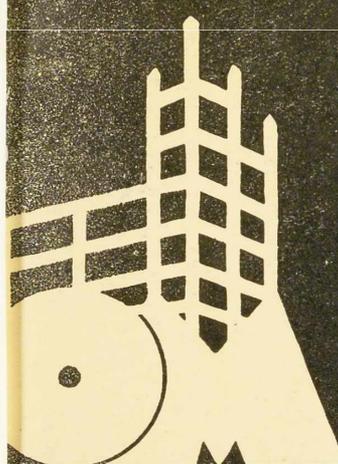


Prix du numéro : 6 Francs

3<sup>E</sup> A N N E E

N° 6

J U I N 1 9 3 4



# L'OSSATURE METALLIQUE

## SOMMAIRE

Les grands Palais de l'Exposition universelle et internationale de Bruxelles 1935.  
Aperçu général concernant les ouvrages métalliques.

La nouvelle automotrice jumelée Diesel électrique 410 HP de la Société Nationale des Chemins de Fer Belges.

Les nouveaux volets métalliques des grands magasins « À l'Innovation » à Bruxelles.

Les principes de la plasticité parfaite appliqués aux calculs de la résistance des matériaux.

L'élargissement du pont de La Hulpe.

Sécurité d'abord.

Chronique.

Ouvrages récemment parus.

Documentation bibliographique.

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

STUDIO SIMAR-STEVENS

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

(ASSOCIATION SANS BUT LUCRATIF)

a été fondé le 12 janvier 1932  
par les représentants autorisés de l'industrie sidérurgique  
dans le but de développer et de promouvoir l'emploi de l'acier  
dans tous ses domaines d'applications.

## Conseil d'Administration

*Président :*

M. Eugène GEVAERT, Directeur Général Honoraire des Ponts et Chaussées ;

*Vice-Président :*

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

*Membres :*

- M. Fernand COURTOY, Président et Administrateur délégué du Bureau d'Etudes Industrielles F. Courtoy (Soc. Coop.) ;
- M. Arthur DECOUX, Directeur Général de la S. A. des Laminoirs, Hauts Fourneaux, Forges, Fonderies et Usines de La Providence ;
- M. Paul DEVIS, Président de la S. A. des Anciens Etablissements Paul Devis, Président de la Chambre Syndicale des Marchands de fer de Belgique ;
- M. Hector DUMONT, Administrateur-Directeur de la S. A. des Ateliers de Construction de Jambes-Namur ;
- M. Léon GREINER, Administrateur-Directeur Général de la S. A. John Cockerill, Président du Groupement des Hauts Fourneaux et Aciéries Belges ;
- M. Louis ISAAC, Administrateur délégué de la S. A. Métallurgique d'Enghien-Saint-Eloi ;
- M. Ludovic JANSSENS DE VAREBEKE, Administrateur délégué, Président des Anciens Etablissements Métallurgiques Nobels-Pelman, S. A.
- M. Aloys MEYER, Directeur général des A. R. B. E. D., à Luxembourg ;
- M. Henri ROGER, Directeur général de H. A. D. I. R., à Luxembourg ;
- M. Fernand SENGIER, Administrateur délégué des Laminoirs et Boulonneries du Ruau, Président du Groupement des Transformateurs du Fer et de l'Acier de Charleroi ;
- M. Jacques VAN HOEGAERDEN, Président de la S. A. d'Ougrée-Marihaye, Président du Groupement des Hauts Fourneaux et Aciéries belges ;
- M. Lucien WAUTHIER, Directeur-Gérant de la S. A. des Usines à Tubes de la Meuse, Président du Groupement des Usines Transformatrices du Fer et de l'Acier de la Province de Liège.

## Direction

*Directeur :* Léon-G. RUCQUOI, Ingénieur des Constructions Civiles, Master of Science in C. E. ;

*Secrétaire :* Georges THORN, Licencié en Sciences Commerciales.

## Liste des Membres du Centre Belgo-Luxembourgeois d'Information de l'Acier

### ACIÉRIES BELGES

Angleur-Athus (Société Anonyme d'), à Tilleur-lez-Liège.  
 Usines Gustave Boël, S. A., à La Louvière.  
 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., La Croÿère (Bois d'Haine).  
 Laminiers, Hauts Fourneaux, Forges, Fonderies et Usines de la Providence, S. A., à Marchienne-au-Pont.  
 Usines Métallurgiques du Hainaut, S. A., à Couillet.  
 Usines de Moncheret, S. A., à Acoz.  
 Ougrée-Marihaye (Société Anonyme d'), siège social Ougrée.  
 Métallurgique de Sambre et Moselle, S. A., à Montigny-sur-Sambre.  
 Hauts Fourneaux, Forges et Acieries de Thy-le-Château et Marcinelle, S. A., à Marcinelle.

