqu'au produit laminé.

La séance du matin de la troisième journée fut présidée par M. H. POMMERENKE, Directeur à la Fabrique Nationale d'Armes de Guerre.

M. A. DE SY, Professeur à l'Université de Gand, y fit une communication intitulée « La contribution belge dans l'étude des fontes nodulaires » dont voici le résumé :



« Dès la libération, la Commission scientifique de l'A. T. F. B., sous l'impulsion vigoureuse de M. G. HALBART, Ingénieur A. I. Lg., s'est préoccupée du problème des fontes résistantes.

» A la même époque, cette question était à l'étude au laboratoire de Métallurgie de l'Université de Gand; on y étudiait spécialement l'effet de l'inoculation et les résultats de nombreuses coulées expérimentales avaient prouvé qu'il était beaucoup plus intéressant d'arrondir et de ramasser les lamelles de graphite que de diminuer la proportion de Ct, toujours au dépens de la coulabilité.

» Un contact occasionnel entre ces deux centres d'activité :

» — Les publications de H. Morrogh sur le graphite sphérolitique dans les alliages Ni-C et Co-C (nov. 1947) et sur les fontes nodulaires au Ce (mars 1948);

» — Les premières sphérolithes obtenues par addition de Mg pur à la fonte dans le four à induction H. F. de laboratoire;

» — Et enfin l'esprit clairvoyant de quelques ingénieurs et industriels et de la direction de Fabrimétal.

» Tels sont les facteurs qui ont conduit à la recherche sur les fontes nodulaires.

» Cette recherche a débuté au 1^{er} janvier 1949 et les étapes principales en seront retracées dans l'exposé.

» Anticipant sur l'exposé proprement dit en émettant un avis basé sur nos connaissances actuelles du problème des fontes nodulaires, on peut dire :

» 1^o Que la fonte nodulaire est un matériau qui présente un intérêt indiscutable;

» 2^o Qu'il est indispensable de suivre attentivement le développement de ces fontes et d'en étudier les applications;

» 3^o Qu'il faut se garder de croire cependant que la fonte nodulaire sera la solution universelle à toutes les difficultés rencontrées avec la fonte grise;

» 4^o Qu'il est relativement aisé de produire la fonte nodulaire mais que l'obtention des propriétés de ductilité renseignées dans la littérature est un problème qui est loin d'être résolu industriellement en partant de matières premières courantes.

» Enfin, on peut affirmer que, dans le domaine des fontes nodulaires, la Belgique a fourni un effort considérable qui est à l'honneur de ses industriels. L'étude scientifique du problème est en bonne voie et permettra de sortir prochainement de la voie semi-empirique. D'autre part, les connaissances théoriques acquises par la

recherche sur les fontes nodulaires doivent logiquement ouvrir la voie du progrès, non seulement dans le domaine des fontes nodulaires, mais également dans celui des fontes ordinaires. »

M. J. SCHOOP, Ingénieur-Chef du Laboratoire des Recherches de la Société des Usines à cuivre et à zinc fit ensuite une communication ayant pour titre « Réflexion sur quelques alliages de cuivre ».

La séance de l'après-midi était présidée par M. H. THYSSEN, Professeur à l'Université de Liège.

M. G. CHAUDRON, Professeur à la Sorbonne, y parla du « Problème des métaux de haute pureté. Ses conséquences scientifiques et pratiques ».

Cet exposé, d'une haute tenue scientifique, est difficile à résumer, mais on trouvera ci-dessous les principales questions abordées.

Les méthodes récentes de préparation des métaux de haute pureté. Définitions physiques et chimiques de la pureté. Les propriétés sensibles aux impuretés. La place des impuretés dans la structure des métaux et alliages. Les mécanismes de diffusion des impuretés. Conséquences pratiques, en particulier l'influence des impuretés sur les propriétés mécaniques et sur la corrodabilité des métaux et alliages.

M. N. F. MORR, Professeur à l'Université de Bristol, parla enfin de « L'incidence des imperfections de structure sur les propriétés physiques des métaux soumis à des sollicitations », communication dont voici le résumé :

« En discutant les propriétés mécaniques du métal, il est d'usage, actuellement, d'attribuer la plupart d'entre elles aux mouvements de dislocation, quoique certains effets soient dus au mouvement des atomes individuels, c'est-à-dire du carbone dissous.

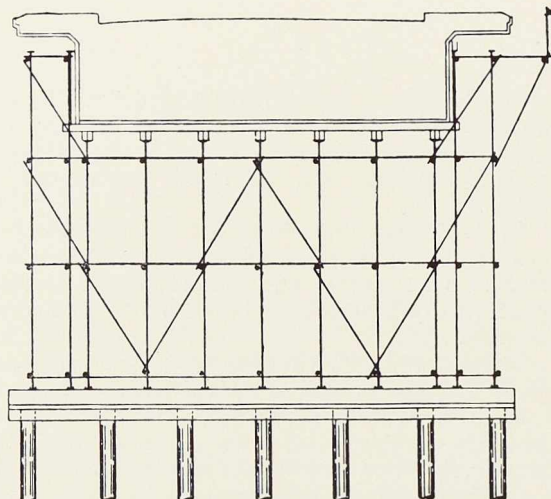
» En étudiant le mouvement de dislocation, on a distingué entre les mouvements réversibles, par exemple dans l'hystérésis sous des tensions alternatives et les mouvements irréversibles comme dans la trempe.

» Les propriétés mécaniques dépendent des forces de résistance aux mouvements de dislocation. Elles peuvent être des tensions internes dues à des impuretés, agrégats d'impuretés ou autres dislocations, ou elles peuvent être dues à des efforts désagrégateurs du matériau dissous (théorie de COTTRELL). Aux températures élevées, les liaisons intercrystallines sont importantes en introduisant une amplification de l'effort. »

M. le Professeur H. THYSSEN tira les conclusions de ces intéressantes communications et c'est ainsi que prirent fin les Journées de la Métallurgie de la Foire Internationale de Liège.

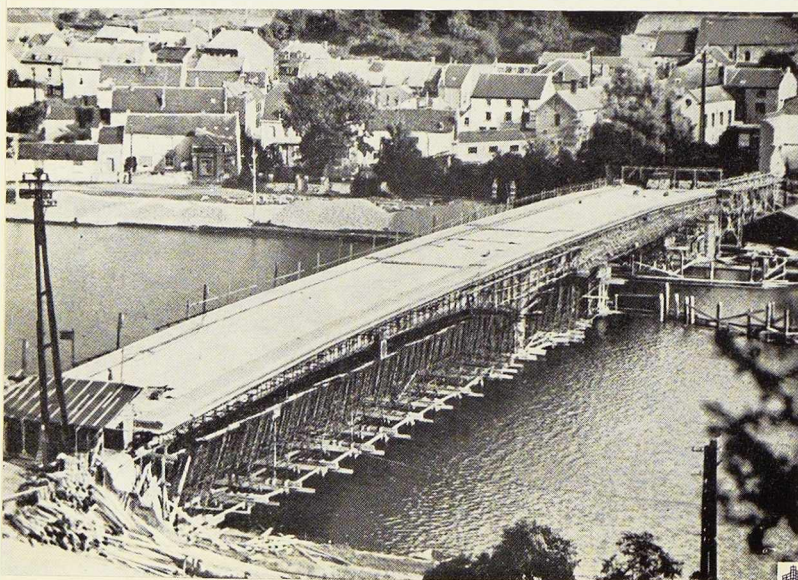
F. J.





Le pont de Sclayn, qui enjambe la Meuse en amont d'Andenne, a été détruit en 1940 par fait de guerre. La reconstruction, actuellement achevée, a fait l'objet d'une adjudication-concours à laquelle ont pris part les principales firmes belges de construction. L'Administration des Ponts et Chaussées a retenu le projet de M. A. Birguer, Ingénieur-Conseil. Ce projet consistait en un pont-route en béton précontraint, composé de poutres continues de 130 mètres de longueur franchissant la Meuse en deux travées de 65 mètres, encastrées sur la pile centrale. Il était présenté par la S. A. Blaton-Aubert qui se vit adjuger la réalisation de cet important ouvrage d'art. Le contrôle technique fut confié au Bureau Seco.

La S. A. Travhydro, filiale de la S. A. des Usines à Tubes de la Meuse, a été chargée de l'exécution du cintre tubulaire destiné à supporter le coffrage. Le choix de la société adjudicataire s'est porté sur la solution tubulaire en raison de la complexité des problèmes posés par la réalisation rigoureuse du pont suivant le profil déterminé par le calcul de l'ouvrage. Ce cintre devait, en effet, être constitué de matériaux susceptibles d'offrir, au montage, la souplesse nécessaire pour épouser la courbe de l'intrados.



Reconstruction du pont de Sclayn

Détails sur le cintre tubulaire

Il devait, en outre, résister à des sollicitations très importantes. Enfin, condition non moins essentielle, il devait présenter une rigidité suffisante pendant le bétonnage et durant toute la période préalable à la mise des câbles sous tension.

Le cintre de la travée, côté rive gauche, était appuyé d'une part sur le chemin de halage et, d'autre part, sur les flancs de la pile centrale. Entre ces appuis extrêmes, il reposait sur douze palées de sept pilots recépés au-dessus du niveau normal de flottaison et surmontés de sommiers de 30×30 cm. Ces palées étaient étrésoillonnées entre elles.

L'infrastructure du cintre posée sur les sommiers était constituée de cadres hyperstatiques dont la portée et la hauteur moyennes étaient d'environ 5 mètres. Ces cadres étaient réalisés uniquement en tubes en acier demi-dur de 48 mm de diamètre extérieur et 3,5 mm d'épaisseur, assemblés par raccords brevetés U. T. M.

Le cintre de la travée, côté rive droite, comportait une passe navigable de 20 mètres d'ouverture à haut tirant d'air. En raison de la faible hauteur disponible entre l'intrados et le gabarit imposé pour cette passe, le soutien de coffrage de cette portion de travée fut réalisé au moyen de neuf poutrelles Grey de 850 et 900 mm.

L'importance des charges croissant des culées vers la pile centrale, le nombre de portiques tubulaires composant les plans transversaux de résistance varia de 13 pour les sections les moins sollicitées à 29 pour les plus sollicitées. Au total le cintre tubulaire comportait 275 portiques.

Tous les tubes montants du cintre étaient

Fig. 475. Vue aérienne du pont de Sclayn.
Photo Pinon.

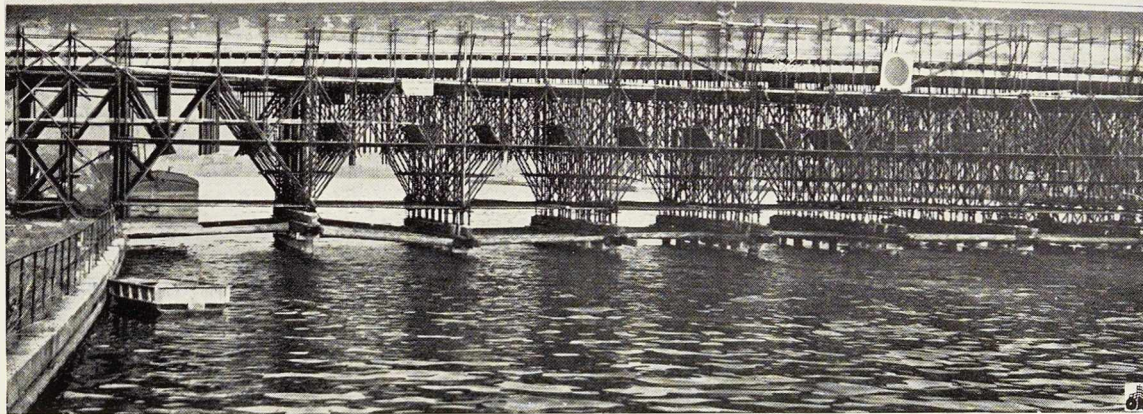


Fig. 476. Vue partielle du cintre tubulaire utilisé pour la construction du pont de Sclayn.

Photo G. Depouhon.

pourvus, à leur extrémité supérieure, d'un socle porteur de 150 mm de diamètre, servant d'assise aux filières directrices qui, à leur tour, recevaient les gîtes transversales et bois de coffrage. Le vaste quadrillage formé par les socles porteurs offrait une maille dont la longueur, dans le sens longitudinal de l'ouvrage, était de 1,25 m et la largeur variable de 1,25 m à 0,35 m. Cette variation de l'écartement des socles porteurs, dans le sens transversal permettait l'utilisation des bois de même équarrissage, en dépit de l'accroissement des sollicitations.

L'effort de flambage des divers poteaux, ainsi que l'action du vent tant sur l'ossature tubulaire que sur le pont lui-même, étaient repris par des contreventements verticaux et horizontaux.

Pour assurer le décintrement aisé de l'ouvrage ainsi que pour permettre l'enlèvement des bois de coffrage, les divers portiques reposaient sur les sommiers d'appui par l'intermédiaire de vérins à vis. Il est à noter, cependant, que le décintrement était amorcé par la mise sous tension des câbles de précontrainte qui décollaient l'ouvrage du cintre.

Il est à souligner que l'ossature tubulaire a présenté une rigidité parfaite lors des opérations de bétonnage et qu'aucun glissement des raccords n'a été observé sous l'action des charges.

Tous les tubes utilisés pour la réalisation de ce cintre étaient sans soudure, en acier demi-dur de 55/65 kg/mm² de charge de rupture, offrant une limite élastique supérieure à 36 kg/mm² et un allongement de 17 % minimum sur éprouvette de longueur utile égale à $5,65 \sqrt{\text{section}}$. La tension admissible était de 21 kg/mm². L'effort

admis sur chaque raccord était de 1 500 kg, en adoptant un coefficient de sécurité égal à 2 par rapport à la charge provoquant le premier glissement.

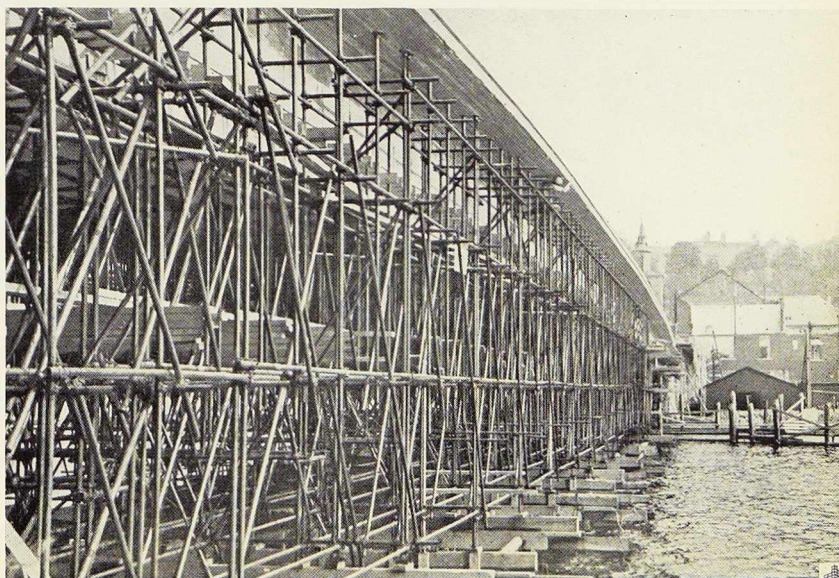
Des mesures de tension faites dans les barres essentielles de la structure, d'abord sous l'effet des charges dues au poids mort du cintre seul, ensuite en surcharge, ont montré que la tension réelle ne dépassait que de quelques pour-cent la tension calculée. Cette constatation semble confirmer que les efforts secondaires provoqués par la légère excentricité des barres tubulaires assemblées par raccords ne sont guère à redouter dans ce genre de construction.

Un point important, qui mérite d'être signalé, était le délai autorisé pour les travaux du gros œuvre. La Meuse ayant un régime sujet à de fréquentes crues, l'entrepreneur ne pouvait entraver le lit du fleuve que pendant un temps limité. La durée effective du montage du cintre a été de six semaines, tandis que son démontage n'a exigé que quinze jours de travail. La construction de ce cintre a nécessité la mise en œuvre de 130 tonnes de matériel dont 12 000 raccords brevetés U. T. M. et 20 000 mètres de tubes de $48 \times 3,5$ mm.

G. C.

Fig. 477. Vue d'enfilade du cintre tubulaire.

Photo G. Depouhon.



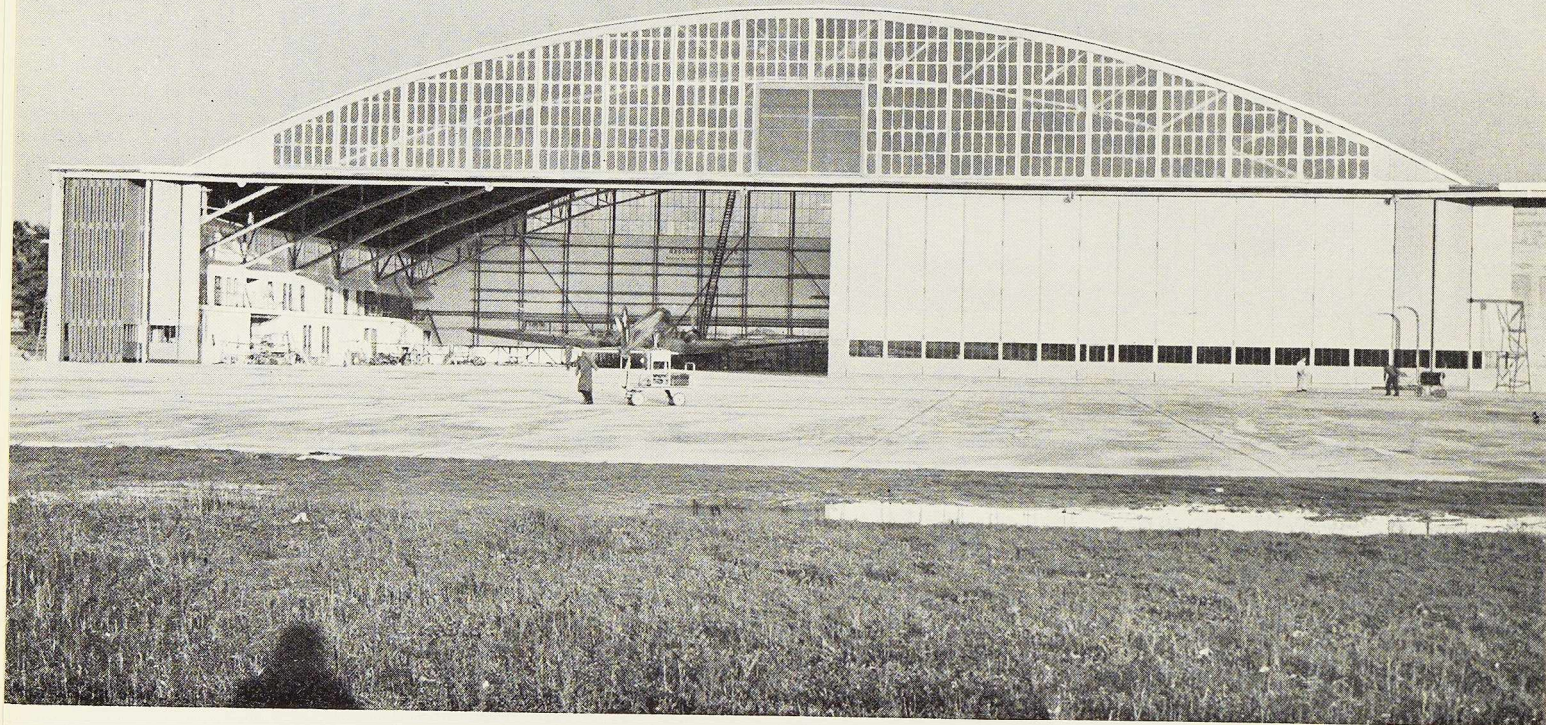


Photo Beringer et Pampaluc

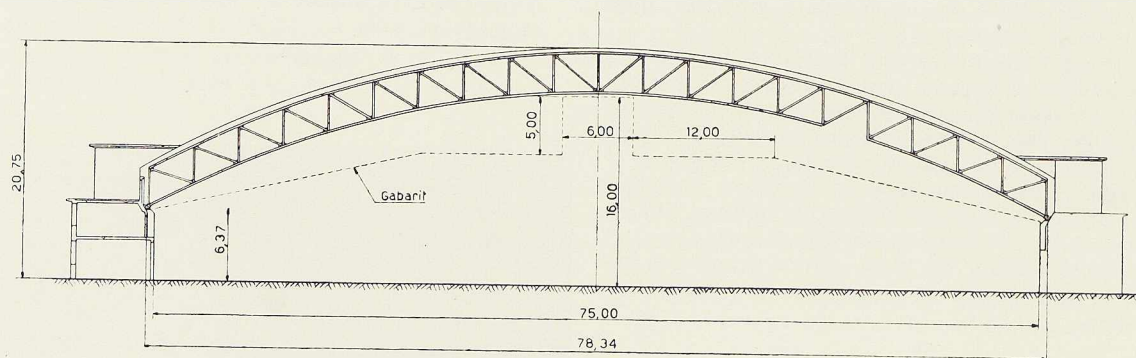


Fig. 478 et 479. Vue générale et élévation du hangar de l'aérodrome de Zurich-Kloten.
L'élévation montre également le gabarit imposé.



R. Schlaginhaufen,
Ingénieur E. P. F. à la
Société Wartmann et C^o,
Brugg (Suisse)

Le premier hangar de l'aérodrome de Zurich-Kloten

Généralités

C'est fin automne 1949 que le premier hangar du nouvel aéroport de Zurich-Kloten a pu être mis en service. Ce hangar couvrant une superficie de 65×75 mètres, sans appuis intermédiaires, sert à abriter les appareils de transport de la Swissair.

Pour la construction d'ouvrages de telles portées, la conception de la couverture formant toiture pose à l'ingénieur-constructeur des problèmes spéciaux, et tous les matériaux concurrents doivent être envisagés, notamment l'acier, le béton armé et le bois. Après une étude approfondie, réalisée en commun par les architectes K. Kündig et E. Rohrer et les ingénieurs Schubert et Schwarzenbach, la disposition générale des locaux de service, le type de fondations et

des culées, ainsi que la forme en arc de la toiture fut adoptée. La figure 479 montre le gabarit imposé.

D'autre part, étant donnée la mauvaise qualité du sol, la poussée horizontale devait être très faible. Après un concours public, qui a montré la supériorité de l'acier sur les autres matériaux, on adjugea la construction à la firme Wartmann & C^o, de Brugg, qui avait présenté le projet le plus économique, établi en collaboration avec le Professeur F. Stüssi, de l'Ecole Polytechnique Fédérale.

Le système statique

Les conditions imposées a priori, notamment le gabarit et la poussée horizontale très faible sur les fondations, décidèrent d'une construction

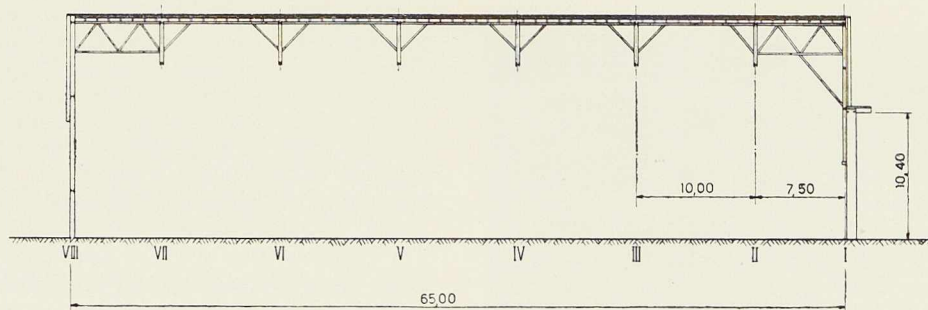


Fig. 480. - Coupe longitudinale du hangar d'aviation.

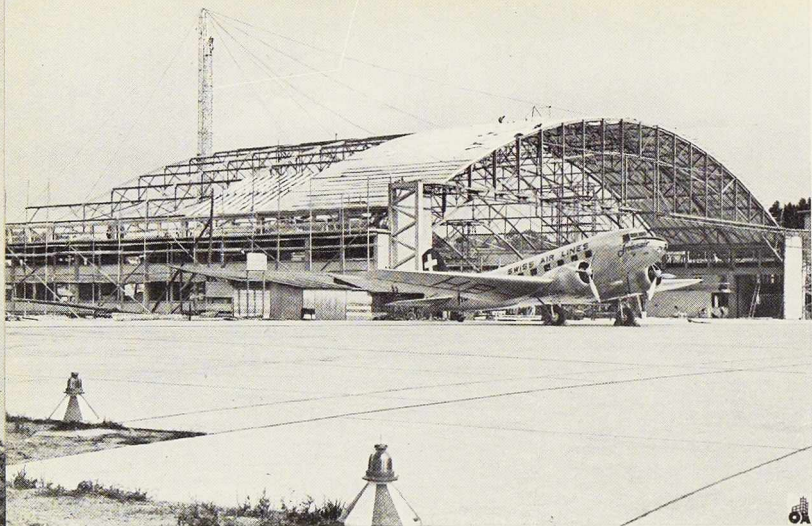
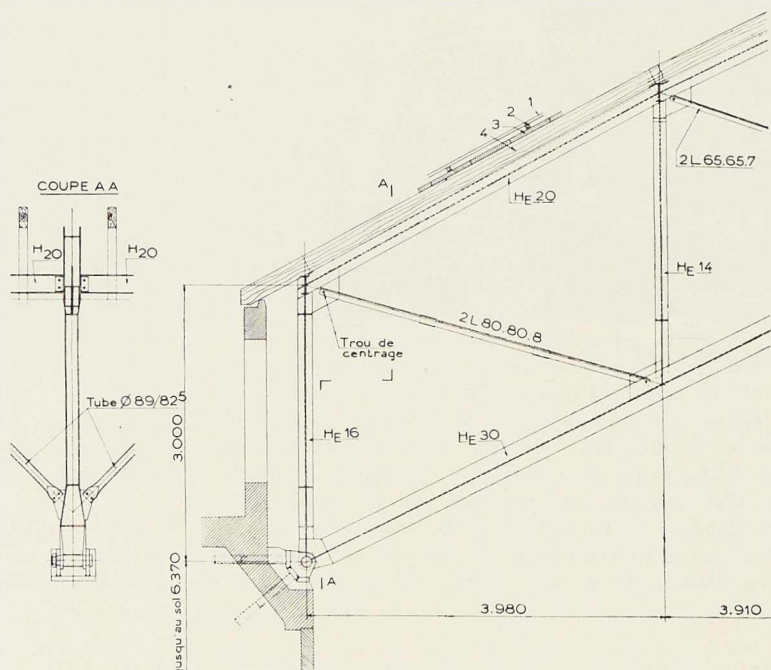
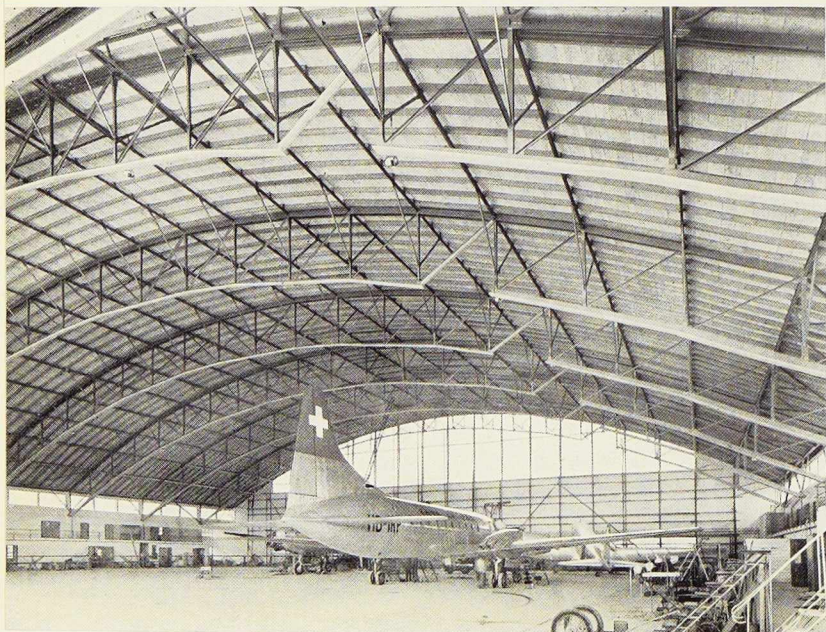


Fig. 481 (ci-dessus). Etat du chantier à la date du 19 août 1949. On note l'avancement de la toiture au-dessus des premiers arcs, alors que les derniers arcs ne sont pas encore montés.

Fig. 482 (ci-contre). Détails de l'arc métallique à sa naissance et de la toiture.
1. Tôle d'aluminium ondulée. — 2. Lattes en bois. — 3. Plaques de « Perfecta ». — 4. Chevrons sur pannes en poutrelles métalliques.

Fig. 483 (ci-dessous). Vue intérieure du hangar achevé.



en arc dissymétrique à trois rotules, avec *rotule intermédiaire* dans la membrure supérieure ⁽¹⁾. Pour des raisons économiques, seule une poutre en treillis pouvait être envisagée, la portée étant de plus de 78 mètres. La figure 485 montre les réactions d'appuis compte tenu de l'emplacement de la rotule intermédiaire pour la portée et la flèche considérés. La poussée horizontale peut être influencée dans de larges limites, les deux cas extrêmes étant donnés par les schémas 1 et 4. On dispose ainsi d'une gamme de possibilités allant de la poutre simple en forme d'arc, sans poussée horizontale, à l'arc à trois rotules du type classique dont la membrure inférieure porte la rotule intermédiaire en son milieu. En

fait, la solution « poutre simple » conduit à une charpente peu avantageuse tandis que la solution « arc à rotule médiane » est liée au désavantage d'une poussée horizontale maxima. Le choix d'une solution intermédiaire permet de déterminer une ligne de poussée donnant des actions d'appui favorablement dirigées, et, dans le cas particulier, la poussée horizontale du système choisi n'atteint que les deux tiers de celle d'un arc à trois rotules du type classique.

La charpente portante est constituée par sept

(1) F. Strüssi, *L'arc dissymétrique à trois rotules* (Schweizerische Bauzeitung, n° 3, 1949).

Fig. 484. Montage du premier arc (28 juillet 1949).

arcs espacés de 7,50 m dans les travées extrêmes et de 10 mètres dans les travées intérieures. A une hauteur de 6 mètres, les arcs reposent sur des voiles en béton armé. Ces voiles, formant cloisons, reposent sur les pieux de fondations. Les charges à prendre en considération sont les efforts verticaux agissant sur la toiture et les efforts horizontaux dus au vent sur les façades. La figure 480 montre le contreventement adopté : la ferme frontale et la ferme voisine, reliées par un contreventement horizontal et des pannes en

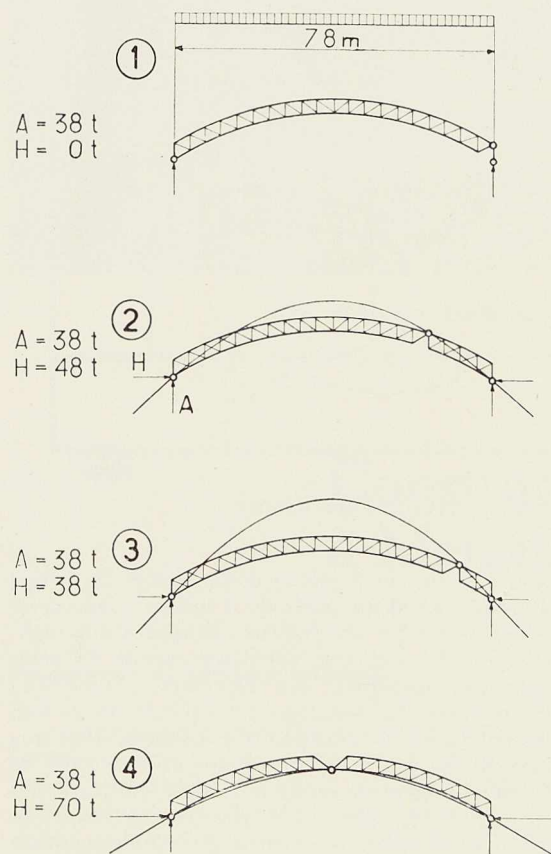
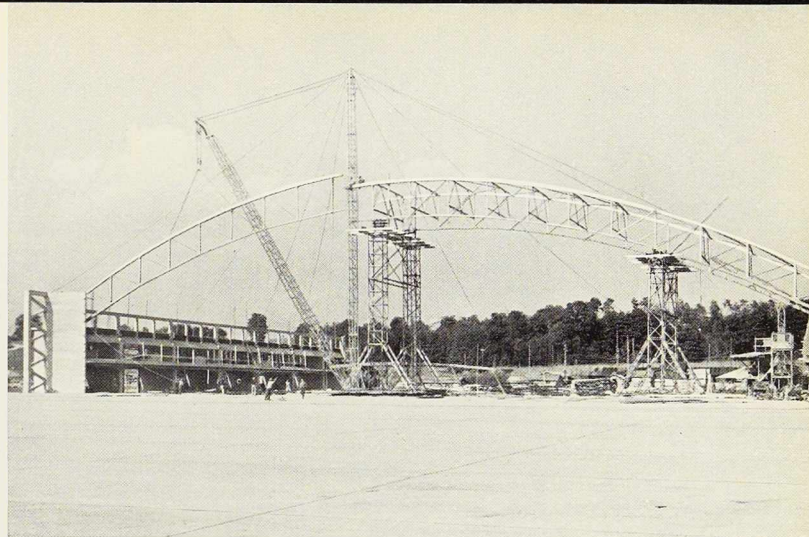


Fig. 485 (ci-dessus). Réactions d'appui suivant l'emplacement de la rotule intermédiaire.

1. Au-dessus de l'appui (appui à dilatation). - 2. Solution réalisée. - 3. Rotule au nœud 2. - 4. Solution symétrique.

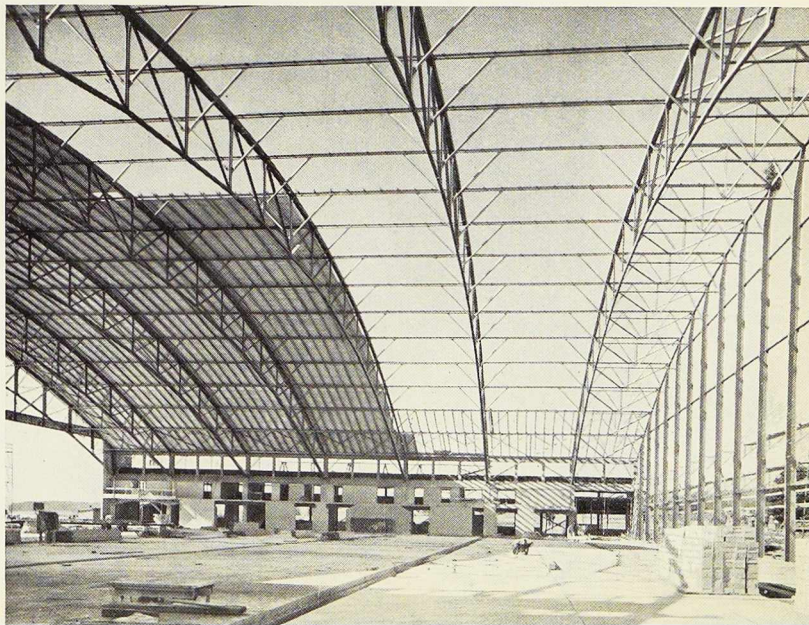
Fig. 486 (ci-contre). Vue du chantier après achèvement de la charpente métallique (5 septembre 1949).

Photos Beringer et Pampaluchi.

treillis, constituent un ensemble très rigide. L'avent et la paroi verticale au-dessus de la porte s'appuient aux pannes en treillis et ainsi, la poussée due au vent est transmise aux fondations par l'intermédiaire du contreventement horizontal. La travée arrière comporte de même un contreventement et des pannes en treillis qui permettent un encastrement efficace des montants de la face postérieure du hangar. La figure 486 indique la disposition claire et simple des éléments porteurs.

Détails d'exécution et de montage

La figure 482 donne les détails de la toiture. Celle-ci est en tôles d'aluminium ondulées, de 1 mm d'épaisseur, amenées sur chantier en longueur de 24 mètres, et fixées sur lattes en bois. Une couche isolante de plaques « Perfecta », de 5 cm d'épaisseur est posée sur des chevrons distants de 1 mètre, qui sont fixés eux-mêmes sur les pannes en poutrelles à larges ailes parallèles HE14 et HE30, assemblées par soudure électrique. Les membrures sont en acier St 44. Les autres éléments sont en acier doux ordinaire. Les rotules sont du type à tourillons. Ces derniers sont en acier St 60. Les appareils d'appuis sont en larges plats assemblés par soudure et ancrés dans le béton pour obvier aux efforts de soulèvement.



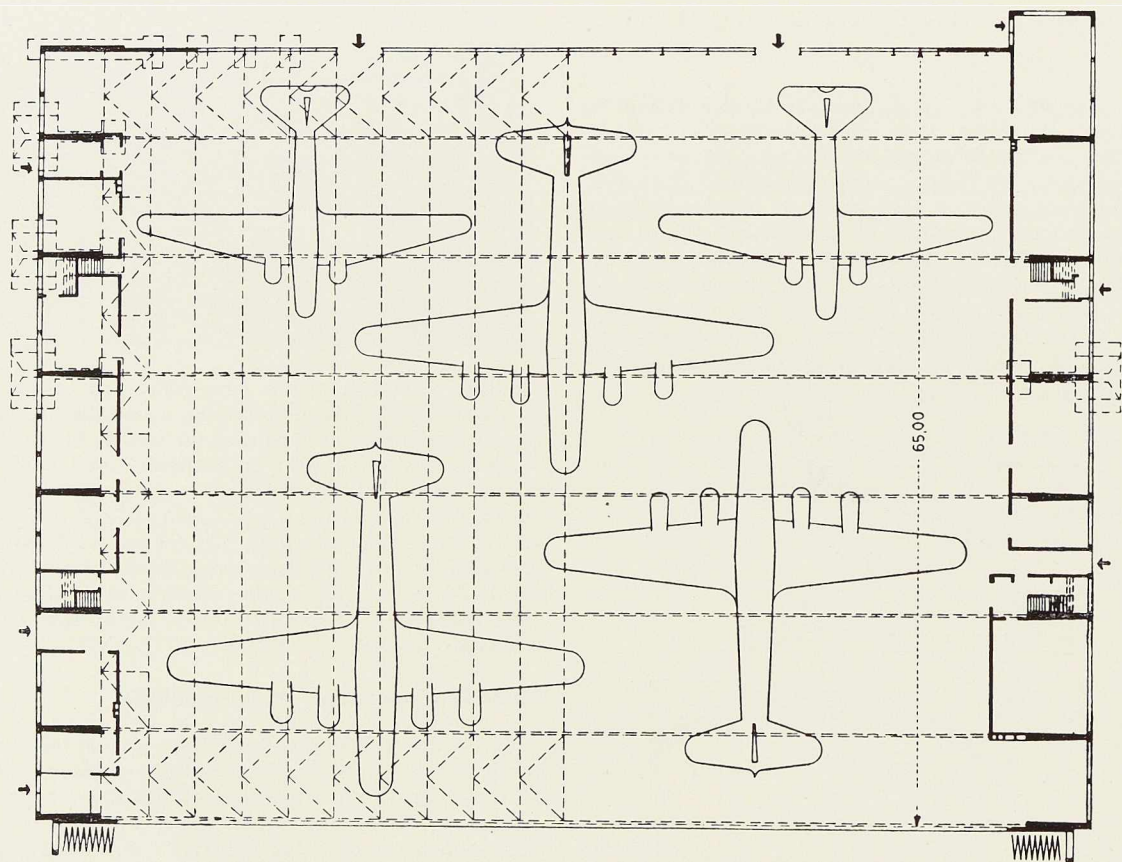


Fig. 487. Plan d'ensemble du hangar d'aviation de Kloten.

Les pannes des travées intérieures sont en profils laminés, tandis que d'autres éléments du treillis sont tubulaires. La porte en accordéon est suspendue à une poutrelle. La paroi au-dessus du rail de roulement est vitrée, avec ouverture centrale pour le passage du gouvernail des appareils de très grande dimension. L'auvent a une portée de 2,30 m avec couverture en Eternit ondulé. Le mur du fond comporte un vitrage dans la partie supérieure, suffisant pour éclairer le hangar. La paroi inférieure a 25 cm d'épaisseur. Les montants sont entièrement soudés. Pour réduire autant que possible la flèche de ces montants, dont le plus grand atteint 21 mètres, le constructeur les a encastrés dans les fondations, en liaison rigide avec les pannes. Les chiffres suivants montrent l'économie réalisée par la solution choisie :

Poids d'un arc : environ 13 tonnes.
 Poids de la construction métallique : 28,5 kg/m².
 Chaque arc fut transporté à pied d'œuvre en

cinq éléments de 3 mètres de largeur et 20 mètres de longueur, d'un poids de 3 tonnes. Chacun de ces éléments fut repeint sur chantier avant montage. Après cela, une deuxième couche de peinture fut appliquée aux éléments soumis aux intempéries. Le montage fut exécuté au moyen de deux piles intermédiaires auxiliaires, dont une près de la rotule intermédiaire et une près de la clé. Un derrick servit à la mise en place des éléments (fig. 484). Les arcs furent fixés par terre, de manière à permettre aux charpentiers de commencer immédiatement leur travail (fig. 481). En excluant le temps nécessaire pour préparer le chantier, la durée du montage a été de cinq semaines. Le règlement de la ville de Zurich exigeait une protection contre l'incendie en tous les points menacés directement. Dans ce but, la semelle inférieure fut pourvue d'un recouvrement en plâtre, solution jugée satisfaisante au point de vue architectural (fig. 483).

R. S.



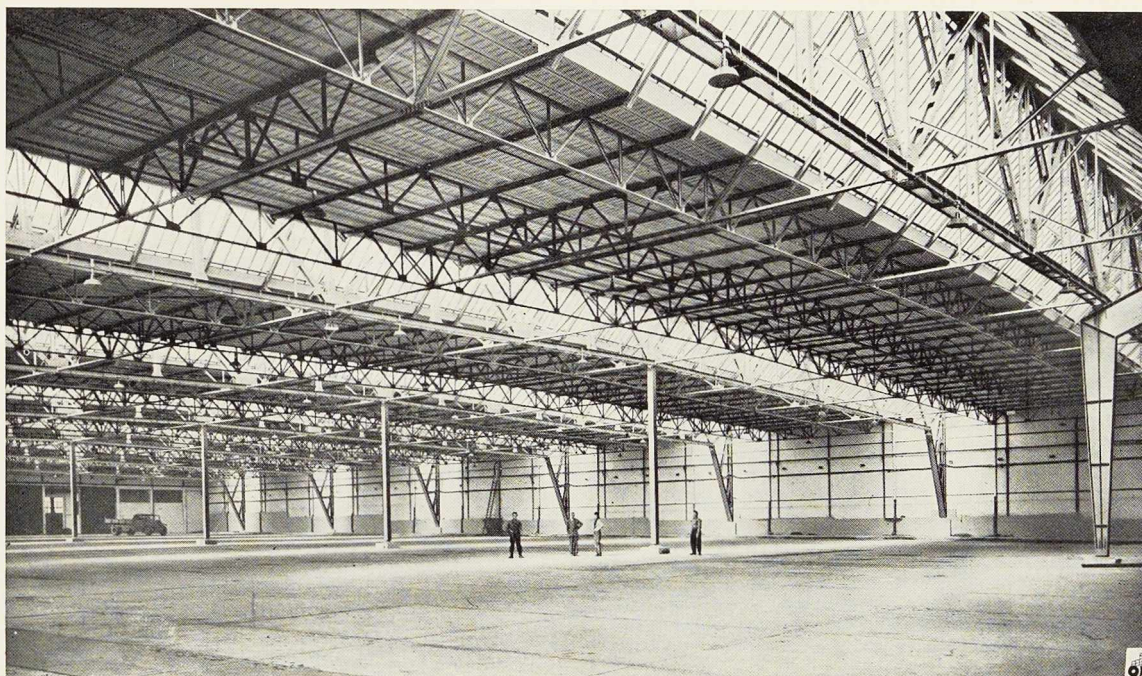


Fig. 488. Vue intérieure du garage proprement dit.

Photo Lirot

Construction d'un grand garage à Merlebach (Lorraine) ⁽¹⁾

Programme et solution adoptée

Le Groupement des Constructeurs d'édifices préfabriqués avait à construire un grand garage pour le matériel automobile d'un des plus importants groupes des Houillères du Bassin de Lorraine. Autour du garage proprement dit, on devait trouver tous les services d'entretien et de réparations ainsi que le logement pour deux chefs

⁽¹⁾ Cet article constitue une adaptation de l'intéressante communication de MM. J. Fayeton, Architecte du Gouvernement, Ingénieur E. C. P. et A. Schmid, Ingénieur E. C. P., Directeur des Etablissements Schmid, Bruneton, Morin, au Centre d'Etudes Supérieures à Paris, publiée dans le n° 124, mars-avril 1950, des *Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics*. Les photographies qui illustrent cet article nous ont été obligeamment communiquées par les Etablissements Schmid, Bruneton, Morin.

de service. Le problème posé à l'architecte se présentait comme suit :

Un terrain sensiblement rectangulaire d'environ 250 mètres de longueur, 70 mètres de largeur minima avec une dénivellation de 6 mètres entre le point haut et le point bas, ces deux points étant situés sur les petits côtés du rectangle.

Le garage devait abriter 70 camions, une douzaine d'autobus, une soixantaine de voitures de tourisme, des « Jeep », des ambulances et quelques engins spéciaux.

Ce programme très simple a fait l'objet d'une consultation parmi quelques entreprises qui devaient agir comme architecte et constructeur et remettre l'ensemble des ouvrages à l'Administration selon la formule « clefs en mains ». Les concurrents ont proposé des projets très dif-

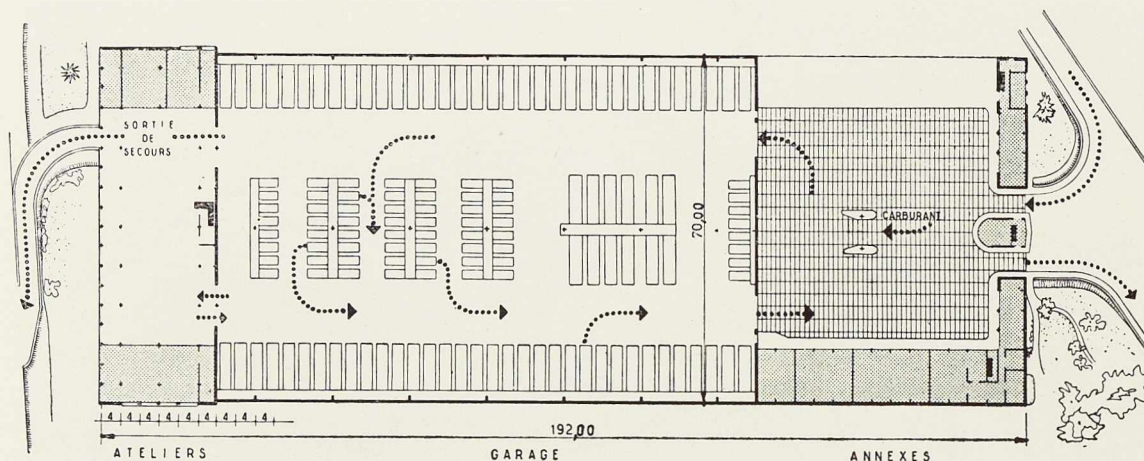


Fig. 489. Plan d'ensemble du garage et de ses dépendances.

férents. Un seul projet en construction métallique a été présenté par les Etablissements Schmid, Bruneton et Morin en collaboration avec M. J. Fayetteon, Architecte du Gouvernement et a retenu l'attention du maître de l'ouvrage, tant à cause de son économie générale, qu'en raison des avantages qu'il présentait et qu'il devait à sa structure métallique.

Pour comprendre l'avantage du projet, il faut « penser » le problème du garage. Un garage est, avant tout, une grande surface couverte régulièrement, bien éclairée, présentant le moins possible de points d'appui et dont le chauffage est possible aux moindres frais.

C'est ce qui a conduit les auteurs du projet à utiliser les structures en poutres droites et à toitures-terrasses. Pour éviter que la hauteur du bâtiment ne dépasse une limite raisonnable, il a été décidé d'employer les toitures plates.

On a cherché à couvrir la charpente métallique au moyen d'éléments préfabriqués ne dépassant pas un poids normal, pouvant être porté par deux ouvriers. Cela étant décidé, on était naturellement obligé de dessiner sur un quadrillage de 2×2 mètres imposé par le module de la dalle de couverture en béton.

Composition

Lorsqu'on examine le plan d'ensemble du garage (fig. 489), on distingue nettement les trois parties de la composition, la cour avec les services annexes : graissage, lavage, bureaux, logement du personnel de direction du garage;

Le garage proprement dit;
L'atelier-magasin.

Le garage proprement dit couvre une surface de 112×70 mètres, soit $7\,840 \text{ m}^2$ avec sept points d'appui intermédiaires.

L'atelier de mécanique, de 24×72 mètres, comprend, en annexes, différents services tels que : électricité, peinture, menuiserie, tôlerie et forge.

Une galerie située à 5 mètres au-dessus du sol de l'atelier en occupe le pourtour, elle est destinée à servir de magasins de pièces détachées.

On dispose de deux accès qui se font par rampes. Une rampe permet l'accès à la cour afin de joindre la route nationale Metz-Sarrebruck. L'autre rampe, qui sert de sortie de secours du côté de l'atelier, rachète la différence de niveau entre l'atelier et la rue de la Merle, bordant le terrain à sa partie supérieure.

Avant la consultation, il a été remis aux constructeurs divers schémas-types de structure.

Le schéma préférentiel se composait d'un grand portique soulagé au milieu au moyen d'un pendule. Il est apparu, à la suite de la remise des offres, que cette solution présentait le plus d'avantages pratiques et économiques, c'est pourquoi elle fut choisie. L'Entreprise Schmid, Bruneton et Morin, qui l'avait étudiée, fut chargée de l'exécution, avec le concours de la Société Lorraine de Construction Métallique pour le montage.

Pour éviter qu'en raison de la pente du terrain on réalise des poteaux et béquilles de longueur différente, il a été décidé de donner une longueur constante à toutes les béquilles et de rattraper les différences par des culées en béton de hauteur



Fig. 490. Vue intérieure de l'atelier de mécanique.

Photo Lirot.



variable. Le massif recevant la première béquille se trouve au niveau du terrain tandis que le dernier le dépasse de 1,60 m environ.

Le choix du niveau moyen du garage a été fait de façon à assurer un équilibre entre les déblais et les remblais, en donnant toutefois plus d'importance aux déblais, de manière à avoir un excès de terre pour réaliser les rampes d'accès.

Il ne s'est pas posé de problème de fondation, car on se trouvait sur un terrain particulièrement favorable, un sable vosgien très compact, capable de supporter avec sécurité 4 à 5 kg/cm².

Le contreventement du bâtiment est assuré par des treillis horizontaux placés dans le plan des toitures plates et dans les travées d'extrémité; l'ensemble de la poussée horizontale est repris par trois portiques de contreventement.

Les portiques de contreventement des longs pans sont en treillis. Le portique axial est composé d'une structure soudée d'un meilleur aspect et permettant une plus grande liberté de passage.

Le bâtiment d'atelier-magasin est couvert au moyen d'une large toiture plate composée des mêmes éléments que ceux qui couvrent le garage. L'éclairage se fait par des bandes vitrées latérales à fortes inclinaisons, afin d'éviter le dépôt, sur les lanterneaux, de suie et de poussières de charbon extrêmement abondantes en pays minier.

L'ensemble du rez-de-chaussée de l'atelier a été réalisé en béton armé. Cette décision, motivée

par le rôle de soulèvement joué par le mur principal de l'atelier, a permis à l'Entreprise Schwartz-Hautmont, chargée des constructions en béton armé, de commencer ses travaux et d'employer du personnel dans l'attente des charpentes métalliques.

Les bâtiments des services annexes, qui entourent la cour d'entrée, ont été construits de la même façon au moyen d'une ossature métallique exécutée par l'Entreprise Camille Besson. Le même module de 2 mètres a été utilisé pour les plans, permettant l'emploi des dalles préfabriquées de couverture.

L'ensemble de l'installation est composé : d'un atelier de 24 × 72 mètres (1 730 m²), d'une hauteur sous entrait de 10,64 m, comportant sur son pourtour une galerie de 4 mètres de largeur, exécutée en béton armé, et d'un garage de 70 × 112 mètres (7 840 m²) comportant sept portiques métalliques de 70 mètres de portée avec appuis intermédiaires, de 5,50 m de hauteur minimum sous entrait au point haut de la pente sur le côté du portique.

Les charges climatiques envisagées sont de 80 kg/m² pour la neige et de 120 kg/m² pour le vent sur les parties inclinées et 100 kg/m² sur les parties verticales de long pan et pignon, la direction du vent étant supposée horizontale.

La couverture à faible pente (2 %) est constituée par des dalles en béton armé recouvertes d'un enduit bitumineux, elle pèse 90 kg/m².

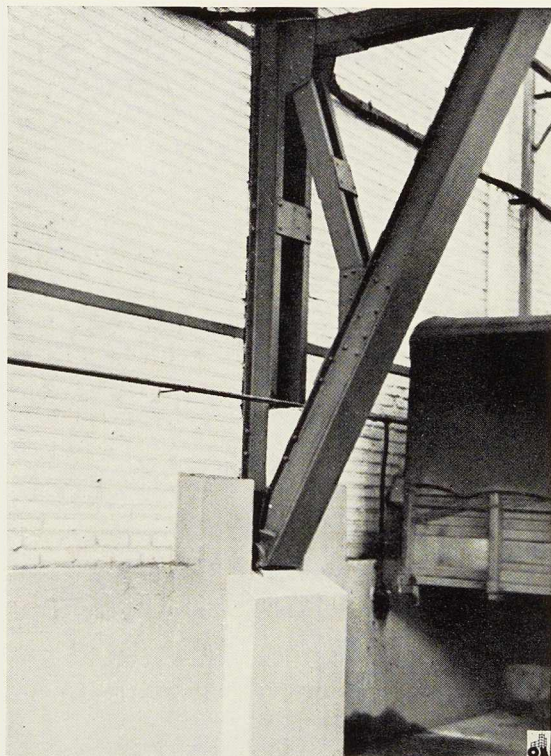


Fig. 493. Appui d'un portique à béquilles.

Le poids de l'ossature métallique est de 89 tonnes dont :

27 t pour les portiques, soit 15,6 kg/m²
 44,5 t pour la couverture, soit 25,7 kg/m²
 17,5 t pour les longs pans, soit 10,1 kg/m²
 51,4 kg/m².

A partir du niveau de la galerie, le volume du bâtiment est de 14 000 m³. Le poids de l'ossature rapportée au volume du bâtiment est donc de 6,36 kg/m³.

Garage

Les dalles de couverture en béton armé de 2 mètres de portée reposent sur des chevrons en I PN 120 de 4 mètres de portée, reposant eux-mêmes sur des pannes en treillis perpendiculaires au grand axe du bâtiment, ces pannes s'assemblant elles-mêmes avec les pannes principales en treillis, écartées de 8 mètres, qui sont fixées aux portiques de 70 mètres, dont la hauteur de poutre est de 4 mètres. La partie supérieure des portiques présente une double pente de 2 cm pour l'écoulement des eaux.

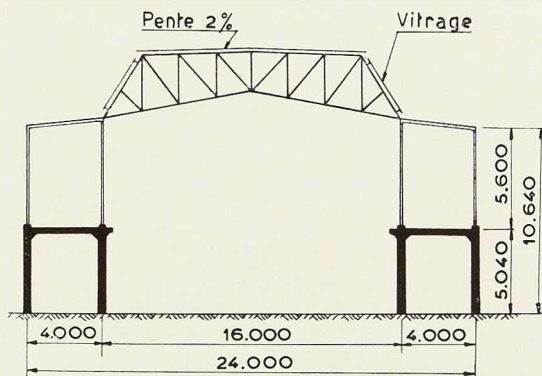


Fig. 494. Coupe transversale de l'atelier de mécanique.

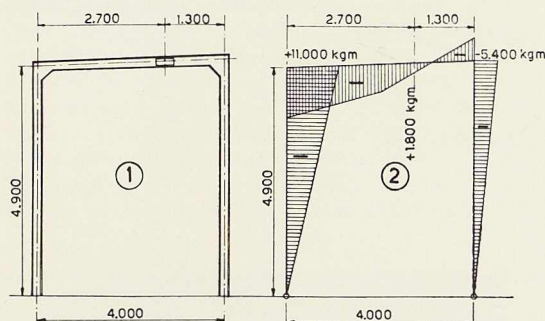


Fig. 495. Calcul des portiques de l'atelier.
 1. Élévation. - 2. Epure des moments.

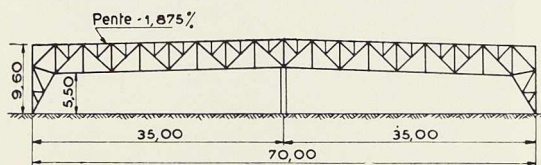


Fig. 496. Ensemble d'un portique à béquille.

Ces portiques à béquilles (70 m), au nombre de sept, sont articulés aux deux extrémités et soulagés par un pendule central articulé à la tête et au pied. La hauteur libre est de 5,500 m au minimum. La hauteur libre au milieu est au minimum de 6,10 m (fig. 496). La figure 492 donne les charges appliquées aux nœuds, les efforts dans les treillis et membrures et les sections des divers éléments du portique.

Sur les rotules d'extrémité, la charge verticale maximum est de 65 tonnes, avec poussée horizontale de 35 tonnes; ces efforts sont repris par un

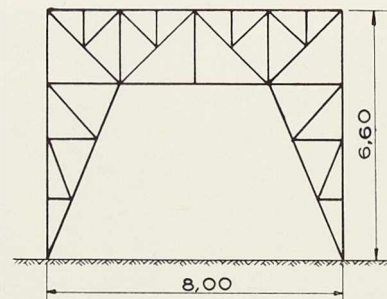
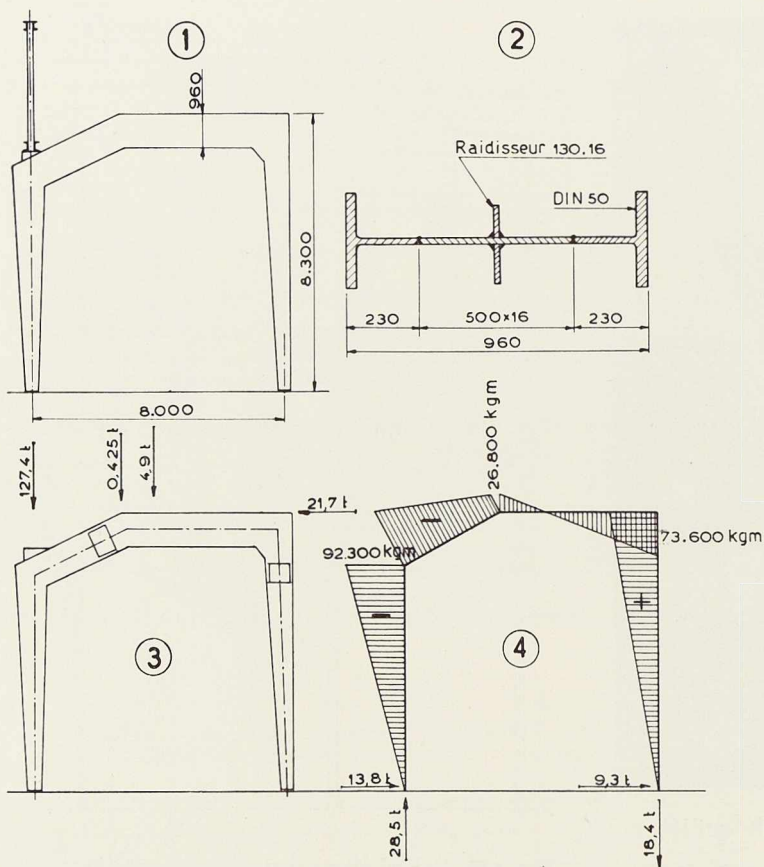


Fig. 497 (ci-dessus). — Portique de contreventement entre les longs pans.

Fig. 498 (à gauche). Portique central de contreventement. 1. Élévation. — 2. Coupe. — 3. Charges appliquées. — 4. Epure des moments.

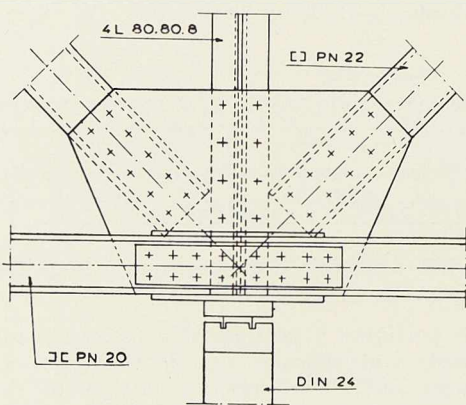


Fig. 499. Assemblage des portiques et du pendule.

massif en béton dont la forme est adaptée aux efforts à supporter.

L'articulation de pied du portique comporte une rotule en acier moulé dont la partie femelle est soudée au pied du portique et la partie mâle

scellée au massif de fondation, l'ensemble étant incliné sensiblement suivant la résultante des efforts (fig. 493).

Le pendule central, articulé à ses deux extrémités, est constitué par un DIN 24 avec adjonction de deux semelles soudées de 230/12 formant ainsi un profil tubulaire carré très élancé mais à coefficient de flambage favorable. Ces sept pendules sont les seuls points d'appui à l'intérieur de la surface de 7 840 m²; leur charge maximum est de 128 tonnes. Les articulations sont réalisées par un simple dé carré de 100 mm de côté, reposant sur un sommier en acier moulé muni de quatre dents empêchant tout déplacement horizontal; la même disposition est utilisée en tête (fig. 499 et 501).

Les portiques sont constitués principalement par des membrures en 2 U de 200, écartés de 240 mm, moisant les montants et treillis et en permettant l'assemblage facile, les renforcements de membrures des pieds droits étant réalisés par une semelle de 350/10; ce renforcement est rendu nécessaire par la grande longueur abandonnée de cette barre.



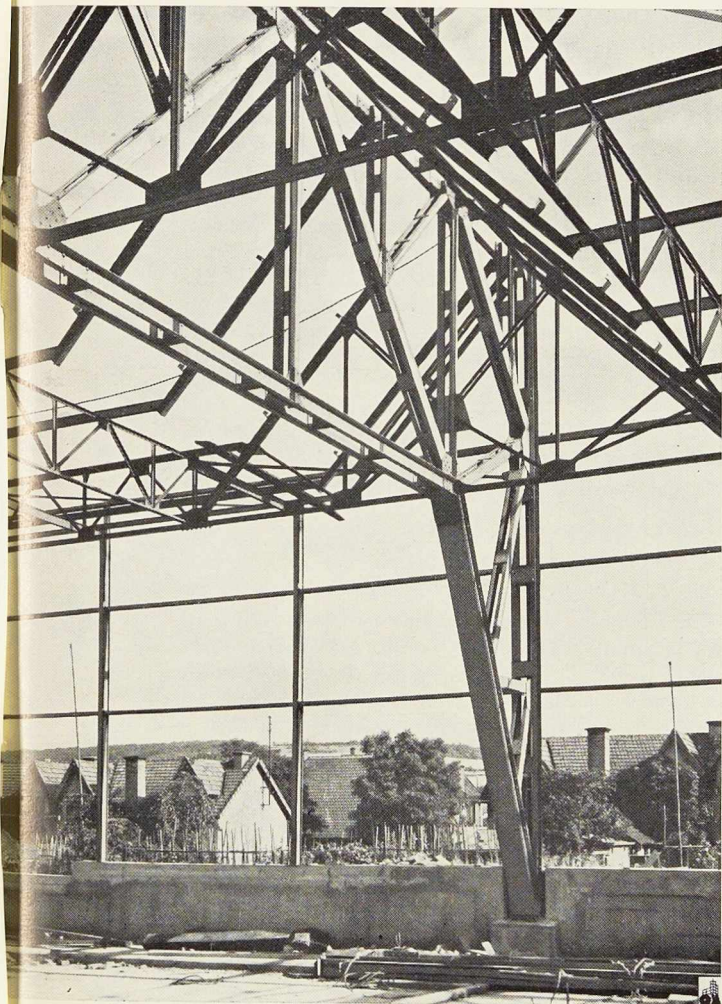


Fig. 500. Vue d'une béquille du portique de 70 mètres.

Photo Lacheroy.

Les deux U des membrures sont reliés soit par des brides en tôle, soit par des triangulations en fer plat, suivant qu'il y a ou non des efforts de compression à prendre en compte.

Les treillis principaux sont constitués par deux U dont les ailes sont face à face; leur profilé varie de 220 à 100.

L'assemblage des portiques et des pendules centraux est représenté figure 499.

L'ensemble de l'ossature ne comporte aucun joint de dilatation, car le repos des pannes à treillis extrême sur le bâtiment d'atelier se fait par appui à glissement.

Les figures 500 et 503 montrent les portiques de 70 mètres en place et le détail d'une béquille.

Les efforts dus au vent, dirigés suivant le plan des portiques, sont repris par ceux-ci et ceux dus au vent perpendiculaire par trois portiques de contreventement situés dans la travée extrême côté cour. Ces portiques reçoivent les poutres horizontales de 35 mètres de portée renforçant le pignon sur cour.

Les portiques de contreventement extrêmes sont situés contre les longs pans et sont en treillis (fig. 497).

Il y avait lieu de donner un élanement maximum au portique central de contreventement encombrant l'intérieur du garage (fig. 498.1, 2, 3, 4). Il a été réalisé par un DIN 50 refendu avec adjonction d'une portion d'âme de largeur variable portant sa hauteur à 0,960 m pour la traverse supérieure; au pied, il est au contraire réduit à 310 mm (fig. 498.2). Ce portique de contreventement sert de point d'appui au premier portique de 70 mètres, remplaçant ainsi le pendule en H 24, ce qui a conduit à lui donner une forme relativement compliquée (fig. 493.1). Le pied est renforcé par deux nervures médianes en 130×16 à l'aplomb de la sellette recevant la membrure inférieure du premier portique de 70 mètres. La charge horizontale sur ce portique est de 92 300 kg/m. Les poussées aux pieds sont

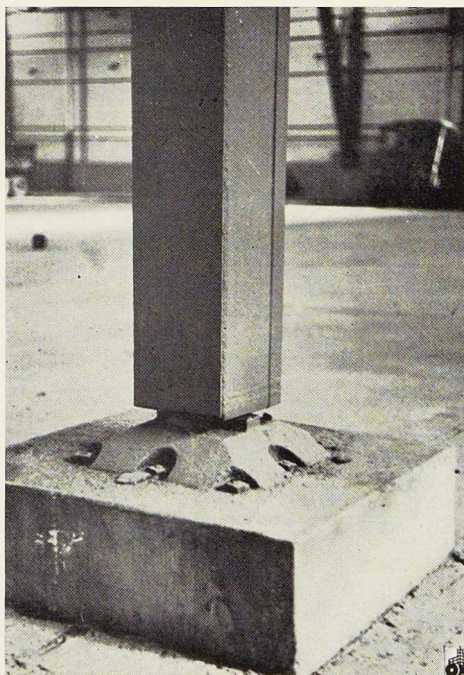


Fig. 501. Articulation de la base du pendule central.

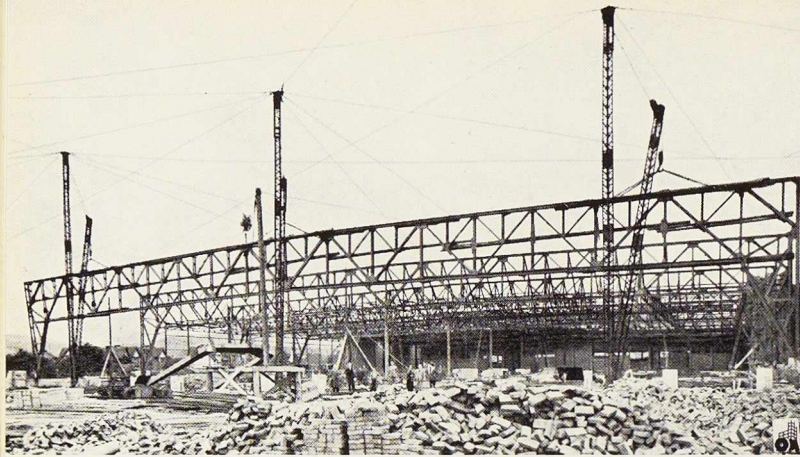


Fig. 502. Levage du dernier portique de 70 m du garage.

au maximum de 13,8 t pour un pied et de 9,3 t pour l'autre (fig. 491.4).

Ce portique a été expédié en trois parties avec joints rivés.

Les portiques latéraux reçoivent une charge horizontale de 10,85 t.

Les articulations de pied des portiques sont des rotules en acier moulé.

Les lanterneaux, avec vitrages à forte pente, coiffent les portiques. La couverture du faitage de ces lanterneaux est réalisée par une feuille d'amiante-ciment moulée cylindriquement.

Pour les longs pans qui remontent au-dessus du niveau de la couverture, la chape d'étanchéité est remontée contre le long pan jusque sous le couronnement en zinc.

Le poids total de l'ossature est de 443 tonnes, se décomposant :

En couverture	230 t, soit 29,3 kg/m ²
En portiques	174 t, soit 22,2 kg/m ²
En pan de fer de long	
pan et pignon	39 t, soit 5,1 kg/m ²
Soit au total	56,6 kg/m ²

Fig. 503. Vue d'un portique de 70 mètres après montage.



Le volume total du garage est de 62 700 m³. Le poids de l'ossature rapporté au volume du bâtiment ressort donc à 7,06 kg/m³.

Etant donné que dans tout bâtiment industriel il y a intérêt à réduire au minimum le volume total eu égard notamment aux problèmes de chauffage, et les exemples des usines américaines sont typiques à ce point de vue, la qualité d'un bâtiment pourrait être exprimée par le produit du poids d'ossature au mètre carré multiplié par le volume au mètre carré et ce produit divisé par la portée moyenne, le résultat de ces opérations devant donner un chiffre aussi bas que possible.

Pour le garage, on a :

$$\frac{56,6 \text{ kg} \times 62\,700 \text{ m}^3}{35 \text{ m} \times 7\,840 \text{ m}^2} = 13,1.$$

Pour l'atelier, la même expression (en partant du niveau de la galerie) donne :

$$\frac{51,4 \text{ kg} \times 1\,400 \text{ m}^3}{\left(\frac{16 + 4 + 4}{3}\right) \times 1\,730 \text{ m}^2} = 51,6.$$

Si l'on fait le même calcul pour un bâtiment de 30 mètres de portée, couvert en tuiles avec pente de 50 %, mais comportant un pont roulant, ce qui a surélevé le comble, on arrive à un chiffre de 33,1, chiffre qui aurait été abaissé à environ 24,5 s'il n'y avait pas eu le pont roulant.

Dans une usine de textile avec couverture en shed sur poutres comportant double plafond et double vitrage, portées de 16,50 m et hauteur sous entrain de 4,65 m, le chiffre donné par la même expression est de 22.

Le montage de cette charpente n'a présenté rien de particulier, sauf en ce qui concerne les portiques de 70 mètres. Ceux-ci, après assemblage et rivetage à plat, ont été levés à l'aide de trois derrick à treuil électrique, opération délicate par suite de la grande flexibilité des portiques (fig. 502). Une autre difficulté du montage est le réglage de l'écartement des rotules des portiques qui doit correspondre rigoureusement à la cote réalisée après l'assemblage à plat des portiques, sous peine de faire apparaître des contraintes additionnelles dans certaines barres, de même pour le niveau du pendule par rapport au niveau des rotules, afin de respecter la répartition prévue des charges sur les trois points d'appui. Les travaux de construction métallique ont été retardés au départ par suite des délais de livraison des aciers qui étaient, à l'époque (1947), encore très longs; l'usinage n'a commencé effectivement qu'en février 1948 et le montage a été terminé en août 1948. La durée des travaux de construction métallique a donc été inférieure à six mois.

M. Marx,
Ingénieur,
Chef de Service à la S. A.
Minière et Métallurgique
de Rodange

La maladie du rail traité

Lors de son apparition sur les grands réseaux ferroviaires, il y a un quart de siècle environ, le rail traité suscita de grands espoirs. En effet, outre qu'il doit résister à de grands efforts et à des chocs violents, un rail ne doit pas s'user trop vite. Or, dans l'acier au carbone, la ductilité et la dureté sont deux qualités qui varient en sens inverse. Si l'on augmente la teneur en carbone d'un acier, il devient plus dur, mais perd de sa ductilité. Avant l'emploi du traitement thermique, on ne disposait donc que de deux solutions : ou bien utiliser une nuance d'acier réalisant un compromis entre ductilité et dureté, ou bien, moyen coûteux, utiliser un rail compound dont la partie qui s'use est en acier dur, mais fragile, le restant, en acier doux, ductile, mais tendre.

Lorsqu'on osa penser au traitement thermique, deux solutions se trouvèrent en présence, à la lueur de la seule théorie connue en ce temps.

Celle-ci postulait que la solution solide d'austénite, en se refroidissant, devait nécessairement passer par les états successifs suivants : martensite, troostite, ferrite plus perlite. La perlite elle-même devait passer de l'état lamellaire à l'état globulaire, par coalescence, tandis que la ferrite, également par coalescence, devait se rassembler. Ce dernier état, ferrite plus perlite, devait donc passer par les structures : mixte, cellulaire, perlite globulaire. Ces différents constituants successifs ont des duretés décroissantes et une ductilité croissante. Pour fixer les idées, un rail refroidi à l'air libre prend une structure mixte de ferrite plus perlite lamellaire.

D'où les deux solutions en présence : partir d'un rail naturellement très dur, que l'on amènerait à la structure cellulaire ferrite plus perlite globulaire, en ralentissant le refroidissement. C'est le procédé généralement employé en Amérique, le refroidissement contrôlé. Ou bien, partir d'un acier moyennement dur, mais ayant encore une très bonne ductilité et amener la partie sujette à usure à l'état troostitique ou martensitique, en augmentant la vitesse de refroidissement de cette partie.

En principe, ce procédé est facilement réalisable; il suffit de tremper dans l'eau ou d'as-

perger d'eau la partie supérieure du bourrelet. Le revenu provoqué naturellement par la partie du rail non trempée ne gêne nullement et, en théorie, les duretés doivent être uniformément décroissantes, puisque la liberté laissée à la transformation (temps x température) est uniformément croissante. Tous les soins des fabricants se portèrent alors sur la réalisation pratique de la trempe. Leurs procédés sont d'ailleurs brevetés, pour la plupart. On chercha les procédés qui permettraient de régler la vitesse de refroidissement : une ou plusieurs immersions, aspersion ou immersion, température du bain de trempe, température et durée de trempe, appareils de manutention pour diminuer les pertes de calories. On soigna également l'élimination de tout facteur perturbateur, tels l'oxydation du rail, saletés et huiles dans le bain de trempe.

On arriva ainsi pratiquement à l'idéal au point de vue de la réalisation de la trempe.

Au début de son emploi, le rail traité répondit aux espoirs que l'on avait placés en lui. Brutalement, après la guerre, une épidémie se déclara parmi eux sur certains réseaux. Elle prit une telle ampleur que ces réseaux durent se résoudre à suspendre toute nouvelle commande de rails traités. Cette maladie consiste en un écaillage du rail. La partie du rail en contact avec les bandages des roues perd, sur des distances parfois importantes, des baguettes ou des bandes de métal. L'épaisseur de ces écailles peut atteindre jusqu'à 4 mm.

Après enquête, les conditions de la formation de cet écaillage purent être résumées comme suit : ce défaut apparaît dans le rail, en profondeur, sous l'effet d'efforts répétés de grande intensité. Il dépend, par conséquent, non seulement de l'intensité du trafic et de la charge des trains, mais aussi de la résistance de la voie (raideur du profil, intervalle entre les points d'appui du rail) et de la façon dont se fait le contact du rail et du bandage (bombé du champignon, irrégularité de la surface de roulement, du bandage). Le défaut ne se manifeste que si, du fait des circonstances, les efforts alternés dépassent une certaine valeur minimum.

De plus, on dut bien se rendre compte que cet

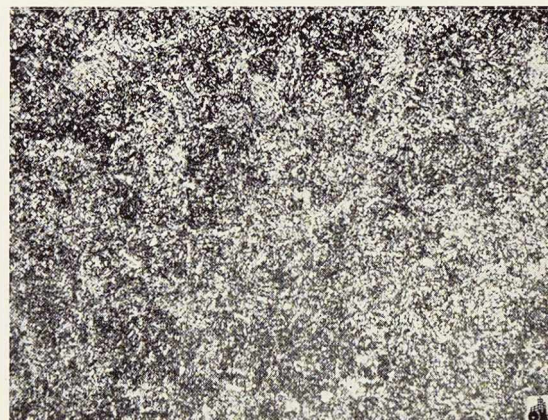
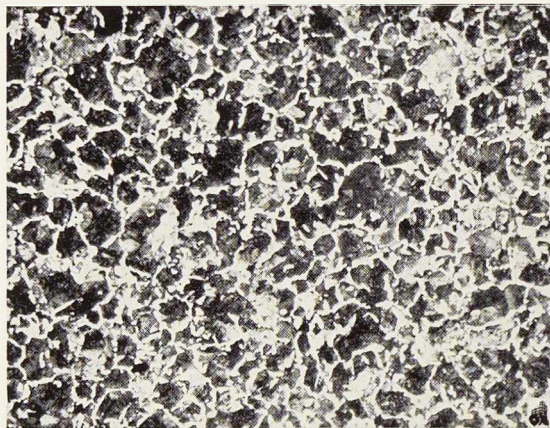


Fig. 504 (en haut, à gauche). Texture mixte.
(Grossissement $\times 100$.)

Fig. 505 (en haut, à droite). Texture sorbitique.
(Grossissement $\times 100$.)

Fig. 506 (ci-contre). Texture troosto-sorbitique.
(Grossissement $\times 250$.)

écaillage, lorsqu'il se produit en pleine voie, en dehors de toute zone de démarrage ou de freinage, est une avarie caractéristique du rail traité.

Malgré de nombreuses recherches sur des rails atteints, on n'a pu déterminer la cause de l'écaillage, et pas davantage s'il commençait en profondeur ou en surface.

La Minière et Métallurgique de Rodange, productrice de rails traités, a toujours persévéré dans l'étude de la trempe et des phénomènes qui l'accompagnent. Elle a soumis sa fabrication à un contrôle sévère et soutenu. Elle a remarqué que, dans certaines conditions, il se formait, dans la zone trempée du bourrelet, à une profondeur variable, suivant l'intensité de la trempe, une répartition de structures difficilement explicable par la théorie rappelée ci-dessus. Cette répartition anormale de structures consiste en une zone à structure aciculaire, pseudo-martensitique, comprise entre deux zones à structure sorbitique. Généralement, le passage de la zone sorbitique proche de la table de roulement, à la zone aciculaire est très brutal. Cette répartition particulière de structures ne semblait pas avoir de conséquences sur les essais couramment pratiqués sur les rails : essais de choc, tractions, résiliences, duretés Brinell. Néanmoins, des

duretés Rockwell C, faites soigneusement, révélèrent une anomalie dans la décroissance des duretés, en cet endroit.

L'explication logique de la formation de cette répartition anormale de structures fut fournie par l'étude attentive des courbes en S. La courbe en S est le résultat des études de Bain Davenport et de leur école. Rappelons brièvement les résultats de leurs recherches : ils étudièrent la décomposition isotherme de l'austénite aux températures subcritiques. Ils trouvèrent que l'austénite pouvait se transformer directement en perlite plus ferrite, en troostite, sans devoir passer par l'état martensitique. Ils montrèrent également qu'à certaines températures, l'austénite pouvait se décomposer en un constituant non identifié jusqu'à ces temps : la bainite.

La formation de la répartition de structures mentionnées ci-dessus (des zones parallèles à la table de roulement, une aciculaire entre deux sorbitiques) devient donc explicable par cette théorie.

Par contre, en vertu de la première théorie, puisque l'austénite se décomposerait en passant par les états successifs martensite, troostite, sorbite, perlite plus ferrite, il serait inexplicable qu'un état anormal, aciculaire, pseudo-marten-



sitique, pût exister entre deux zones sorbitiques.

La zone aciculaire, pseudo-martensitique, a une très grande ductilité; on peut donc penser que cette répartition de structures non seulement peut, mais doit être la cause principale de l'écaillage. Le fait que des fabrications où l'on a systématiquement évité cette répartition de structures n'ont jamais donné lieu à écaillage n'est qu'une faible confirmation de l'hypothèse avancée; mais le fait que l'écaillage est pratiquement toujours fissuré, alors que la partie sous-jacente, à haute ductilité, ne l'est pas, corrobore étrangement l'interprétation de Rodange.

Résumé

L'écaillage est une maladie spécifique du rail

traité. Elle ne se produit que dans des conditions très dures de service.

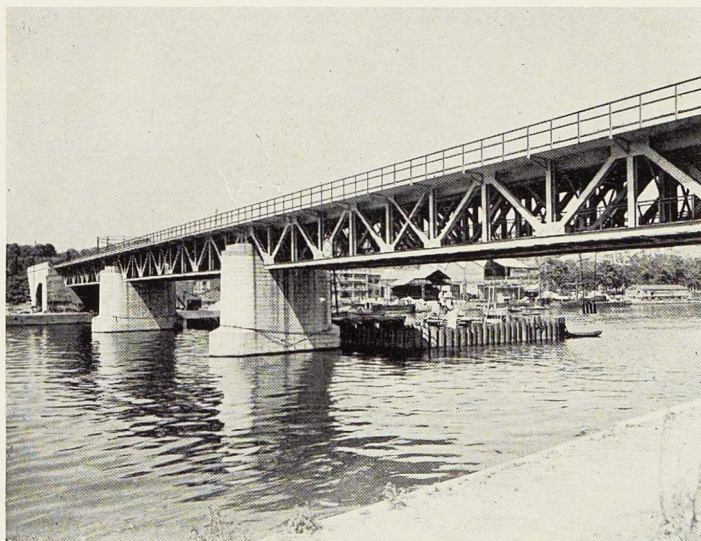
On n'a pas, jusqu'à ce jour, trouvé d'explication à cet écaillage.

Dans certaines conditions, l'usine de Rodange a constaté qu'il se forme, lors de la trempe d'un rail, une répartition de structures anormales: une zone aciculaire, pseudo-martensitique, très ductile, entre deux zones sorbitiques beaucoup moins ductiles. Cette répartition de structures semble être la cause principale de l'écaillage.

La formation de cette répartition de structures est inexplicable par l'ancienne théorie de la trempe, mais logique au vu de la théorie de Bain.

Il est donc possible, en appliquant cette théorie, de fabriquer des rails qui ne s'écaillent pas.

Le pont du Luxembourg, à Namur

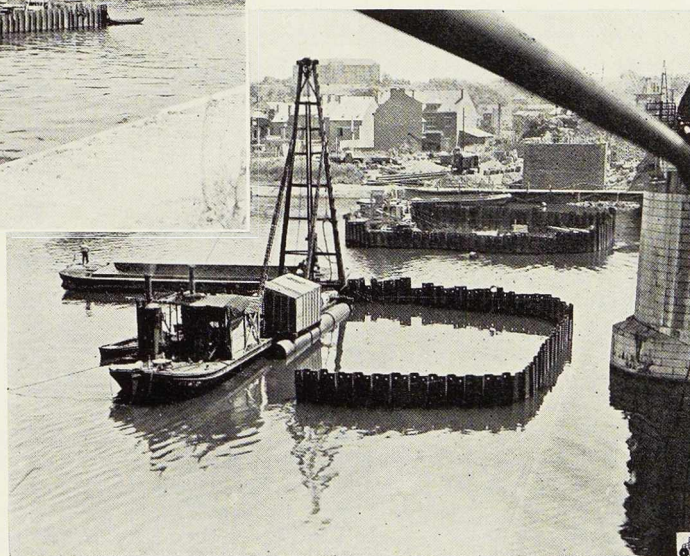


Photos Malevez.

La première travée est terminée. Le battage d'un rideau de palplanches se poursuit pour la construction des piles de la seconde travée, identique à la première et indépendante de celle-ci.

Les travaux de reconstruction du pont-rails du Luxembourg, à Namur, sur la ligne Namur-Arlon, sont poussés activement.

Les vues ci-contre montrent l'état actuel du chantier.



Ch. Massonnet,
Professeur à l'Université
de Liège

Réflexions concernant l'établissement de prescriptions rationnelles sur le flambage des barres en acier

1. Introduction

Nous voulons exposer, dans les pages qui suivent, les réflexions qui nous ont été inspirées par l'examen attentif des publications récentes sur le flambage et essayer de définir comment nous apparaît ce problème à l'heure actuelle.

Ces réflexions nous amèneront à proposer de nouvelles bases pour l'établissement du règlement belge, qui le rendraient plus cohérent avec les théories générales de la résistance des matériaux, tout en conduisant à une économie d'acier appréciable.

Une partie des idées que nous allons exposer n'ont rien d'essentiellement original; elles sont dans l'air actuellement, et il nous paraît opportun qu'on les prenne en considération en Belgique, comme on le fait en ce moment en France, en Suède et partiellement en Allemagne.

Etat actuel de nos connaissances théoriques sur le flambage des pièces chargées de bout

2. Les causes du flambage

Il est aujourd'hui admis de tous que le flambage est un simple phénomène statique de flexion composée, dans lequel il importe de tenir compte des déformations élastiques de la barre pour évaluer les moments fléchissants qui y naissent.

Ce sont les imperfections inévitables de la pièce et le manque de centrage de la charge qui sont les causes de ce phénomène. Si petits soient-ils, ils provoquent des déformations transversales qui croissent hyperboliquement quand la charge se rapproche d'une certaine valeur appelée charge critique. Ce phénomène porte le nom de flambage par divergence.

3. La notion de charge critique

Pour simplifier au maximum l'analyse mathématique du phénomène, on se borne souvent à envisager dans les calculs une pièce idéalement homogène et rectiligne, soumise à une charge parfaitement centrée. La théorie indique alors que cette pièce reste rectiligne jusqu'à ce que la charge atteigne une valeur déterminée appelée charge critique. A ce moment, la pièce se courbe brusquement et s'effondre. C'est le flambage pur ou par bifurcation de l'équilibre.

Il est à peine besoin de dire que ces conditions idéales d'expérience sont impossibles à réaliser, quel que soit le soin mis à régler la position de la pièce dans la machine d'essai; le seul phénomène observable expérimentalement est le flambage par divergence.

Les considérations qui précèdent montrent qu'on peut analyser le phénomène de flambage de deux façons différentes: soit en faisant complètement abstraction des imperfections de la pièce et en recherchant sa charge critique; soit, au contraire, en essayant de prendre en considération l'effet de ces imperfections sur la force portante de la barre.

Nous passerons successivement en revue les méthodes des deux types.

PREMIÈRE SECTION. — MÉTHODES DE CALCUL BASÉES SUR LA CONSIDÉRATION D'UNE PIÈCE PARFAITE ET PARFAITEMENT CHARGÉE

4. Charge critique des pièces longues appuyées aux deux extrémités

L'expression de la charge critique d'une pièce idéale diffère selon que le flambage se produit



ou non dans le domaine élastique. Dans le premier cas, on dit que la pièce est longue; sa charge critique est connue depuis plus de deux siècles et donnée par la formule d'Euler (1744) :

$$P_E = \frac{\pi^2 EI}{l^2} \quad (1)$$

5. Charge critique des pièces courtes appuyées aux deux extrémités

La charge critique d'une pièce courte, qui flambe après dépassement de la limite d'élasticité, n'est pas connue à l'heure actuelle. La théorie d'Engesser et von Kármán (1895-1909), qui était admise classiquement ces dernières années, a, en effet, été remise en question en 1947 par Shanley (11) et, de l'avis de von Kármán lui-même, ne représente pas la réalité.

Comme la publication de Shanley a paru dans une revue d'aéronautique, elle est restée peu connue des constructeurs; c'est pourquoi nous croyons utile de rappeler en quelques lignes les bases de la théorie d'Engesser-Kármán et d'exposer l'essentiel des objections que Shanley a présentées.

A. Rappel d'une propriété du diagramme tensions-dilatations

Rappelons d'abord brièvement une propriété du diagramme tensions-dilatations des métaux qui joue, dans ce qui suit, un rôle capital.

Si la tension va en croissant, le point représentatif décrit la courbe OAB du diagramme. Supposons qu'il soit arrivé en B (fig. 507).

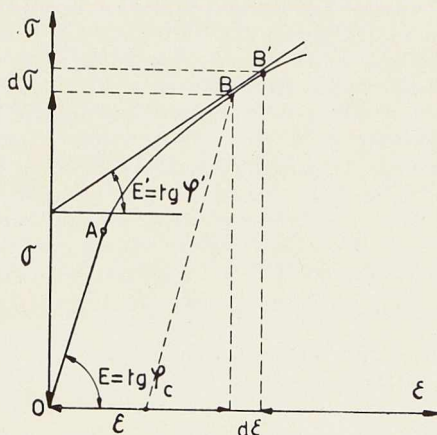


Fig. 507. Diagramme tensions-dilatations.

a) Si nous donnons à l'éprouvette un très petit accroissement de tension $d\sigma$, la dilatation augmente de $d\varepsilon$ et tout se passe, pour cette petite tension supplémentaire, comme si le matériau possédait un module d'élasticité instantané E' égal au coefficient angulaire de la tangente en B au diagramme :

$$E' = \frac{d\sigma}{d\varepsilon} \quad (2)$$

Ce « module tangent », comme on l'appelle, dépend évidemment de l'ordonnée du point B, c'est-à-dire qu'il est fonction de la tension σ .

b) Si, au contraire, arrivé en B, on décharge l'éprouvette, le point représentatif décrit la parallèle BC à la droite de Hooke OA du diagramme. Pour une fibre déchargée, tout se passe donc comme si le métal avait encore son module d'élasticité initial E.

B. Rappel de la théorie d'Engesser, première manière, et de celle d'Engesser-Kármán

Examinons à présent le problème du flambage plastique d'une pièce idéalement droite, soumise à une force de compression parfaitement centrée.

Nous admettons tout d'abord que l'hypothèse de la conservation des sections planes de Bernoulli reste encore valable quand la poutre se déforme plastiquement. Il faut observer que la validité de cette hypothèse dans le domaine plastique, a été contestée récemment par plusieurs auteurs (1), de sorte qu'il serait hautement désirable d'élucider ce point par des mesures de précision, à l'occasion de nouveaux essais de flambage.

Nous pouvons maintenant faire deux hypothèses contradictoires :

a) PREMIÈRE HYPOTHÈSE : Supposons que, au cours du flambage, les tensions ne décroissent en aucun point de la barre.

Dans ce cas, les points représentatifs de toutes les fibres dans le diagramme tensions-dilatations se déplacent vers la droite et les tensions additionnelles de flexion obéissent à la loi $\sigma = E'\varepsilon$. On peut donc répéter tout le raisonnement fait par Euler à propos du flambage élastique, en remplaçant partout E par E' . Dans ces conditions, la charge critique vaut :

$$P_{cr}^t = \frac{\pi^2 E' I}{l^2} \quad (3)$$

(première formule d'Engesser, 1889)

(1) F. STÜSSI et C. KOLLBRUNNER, *Stahlbau*, 1935, p. 264; G. GRÜNING, *Stahlbau*, 1936, p. 17; A. LAZARD, *Travaux*, 1950, p. 301.



b) DEUXIÈME HYPOTHÈSE : Supposons que la barre reste parfaitement droite jusqu'à ce que la tension de compression pure atteigne la tension critique de flambage R'_{cr} (fig. 508) et qu'à ce moment elle prenne brusquement une courbure transversale infinitésimale (fig. 509).

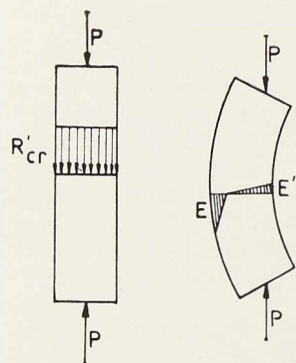


Fig. 508 et 509. Déformation par flambage dans le cas de la 2^e hypothèse.

Les tensions additionnelles de flexion dues à cette courbure sont infiniment petites vis-à-vis de la tension initiale de compression R'_{cr} . Les tensions de compression augmentent donc légèrement du côté concave de la pièce et diminuent du côté convexe.

D'après la propriété rappelée ci-dessus du diagramme tensions-dilatations, on voit que les tensions additionnelles de flexion sont réparties dans une section droite comme l'indique la figure 3. Tout se passe donc comme si le matériau composant la barre possédait deux modules d'élasticité différents, à savoir E en traction et E' en compression.

En traduisant les conditions d'équilibre de la barre, Engesser a montré que sa charge critique était de la forme

$$P_{cr} = \frac{\pi E_r I}{l^2}, \quad (4)$$

(formule d'Engesser-Kármán, 1895-1909), E_r étant un module d'élasticité réduit, dépendant à la fois de E , de E' et de la forme de la section droite.

Pour une section rectangulaire, von Kármán a montré qu'on avait

$$E_r = \frac{4EE'}{(\sqrt{E} + \sqrt{E'})^2}.$$

Comme E_r est toujours supérieur à E' , la charge critique (4) dépasse toujours celle (3) déterminée dans l'hypothèse *a*.

C. Réfutation présentée par Shanley (1947)

En réalité, aucune des deux théories ci-dessus ne représente le phénomène réel, comme on va le voir en étudiant les diagrammes (fig. 510) qui représentent la répartition des dilatations ε dans la barre au fur et à mesure que la charge P s'accroît.

Jusqu'à la charge P_8 , la barre est sollicitée par compression pure et le diagramme en question est une horizontale, qui prend successivement les positions 1, 2, ..., 7, 8, quand la charge augmente.

Si l'hypothèse *a* était valable, le flambage se produirait sous la charge

$$P_8 = P_{cr}^t = \frac{\pi^2 E' I}{l^2}. \quad (3)$$

Le diagramme 9, figure 510 A, représentant les dilatations dans la barre en cours de flambage, devrait correspondre à cette même charge P_{cr}^t et recouperait nécessairement le diagramme 8; il y aurait donc des fibres déchargées; les tensions dans ces fibres devraient se calculer à l'aide du module d'élasticité E , ce qui reviendrait à relever les tensions dans ces fibres comme le montre la figure 509 et à faire passer la charge critique de P_{cr}^t à P_{cr}^r . L'hypothèse *a* conduit donc à une contradiction.

D'autre part, si l'hypothèse *b* était valable, les diagrammes des dilatations dans la barre présenteraient les aspects successifs de la figure 510 B. La poutre resterait rectiligne sous une charge $P_{cr}^r > P_{cr}^t$; c'est impossible, puisque les tensions ne décroîtraient en aucun point de la section lors du passage de P_{cr}^t à P_{cr}^r , ce qui entraînerait, d'après l'analyse *a* que la charge critique est P_{cr}^t et que l'état de la barre comprimée par P_{cr}^r est instable.

On voit que les théories faites en *a* et *b* conduisent toutes deux à des contradictions. Il n'y a plus qu'une seule hypothèse possible, c'est que la charge critique est supérieure à P_{cr}^t , mais que la barre se met à fléchir dès qu'on dépasse P_{cr}^t . Ce fléchissement se poursuit au fur et à mesure que la force de compression s'accroît; il ne peut d'ailleurs se faire comme il est indiqué à la figure 510 C, où il n'y a pas de diminution des dilatations, parce que, dans ce cas, le module E' devrait s'appliquer à toute la section et la charge ne pourrait dès lors dépasser P_{cr}^t d'après l'analyse *a*.

Il faut donc nécessairement admettre que, dès que la charge dépasse P_{cr}^t , il y a diminution des dilatations dans une certaine partie de la section droite et que les diagrammes 8, 9, 10, successifs, ont l'aspect indiqué à la figure 510 D.



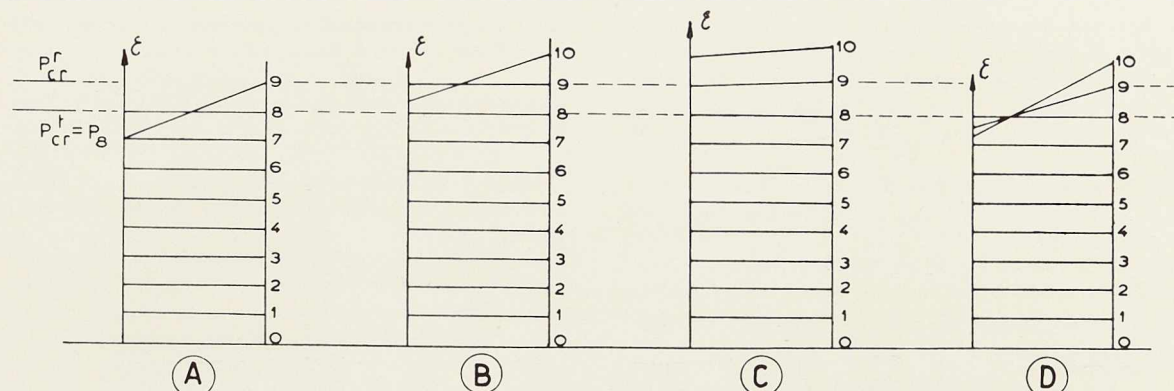


Fig. 510. Représentation schématique de la réfutation présentée par Shanley.

On constate ainsi que le flambage plastique est nécessairement précédé d'une flexion plastique de la barre et devient un phénomène extrêmement complexe.

A ce jour, son étude correcte n'a pas été faite.

D. Conclusions

Le mémoire de Shanley présente, à notre avis, une importance capitale, parce qu'il conduit à rejeter presque tous les travaux de l'école allemande basés sur la notion de module réduit. Seules subsistent les recherches basées sur le diagramme tensions-dilatations idéalisé et formé de deux droites (Ježek).

On en est donc réduit, à l'heure actuelle, à se référer aux formules empiriques traduisant directement les essais de flambage. Celle de Tetmajer reste la plus employée pour l'acier doux. On a exécuté ces dernières années de nombreux essais sur l'acier 52 (Roš et Brunner, 1932; Wästlund et Bergström, 1949) qui peuvent servir de base à l'établissement de formules analogues.

Bien que la formule (3) du module tangent ne donne pas la charge maximum que la barre peut supporter, elle donne toute sécurité et pourrait donc être adoptée pour le calcul pratique des pièces soumises au flambage. Elle donne des résultats en bon accord avec l'expérience pour les alliages légers (qui ne présentent pas de palier plastique) et est couramment utilisée par les ingénieurs de l'industrie aéronautique américaine.

6. Force portante des pièces comprimées et fléchies

A. Théorie simple basée sur l'analyse de la déformation élastique de la barre

La méthode la plus simple pour étudier les pièces comprimées et fléchies consiste à recher-

cher leur déformation $y = f(x)$ par intégration de l'équation de l'élastique, en tenant compte des moments fléchissants P_y produits par cette déformation elle-même. On adopte ensuite comme force portante de la pièce la charge pour laquelle la fibre la plus sollicitée atteint la limite apparente d'élasticité R_e' . Ceci suppose que le comportement de la pièce reste parfaitement élastique jusque sous cette charge; en réalité, il se produit au préalable de légères déformations plastiques, mais l'écart par rapport au comportement élastique est négligeable dans le cas de l'acier doux normal.

Par ailleurs, la résistance de la pièce n'est pas complètement épuisée au moment où la tension maximum atteint R_e' , mais la réserve de résistance est faible, par suite de la croissance hyperbolique des déformations transversales.

Pour simplifier l'exposé de cette méthode, on se bornera au cas où la sollicitation de la barre et son mode d'appui sont symétriques par rapport à son point milieu. Soient :

- P la force maximum de compression admissible en service;
- M_0 le moment fléchissant au milieu dû aux forces transversales seules;
- M le moment fléchissant au milieu dû à l'effet combiné des forces transversales et de la force de compression;
- f_0 la flèche au milieu due aux forces transversales seules;
- f la flèche au milieu due à l'effet combiné des forces transversales et de la force de compression;
- $P_E \equiv \pi^2 EI/l^2$, la charge critique élastique de flambage de la barre, calculée pour un matériau à élasticité illimitée;
- s le coefficient de sécurité.

On peut démontrer en toute généralité que la flèche de la pièce sous charge axiale est donnée approximativement par la formule

$$f = f_0 \frac{P_E}{P_E - P}, \quad (5)$$

avec une approximation d'autant meilleure que P se rapproche plus de la charge critique élastique d'Euler.

La démonstration de ce résultat général nécessitant des développements assez longs, nous l'avons reportée en annexe.

Bornons-nous à souligner ici, pour éviter toute confusion, que la formule (5) n'est valable que pour des déformations élastiques de la pièce et s'applique aussi bien aux barres courtes qu'aux barres longues. Si la barre est longue, la charge P pourra se rapprocher très près de P_E , tandis que, si elle est courte, P_{max} ne sera qu'une fraction de P_E , d'autant plus petite que l'élanement de la barre est faible.

Le moment fléchissant dans la section médiane vaut

$$M = M_0 + Pf = M_0 \left(1 + \frac{Pf_0}{M_0} \frac{P_E}{P_E - P} \right),$$

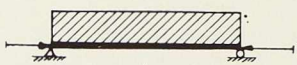




ce qui peut s'écrire

$$M = M_0 \left(1 + \frac{\alpha P}{P_E - P} \right), \quad (6)$$

à condition de poser

$$\alpha = \frac{P_E f_0}{M_0} \quad (7)$$

Le tableau ci-dessous donne, pour les cas les plus courants, la valeur de α calculée par la formule (7), ainsi que l'erreur commise en appliquant la formule (6).

Cas envisagés	α	Erreur en %
	1,03	< 0,2
	0,82	< 1,4
	1,234	< 2,0
	1,20	< 1,3
	0,82	< 1,4

La tension maximum de flexion composée dans la section médiane vaut

$$\sigma_{max} = \frac{P}{\Omega} + \frac{Mv}{I} = \frac{P}{\Omega} + \frac{M_0 v}{I} \left(1 + \frac{\alpha P}{P_E - P} \right). \quad (8)$$

Comme elle croît plus vite que les forces extérieures, on ne peut simplement traduire la condition de sécurité en limitant σ_{max} au taux de travail R. La sécurité demande, au contraire, que, sous une charge P et un moment M multipliés par le coefficient de sécurité s, la tension maximum ne dépasse pas la limite apparente d'élasticité R'_e ; cela s'écrit

$$\frac{sP}{\Omega} + \frac{sM_0 v}{I} \left(1 + \frac{\alpha s P}{P_E - sP} \right) \leq R'_e. \quad (9)$$

Comme, par définition, la tension admissible R vaut R'_e/s , on peut encore écrire cette inégalité sous la forme

$$\frac{P}{\Omega} + \frac{M_0 v}{I} \left(1 + \frac{\alpha s P}{P_E - sP} \right) \leq R. \quad (10)$$

B. Théories basées sur l'analyse de la déformation plastique de la barre jusqu'à son écroulement

Ces dernières années, on a développé des théories plus complexes du flambage des pièces comprimées et fléchies, et spécialement des pièces comprimées excentriquement, en généralisant convenablement la théorie d'Engesser-Kármán. Ces théories se proposent d'analyser le comportement complet de la pièce, compte tenu de la progression des déformations plastiques, et en particulier de calculer la charge maximum que la barre peut supporter avant de s'écrouter.

Chwalla (5) a montré que, dès que l'excentricité e de la charge dépasse le 1/8 du rayon k du noyau central de la section, les dilatations de toutes les fibres augmentent continûment avec la charge extérieure. La répartition des tensions sur une section droite est donc donnée à une certaine échelle des abscisses par le diagramme tensions-dilatations du métal, comme l'indique la figure 5 et il est possible d'analyser correctement le phénomène en traduisant les conditions d'équilibre. Par contre, si l'excentricité de la charge est très faible, les dilatations de certaines fibres subissent nécessairement une diminution au cours de la mise en charge, comme nous l'avons montré au paragraphe 5 dans le cas extrême d'une excentricité nulle; les tensions dans ces fibres suivent alors la loi de déchargement $\sigma = E\varepsilon$, ce qui complique fortement



l'analyse du problème. Nous concluons de ceci que, pour des excentricités $e > k/8$, les objections de Shanley ne compromettent pas la validité des théories du flambage excentré basées sur l'emploi du diagramme tensions-dilatations (fig. 511) (théories de Chwalla, Hartmann, Ježek). Par contre, elles conduisent à rejeter les théories basées sur l'hypothèse que les fibres

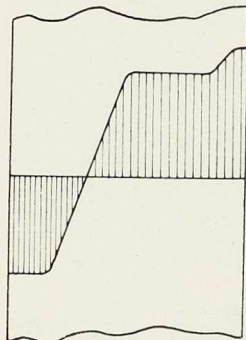


Fig. 511.

situées du côté convexe de la barre sont déchargées au cours du flambage; en particulier, les théories données par von Kármán (3) et par Rož et Brunner (4) pour les pièces excentrées ne sont pas satisfaisantes.

Quoi qu'il en soit, ces recherches n'ont pour le praticien qu'un intérêt réduit, parce qu'elles sont d'une application très compliquée. Il est vain, selon nous, de vouloir analyser le phénomène de flambage dans tous ses détails, si l'on songe à l'incertitude qui règne sur la valeur de la limite apparente d'élasticité, ainsi que sur le mécanisme par lequel la plasticité se propage dans la pièce. Ces raffinements sont d'autant plus illusoire que, pour pouvoir soumettre le phénomène au calcul, on est généralement forcé d'idéaliser le diagramme tensions-dilatations de l'acier selon la figure 512. On

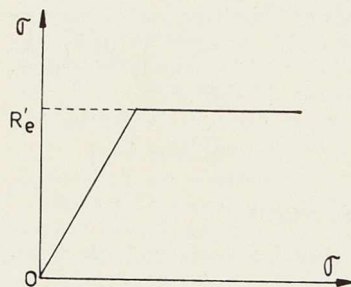


Fig. 512.

introduit ainsi des erreurs du même ordre que celles commises dans la méthode simple rappelée en A. Ce n'est pas seulement la complexité propre des formules qui rend ces théories inapplicables en pratique, mais encore le fait que, pour une excentricité donnée e de la charge, la loi liant la force portante P de la pièce à son élancement λ dépend de la forme de la section droite. Cette circonstance empêche l'établissement d'abaques ou tableaux numériques de la forme $P = (\lambda, e)$ ayant une validité générale.

C'est cet obstacle qui a contraint les rédacteurs du règlement allemand (DIN 4114) à maintenir en pratique la formule

$$\frac{P\omega}{\Omega} + \frac{M\vartheta}{I} \leq R, \quad (11)$$

qui doit être considérée comme totalement empirique.

DEUXIÈME SECTION. - MÉTHODES DE CALCUL BASÉES SUR LA CONSIDÉRATION D'UNE PIÈCE IMPARFAITE

7. Généralités

A cause de ses imperfections inévitables énumérées au paragraphe 2, une pièce réelle de construction a une force portante inférieure à la charge critique d'Euler. Cette force portante est également inférieure à celle mesurée en laboratoire, parce que les pièces de laboratoire sont généralement plus soignées et possèdent des appuis construits spécialement, dont on règle la position par tâtonnements jusqu'à ce que la pièce donne sous charge les déformations transversales minima.

Pour tenir compte de ce fait, on est obligé d'introduire un coefficient de sécurité au flambage plus grand que le coefficient habituel des pièces tendues ou fléchies, et de faire croître ce coefficient avec l'élancement, parce qu'il est reconnu que les imperfections des pièces très élancées sont relativement plus grandes que celles des pièces trapues de même longueur.

Pour ne pas devoir retoucher la théorie par l'emploi d'un coefficient de sécurité variable avec l'élancement, on peut prendre directement en compte les imperfections de la pièce, par exemple en supposant qu'elle possède une courbure initiale de la forme

$$y_0 = f_0 \sin \frac{\pi x}{l}.$$

La grandeur de la flèche initiale f_0 peut s'obtenir par une étude statistique des défauts des barres, comme nous le verrons au paragraphe 14. Etant donné la complication supplémentaire introduite par la courbure initiale de la barre, il ne peut être question d'analyser le comportement de cette dernière jusqu'à son écroulement. Nous supposons au contraire, comme au paragraphe 6 A, que la force portante est pra-

tiquement égale à celle pour laquelle la tension maximum atteint la limite d'écrasement R'_e et que la déformation de la barre jusqu'à ce moment est parfaitement élastique.

8. Calcul des barres imparfaites chargées centriquement

D'après la démonstration générale donnée en annexe, la flèche transversale que prend la barre sous l'effet de la charge P est donnée par la même formule que précédemment, soit

$$f = f_0 \frac{P_E}{P_E - P} \quad (5)$$

de sorte que le moment fléchissant au milieu de la barre vaut

$$M = Pf = Pf_0 \frac{P_E}{P_E - P} \quad (12)$$

La tension maximum de flexion composée vaut ici

$$\sigma = \frac{P}{\Omega} + \frac{Pf_0 v}{I} \frac{P_E}{P_E - P} \quad (13)$$

Sous une charge égale à sP , la tension maximum ne peut dépasser R'_e , donc

$$\frac{sP}{\Omega} + sP \frac{f_0 v}{I} \frac{P_E}{P_E - sP} \leq R'_e \quad (14)$$

ou encore

$$\frac{P}{\Omega} + \frac{Pf_0 v}{I} \frac{P_E}{P_E - sP} \leq R \quad (15)$$

En mettant sP/Ω en évidence et introduisant le rayon d'inertie i défini par $i^2 = I/\Omega$, on peut mettre la formule (14) sous la forme

$$\frac{sP}{\Omega} \left(1 + \frac{f_0 v}{i^2} \frac{P_E}{P_E - sP} \right) \leq R'_e \quad (16)$$

Si l'on admet que la flèche initiale f_0 est proportionnelle à la longueur de la pièce, le terme $f_0 v/i^2$ variera selon la forme de la section droite.

Si l'on pose, au contraire, $f_0 = l^2/v$, on trouve que

$$\frac{f_0 v}{i^2} = \beta \lambda^2$$

et est indépendant de la forme de la section.

9. Calcul des barres imparfaites chargées excentriquement

Il est évident que les pièces chargées centriquement ne sont pas les seules à posséder des imperfections initiales; la logique exige donc qu'on suppose l'existence des mêmes imperfections dans les pièces comprimées et fléchies.

En combinant l'analyse précédente avec celle faite au paragraphe 6 A, on peut établir la condition de résistance d'une barre comprimée et fléchie et possédant en outre une légère courbure initiale.

En effet, d'après le principe de superposition établi par Timoshenko (8, pp. 5 à 7), on peut additionner les tensions de flexion dues aux deux causes ci-dessus, pourvu que la force de compression P soit la même dans les deux cas; on trouve ainsi la condition limite de sécurité

$$\frac{sP}{\Omega} + \frac{sPf_0 v}{I} \frac{P_E}{P_E - sP} + \frac{sM_0 v}{I} \left(1 + \frac{\alpha sP}{P_E - sP} \right) = R'_e \quad (17)$$

Recherche des principes pouvant servir de base à des prescriptions réglementaires

10. Classification des divers principes pouvant servir de base aux prescriptions réglementaires

A présent que nous avons analysé théoriquement les phénomènes de flambage centré ou avec flexion, nous devons en dégager les principes généraux sur lesquels on pourra fonder des prescriptions réglementaires de calcul.

On ne peut guère retenir, nous semble-t-il, que les trois points de vue suivants :

A. Premier point de vue

On établit une distinction nette entre le flambage centré, d'une part, et le flambage avec flexion, d'autre part :

a) Pour le flambage centré des pièces à âme pleine, à treillis ou étrépillons, on stipule certaines tensions admissibles qui dépendent du degré d'élanement. Ces tensions peuvent s'obtenir, soit par des formules théoriques (Euler), soit par des formules empiriques (Tetmajer par exemple) traduisant les résultats d'expériences sur le flambage;



b) Pour le flambage avec flexion, on calcule les charges maxima de service en exprimant que, lorsque ces charges sont multipliées par le coefficient de sécurité s , la tension maximum atteint la limite apparente d'élasticité.

B. Deuxième point de vue

On admet que toutes les barres, même celles comprimées centriquement, ont certaines imperfections initiales bien définies et stipulées par le règlement. On calcule toutes les barres à la flexion composée, en tenant compte de leur déformation élastique, comme dans le cas b du premier point de vue.

La méthode s'applique immédiatement aux pièces en treillis ou étré sillonnées, si l'on tient compte séparément :

- 1° Des imperfections d'ensemble de la pièce;
- 2° Des imperfections de chaque tronçon de membrure compris entre deux nœuds successifs du treillis.

C. Troisième point de vue

a) Dans le cas des barres soumises au flambage centré, on stipule certaines tensions admissibles comme au point de vue A;

b) Dans le cas de flambage avec flexion, on ajoute aux moments fléchissants initiaux donnés ceux provenant des imperfections initiales de la barre, comme dans le deuxième point de vue.

11. Conditions générales auxquelles doivent satisfaire les principes fondamentaux du calcul au flambage

Du point de vue doctrinal, il est souhaitable que les prescriptions sur le flambage satisfassent aussi bien que possible à diverses conditions générales que nous allons énoncer.

Elles doivent, autant que possible :

a) *Etre d'accord avec les notions actuelles concernant la sécurité des constructions :*

Observons à ce sujet qu'il n'est pas admis de tabler sur la plasticité de l'acier pour augmenter les sollicitations admissibles dans les pièces fléchies; il n'y a donc pas lieu de profiter de la plasticité dans les phénomènes de flambage mais il est logique, au contraire, de considérer comme charge ultime celle qui entraîne l'apparition des premières déformations permanentes ⁽¹⁾.

⁽¹⁾ Si les opinions devaient changer au sujet de la prise en compte de l'adaptation plastique dans les pièces fléchies, il y aurait lieu de tolérer le même pourcentage d'adaptation dans les phénomènes de flambage et de calculer la force portante en conséquence.

La sécurité exige que le coefficient de sécurité par rapport à cette charge ultime soit constante et la même qu'en flexion, compte tenu des imperfections inévitables de la barre.

b) *Découler rationnellement des principes généraux de la résistance des matériaux moyennant un nombre minimum d'hypothèses nouvelles, afin de pouvoir être assimilées aisément par les ingénieurs et de ne pas donner lieu à des équivoques;*

c) *Pouvoir s'étendre directement à tous les cas de flambage non prévus explicitement par le règlement;*

d) *Etre aussi simples que possible, compte tenu de tous les desiderata précédents.*

12. Confrontation des trois positions de principe exposés au paragraphe 10 aux points de vue pratique et doctrinal

Comparons les trois positions de principe exposées au paragraphe 10 sous l'angle des conditions générales que nous venons d'énoncer :

A. — Nous constatons d'emblée que *le point de vue A* y satisfait fort mal, en effet :

a) Les prescriptions basées sur ce point de vue n'arrivent à réaliser une sécurité réelle constante qu'en faisant croître le coefficient de sécurité apparent avec l'élanement; on peut faire admettre la nécessité de cette croissance en invoquant les imperfections de la pièce, mais il est à peu près impossible de justifier la loi de croissance adoptée.

Un second inconvénient des principes A est qu'ils conduisent à traiter différemment les pièces comprimées centriquement et les pièces comprimées et fléchies; il en résulte que le coefficient de sécurité varie brusquement lorsqu'on passe d'un cas à l'autre, ce qui est irrationnel;

b) Les principes A conduisent à des *prescriptions irrationnelles sur plusieurs points*; en effet, ces prescriptions ne s'appliquent directement qu'aux barres prismatiques simplement appuyées à leurs deux extrémités; pour d'autres conditions d'appui, il faut, disent les règlements, adopter comme élanement l'expression

$$\lambda_r = \frac{l_{fl}}{i},$$

en remplaçant la longueur réelle de la pièce l par sa longueur de flambage l_{fl} définie dans la théorie du flambage en domaine élastique. Si cette ma-



nière de procéder est correcte pour les pièces longues, elle n'a, par contre, aucun support théorique dans le domaine des pièces courtes où elle doit être considérée comme empirique. Et c'est précisément ce dernier domaine qui a le plus d'importance pratique. Wästlund et Bergström (18) ont même fait observer que la charge critique d'une barre est *indéterminée* dans le cas fréquent où la tension de compression pure $\sigma = P/\Omega$ est variable le long de cette barre. Il en est ainsi, par exemple, pour une pièce renforcée dans sa partie médiane (fig. 513). En effet, nous pouvons calculer la tension admissible en nous basant sur le tronçon central ou bien sur les tronçons latéraux, et les résultats obtenus par ces deux méthodes sont différents, comme on va le voir :

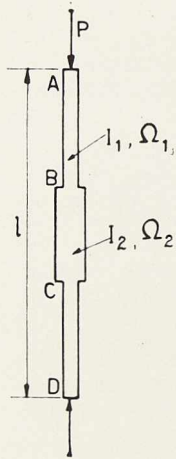


Fig. 513.

Supposons que la charge critique de l'ensemble soit de la forme

$$P_{cr} = \frac{k_1^2 EI_1}{l^2} = \frac{k_2^2 EI_2}{l^2}.$$

Les tensions critiques de flambage vaudront respectivement :

Dans le tronçon AB :

$$R_{cr}^{11} = \frac{k_1^2 EI_1}{l^2 \Omega_1} = \frac{k_1^2 E}{\lambda_1^2};$$

Dans le tronçon BC :

$$R_{cr}^{22} = \frac{k_2^2 EI_2}{l^2 \Omega_2} = \frac{k_2^2 E}{\lambda_2^2}$$

et on a visiblement

$$R_{cr}^{11} \Omega_1 = R_{cr}^{22} \Omega_2 = P_{cr}. \quad (18)$$

L'élanement de la pièce renforcée est, par définition, égal à celui d'une pièce fictive prismatique biarticulée qui aurait même tension critique $\pi^2 E/\lambda_r^2$, que le tronçon considéré de la pièce réelle. On trouve ainsi :

En prenant comme tronçon de référence le tronçon AB :

$$\lambda_{r1} = \frac{\lambda_1 \pi}{k_1};$$

En prenant comme tronçon de référence le tronçon BC :

$$\lambda_{r2} = \frac{\lambda_2 \pi}{k_2}.$$

On en déduit par le diagramme réglementaire les tensions admissibles au flambage :

R_{fl}^{11} dans le tronçon AB.

R_{fl}^{22} dans le tronçon BC.

Si le coefficient de sécurité au flambage était constant, les tensions admissibles R'_{fl} seraient entre elles dans le même rapport que les tensions critiques R'_{cr} et l'on aurait, d'après la formule (18)

$$P_{admissible} = R_{fl}^{11} \Omega_1 = R_{fl}^{22} \Omega_2,$$

c'est-à-dire que la charge admissible ne dépendrait pas du tronçon de la pièce sur lequel on s'est basé pour faire les calculs.

Mais, comme tous les règlements actuels font croître le coefficient de sécurité avec l'élanement, on a toujours

$$R_{fl}^{11} \Omega_1 < R_{fl}^{22} \Omega_2,$$

et la charge admissible de la barre dépend de la section droite qui a été considérée dans les calculs.

Les prescriptions basées sur les principes A ne peuvent donc être considérées comme rationnelles à ce point de vue (1).

c) *Au point de vue généralité*, les prescriptions découlant des principes A *laissent beaucoup à désirer* dès que la tension critique dans la pièce dépasse la limite d'élasticité. En effet, elles sont basées sur des essais, de sorte qu'elles ne peuvent s'appliquer directement à de nouvelles nuances d'acier ni aux métaux autres que le fer; il faut attendre qu'on ait réalisé des expériences de flambage sur ces nouveaux matériaux.

Ces prescriptions ne permettent pas non plus de prévoir la force portante dans le domaine plastique des barres à moment d'inertie variable ou des portiques, ni d'analyser les phénomènes d'instabilité plus complexes — tels que le flambage par flexion et torsion — pour lesquels il n'y a pas d'essais effectués et qu'il est impossible d'étudier théoriquement dans le domaine plastique.

(1) Il est facile de voir que la difficulté indiquée ci-dessus subsisterait si, au lieu de définir directement l'élanement de la pièce, on définissait sa longueur de flambage comme celle d'une pièce fictive biarticulée qui a même charge critique.



B. — *Le deuxième point de vue* du paragraphe 10 conduit à des prescriptions échappant à tous les inconvénients qui viennent d'être signalés. En effet :

a) Cette méthode de calcul donne, par son principe même, une sécurité réelle constante vis-à-vis de l'apparition des premières déformations plastiques;

b) Elle découle directement des doctrines générales de la résistance des matériaux et la seule hypothèse à choisir adéquatement est celle qui concerne la nature et grandeur des imperfections initiales;

c) Elle s'adapte directement sans calculs nouveaux aux aciers à haute résistance; elle a l'avantage de fournir une évaluation rationnelle de l'effort tranchant qui doit être pris en considération dans les pièces à treillis ou étrépillons. Enfin, elle s'étend aisément à l'analyse des cas les plus complexes d'instabilité et permet ainsi de rendre applicables aux pièces courtes les recherches théoriques qui n'étaient, jusqu'ici, valables que dans le domaine élastique. A titre d'exemple, nous montrerons, au paragraphe 17, comment on peut calculer pratiquement, par cette méthode, les pièces courtes ou longues soumises au flambage par flexion et torsion;

d) En ce qui concerne la facilité d'application pratique, constatons que les points de vue A et B ne diffèrent que dans le cas du flambage centrrique; il ne faut donc comparer que dans ce cas les prescriptions correspondantes. Or, par le praticien, elles sont rigoureusement équivalentes, puisqu'elles se traduisent toutes deux par un tableau donnant les valeurs numériques du coefficient de réduction de section φ pour tous les élancements (cf. § 16).

C. — Enfin, *le troisième point de vue*, tout en supprimant la discontinuité dans le coefficient de sécurité, laisse subsister les autres inconvénients entachant la première méthode.

On peut donc conclure de ce qui précède que le deuxième point de vue l'emportera nettement sur les deux autres.

(1) Nous n'essaierons pas d'attribuer la paternité de cette doctrine à un auteur déterminé. En fait, elle s'est dégagée petit à petit des recherches théoriques et expérimentales sur le flambage. Le premier essai d'expliquer le flambage par l'imperfection des pièces remonte à Marston (1897), comme l'indique Timoshenko dans son traité sur la stabilité élastique (pp. 180 à 185).

L'idée d'appliquer les imperfections, tant au flambage centrrique qu'au flambage non centrrique a été proposée successivement par Chwalla (1939), Aas Jakobsen (1946) et Dutheil (1947).

13. Examen critique des prescriptions belges de l'I. B. N. sur le flambage

A. Au point de vue pratique

Jusqu'à l'élancement $\lambda=105$, le diagramme $R_n=f(\lambda)$ proposé par l'I. B. N. constitue une moyenne des principaux règlements étrangers et n'appelle aucun commentaire. Par contre, les tensions admissibles dans le domaine des pièces longues sont nettement plus basses que celles admises dans les autres règlements. Ainsi, pour $\lambda=175$, les tensions admissibles sont les suivantes :

	R _n en kg/mm ²	Valeur en %
Règlement belge . . .	1,75	100
Règlement français . .	2,68	153
Projet allemand . . .	2,70	154
Règlement suisse . . .	2,50	143

Il semble qu'on ait trop diminué les tensions admissibles lors de la revision du règlement belge en 1937 et qu'il y ait lieu de faire marche arrière actuellement.

En ce qui concerne les pièces comprimées et fléchies, le Règlement de l'I. B. N. se borne à préconiser l'addition des tensions maxima de compression et de flexion selon la formule

$$\frac{N}{\Omega_n} + \frac{Mv}{I} k \leq R, \quad (19)$$

où la tension de flexion est majorée par un coefficient k destiné à tenir compte du danger de flambage latéral.

Bien que le coefficient k ne tienne pas compte adéquatement de ce danger et que les lois du flambage latéral soient bien connues actuellement, il paraît difficile d'améliorer la formule (19) sur ce point sans la compliquer exagérément.

A notre avis, c'est l'ensemble de la formule qui est à abandonner, parce qu'elle n'est pas justifiable rationnellement. Le supplément de tension dû à la déformation de la pièce devrait, en effet, s'appliquer, non pas au premier terme, mais au second.

Dans son commentaire de 1939 du Règlement allemand DIN 4114, le professeur Chwalla a montré que la condition (19) conduisait à de fortes erreurs, tant dans le sens de la sécurité que dans le sens opposé.

Il a comparé, dans les deux cas représentés à



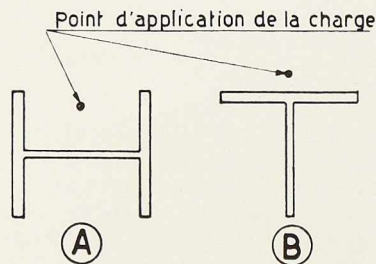


Fig. 514.

la figure 514, les résultats donnés par la formule (19) avec le calcul exact; il a trouvé :

Cas	Tension admissible en kg/mm ²		Erreur en %
	formule (19)	calcul exact	
A	6,85	9,45	- 27,5
B	5,08	4,55	+ 11,5

La comparaison de ces valeurs montre que la formule (19) ne peut fournir en général qu'une approximation grossière.

Si, pour des raisons de simplicité de calcul, on désire la maintenir, il serait cependant opportun de modifier le mode de calcul de la tension de flexion en envisageant le moment fléchissant au milieu et non pas le moment maximum. En effet, dans les colonnes d'ossatures, les moments varient linéairement le long de la barre et sont généralement de sens opposés aux extrémités (fig. 9), de sorte que les tensions maxima de flexion composée se produisent aux extrémités, tandis que les tensions maxima de flambage avec flexion ont lieu au voisinage de la section médiane.

Cette légère modification entraînerait une sérieuse économie de métal. Bien entendu, il devrait être obligatoire de procéder à part à la vérification des sections extrêmes de la colonne à la flexion composée selon la formule classique

$$\frac{N}{Q} + \frac{Mv}{I} \leq R. \quad (20)$$

Dans le Commentaire du Règlement belge de 1937, on rejetait la méthode de calcul des pièces comprimées et fléchies basée sur les lois de la résistance des matériaux en faisant justement observer qu'il n'y avait aucun sens à appliquer les formules de cette science pour une tension égale à la tension de rupture. Depuis lors, il est devenu classique de définir la sécurité par rap-

port à la limite apparente d'élasticité. La critique émise au sujet de la méthode de calcul en question n'est donc plus valable à l'heure actuelle et cette méthode devrait, selon nous, être adoptée comme base du calcul des pièces comprimées et fléchies.

B. Au point de vue doctrinal

Le Règlement de l'I. B. N. est fondé sur le premier point de vue défini au paragraphe 10 et en a tous les défauts, signalés au paragraphe 12. De plus, il nous paraît hybride au point de vue de sa conception de la sécurité; il adopte en effet, pour le calcul des pièces en treillis, la théorie de Gérard (R. U. M. 1913) qui est basée, qualitativement, sur la notion des imperfections initiales de ces pièces. Il y aurait certainement plus d'unité de doctrine si les pièces à âme pleine étaient, elles aussi, calculées sur la base de leurs imperfections initiales.

La théorie de Gérard a constitué en son temps un progrès remarquable et peut, certes, être encore utilisée à l'heure actuelle. Elle ne tient pas compte de la diminution de la charge critique due aux déformations sous l'effet de l'effort tranchant; par contre, elle exagère le déformement dû à la possibilité de flambage individuel des tronçons de membrure. On peut admettre que ces erreurs par défaut et par excès se compensent mutuellement.

Nous considérons que les théories du flambage des pièces en treillis proposées récemment par Dutheil (14 à 16), d'une part, Wästlund et Bergström (17) de l'autre, constituent un développement direct des idées de Gérard. Il faudrait, à notre avis, confronter les trois théories avec l'expérience pour pouvoir décider si la complication appréciable des formules récentes est compensée par un gain de précision suffisant.

14. Aménagement pratique des principes fondamentaux de la méthode de calcul basée sur la considération d'imperfections initiales

A. Nature de l'imperfection initiale

L'imperfection d'une barre soumise au flambage provient en général simultanément :

- De sa courbure initiale;
- De l'inhomogénéité du métal;
- Du centrage incorrect de la force de compression aux extrémités de la barre;
- Enfin, de forces transversales imprévues, telles que le vent, ou négligées, telles que le poids propre.



Il n'est pas raisonnablement possible de faire intervenir tous ces facteurs dans l'analyse du problème et il faut s'en tenir à une imperfection normalisée, qui représentera aussi bien que possible l'effet global de toutes les imperfections énumérées ci-dessus.

A ce sujet, on peut établir le résultat général suivant :

Quelles que soient les imperfections réelles de la barre, elle se comporte, sous une charge voisine de la charge critique élastique d'Euler, comme si elle possédait une déformée initiale affine à la déformée de flambage qu'elle prendrait si elle était parfaitement rectiligne.

Ainsi, pour étudier la résistance au flambage d'une pièce prismatique appuyée à ses deux extrémités, on a le droit de supposer que sa déformée initiale a pour expression

$$y_0 = f_0 \sin \frac{\pi x}{l}, \quad (21)$$

quelle que soit l'allure réelle de cette déformée.

La démonstration de l'affirmation ci-dessus nécessite des considérations mathématiques assez longues, de sorte que nous l'avons reportée en annexe.

B. Expression de la flèche initiale en fonction des dimensions de la barre

De nombreux expérimentateurs ont essayé d'évaluer la grandeur de l'imperfection des barres soumises au flambage en analysant tous les résultats expérimentaux auxquels on pouvait faire confiance.

Un certain nombre d'entre eux (Salmon, Kayser, Wästlund et Bergström) admettent que la flèche initiale de la barre est proportionnelle à sa longueur. Dans son traité sur la stabilité élastique (8), Timoshenko fait la synthèse des études parue avant 1936 et propose d'adopter la valeur

$$f_0 = \frac{l}{400}. \quad (22)$$

Dans cette hypothèse, une barre massive et une barre élancée de même longueur auraient même flèche initiale. Or, il est reconnu que les barres élancées présentent d'habitude des défauts plus grands que les barres massives, par suite des déformations permanentes qu'elles peuvent subir accidentellement pendant l'usinage, le transport et le montage. En outre, elles sont plus sensibles que les barres massives à une excentricité de la charge.

Pour tenir compte de ces circonstances, Jansinsky a proposé, dès 1894, d'adopter comme flèche initiale une expression mixte de la forme

$$f = \frac{r}{10} + \frac{l}{750} \quad (23)$$

où $r = i^2/v$ est le rayon du noyau central de la section droite, i le rayon d'inertie correspondant au plan de flambage, et v la distance de la fibre extrême à l'axe neutre.

Le projet de règlement allemand DIN 4114, dans sa rédaction de 1943 due au professeur Chwalla, se base sur une excentricité initiale de la même forme, soit

$$e = \frac{20}{i} + \frac{l}{500}. \quad (24)$$

L'inconvénient des expressions (22, 23, 24) ci-dessus est de conduire à une courbe de la tension critique en fonction de l'élanement qui dépend de la forme de la section droite de la barre (voir § 8, *in fine*). Cette circonstance complique appréciablement l'application pratique de la méthode de calcul.

Pour obtenir une expression de R'_{cr} qui ne dépende pas de la forme de la section mais seulement de l'élanement, plusieurs auteurs ont adopté une imperfection initiale de la forme

$$f_0 \text{ ou } e = K \frac{l^2}{v}. \quad (25)$$

Ainsi, le projet de règlement allemand DIN 4114 (6), dans sa première version de 1939, était basé sur une excentricité inévitable de cette forme.

Aas Jakobsen (10), en 1946, propose de prendre une flèche initiale telle que $f_0 v/i^2$ soit indépendant de la section droite.

Enfin, Dutheil (16), en 1947, suppose que la flèche initiale est de la forme

$$f_0 = \beta \frac{l^2}{v}. \quad (26)$$

Il est facile de voir que l'expression (26) correspond à l'hypothèse que le rayon de courbure minimum que présente en son milieu la déformée initiale

$$y_0 = f_0 \sin \frac{\pi x}{l}$$

est proportionnel à l'épaisseur de la barre, c'est-à-dire que les barres élancées ont une courbure plus forte que les barres massives de même longueur. Cette hypothèse est en bon accord avec

les considérations que nous avons développées ci-dessus.

Il importe de souligner, en terminant cette revue des différentes formes d'imperfections proposées, que l'hypothèse faite sur f_0 n'influe que très faiblement sur la forme du diagramme $R'_{cr} = f(\lambda)$. Pour s'en convaincre, il suffit d'examiner les diagrammes reproduits dans le traité de Timoshenko (8), pages 180 à 185.

Nous ne désirons pas trancher ici quelle est l'expression la plus adéquate de la flèche initiale, parce que nous estimons qu'il serait nécessaire de procéder auparavant à une étude statistique complète du problème et que la décision finale devrait être prise par une commission spécialement réunie dans ce but.

A cet égard, nous remarquerons qu'il n'est pas suffisant de mesurer la courbure géométrique de la pièce, puisque f_0 doit tenir compte également du manque d'homogénéité du matériau et de l'excentricité des efforts.

Il y a un excellent moyen d'obtenir f_0 , c'est de mesurer, dans chaque essai de flambage, les valeurs que prend la flèche transversale supplémentaire f_1 (1) pour diverses valeurs de la force de compression P , puis de tracer le diagramme ($f_1 f_1/P$) (fig. 515). Southwell a montré que tous

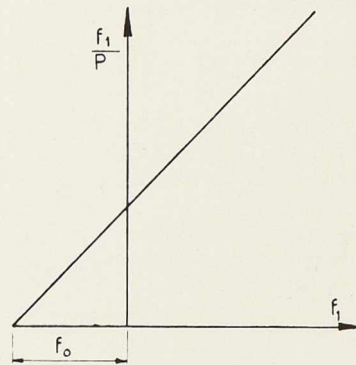


Fig. 515.

les points de ce diagramme tombaient sur une ligne droite dont l'abscisse, à l'origine, était précisément la valeur de la flèche initiale globale f_0 .

Il est donc à souhaiter qu'à l'avenir, dans la relation d'essais de flambage, on publie toujours les valeurs des flèches transversales prises par la barre sous une série de charges croissantes.

Il faudrait cependant prendre garde, avant d'utiliser ces valeurs, à la manière dont ces essais

(1) f_1 est la seule flèche mesurable expérimentalement; elle est liée aux flèches f_c et f par la relation évidente $f_1 = f - f_0$.

ont été effectués; en effet, il est devenu de règle, dans les essais de flambage en laboratoire, de régler la position des appuis de manière à obtenir des déplacements transversaux sous charge aussi faibles que possible. On essaie ainsi de compenser l'imperfection initiale de la barre par une excentricité voulue de la charge de manière à faire disparaître l'effet de la première déformée critique $y = A \sin \pi x/l$ (cf. annexe). C'est la raison pour laquelle on obtient, dans ces essais, des diagrammes (P, f_1) d'allure bizarre et dépendant fortement des déformées critiques d'ordre supérieur. Il est évident que la détermination de la flèche globale n'a de valeur que si l'on n'effectue aucun réglage du genre décrit ci-dessus.

15. Exemple d'application des principes généraux de calcul des pièces soumises au flambage. Les règles françaises C. M. 1946

A titre d'exemple de l'utilisation des principes généraux énoncés au paragraphe 10, B, nous rappelons ci-dessus la méthode de calcul proposée par Dutheil, tant pour le calcul des barres comprimées centriquement que des barres comprimées et fléchies. Pour faciliter la compréhension, nous avons utilisé les notations recommandées par l'I. B. N. ainsi que les valeurs utilisées en Belgique pour le taux de travail ($R = 14 \text{ kg/mm}^2$) et la limite apparente d'élasticité à la compression $R'_e = 25 \text{ kg/mm}^2$. De plus, notre exposé diffère légèrement de celui de Dutheil pour les pièces comprimées et fléchies.

Pour éviter tout malentendu, rappelons une fois encore que, dans tout ce qui suit, on suppose que la déformation de la barre est parfaitement élastique.

Quel que soit le mode d'appui de la barre à ses extrémités, sa charge critique élastique peut se mettre sous la forme

$$P_E = \frac{\pi^2 EI}{l_n^2}, \quad (27)$$

où l_n est la longueur de flambage du cas envisagé.

Il est clair que P_E ne joue ici que le rôle d'un paramètre de référence; l'analyse qui suit s'applique donc à toutes les pièces, qu'elles soient courtes ou longues.

A. Flambage centré

Dutheil admet que la flèche initiale de la barre est de la forme

$$f_0 = \beta \frac{l_n^2}{v}. \quad (26)$$



En remplaçant dans la formule (16) f_0 et P_E par leurs expressions (26) et (27), on trouve

$$\frac{sP}{\Omega} + \frac{sP\pi^2\beta E}{P_E - sP} = R_e'. \quad (28)$$

Le quotient sP/Ω est la tension moyenne critique de flambage R'_{cr} . Quant à la quantité $\pi^2\beta E$, qui caractérise l'imperfection de la pièce, elle a les dimensions d'une tension et l'on posera

$$\pi^2\beta E = R_0. \quad (29)$$

En introduisant ces deux notations dans la formule (28) et en divisant la seconde fraction haut et bas par Ω , on obtient, en ordonnant par rapport à R'_{cr}

$$R_{cr}'^2 - (R_0 + R_E' + R_e')R_{cr}' + R_E'R_e' = 0.$$

pour la résoudre, on pose

$$R_4 = \frac{1}{2}(R_0 + R_E' + R_e') \quad (30)$$

et on obtient R'_{cr} en prenant la plus petite des deux racines, soit

$$R_{cr}' = R_4 - \sqrt{R_4^2 - R_E'R_e'}. \quad (31)$$

Application à l'acier 37 :

Le règlement français basé sur les idées de Dutheil a adopté comme limite supérieure des imperfections de la pièce $\beta = 4,8 \cdot 10^{-5}$, d'où $R_0 = 10 \text{ kg/mm}^2$. La limite apparente d'élasticité de l'acier 37 est $R_e' = 25 \text{ kg/mm}^2$. Enfin, la tension critique élastique d'Euler dépend de l'élanement selon la formule connue

$$R_E' = \frac{\pi^2 E}{\lambda_r^2}. \quad (32)$$

On peut, dès lors, pour chaque valeur de l'élanement, calculer la tension moyenne critique de flambage R'_{cr} par la formule (31). La tension moyenne admissible au flambage R'_{fl} s'en déduit en divisant R'_{cr} par le coefficient de sécurité $s = 25/14$:

$$R_{fl}' = \frac{14}{25} R_{cr}'. \quad (33)$$

Enfin, le coefficient de réduction pour le flambage utilisé par le règlement de l'I. B. N. vaudrait ici, par définition,

$$\varphi = \frac{R_{fl}'}{R} = \frac{14}{25} \frac{R_{cr}'}{R}. \quad (34)$$

On peut donc aisément dresser un tableau numérique donnant φ en fonction de l'élanement, comme dans le règlement de l'I. B. N. (cf. § 16).

B. Flambage avec flexion

(La présentation qui suit diffère légèrement de celle de Dutheil.)

Le phénomène de flambage avec flexion est régi par la formule (17) du paragraphe 9. Introduisons comme en A les notations

$$\frac{sP}{\Omega} = R_{cr}', \quad f_0 = \frac{\beta l_{fl}^2}{v}, \quad \pi^2\beta E = R_0, \quad \frac{P_E}{\Omega} = R_E' \quad (35)$$

et la notation nouvelle

$$\frac{M_0 v}{I} = R_f; \quad (36)$$

on trouve

$$R_{cr}' + \frac{R_{cr}' R_0}{R_E' - R_{cr}'} + sR_f \left(1 + \frac{R_E' - R_{cr}'}{2R_{cr}'}\right) = R_e'$$

Chassons les dénominateurs et ordonnons; il vient

$$R_{cr}'^2 - R_{cr}' [R_E' + R_e' + R_0 + sR_f(\alpha - 1)] + R_E'R_e' - sR_f R_E' = 0.$$

Posons

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{1}{2} [R_E' + R_e' + R_0 + sR_f(\alpha - 1)] &= R_5 \\ R_e' - sR_f &= R_6 \end{aligned} \right. \quad (37)$$

$$\left\{ \begin{aligned} R_E' - sR_f &= R_6 \end{aligned} \right. \quad (38)$$

l'égalité ci-dessus s'écrit

$$R_{cr}'^2 - 2R_5 R_{cr}' + R_E'R_6 = 0,$$

d'où l'on déduit

$$R_{cr}' = R_5 - \sqrt{R_5^2 - R_E'R_6}. \quad (39)$$

L'effort de compression $P_{cr} = \Omega R'_{cr}$ produit donc l'affaissement de la pièce.

En pratique, on peut vérifier la résistance de la pièce de plusieurs manières différentes; la façon la plus simple, à notre avis, est de se baser sur la tension admissible et d'écrire

$$\frac{P}{\Omega} \leq R_{fl}' = \frac{R_{cr}'}{s}. \quad (40)$$

Le règlement français préfère se référer au taux de travail habituel de traction simple R ; pour obtenir la condition de sécurité sous cette forme, il suffit de remplacer le coefficient de sécurité s par R_e'/R , puis d'écrire l'inégalité (40) sous la forme.

$$\frac{R_e'}{R_{cr}'} \frac{P}{\Omega} \leq R \quad \text{ou encore} \quad k \frac{P}{\Omega} \leq R. \quad (41)$$



Le coefficient k de majoration de la tension moyenne de compression simple vaut

$$k = \frac{R_{cr'}}{R_e'} = \frac{R_e'}{R_5 - \sqrt{R_5^2 - R_e' R_6}} \quad (42)$$

Si, au contraire, on préfère réduire la section droite de la pièce comme dans le règlement de l'I. B. N., le coefficient de réduction φ à introduire vaut $1/k$.

Quelle que soit la méthode adoptée, on peut, par raison de simplification, donner au coefficient α la valeur maximum résultant du tableau du paragraphe 6, soit $\alpha = 1,234$.

Si l'on introduit les valeurs

$$R_e' = 25 \text{ kg/mm}^2; \quad R_0 = 10 \text{ kg/mm}^2$$

$$s = \frac{25}{14}; \quad \alpha - 1 = 0,234$$

dans les formules (37), (38) et (42), on constate que le coefficient k (ou φ) ne dépend plus que de la tension critique d'Euler R_E' et de la tension de flexion simple R_f ; on peut donc construire un abaque (fig. 516) donnant k en fonction de λ pour diverses valeurs de R_f . Cet abaque permet de résoudre très rapidement tous les problèmes de flambage avec flexion.

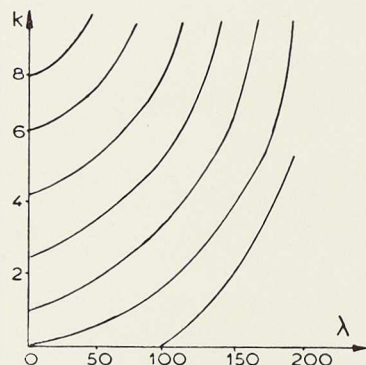


Fig. 516.

Le règlement français donne des abaques de ce genre (14), mais construits sur un principe un peu différent.

16. Comparaison du règlement belge de l'I. B. N. avec les règles françaises C. M. 1946

Nous donnons, dans le tableau ci-dessous, les valeurs du coefficient φ calculées pour l'acier 37 puis pour l'acier 52, selon :

- a) Le règlement de l'I. B. N.;
- b) Le projet de nouveau règlement de l'I. B. N., actuellement à l'étude;
- c) Les règles françaises C. M. 1946.

Elancement	20	40	60	80	100	120	140	160	175
Acier a)	0,95	0,83	0,71	0,59	0,46	0,34	0,22	0,17	0,12
37 b)	1,00	0,87	0,74	0,61	0,49	0,33	0,22	0,16	0,12
c)	0,98	0,91	0,79	0,63	0,48	0,36	0,28	0,22	0,18
Acier b)	1,00	0,85	0,69	0,54	0,34	0,22	0,15	0,10	0,08
52 c)	0,97	0,87	0,68	0,49	0,35	0,26	0,19	0,15	0,13

Comme nous l'avons déjà fait observer au paragraphe 13, le règlement français est nettement plus avantageux que le nôtre pour les barres d'élanement supérieur à 100, surtout que le taux de travail français est $14,4 \text{ kg/mm}^2$ au lieu de 14 kg/mm^2 en Belgique.

Soulignons que, malgré les perfectionnements qu'il apporte, le règlement français ne donne pas de surcroît de calcul pour le praticien. En effet, il ressort du tableau numérique ci-dessus que, pour les pièces soumises au flambage centré, on lit directement le coefficient de réduction φ dans une table, dans un règlement comme dans l'autre.

Pour les pièces comprimées et fléchies, il faut d'abord, dans les deux règlements, calculer la tension de flexion simple σ_f et l'élanement de la barre. Ensuite, selon le règlement belge, il faut lire le coefficient de réduction φ en regard de λ dans la table *ad hoc* puis vérifier l'inégalité

$$\frac{\varphi \Omega}{P} + k \sigma_f \leq R,$$

selon le règlement français (cf. § 15), il faut lire le coefficient de réduction φ sur l'abaque adéquat, en regard de λ et σ_f , puis vérifier la condition

$$\frac{\varphi \Omega}{P} \leq R.$$

17. Extension de la méthode de calcul aux phénomènes de flambage par flexion et torsion. Etablissement d'une formule générale simple pour le calcul de la force portante

On a démontré à l'annexe que, pour des charges voisines de la charge critique (élastique), tout se passait comme si la déformée initiale de la pièce était affine à sa première déformée critique. Par conséquent, lorsqu'une pièce peut



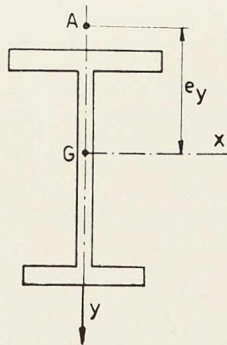


Fig. 517.

flamber selon deux modes distincts, nous avons le droit de supposer que, dans chacun de ces modes, elle présente effectivement une courbure initiale affine à la première déformée critique de ce mode (première hypothèse).

Pour fixer les idées, considérons une colonne à section en double té à ailes inégales, comprimée par une force P appliquée au point A de coordonnées (O, e_y) (fig. 517).

A. L'affaissement de la colonne peut se produire par flexion dans le plan Gy (premier mode).

B. Mais, si le moment d'inertie I_y est suffisamment faible vis-à-vis de I_x , il peut se produire un flambage pur de la pièce dans le plan Gx par flexion accompagnée de torsion (deuxième mode). Ce phénomène de flambage latéral par flexion et torsion a été étudié par le professeur Timoshenko dans son mémoire traduit par nous et publié dans la présente revue, nos 7-8 et 9, 1947. Soit P_0 la charge critique de flambage correspondante.

Pour décider de celui des phénomènes A ou B qui se produira effectivement, il faut comparer les forces portantes qui y correspondent.

Dans la conception classique des pièces parfaites, cette comparaison est quasi impossible, même pour une colonne très élancée, parce qu'on doit comparer une force portante avec une charge critique et que les coefficients de sécurité à prendre dans les deux cas ne sont pas les mêmes.

Si, au contraire, on suppose la colonne imparfaite, la comparaison des deux forces portantes se fait aisément :

A. La force portante correspondant à la flexion composée dans le plan Gy s'évaluera, par exemple, en appliquant les formules données au paragraphe 15.

B. Pour évaluer la force portante correspondant au flambage par flexion et torsion, il faut d'abord faire une hypothèse concernant la grandeur de l'imperfection de la colonne. Cette hypothèse n'est pas arbitraire, mais doit concorder avec celle faite à propos du flambage eulérien.

Pour simplifier l'analyse ultérieure, imaginons que la déformation initiale de la colonne soit produite par des forces extérieures fictives de grandeur convenable ⁽¹⁾. Dans ces conditions, la grandeur de l'imperfection est mesurée par celle

de la tension maximum R_0 provoquée par ces forces fictives dans la fibre la plus sollicitée de la colonne.

Il est logique d'admettre que cette tension R_0 est la même que dans le flambage eulérien par flexion seule. Nous supposons, en d'autres termes, que la tension R_0 , qui mesure l'imperfection de la barre, ne dépend pas du mode de flambage de cette dernière ⁽²⁾ (deuxième hypothèse).

Si, avec Timoshenko, nous adoptons $l/400$ comme flèche initiale inévitable, la déformée initiale a pour équation

$$y_0 = \frac{l}{400} \sin \frac{\pi x}{l}.$$

le moment fléchissant fictif correspondant vaut

$$M(x) = -EI \frac{d^2 y_0}{dx^2} = \frac{\pi^2 EI}{400} \sin \frac{\pi x}{l}.$$

La tension caractéristique dans la fibre extrême de la section médiane, distante de v de l'axe neutre, vaut

$$R_0 = \frac{M_{\max} v}{I} = \frac{\pi^2 E v l}{400}.$$

Si, au contraire, nous adoptons l'hypothèse de Duthéil, selon laquelle $f_0 = \beta l^2/v$, la déformée initiale s'écrit

$$y_0 = \beta \frac{l^2}{v} \sin \frac{\pi x}{l}.$$

Le moment correspondant vaut

$$M(x) = \frac{\pi^2 \beta EI}{v} \sin \frac{\pi x}{l}$$

et la tension caractéristique est

$$R_0 = \frac{M_{\max} v}{I} = \pi^2 \beta E.$$

Le Règlement français a adopté pour les pièces de construction

$$R_0 = 10 \text{ kg/mm}^2$$

Si, à présent, nous appliquons à la colonne la force de compression P excentrée de e_y , elle se déforme par affinité en vertu de l'hypothèse 1 et l'effet de P est de faire grandir tous les déplacements, déformations et tensions dans le rapport (cf. annexe) :

⁽¹⁾ Nous avons le droit de faire cette supposition, puisqu'un système élastique se comporte de la même façon sous une force de compression, que sa forme initiale soit sa forme naturelle ou bien qu'elle soit une déformée produite par des forces transversales seulement (cf. Annexe).

⁽²⁾ Il est bien entendu que R_0 est une tension purement fictive, puisque la déformée initiale de la barre correspond à son état naturel non contraint.

$$\frac{P_0}{P_0 - P} \cdot$$

En particulier, la tension dans la fibre la plus sollicitée devient

$$R_0 \frac{P_0}{P_0 - P} \cdot$$

Elle s'accroît donc, sous l'effet de P, de la quantité

$$R_0 \frac{P_0}{P_0 - P} - R_0 = R_0 \frac{P}{P_0 - P} \cdot$$

Si l'on se rappelle que la tension initiale R_0 n'était pas une tension réelle, mais simplement une « tension caractéristique » destinée à mesurer la grandeur de la courbure initiale, on voit que la tension réelle évoquée au point le plus sollicité de la colonne par suite de ses imperfections vaut

$$R_0 \frac{P}{P_0 - P} \cdot$$

Pour obtenir la tension totale en ce point, il faut évidemment ajouter à l'expression ci-dessus la tension de flexion composée

$$\frac{P}{\Omega} + \frac{Pe_y}{\left(\frac{I}{v}\right)_y},$$

provoquée par la force P dans la pièce supposée parfaitement droite.

En accord avec ce qui précède (§ 6, A), nous devons admettre que la force portante sP de la colonne est atteinte lorsque la tension totale atteint la limite apparente d'élasticité R_e' ; cette force portante satisfait donc à l'égalité

$$R_0 \frac{sP}{P_0 - sP} + \frac{sP}{\Omega} + \frac{sPe_y}{\left(\frac{I}{v}\right)_y} = R_e' \cdot$$

En divisant les deux membres par le coefficient de sécurité s , on voit que la charge admissible P satisfait à l'égalité

$$R_0 \frac{P}{P_0 - sP} + \frac{P}{\Omega} + \frac{Pe_y}{\left(\frac{I}{v}\right)_y} = R, \quad (43)$$

d'où la règle générale :

Une barre comprimée excentriquement résiste avec sécurité au flambage par flexion et torsion tant que la somme de la tension maximum de flexion composée calculée sans tenir compte des déformations élastiques et de la tension complémentaire

$$R_0 \frac{P}{P_0 - sP}$$

ne dépasse pas le taux de travail R du matériau.

La seule difficulté dans l'application de cette règle concerne la charge critique élastique P_0 , dont l'expression est assez complexe [cf. (12)].

Nylander (19), a établi, pour les poutrelles normales et à larges ailes, des abaques qui facilitent considérablement son calcul.

REMARQUES :

1. La théorie s'étend directement au cas où la force P serait excentrique dans les plans Gx et Gy simultanément.

2. La théorie ci-dessus a été faite dans le cas où les excentricités de la force P étaient les mêmes aux deux extrémités de la barre (fig. 518A). Dans les ossatures à nœuds rigides, on rencontre généralement le cas plus complexe où ces excentricités e_1 et e_2 sont différentes (fig. 518 B et C).

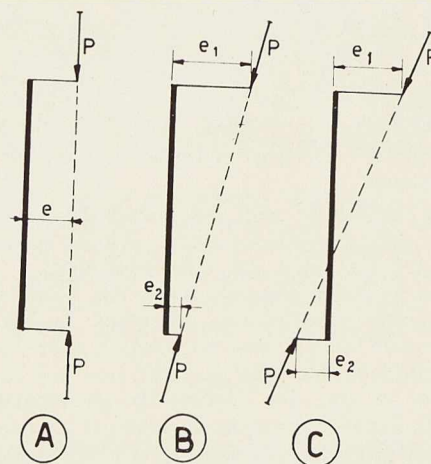


Fig. 518.

Sur la base de l'étude approchée que nous avons faite dans un mémoire antérieur (13), nous proposons de remplacer l'excentricité variable de e_1 à e_2 par une excentricité constante équivalente e définie par la formule

$$e^2 = \left(\frac{e_1 + e_2}{2}\right)^2 + 0,05(e_1 - e_2)^2. \quad (44)$$

Cette relation a été déduite de la formule (61) de notre mémoire cité, en adoptant pour simplifier $\alpha' = 1$, ce qui donne toute sécurité.

La formule

$$\frac{e}{e_1} = 0,6 + \frac{e_2}{e_1} \left(0,5 - 0,1 \frac{e_2}{e_1}\right)$$



proposée par Nylander (19) ne peut, à notre avis, pas être retenue parce que, pour $e_1 = -e_2$, elle donne $e = 0$; cela signifierait que les excentricités e_1 et e_2 ne jouent aucun rôle quand elles sont égales et opposées, ce qui est contredit par les résultats obtenus dans notre mémoire cité.

18. Conclusions

Dans ce qui précède, nous avons exposé les raisons qui, selon nous, justifieraient un remaniement des prescriptions belges sur le flambage, en essayant de faire ressortir les avantages techniques, pédagogiques et économiques que présentent, par rapport aux prescriptions actuelles, les règles de calcul basées sur la considération des imperfections initiales des barres.

Nous n'avons voulu que prendre une position de principe, sans entrer dans les détails d'application. C'est pourquoi nous n'avons pas voulu faire choix de l'expression la plus adéquate à donner aux imperfections. Cette question est, à notre avis, du ressort d'une commission de spécialistes, qui ne devrait se prononcer qu'après avoir pesé soigneusement toutes les données expérimentales existantes.

L'avantage technique des principes proposés est de fournir une méthode de dimensionnement plus précise, tout en attirant l'attention des constructeurs sur le rôle capital des imperfections des pièces et sur la nécessité de les réduire par une exécution aussi soignée que possible.

Leur avantage pédagogique est de conduire à une doctrine parfaitement homogène, qui permet d'aborder aisément les cas les plus compliqués. Cet avantage ressort de l'analyse que nous avons donnée d'un cas complexe de flambage par flexion et torsion; il apparaît aussi d'une manière particulièrement nette dans l'étude des pièces en treillis ou étré sillonnées; nous n'avons pas abordé cette étude dans la présente note, mais le lecteur pourra se reporter sur ce point aux travaux de Dulheil (14) à (17) ou de Wästlund et Bergström (18).

Enfin, les principes proposés conduisent à une sensible économie d'acier pour les pièces longues chargées centriquement, ainsi que pour les pièces comprimées et fléchies.

Nous ne prétendons certes pas que ces principes soient à l'abri de toute critique car, pour rester simple, il faut schématiser la réalité complexe des phénomènes, donc s'en écarter plus ou moins.

La principale objection que nous leur adressons nous-même est la suivante :

Nous avons montré en annexe que, au fur et

à mesure que la force de compression se rapproche de la charge critique *élastique*, la déformation de la pièce se « purifie » de plus en plus, pour s'identifier finalement avec la première déformée critique de flambage. Ce phénomène de « purification » peut effectivement se produire dans les pièces longues, dont la force portante réelle est voisine de la charge critique élastique d'Euler; mais il ne peut être qu'incomplet dans le cas des pièces courtes, car la charge maximum que ces pièces peuvent supporter est d'autant plus inférieure à la charge critique élastique d'Euler que l'élançement de la barre est plus faible.

Il se fait, heureusement, que plus le rapport P_{\max}/P_E est faible, moins le terme correctif $P_{\max}/(P_E - P_{\max})$ a d'importance, de sorte qu'une erreur relative même grande sur ce terme n'a qu'un effet négligeable dans l'ensemble.

Nous signalerons, pour terminer, que des règles basées sur le concept d'imperfection initiale sont déjà en vigueur en France, pour tous les travaux privés ou dépendant du Ministère de la Reconstruction et de l'Urbanisme. En Suède, la modification du règlement actuel est réclamée par plusieurs spécialistes en renom tels que Aas Jakobsen, Wästlund et Bergström, Nylander.

ANNEXE

Justification de l'adoption d'une déformée affine à la déformée de flambage comme imperfection standard

Envisageons de manière générale les phénomènes d'instabilité *élastique* que peut présenter une pièce de forme quelconque; ces phénomènes se présenteront quand il pourra exister, sous une valeur déterminée des forces extérieures, plusieurs formes d'équilibre infiniment voisines.

Pour décrire la déformation élastique de la pièce, nous devons faire choix de diverses coordonnées, qui jouent le même rôle que le déplacement transversal y d'une section courante dans le cas du flambage par flexion d'une pièce comprimée.

Appelons, en général, u, v, w, \dots , ces coordonnées; limitons-nous au cas où elles ne dépendent que d'une seule variable indépendante x représentant, par exemple, l'abscisse de la section ⁽¹⁾.

Les forces extérieures sont supposées grandir toutes proportionnellement; leur grandeur est

⁽¹⁾ Pour les plaques, on aurait deux variables indépendantes x et y .



alors entièrement définie par celle de l'une d'entre elles, soit P.

Les équations d'équilibre de la pièce déformée sont en général n équations simultanées aux dérivées partielles. Ces équations sont *linéaires*, parce que les déformations additionnelles du système sont supposées infiniment petites, et *homogènes*, parce que la pièce est supposée n'avoir aucune imperfection initiale amorçant l'instabilité.

Dans les cas simples, on obtient ces équations en exprimant les conditions d'équilibre de longueur dx de la pièce.

Il existe une méthode tout à fait générale pour les établir, qui est basée sur le fait qu'au moment où la charge critique est atteinte, l'énergie potentielle totale (V-T) ne varie pas quand la pièce prend une déformation de flambage infinitésimale respectant les conditions d'appui. Dans ce cas, les équations d'équilibre s'obtiennent comme équations d'Euler de ce problème de calcul des variations.

Quoi qu'il en soit, le système d'équations contient la force extérieure de référence P à l'état de paramètre.

On sait qu'un tel système n'admet de solution que pour une série discrète de valeurs de P, appelées valeurs propres, singulières ou fondamentales (en allemand *Eigenwerte*). Du point de vue technique, ces valeurs sont les charges critiques de flambage. La plus faible, $P_{cr}^{(1)}$, seule, a un sens physique et constitue la charge critique du praticien. Les suivantes, $P_{cr}^{(2)}$, $P_{cr}^{(3)}$, ..., correspondent à des phénomènes instables, mais jouent un rôle important dans l'analyse qui suit.

A chaque charge critique correspond une déformée de flambage bien déterminée de la pièce, dont l'amplitude seule est indéterminée. Nous les appellerons les déformées critiques ⁽¹⁾. On a ainsi :

Sous $P_{cr}^{(1)}$, la déformée critique n° 1, définie par les fonctions critiques $u = u^{(1)}(x)$; $v = v^{(1)}(x)$; $w = w^{(1)}(x)$; ...

Sous $P_{cr}^{(2)}$, la déformée critique n° 2, définie par les fonctions critiques $u = u^{(2)}(x)$; $v = v^{(2)}(x)$; $w = w^{(2)}(x)$; ...

etc.

Soient maintenant $u_0(x)$, $v_0(x)$, $w_0(x)$, ..., les fonctions représentant la déformée initiale que la pièce présente inévitablement. Il faut entendre par là une déformée globale ou équivalente,

⁽¹⁾ Ces déformées critiques correspondent aux fonctions propres ou fondamentales de l'analyse infinitésimale (en allemand *Eigenfunktion*).

tenant compte de l'excentricité des forces appliquées et de l'inhomogénéité du matériau.

Nous supposons qu'on peut développer ces fonctions en séries de fonctions critiques ⁽¹⁾, c'est-à-dire qu'on peut écrire

$$\left. \begin{aligned} u_0(x) &= A_1 u^{(1)}(x) + A_2 u^{(2)}(x) + \dots \\ v_0(x) &= B_1 v^{(1)}(x) + B_2 v^{(2)}(x) + \dots \\ w_0(x) &= C_1 w^{(1)}(x) + C_2 w^{(2)}(x) + \dots \end{aligned} \right\} \quad (45)$$

Dans ces conditions, on peut démontrer ⁽²⁾ que la pièce chargée des forces extérieures subit les déformations u , v , w , ..., donnée par les formules

$$\left. \begin{aligned} u(x) &= A_1 u^{(1)} \frac{P_{cr}^{(1)}}{P_{cr}^{(1)} - P} + A_2 u^{(2)} \frac{P_{cr}^{(2)}}{P_{cr}^{(2)} - P} \\ &\quad + A_3 u^{(3)} \frac{P_{cr}^{(3)}}{P_{cr}^{(3)} - P} + \dots \\ v(x) &= B_1 v^{(1)} \frac{P_{cr}^{(1)}}{P_{cr}^{(1)} - P} + B_2 v^{(2)} \frac{P_{cr}^{(2)}}{P_{cr}^{(2)} - P} \\ &\quad + B_3 v^{(3)} \frac{P_{cr}^{(3)}}{P_{cr}^{(3)} - P} + \dots \\ w(x) &= C_1 w^{(1)} \frac{P_{cr}^{(1)}}{P_{cr}^{(1)} - P} + C_2 w^{(2)} \frac{P_{cr}^{(2)}}{P_{cr}^{(2)} - P} \\ &\quad + C_3 w^{(3)} \frac{P_{cr}^{(3)}}{P_{cr}^{(3)} - P} + \dots \end{aligned} \right\} \quad (46)$$

En d'autres termes, chaque déformée critique intervenant à titre de composante dans la déformée initiale de la pièce se voit amplifiée dans le rapport

$$\frac{P_{cr}^{(j)}}{P_{cr}^{(j)} - P},$$

qui ne dépend que de l'ordre j de la déformée en question.

A présent, notons que, sauf exception, les charges critiques successives $P_{cr}^{(1)}$, $P_{cr}^{(2)}$, ..., sont fort différentes; ainsi, dans le cas du flambage eulérien d'une pièce chargée de bout, ces charges valent

$$\left. \begin{aligned} P_{cr}^{(1)} &= \frac{\pi^2 EI}{l^2}, \quad P_{cr}^{(2)} = \frac{4\pi^2 EI}{l^2}, \\ P_{cr}^{(3)} &= \frac{9\pi^2 EI}{l^2}, \quad \dots \end{aligned} \right\} \quad (47)$$

⁽¹⁾ Ces développements sont certainement possibles dans le cas fréquent où les fonctions critiques sont de la forme $K \sin n\pi x/l$, car elles forment alors une suite complète de fonctions orthogonales. Mais on ne peut affirmer qu'il en est de même dans le cas général.

⁽²⁾ Voir la référence 2, théorème 8, pages 59 à 64.



et augmentent comme les carrés des nombres entiers successifs. Par conséquent, au fur et à mesure que l'effort de référence P augmente et se rapproche de la valeur $P_{cr}^{(4)}$ (qu'il ne peut d'ailleurs pas atteindre), le rapport

$$\frac{P_{cr}^{(4)}}{P_{cr}^{(4)} - P} \quad (48)$$

prend une importance de loin prépondérante vis-à-vis des rapports analogues intervenant dans les autres termes.

Si, pour fixer les idées, nous reprenons le cas de la pièce biarticulée chargée de bout, nous trouvons les valeurs suivantes :

$\frac{P_{cr}^{(1)}}{P}$	$\frac{P_{cr}^{(1)}}{P_{cr}^{(1)} - P}$	$\frac{P_{cr}^{(2)}}{P_{cr}^{(2)} - P}$	$\frac{P_{cr}^{(3)}}{P_{cr}^{(3)} - P}$
0	1	1	1
0,2	1,250	1,052	1,022
0,4	1,667	1,100	1,046
0,6	2,500	1,176	1,071
0,8	5,000	1,250	1,098
0,9	10,000	1,290	1,111

Il résulte de là que, si la force portante P est suffisamment voisine de la première charge critique $P_{cr}^{(1)}$, l'effet des deuxième, troisième, ..., termes dans les séries (46) est négligeable devant le premier terme au moment de l'éroulement de la pièce. Autrement dit, seule la composante de la déformée initiale, qui est affine à la première déformée critique, joue à ce moment un rôle appréciable. On peut donc se borner à conserver ce seul terme, ce qui revient à faire

$$A_2 = A_3 = \dots = 0; \quad B_2 = B_3 = \dots = 0; \\ C_2 = C_3 = \dots = 0$$

dans les formules (45); celles-ci se réduisent alors à

$$u_0 = Au^{(1)}; \quad v_0 = Bv^{(1)}; \quad w_0 = Cw^{(1)}; \quad \dots \quad (49)$$

d'où le

THÉORÈME 1. *Au point de vue de la résistance au flambage, tout se passe comme si la déformée initiale u_0, v_0, w_0, \dots , de la pièce était affine à sa première déformée critique.*

Remarquons à présent que nous n'avons pas spécifié à quoi était due cette déformée initiale; elle peut représenter l'état naturel non contraint de la pièce, ou bien un premier état de déformation dû à des forces transversales constantes appliquées au préalable.

Cette remarque nous permet d'énoncer le théorème suivant, dont la validité est tout à fait générale :

THÉORÈME 2 : *Un système élastique en danger d'instabilité se comporte de la même façon, que sa forme initiale soit sa forme naturelle, ou bien qu'elle soit une déformée produite par des forces latérales seulement.*

Dans le cas particulier du flambage eulérien par flexion d'une barre rectiligne, les paramètres u, v, w, \dots , se réduisent au seul déplacement transversal y et les formules (46), compte tenu du théorème 1, à la formule

$$y(x) = Au^{(1)} \frac{P_{cr}^{(1)}}{P_{cr}^{(1)} - P} = y_0 \frac{P_E}{P_E - P} \quad (5)$$

Dans cette expression, y_0 représente la déformée initiale de la barre, qu'elle soit due à des forces transversales préalables ou qu'elle corresponde à l'état naturel non contraint.

La formule (5) utilisée aux paragraphes 6 et 8 est ainsi complètement justifiée.

Il faut souligner une conséquence assez curieuse des deux théorèmes ci-dessus, qui apparaît spécialement dans les pièces hyperstatiques soumises au flambage.

Pour fixer les idées, considérons les cas des pièces encastrée-appuyée et biencastée chargées de bout (fig. 519 A et B). Nous savons qu'au cours du flambage de ces pièces, la ligne d'action de la force P se déplace pour continuer à passer par les points d'inflexion de la déformée. La loi d'affinité démontrée ci-dessus nous indique que

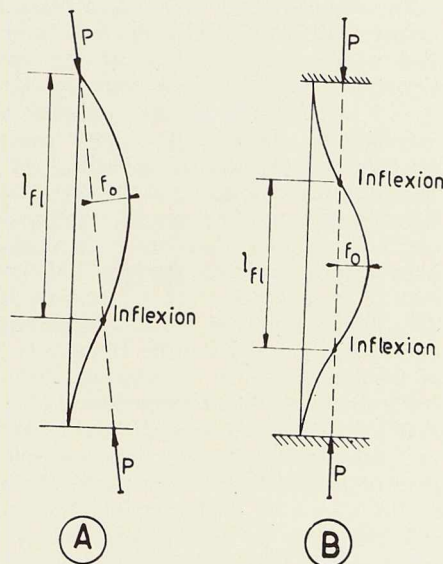


Fig. 519.

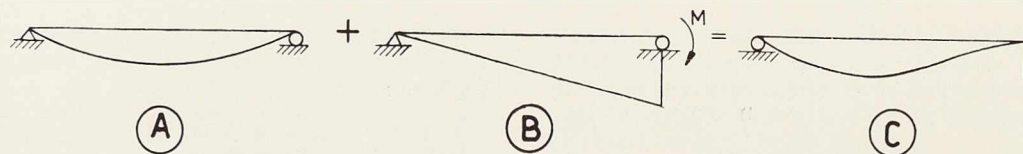


Fig. 520.

tout se passe comme si la déformée initiale possédait également l'allure représentée aux figures 519 A et B.

Cette courbure initiale peut évidemment provenir de deux causes bien distinctes :

1° Elle peut être exclusivement due à un manque de soin dans la fabrication de la pièce, qui présente ainsi, dans son état naturel non contraint la forme 519 A ou B, ou bien ;

2° Elle peut, au contraire, provenir partiellement d'un défaut de montage, qui a pour effet de soumettre la pièce hyperstatique à un ou des couples d'extrémité. On voit, en effet, qu'une pièce présentant une courbure d'allure sinusoïdale (fig. 520 A) peut conduire à une déformée (fig. 520 C) identique à celle de la pièce encastree-appuyée si elle est soumise à droite à un couple de moment M provenant d'un montage défectueux (fig. 520 B).

D'après le théorème 2 énoncé ci-dessus, le comportement de la pièce sous l'effet de la force de compression sera identiquement le même dans les deux cas qu'on vient d'envisager.

Sur le point qu'on vient d'examiner, notre opinion diffère de celle de Wästlund et Bergström (17) qui considèrent comme indispensable l'existence de certains moments extérieurs appliqués à la pièce à sa ou ses extrémités encastrees.

Quoi qu'il en soit, n'oublions pas que, dans les formules (5) et (6), le flèche f est en fait le bras de levier du moment fléchissant maximum Pf provoqué par la force de compression. Pour que ces formules s'appliquent aux cas de flambage autres que le cas fondamental, nous devons définir en général f (et f_0) comme la distance du centre de gravité de la section la plus sollicitée à la ligne d'action de la force P (fig. 519 A et B).

D'autre part, il est évidemment désirable que l'effet de l'imperfection initiale de la barre sur sa tension admissible au flambage soit le même pour toutes les barres de même élancement réduit $\lambda_r = l_{fl}/i$, quel que soit leur mode d'appui. Pour réaliser ce desideratum, nous admettons que la flèche initiale f_0 est, pour toutes

les pièces, la même fonction de la longueur de flambage. Cela revient à poser, si nous adoptons la loi d'imperfection de Timoshenko,

$$f_0 = \frac{l_{fl}}{400},$$

et si nous prenons celle de Dutheil,

$$f_0 = 3 \frac{l_{fl}^2}{v}.$$

C. M.

BIBLIOGRAPHIE

1. — F. ENGESSER, *Z. Arch. ing. Wesen*, 1889, p. 455.
2. — F. ENGESSER, *Schweizer. Bauztg.*, vol. 26, p. 24, 1895.
3. — Th. von KÁRMÁN, *Forschungsarbeiten*, n° 81, 1910, Berlin.
4. — M. ROß et J. BRUNNER, *Rapp. Groupe VI de la T. K. V. S. B., Lab. Féd. Essais Mat. Zurich*, 1926.
5. — E. CHWALLA, *Stahlbau*, 1934, p. 17.
6. — DIN E 4114 : *Knick- und Beulvorschriften für Stahlbau*, 1939.
7. — Ch. MASSONNET, « Les relations entre les modes normaux de vibration et la stabilité des systèmes élastiques », *Bull. Cérés*, Liège, n°s 1 et 2, 1940.
8. — S. TIMOSHENKO, *Théorie de la stabilité élastique*, Béranger, 1943.
9. — E. CHWALLA, DIN 4114, *Entwurf 4a der Beratungsunterlagen vom Oktober 1943*.
10. — A. AAS JAKOBSEN, « Prescriptions réglementaires pour le calcul des colonnes au flambage » (en suédois), *Teknisk Ukeblad*, n° 4, 1946.
11. — F. R. SHANLEY, « Inelastic column theory », *Journ. Aero. Sci.*, vol. 14, 1947, pp. 261 à 268 (avec une note de Th. von Kármán).
12. — S. TIMOSHENKO, « Théorie de la flexion, torsion et flambage des barres à parois minces et à section ouverte », *Ossat. Métall.*, n° 7-8, p. 238 et n° 9, p. 376, 1947.
13. — Ch. MASSONNET, « Le flambage des barres à section ouverte et à parois minces », *Hommage Fac. Sci. Appl. à l'A. I. Lg.*, G. Thone, éd., 1947, p. 126.
14. — Ministère de la Reconstruction et de l'Urbanisme (France), *Règles d'utilisation de l'acier* (règles C. M. 1946), déc. 1946.
15. — Inst. Techn. Bât. Trav. Publ., *Commentaires des règles d'utilisation de l'acier*, juin 1948.
16. — J. DUTHEIL, « Le flambement des éléments comprimés dans les ossatures en acier », *Inst. Techn. Bât. Trav. Publ.*, circ. série I, n° 35, sept. 1947.
17. — J. DUTHEIL, « La conception nouvelle de la sécurité dans les problèmes de flambement des pièces comprimées en acier doux », *Ossat. Métall.*, n° 6, 1949, p. 308.
18. — G. WÄSTLUND et S. G. BERGSTRÖM, « Buckling of compressed steel members », *Trans. Roy. Inst. Technol. Stockholm*, n° 30, 1949, 172 pp.
19. — H. NYLANDER, « Torsional and lateral buckling of eccentrically compressed I and I columns », *Trans. Roy. Inst. Technol. Stockholm*, n° 28, 1949, 33 pp.



CHRONIQUE

Le marché de l'acier pendant le mois de mai 1950

		Production acier lingot en tonnes		
		Belgique	Luxembourg	Total
Mai	1950	293 159	181 758	474 917
Avril	1950	281 613	180 455	462 068
Janv.-mai	1950	1 456 852	897 930	2 354 782
Janv.-mai	1949	1 806 455	1 119 733	2 926 188

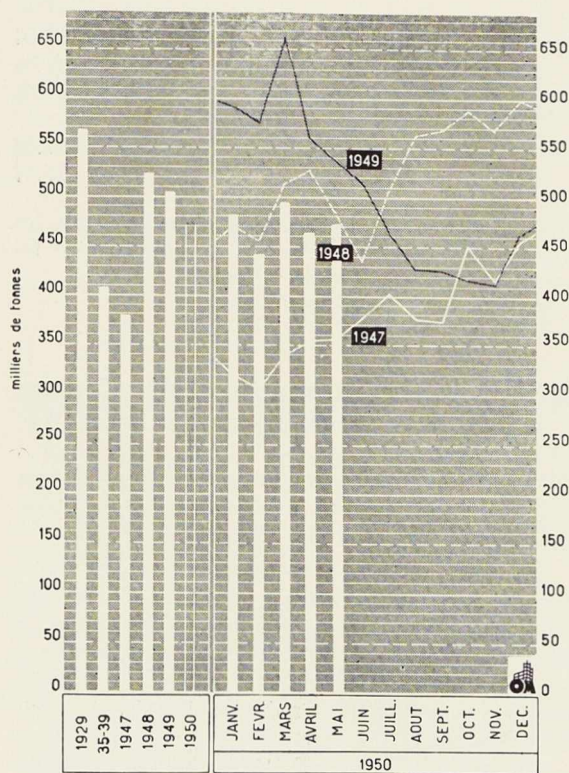


Fig. 521. Production mensuelle des aciéries belges et luxembourgeoises.

Notre production n'a pratiquement pas varié au courant du mois de mai. Le tonnage atteint, soit environ 475 000 tonnes, correspond d'ailleurs sensiblement à la moyenne des cinq premiers mois de 1950. Cette moyenne est en recul très net sur les chiffres des deux dernières années.

Les cotations sont restées empreintes de lourdeur, au cours du mois de mai. C'est ainsi que le comptoir des tôles fines a ramené officiellement les prix des marchés libres au niveau de ceux des marchés organisés. En mitrilles, un revirement se dessinait à la fin du mois, mais les besoins ne sont pas très élevés à l'heure actuelle.

Le 9 mai, le Ministre français des Affaires Etrangères a fait une proposition connue depuis lors comme « Plan Schuman », qui a eu un retentissement international et pourrait constituer le point de départ d'une transformation fondamentale de l'industrie minière et sidérurgique de l'Europe. Les intentions de ce plan sont, à l'heure actuelle, trop connues pour que nous ayons à les rappeler ici. L'idée de M. Schuman a, dès son origine, trouvé un écho assez sympathique en Allemagne, dans les pays de Benelux et en Italie. L'Angleterre, par contre, s'est montrée plus réservée. Des pourparlers internationaux doivent s'engager dès le mois de juin et leur résultat est attendu avec un vif intérêt.

En Hollande, le Parlement a voté le projet de loi pour l'expansion des usines d'IJmuiden et la création de la Société « Breedband » qui exploitera un laminoir continu à tôles fines et tôles de fer blanc.

Marché intérieur

La situation au courant du mois gardait la physionomie des mois précédents. Les commandes se sont limitées aux besoins immédiats, les prix étant jugés insuffisants par les producteurs, lesquels aspirent à une prochaine amélioration sous ce rapport.

Les constructeurs de matériel roulant, qui sont particulièrement atteints, espèrent profiter pro-

chainement de l'adjudication des 50 autorails et 20 remorques de la S. N. C. B. ainsi que de certains contrats attendus d'un ou deux pays étrangers. En charpente métallique, on note un marasme persistant.

Les expéditions de Fabrimétal ont atteint un total de 120 391 tonnes, dont :

	avril	mars
Produits de la tôle	19 179	19 523
Accessoires mét. du bât.	7 274	7 894
Ponts et charpentes	15 214	17 067
Matériel de chemin de fer et tramways	3 986	3 870

Marché extérieur

A la fin du mois, la situation du marché américain, où la pénurie d'acier semble s'accroître, a eu une certaine influence sur notre propre marché, les cotations étant moins discutées que précédemment. On se demandait, à ce moment, si une tendance nettement meilleure n'allait pas se manifester, grâce à plusieurs éléments favorables dont l'annonce du plan Schuman et celle de la prochaine réalisation de l'Union Européenne des Paiements.

Nos exportations, qui en mars avaient repris une allure encourageante, en totalisant 328 900 tonnes, sont revenues, dès avril, à 286 000 tonnes. Il en résulte pour les quatre premiers mois de l'année un recul sensible par rapport aux chiffres des deux années précédentes. Nos meilleurs clients ont été la Hollande, l'Italie, les Etats-Unis, la Suède et l'Angleterre. Les affaires avec d'autres marchés, notamment l'Argentine et le Danemark sont tombées très fortement.

La deuxième Foire Internationale de Liège, qui s'est tenue du 29 avril au 14 mai, a attiré de nombreux visiteurs étrangers et a donné lieu à des contacts fructueux.

Travaux à l'Institut Belge de Normalisation (I. B. N.)

L'I. B. N. vient d'éditer la norme N.B.N. 117. Celle-ci est l'aboutissement des travaux de la Commission spéciale chargée d'établir une normalisation pour permettre :

— Aux consommateurs, et notamment aux grandes administrations publiques, d'unifier leurs cahiers des charges;

— Aux producteurs de concentrer leur activité sur la réalisation de plus en plus parfaite de

conditions bien déterminées et moins diverses; — A ces deux catégories d'intéressés de retirer le profit d'un vaste travail de perfectionnement technique effectué avec l'aide spéciale des différents pays industriels.

C'est en 1937 que cette Commission, dès sa première réunion, arrêta le programme de ses travaux, en débutant par l'étude des points de vue belges.

D'autre part, la Commission Mixte des Aciers, composée de délégués de Fabrimétal et du Groupement des hauts fourneaux et aciéries belges, entreprit — dès 1942 — une étude préparatoire des principaux problèmes intéressant les deux industries et auxquels il était urgent de donner une solution.

La norme 117, traitant des méthodes d'essai à utiliser pour les produits sidérurgiques, est un des aboutissements de la collaboration entre la Commission Mixte des Aciers et l'Institut Belge de Normalisation. Elle comprend les essais suivants :

Essai de traction	N.B.N. 117.01
Essai de pliage	N.B.N. 117.02
Essais de dureté	N.B.N. 117.03
Essai de flexion par choc sur éprouvette entaillée	N.B.N. 117.04
Essai macrographique Baumann	N.B.N. 117.05
Essai de pliage d'un joint soudé	N.B.N. 117.51
Essai de pliage après trempe à l'eau	N.B.N. 117.54
Essai de vieillissement	N.B.N. 117.57

Chacun de ces essais comporte un principe, les symboles, la description de l'essai, ainsi que les conditions d'exécution de l'essai.

XIII^e Congrès International des Centres d'Information de l'Acier à La Haye

Le XIII^e Congrès International des Centres d'Information de l'Acier s'est tenu à La Haye, du 27 juin au 1^{er} juillet 1950.

Des délégués de Belgique-Luxembourg, France, Grande-Bretagne, Hollande, Italie et Suisse ont participé à cette réunion. Chaque association a présenté un bref rapport sur ses activités durant l'année écoulée. Des rapports sur les problèmes spéciaux ont été présentés par différents pays participants.

Un compte rendu détaillé des travaux du XIII^e Congrès paraîtra dans le n^o 9-1950 de L'OSSATURE MÉTALLIQUE.





Flaconnage métallique pour bières

Une grande brasserie bruxelloise emploie actuellement le flaconnage métallique pour ses bières.

Cet emballage est utilisé notamment pour la vente de la bière dans les grands magasins, pour les pique-niques et le camping.

D'autre part, les avions de la Sabena emploient également ce mode d'emballage.

Document Brasserie Roelants

Courier Métallurgique A. Devis & C^o

La Société A. Devis et C^o vient de commencer la publication d'un périodique intitulé *Le Courier Métallurgique*.

Ce bulletin a pour but de tenir ses lecteurs au courant de l'activité de la Société Devis et C^o, de signaler les progrès et innovations qui surviennent dans le monde de la métallurgie, de publier des données techniques, etc.

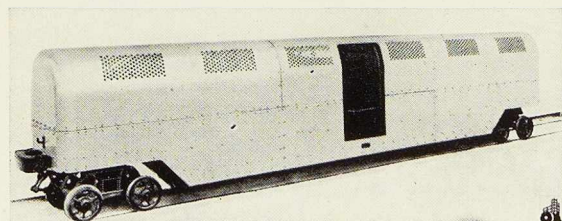
Ce journal paraîtra mensuellement. Le premier numéro contient les rubriques suivantes :

- Le Salon International de l'Aéronautique à Bruxelles;
- La situation du marché métallurgique;
- Le plan Schuman et la Belgique;
- Les Journées de la Métallurgie à la Foire Internationale de Liège;
- Echos et Nouvelles.

ECHOS ET NOUVELLES

Transport du personnel au fond de la mine

En raison de la grande extension de leur exploitation, certaines tailles se trouvant maintenant à 6 km du puits, plusieurs charbonnages ont été amenés à étudier le problème du transport rapide du personnel à front de taille.



La solution a été trouvée dans l'usage de voitures métalliques, du type représenté à la figure ci-contre.

Dans un seul charbonnage, 120 voitures de l'espèce, fournies par la S. A. Ateliers de La Louvière-Bouvy, à La Louvière, ont été mises en service.

Montées sur boggies, ces voitures, dont les côtés, le dessus et le fond de la caisse, en tôle d'acier, forment cadres à angles arrondis, assurant une très grande rigidité, réunissent toutes les conditions de sécurité et de confort requises.

Fig. 523. Wagonnet de transport rapide pour mineurs, construit récemment en Belgique.

Bibliothèque

Nouvelles entrées (1)

Aide-mémoire de résistance des matériaux.

par A. et C. NACHTERGAL.

Un ouvrage relié de 832 pages, format 16 X 25 cm, illustré de 1 110 figures. Edité par A. De Boeck, Bruxelles, 1950. Prix : 350 francs.

Les ouvrages de MM. Nachtergal ont conquis la faveur des ingénieurs et techniciens par la clarté de leur exposé et la présence d'applications numériques.

L'aide-mémoire pratique de résistance des matériaux revu par M. Nachtergal paraît actuellement dans sa troisième édition. Dans la copieuse table des matières de cet ouvrage, relevons notamment les chapitres suivants :

— Eléments de mécanique et de graphostatique;

— Traction de pièces soumises à des efforts variables — Compression — Cisaillement — Moments d'inertie — Flambage — Flexion — Solides d'égal résistance à flexion — Flexion des pièces dissymétriques — Flexion gauche — Poutres à âme pleine — Joints des pièces fléchies — Déformations des pièces fléchies — Recherche graphique des flèches — Poutres continues — Poutres cantilever — Poutres en treillis — Torsion — Résistances composées — Résistance des plaques, etc.

Cet important ouvrage, qui contient 560 applications résolues, ne manquera pas de rendre de grands services à ceux qui l'utiliseront.

L'Industrie sidérurgique dans le monde et son évolution économique depuis la seconde guerre mondiale

par Maurice FONTAINE.

Un ouvrage de 398 pages, format 14 X 23 cm. Edité par les Presses Universitaires de France, Paris, 1950. Prix : 500 francs français.

Dans sa préface, M. Albert Lebrun, ancien Président de la République Française, qualifie l'ouvrage de M. Fontaine de « Monument économique appelé à prendre place dans la biblio-

(1) Tous les ouvrages analysés sous cette rubrique peuvent être consultés en notre salle de lecture, 154, avenue Louise, à Bruxelles, ouverte de 9 à 17 heures tous les jours ouvrables (les samedis de 9 heures à midi).

thèque des métallurgistes ». C'est que la documentation réunie dans cette thèse de doctorat est extrêmement précieuse.

A force de recherches, M. Fontaine est parvenu à trouver les renseignements statistiques indispensables.

L'ouvrage est divisé en six chapitres qui ont pour titres : Les conditions de l'industrie sidérurgique — Les grandes puissances sidérurgiques — Les sidérurgies secondaires et les sidérurgies en extension — Le marché mondial de l'acier — Le mouvement des prix dans la sidérurgie — La production mondiale en 1948 et les perspectives d'avenir de la sidérurgie.

L'excellent ouvrage de M. Fontaine se termine par un addendum relatif à l'évolution de l'industrie sidérurgique en 1949.

European architecture in the XXth Century, volume I (L'Architecture européenne au XX^e siècle).

par A. WHITTICK.

Un volume relié de 249 pages, format 19 X 26 cm, illustré de 77 planches. Edité par Crosby Lockwood & Sons Ltd., Londres, 1950. Prix : £ 1.10.0.

Le premier volume de l'intéressant ouvrage de M. Whittick comporte deux parties. La première est relative au début du xx^e siècle, tandis que la seconde retrace l'histoire de l'architecture européenne pendant les années de transition entre la première guerre mondiale et la paix (1919-1924).

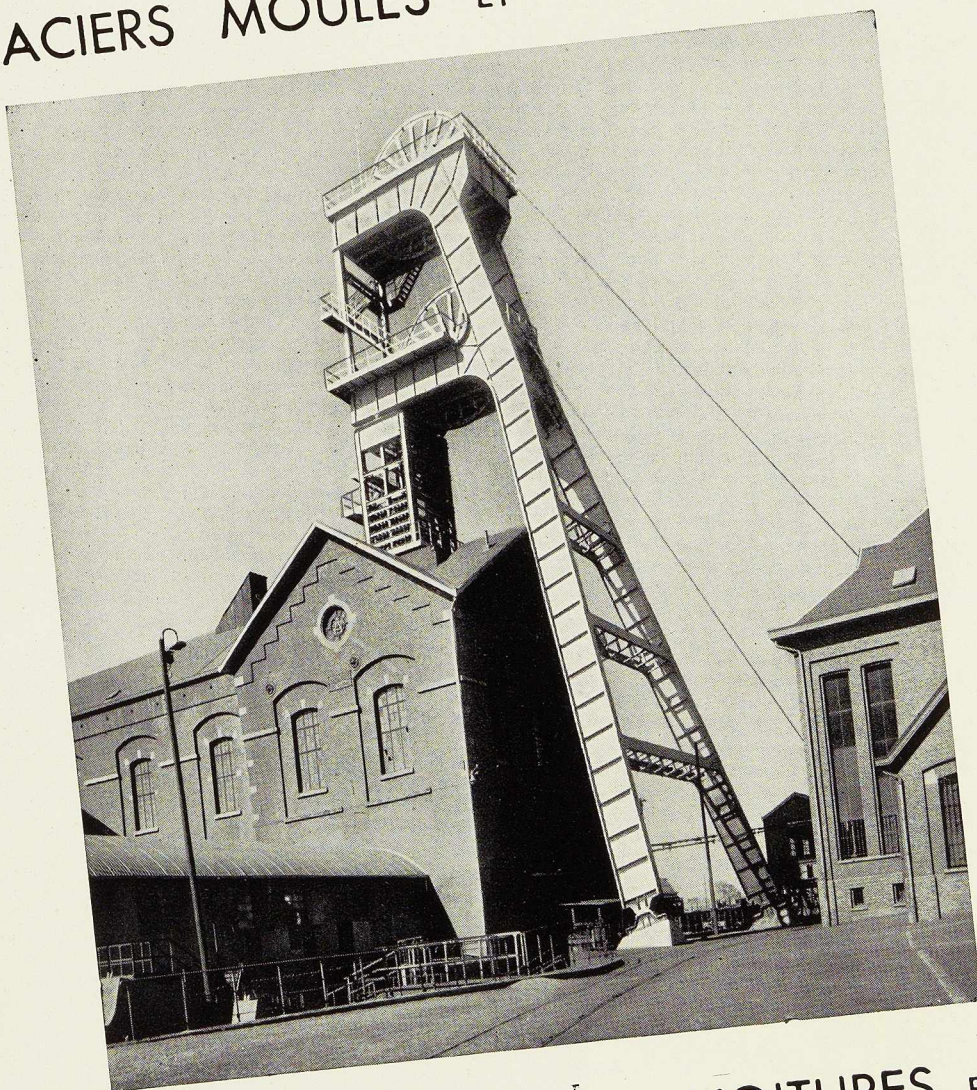
Les autres volumes, à paraître ultérieurement, seront consacrés à la période 1924-1950. L'ensemble de l'ouvrage constituera ainsi un important ouvrage de référence sur l'œuvre des architectes européens pendant la première moitié du xx^e siècle.

Les lecteurs de *L'Ossature Métallique* liront avec un intérêt tout particulier les chapitres relatifs aux premières constructions en fer et acier : ponts, halls d'exposition, usines, etc.

Présenté avec soin et accompagné d'une excellente illustration, l'ouvrage d'Arnold Whittick ne manquera pas de retenir l'attention de tous ceux qui s'intéressent à l'évolution de l'architecture.



CHEVALEMENTS ET PYLONES
GAZOMETRES ET RESERVOIRS
PONTS ET CHARPENTES
ACIERS MOULES ET FORGES



Chevalement de mine

Charbonnage
de la
S. A. MARIEMONT-BASCOUP

VOITURES ET WAGONS
AUTORAILS ET AUTOMOTRICES
LOCOMOTIVES ELECTRIQUES

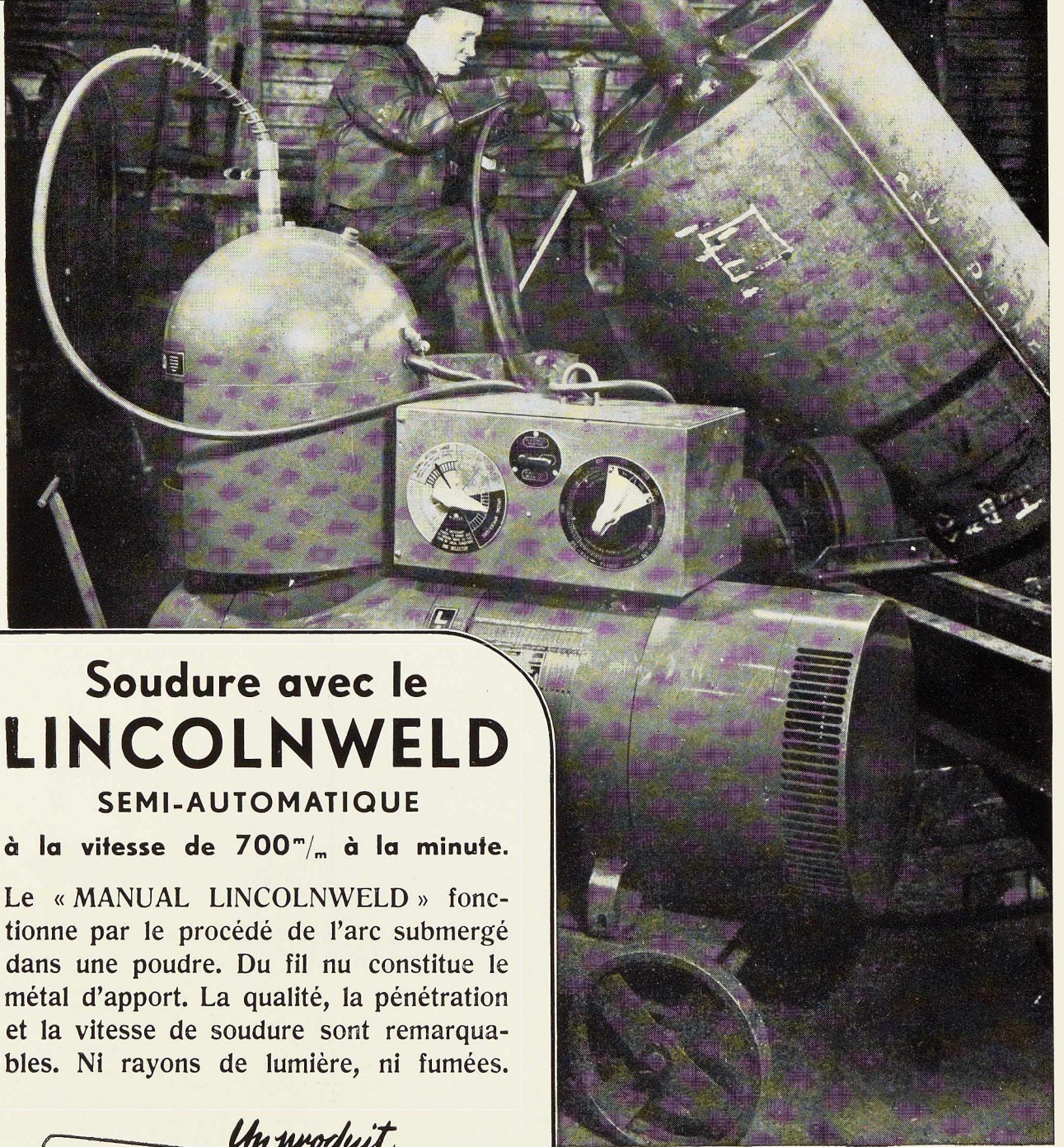
BAUME & MARPENT

SOCIETE ANONYME

HAINE-SAINT-PIERRE,
MARPENT

MORLANWELZ (BELGIQUE)
(NORD-FRANCE)

75% moins de Temps



**Soudure avec le
LINCOLNWELD
SEMI-AUTOMATIQUE**

à la vitesse de 700^m/_m à la minute.

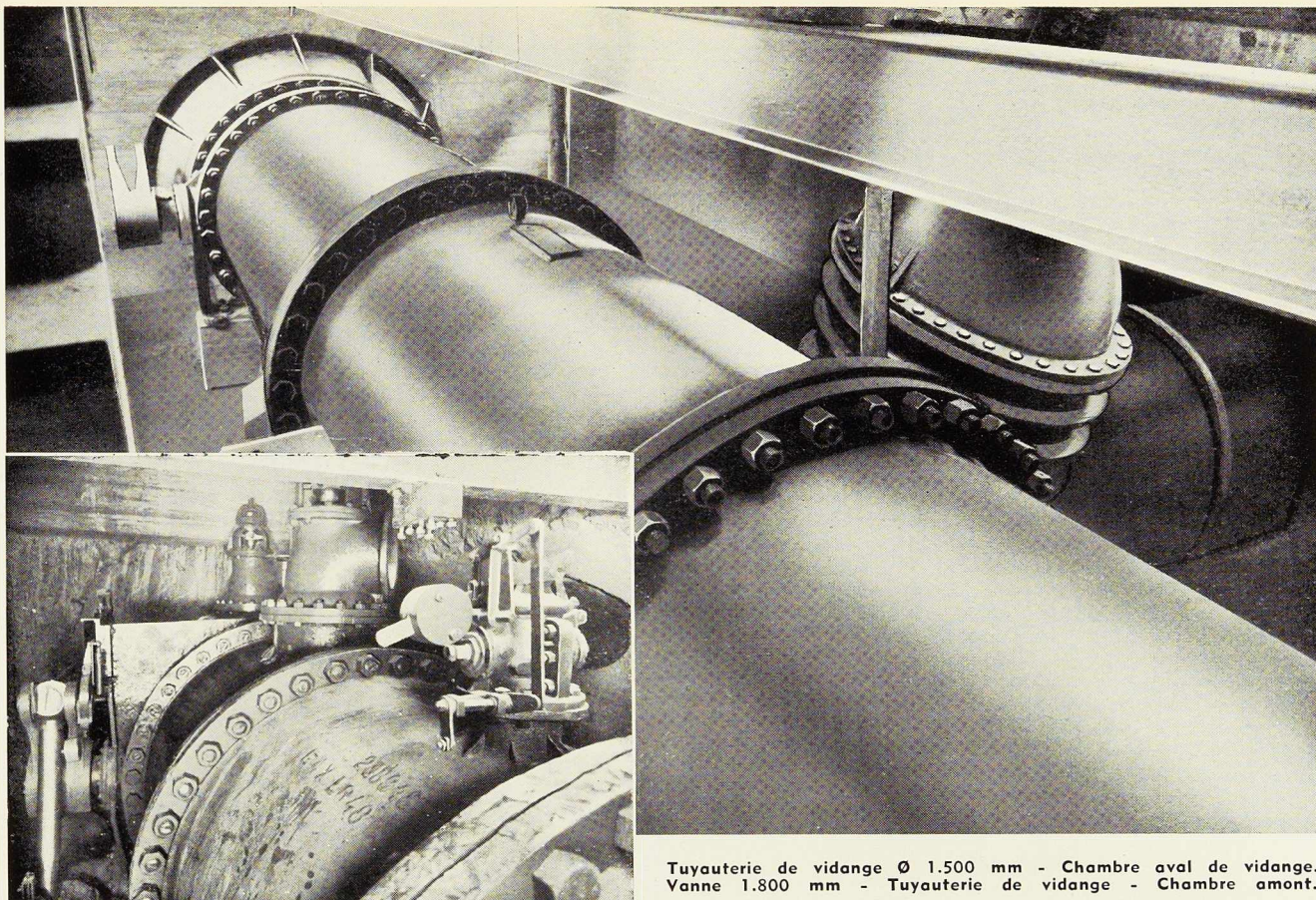
Le « MANUAL LINCOLNWELD » fonctionne par le procédé de l'arc submergé dans une poudre. Du fil nu constitue le métal d'apport. La qualité, la pénétration et la vitesse de soudure sont remarquables. Ni rayons de lumière, ni fumées.

Un produit

Lincoln

Distributeur :
ARMCO - 22, rue de la Loi
Bruxelles - Tél. 12.23.15





Tuyauterie de vidange Ø 1.500 mm - Chambre aval de vidange.
Vanne 1.800 mm - Tuyauterie de vidange - Chambre amont.

LISTE DES TRAVAUX EXÉCUTÉS PAR LA SOCIÉTÉ AU BARRAGE D'EUPEN

Les conduites forcées de 900 à 1.500 mm de diamètre, en tôle soudée à l'arc - Les brides en acier forgé - Les joints Gibault pour tuyauteries - Les mécanismes de manœuvre des vannes des déversoirs et des vannes de protection des pertuis - Les installations électriques complètes à l'intérieur des galeries pour les manœuvres des vannes, sécurités électriques et hydrauliques.

•
WAGONS • VOITURES • LOCOMOTIVES
PONTS ET CHARPENTES • EMBOUTIS LOURDS ET MOYENS

ELEMENTS DE CONDUITES FORCEES • APPAREILS SOUDES POUR HAUTES PRESSIONS
RESSORTS • PIECES DE FORGE • BRIDES POUR TUYAUTERIES A HAUTES PRESSIONS
TOLES GALVANISEES

LES ATELIERS METALLURGIQUES



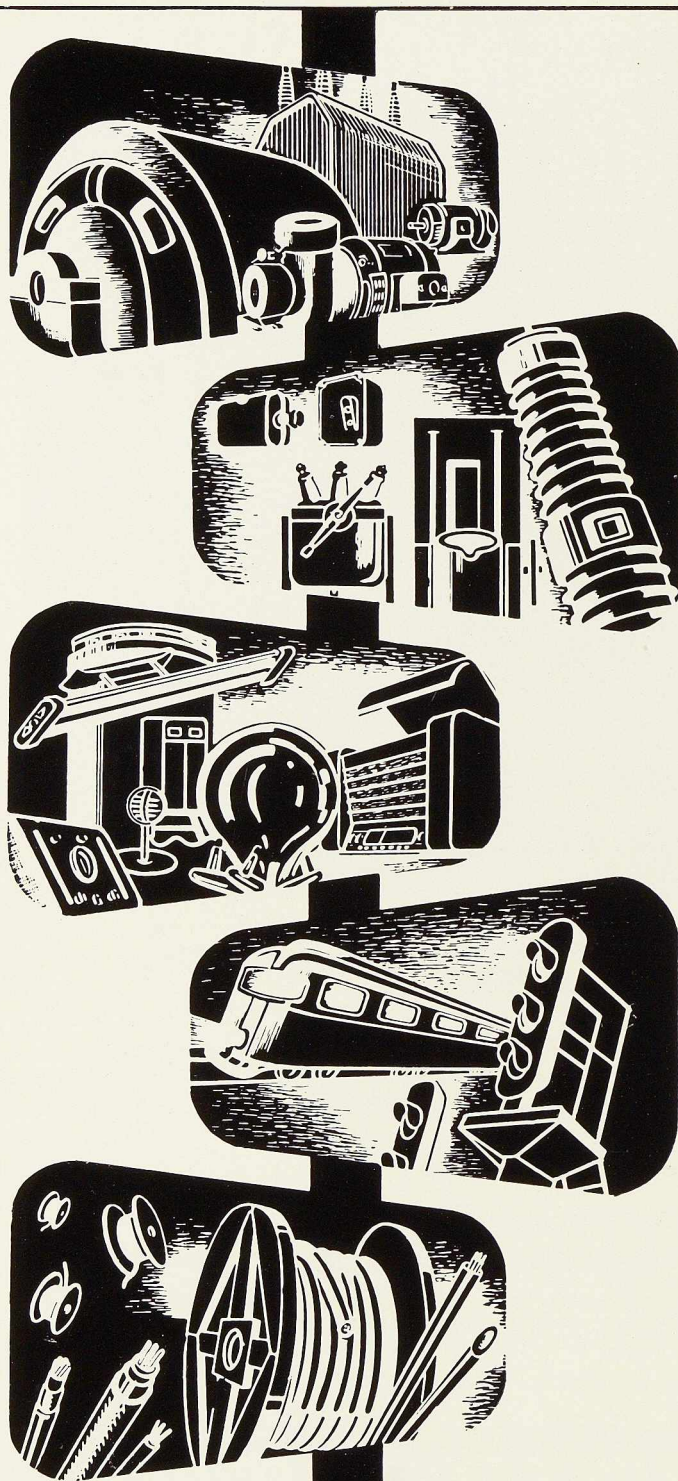
NIVELLES

SOCIÉTÉ
ANONYME

SIEGE SOCIAL ET
DIRECTION GENERALE
NIVELLES

USINES A
NIVELLES • TUBIZE
LA SAMBRE ET MANAGÉ

Téléphone : Nivelles 22 • Télégr. : Métal-Nivelles



Les **ACEC**
construisent...

**MACHINES ÉLECTRIQUES
ET MATÉRIEL MÉCANIQUE**

Moteurs et génératrices - Transformateurs - Condensateurs - Fours électriques - Equipements électriques pour mines, métallurgie, traction, marine et appareils de levage - Machines d'extraction - Pompes centrifuges.

APPAREILLAGES ÉLECTRIQUES

Appareillage divers à basse et haute tension - Appareils de démarrage et de réglage - Matériel blindé et antidéflagrant - Appareillage de traction.

MATÉRIEL ÉLECTRONIQUE

Tubes électroniques - Matériel d'éclairage fluorescent - Générateurs électroniques - Redresseurs - Relais électroniques - Appareils de télé technique - Appareils enregistreurs : Radiofil et Sonofil - Toutes les applications électroniques.

SIGNALISATION ÉLECTRIQUE

Signalisation électrique pour chemins de fer, mines et métallurgie - Eclairage électrique des trains.

CABLERIE

Câbles à basse, moyenne, haute et très hautes tensions - Câbles spéciaux pour mines, sous-fluviaux ou isolés au cambric - Câbles téléphoniques et de signalisation - Fils et câbles isolés - Tubes et accessoires divers.

4 USINES

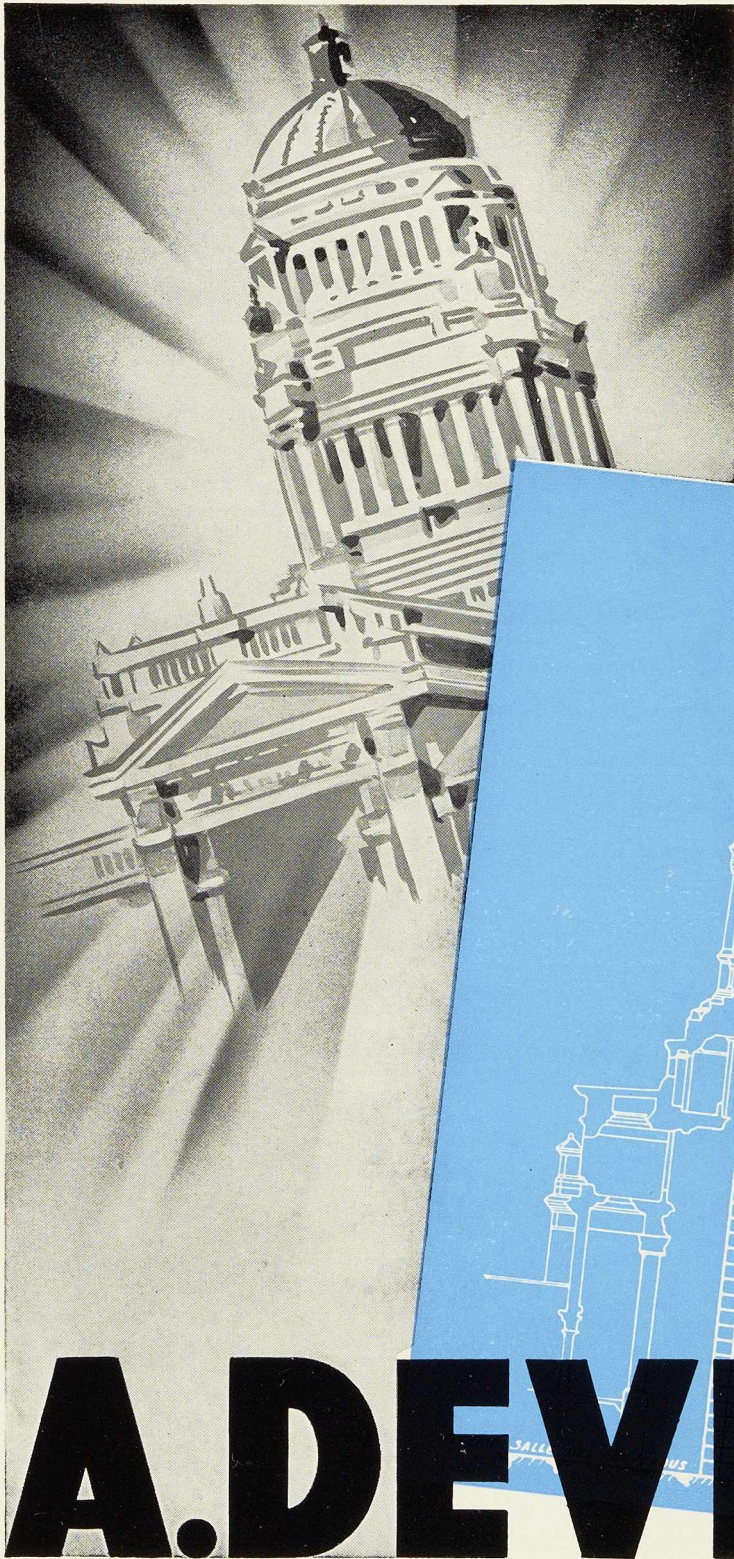
Superficie totale : 100 hectares.

Ateliers et bureaux : 220.000 m².

11.600 ouvriers, employés et ingénieurs.

**ATELIERS DE CONSTRUCTIONS
ÉLECTRIQUES DE CHARLEROI**
BELGIQUE





MATÉRIEL TUBULAIRE

pour Echafaudages
Tours fixes et mobiles
Soutiens de coffrage
Monte-charges
Casiers de stockage
Hangars démontables
Tribunes



83 m

19

A. DEVIS & C^{IE}

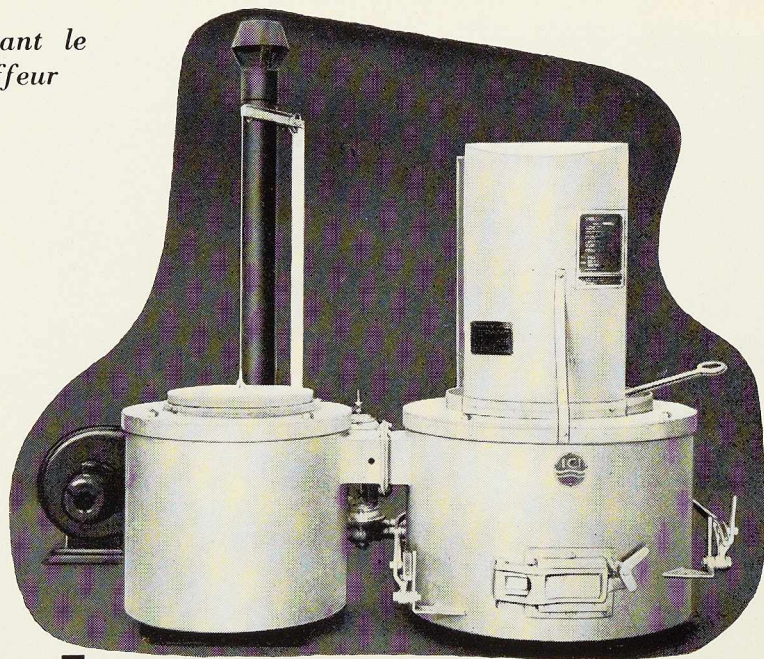
DÉPARTEMENT : « ÉCHAFAUDAGES TUBULAIRES »

158, RUE SAINT-DENIS, BRUXELLES • TÉLÉPHONES : 43.15.05 - 43.75.77

LES CRÉATIONS FRANCIS DELAHARE

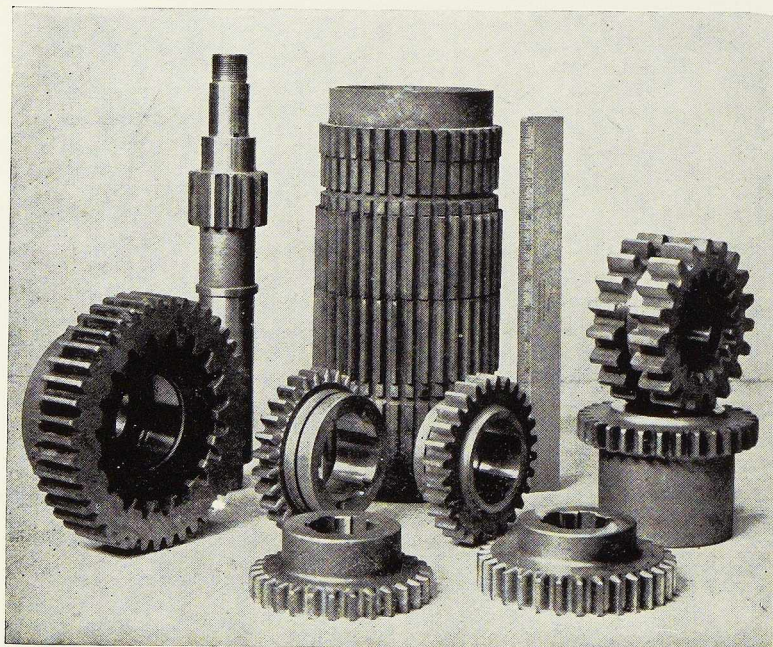
Four à gaz "Cassel" S. 2 illustrant le couvercle à contrepoids sur le préchauffeur

*Fours
à gaz
Cassel*



'CASSEL'

pour le traitement
thermique des métaux



PRECHAUFFAGE
TRAITEMENT THERMIQUE
CEMENTATION
TREMPE
RECUIT
REVENU
NITRURATION
BRASAGE
ETC.

*Service technique "Cassel,"
à votre disposition*

IMPERIAL CHEMICAL INDUSTRIES (BELGIUM) S. A.
(Agents Généraux d'Imperial Chemical Industries Ltd.)
SHELL BUILDING 014/2 BRUXELLES



Vous qui voulez ériger au **CONGO** des
CONSTRUCTIONS MÉTALLIQUES

adressez-vous à une firme qui a l'expérience de ce genre de travail et dont les réalisations ont mérité de la part d'organismes officiels du Congo les appréciations les plus élogieuses en ce qui concerne :

- Le matériel proprement dit;**
- Les délais de livraison;**
- Les soins mis au colisage;**
- La minutie du repérage;**
- La rapidité et l'économie du montage.**

A. B. T. R. S. A.

(ANCIENS ÉTABLISSEMENTS SLUYSMANS)

**CHAUSSÉE DE LOUVAIN, 192
VILVORDE**

TÉLÉPHONE : BRUXELLES 15.20.96

ADR. TÉL. : AMENA-VILVORDE

COUVERTURES
MÉTALLIQUES

J. CROISÉ

6, SQUARE MARGUERITE
TÉL. : 33.66.45
BRUXELLES

INSTALLATIONS SANITAIRES
PRIVÉES ET INDUSTRIELLES



TÉLÉGRAPHIEZ OUTRE-MER

"VIA BELRADIO"

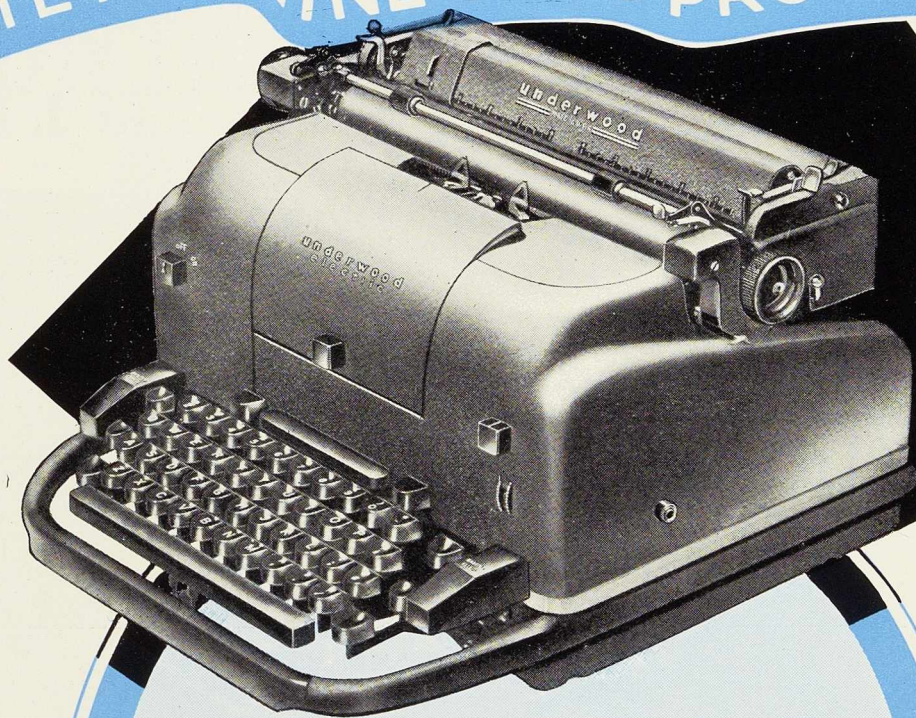
LA VOIE NATIONALE BELGE RAPIDE
ET SURE VERS TOUS LES CONTINENTS

RENSEIGNEMENTS ET DÉPÔT DES MESSAGES
DANS TOUT BUREAU TÉLÉGRAPHIQUE
BELGE

TÉLÉPHONES	}	ANVERS	399.50
		BRUXELLES	12.30.00
		LIÈGE	TELEX 41
		GAND	609.10
			584.75

TARIFS ET CAHIERS DE FORMULAIRES FOURNIS GRATUITEMENT

CETTE MACHINE VOUS PROCURERA...



*un courrier parfait
20 copies claires
des stencils uniformes*

FATIGUE REDUITE
VITESSE ACCRUE

TOUS MOUVEMENTS ACTIONNES
ELECTRIQUEMENT

100%

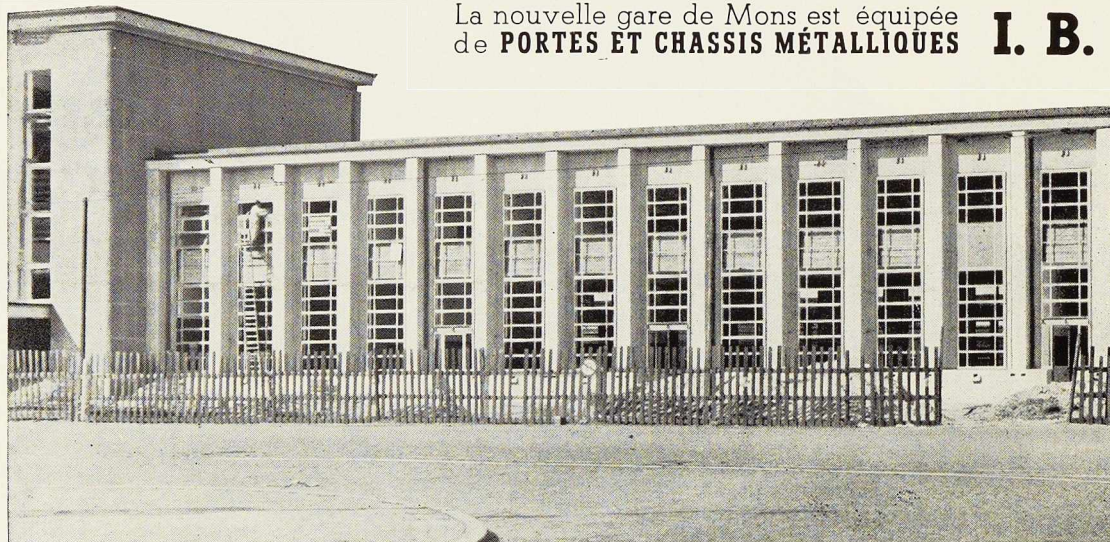
UNDERWOOD
Electric

MAISON DESOER

BRUXELLES - LIÈGE - ANVERS - GAND - CHARLEROI - VERVIERS - COURTRAI - LUXEMBOURG

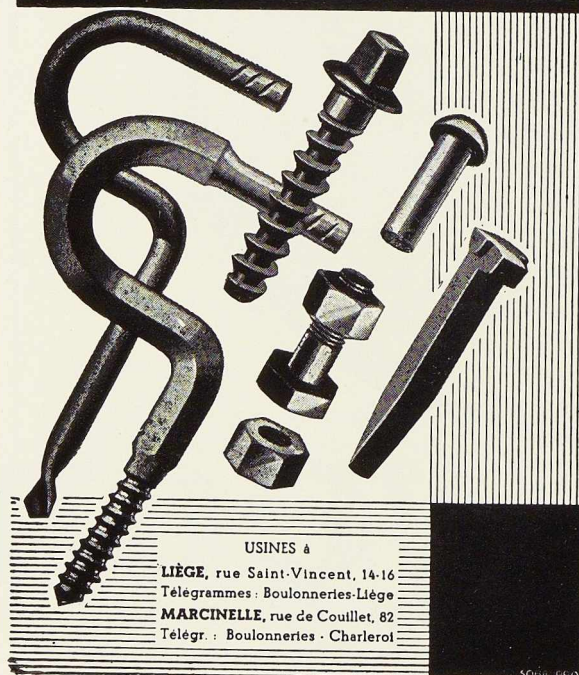
S. A. L'INDUSTRIELLE BORAINÉ, QUIÉVRAIN. Tél. 126
DIVISION MENUISERIE MÉTALLIQUE - MÉTALLISATION

La nouvelle gare de Mons est équipée
de **PORTES ET CHASSIS MÉTALLIQUES I. B.**



Vue partielle de la façade principale de la gare de Mons.
Architecte : R. Panis - Parachèvement : Entreprises Générales L. Leturcq, Tournai.

**STÉ A. DES BOULONNERIES DE LIÈGE
ET DE LA BLANCHISSERIE**



USINES à
LIÈGE, rue Saint-Vincent, 14-16
Télégrammes : Boulonneries-Liège
MARCINELLE, rue de Couillet, 82
Télégr. : Boulonneries - Charleroi

INDUSTRIELS

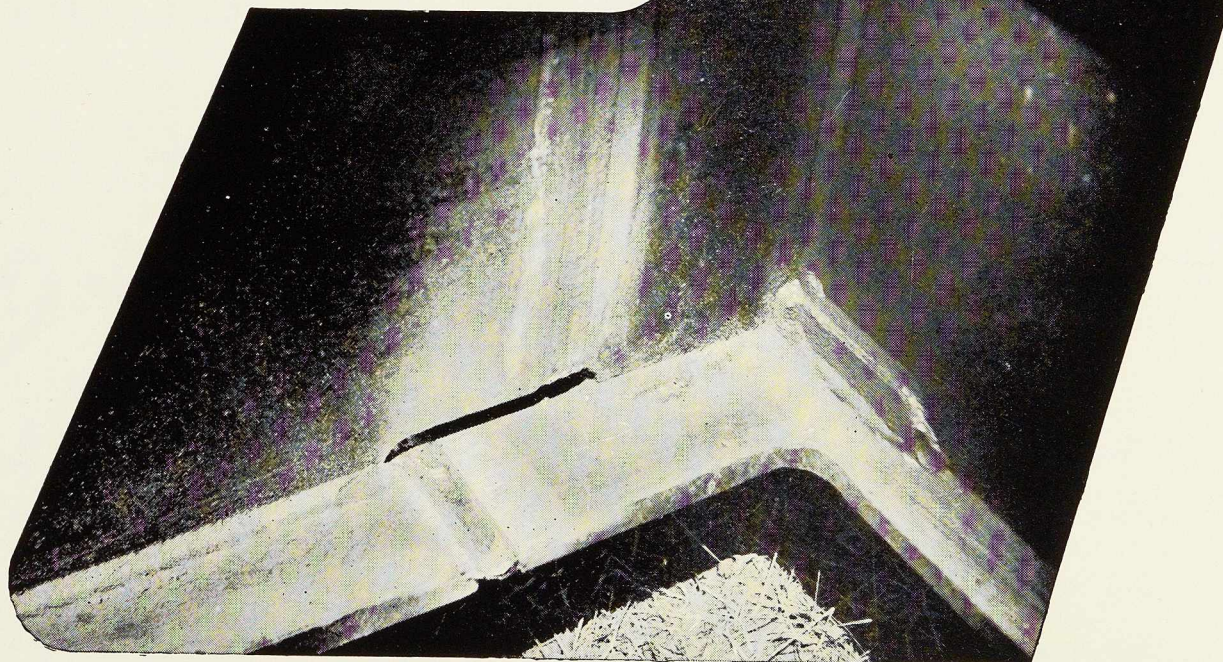
La concurrence s'annonce âpre.
Abaissez vos prix de revient!



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

CONTACT 18



SOUDURE EN TOUTE POSITION

Réalisation de joints bout à bout d'une poutre composée.
D'une hauteur d'âme de 500 mm, elle est soudée en position verticale descendante au moyen de l'électrode CONTACT 18.

À noter, l'évidement dans l'âme permettant une exécution saine des soudures d'âme et de semelle et évitant les superpositions de cordons.

Demandez notre catalogue
et notre dépliant R. I. 1120



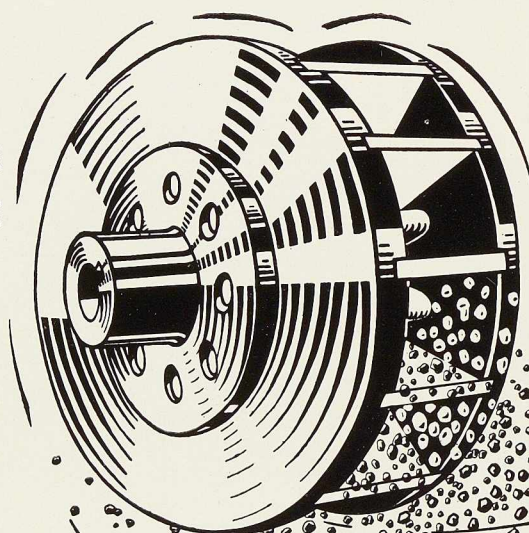
PHILIPS

**DIVISION TECHNIQUE
ET INDUSTRIELLE**

S. A. B. 37-39, rue d'Anderlecht,
Bruxelles Tél. 12.31.40 (20 lignes)

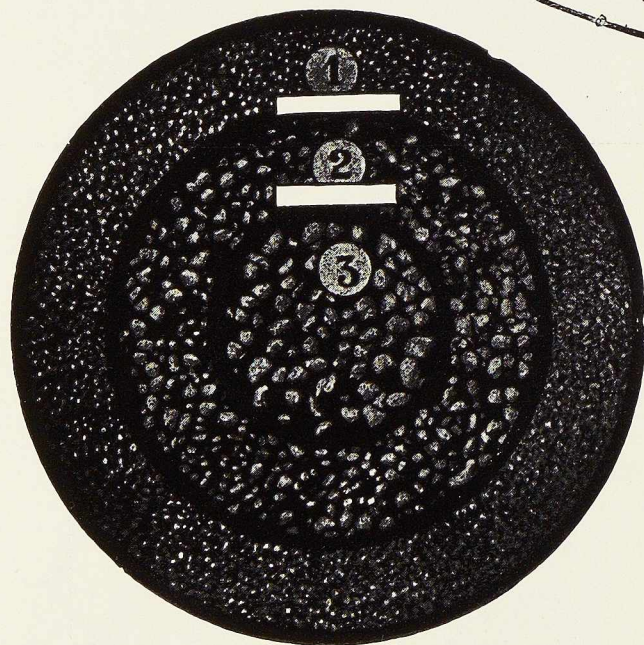
DÉCAPAGE
DÉSABLAGE

par . .



LES
GRENAILLES

BEECKMANS



Les plus résistantes,

les plus régulières

GRENAILLES D'ACIER ROND
ET ANGULAIRES
EN TOUS CALIBRES

GALETS DE MER CONCASSÉS,
CALIBRÉS, DÉPOUSSIÉRÉS

SILEX ET QUARTZ

SABLE DU RHIN

S. A. J. BEECKMANS

75-77, RUE DE MARCHIENNE, JUMET-LEZ-CHARLEROI - Tél. 134.30 Charleroi



L'ACIER DANS LE BÂTIMENT

Le numéro hors série 1950 de « L'OSSATURE MÉTALLIQUE », entièrement consacré aux applications de l'acier dans le bâtiment, est actuellement sous presse. Tout architecte et entrepreneur qui nous en fera la demande recevra gratuitement un exemplaire de ce numéro.



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

Abaques et Tableaux pour le calcul rapide des constructions métalliques , par H. M. SCHNADT	Epuisé
Tableaux pour le calcul rapide des poutres à âme pleine , par O. HOUBRECHTS	Fr. 150,—
Abaque général de flambage , par H. M. SCHNADT	Fr. 40,—
Album de Macrographies pour la réception des tôles et larges plats en acier calmé , par la Commission Mixte des Aciers	Fr. 40,—
Essais spéciaux pour les aciers soudables , par la Commission Mixte des Aciers	Fr. 50,—
Essai de flexion , par la Commission Mixte des Aciers	Fr. 10,—
Normes de qualité pour les aciers soudables , par la Commission Mixte des Aciers	Epuisé
Catalogue des Aciers pour constructions mécaniques , par la Commission Mixte des Aciers	Fr. 60,—
Catalogue des Profilés laminés par les usines belges et luxembourgeoises	Fr. 100,—
Calcul des Constructions mixtes acier-béton , par V. FORESTIER	Fr. 90,—
Calcul des Fermes métalliques , par V. BATAILLE	Fr. 90,—



« L'OSSATURE MÉTALLIQUE » est tirée à 4 000 exemplaires.

« L'OSSATURE MÉTALLIQUE » a plus de 1 500 abonnés.

« L'OSSATURE MÉTALLIQUE » assure des distributions de propagande en Belgique et à l'étranger, dans tous les milieux intéressés à la construction métallique et à la construction tout court.

« L'OSSATURE MÉTALLIQUE » mérite une attention spéciale en ce qui concerne

VOTRE PUBLICITÉ



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

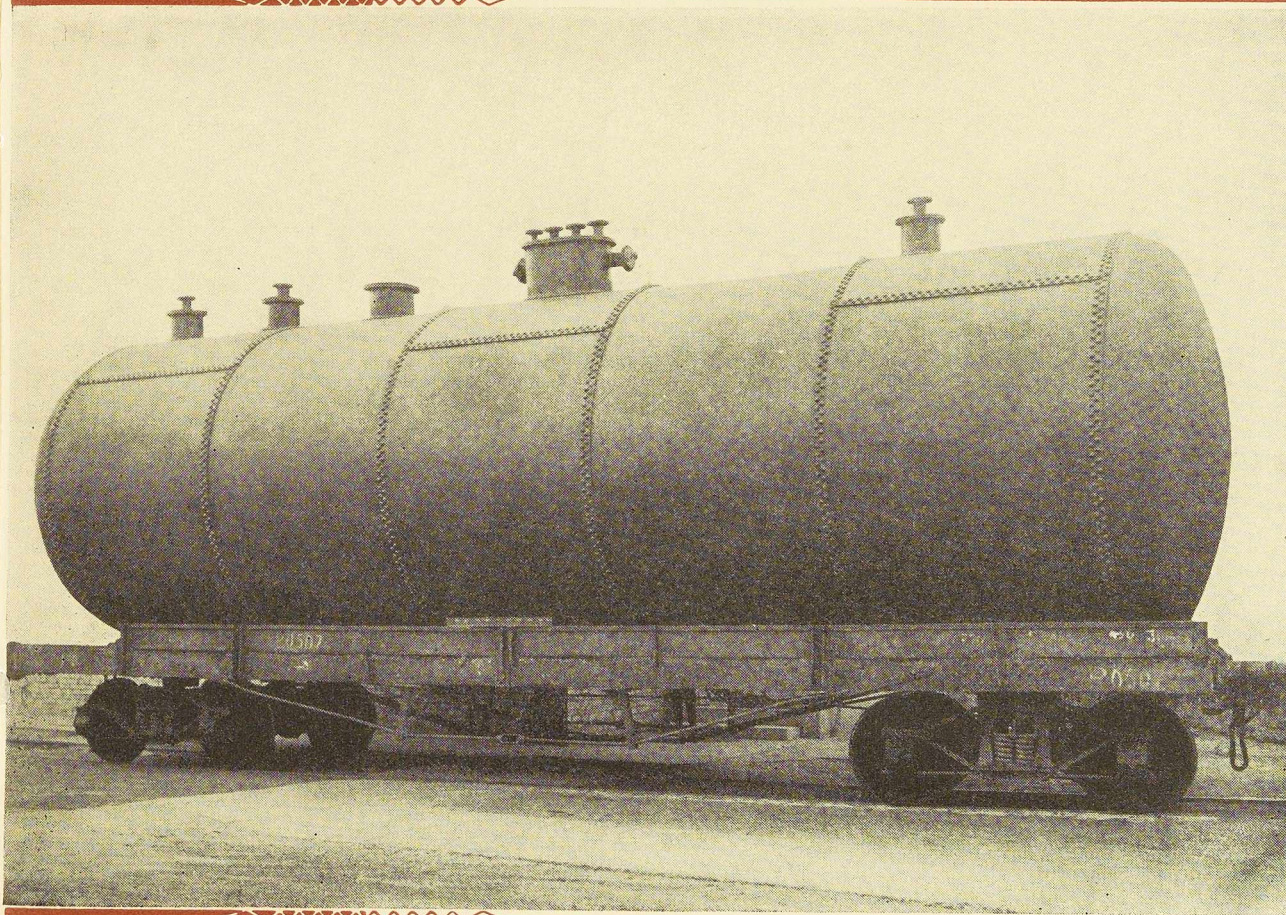
1932 : n° 1, 2, 4, 5.
1933 : n° 1, 2, 3, 6.
1934 : n° 4, 6, 11.
1935 : n° 7.

1936 : n° 4.
1946 : n° 1.
1947 : n° 1.
1950 : n° 2.

Sur votre envoi, prière d'indiquer vos nom et adresse et le numéro de votre Compte Ch. Postaux.
L'OSSATURE MÉTALLIQUE, 154, avenue Louise, Bruxelles.

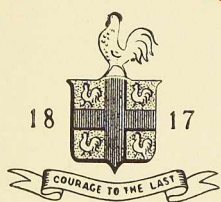
INDEX DES ANNONCEURS

	Pages		Pages
A		J	
A. C. E. C.	36	S. A. Ateliers de Construction Jambes	
L'Air Liquide	6	Namur	14
Arcos, « La Soudure Electrique Auto- gène	13	Constructions Métalliques de Jemeppe- sur-Meuse, S. A.	10
Armco	34	Jouret	15
Ateliers Métallurgiques de Nivelles	35	L	
B		S. A. L. Leemans & Fils	27
Baume et Marpent	33	Laminoirs de Longtain	11
S. A. Beeckmans	44	N	
B. E. I.	42	Anc. Ets Nobels-Peelman, S. A.	IV
Belradio	40	O	
Usines Gustave Boël	18	L'Oxydrique Internationale	19
Ateliers de Bouchout et Thirion Réunis	39	P	
Boulonnerie de Liège et de la Blanchis- serie	42	Philips. S. A.	12
La Brugeoise et Nicaise & Delcuve	2	S	
C		Siderur	32
P. & M. Cassart	5	Soudométal	21
C. B. L. I. A.	46	Steyaert-Heene	29
Chamebel	22	T	
Cockerill	couv. III	Titan Anversois	17
Columeta	8-9	S. A. Hauts Fourneaux, Forges et Aciéries de Thy-le-Château et Marcinelle	7
Construction soudée	30	Usines à Tubes de la Meuse	28
Croisé	40	U	
D		Ucométal	24-25
Davum	16	V	
Desoer	41	Ateliers Vanderplanck, S. P. R. L.	26
Alexandre Devis & C ^o	23-37	W	
E		Anciens Ets Paul Würth	20
Société Métallurgique d'Enghien Saint- Eloi	II		
E. S. A. B.	31		
Espérance-Longdoz	43		
I			
I. C. I.	38		
Industrielle Boraine	42		



Réservoir de 80 m³

METALLURGIE · CONSTRUCTIONS
MECANIQUES & METALLIQUES
CONSTRUCTIONS NAVALES

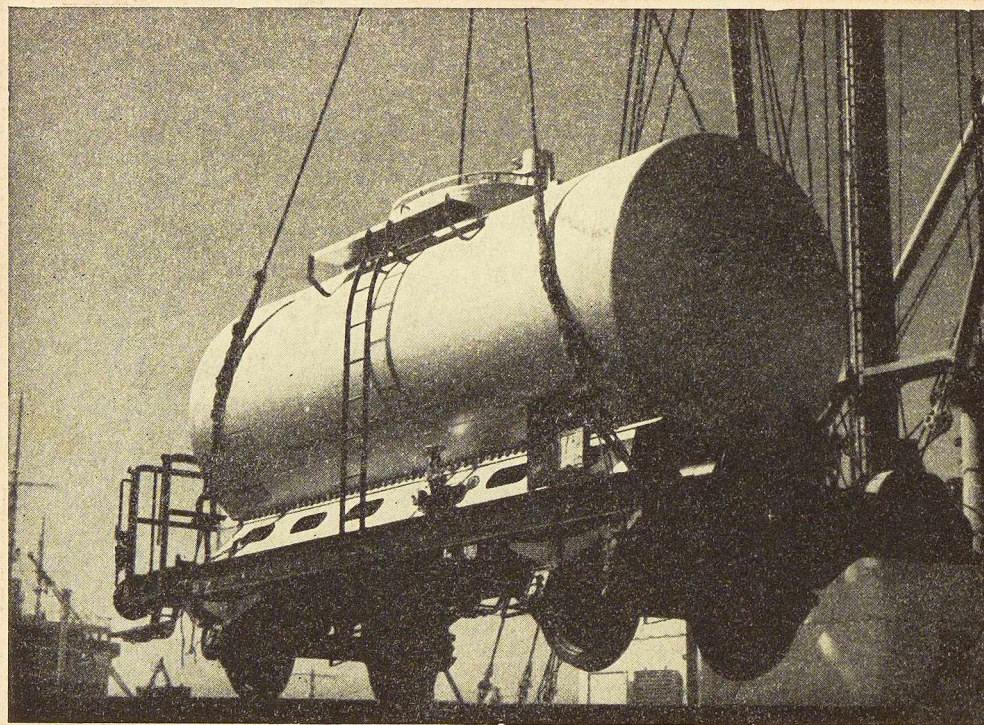


S.A. JOHN *C*OCKERILL

SERAING · BELGIQUE

NOBELS-PEELMAN

S
B



METAALWERKHUIZEN VORHEEN (N. V.)
Adr. Télég. : Ateliers St-Nicolas-Waes (Belgique)

ST-NIKLAAS
BELGIQUE

ANC. ETABLISSEMENTS MÉTALLURGIQUES (S. A.)
Téléphones : 13 et 235

PONTS • WAGONS • PYLONES
KETELWERKEN • BRUGGEN
KAP • BRIDGES • TANKS
STEELWORKS • CHARPENTES