### ACIÉRIES LUXEMBOURGEOISES

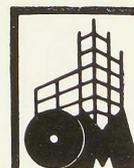
Acieries Réunies de Burbach-Eich-Dudelage (Arbed), S. A., et Société Métallurgique des Terres Rouges, S. A., avenue de la Liberté, Luxembourg.  
 Hauts Fourneaux et Acieries de Differdange, Saint-Ingbert, Rumelange (Hadir), S. A., 26, avenue de la Porte Neuve, à Luxembourg.  
 Usines de Rodange (Division d'Ougrée-Marihaye), à Rodange.

### TRANSFORMATEURS

Laminiers et Boulonneries du Ruau, S. A., à Monceau-sur-Sambre.  
 Forges et Laminiers de Baume, S. A., à Haine-Saint-Pierre.  
 Forges et Laminiers de Jemappes, S. A., à Jemappes-lez-Mons.  
 Tôleries Delloye-Matthieu, S. A., à Marchin (Huy).  
 Laminiers de Longtain, S. A., à La Croÿère, Bois d'Haine.  
 Usines Gilson, S. A., à La Croÿère, Bois d'Haine.  
 Usines à Tubes de la Meuse, S. A., à Flémalle-Haute.  
 La Métal-Autogène, S. A., 490, rue Saint-Léonard, Liège.  
 Laminiers du Monceau, S. A., à Méry (Tilff-lez-Liège).  
 Forges, Fonderies et Laminiers de Nimy, S. A., à Nimy-lez-Mons.  
 Tubes de Nimy, S. A., à Nimy-lez-Mons.

### ATELIERS DE CONSTRUCTION

Angleur-Athus (Société Anonyme d'), à Tilleur-lez-Liège.  
 Société Anglo-Franco-Belge de Matériel de chemins de fer, à La Croÿère.  
 Ateliers d'Awans et Etablissements François réunis, S. A., à Awans-Bierset.  
 Baume et Marpent, S. A., à Haine-Saint-Pierre.  
 La Construction Soudée André Beckers, chaussée de Buda, à Haren.  
 Ateliers de Construction Paul Bracke, 34-40, rue de l'Abondance, Bruxelles.  
 John Cockerill, S. A., à Seraing-sur-Meuse.  
 « Cribla », S. A. Construction de Criblages et Lavoirs à charbon, 31, rue du Lombard, Bruxelles.  
 La Brugeoise et Nicaise et Delcuve, S. A., La Louvière.  
 Compagnie Centrale de Construction, S. A., à Haine-Saint-Pierre.  
 Ateliers Detombay, S. A., à Marcinelle.  
 Ateliers Georges Dubois, à Jemeppe-sur-Meuse.  
 Ateliers de la Dyle, S. A., Louvain.  
 Société Métallurgique d'Enghien-Saint-Eloi, S. A., à Enghien.  
 Ateliers de Construction de Jambes-Namur, S. A., à Jambes-Namur.  
 Ateliers de Construction de Familleureux, S. A., à Familleureux.  
 Ateliers de Construction de Hal, S. A., à Hal.  
 Ateliers Emile Kas, avenue de Mai, 264-266, Woluwé-Saint-Lambert.  
 Ateliers de Construction de Mortsel et Etablissements Geerts et Van Aalst réunis, S. A., à Mortsel-lez-Anvers.  
 Ateliers de Construction de Malines (Acomal), S. A., 29, Canal d'Hanswyck, à Malines.  
 Ateliers du Nord de Liège, 5, rue Navette, à Liège.  
 Les Ateliers Métallurgiques, S. A., à Nivelles.  
 Anciens Etablissements Métallurgiques Nobels-Peelman, S. A., à Saint-Nicolas (Waes).  
 Ateliers Métallurgiques et Chantiers Navals, S. A., 192, chaussée de Louvain, Vilvorde.  
 Ougrée-Marihaye (Société Anonyme d'), Siège social Ougrée.  
 Ateliers Arthur Sougniez Fils, 42, rue des Forgerons, à Marcinelle.  
 Ateliers de Constructions de Soignies, S. A., Soignies.  
 Chaudronneries A.-F. Smulders, S. A., à Grâce-Berleur-lez-Liège.  
 Chaurobel, S. A., à Huyssingen.



« Sacoméi » S. A. de Constructions Métalliques et d'Entreprises Industrielles, 78, rue du Marais, à Bruxelles.  
 « Soméba », Société Métallurgique de Baume, S. A., rue Lecat, à La Louvière (Baume).  
 Etablissements D. Steyaert-Heene, Ateliers de Constructions métalliques, Eecloo.  
 Ateliers de Construction et Chaudronnerie de Viesville, S. A., à Viesville-lez-Charleroi.  
 Société Anonyme de Construction et des Ateliers de Willebroeck, à Willebroeck.  
 Société Anonyme des Anciens Etablissements Paul Würth, à Luxembourg.

#### CHASSIS MÉTALLIQUES

Chamebel (Le Châssis Métallique Belge), S. A. Belge, chaussée de Louvain, à Vilvorde.  
 « Soméba », Société Métallurgique de Baume, S. A., rue Lecat, à La Louvière (Baume).

#### MEUBLES MÉTALLIQUES

Manufacture belge de Gembloux, S. A., 7 à 15, rue Albert, Gembloux.  
 « SIDAM », Société Industrielle d'Ameublement, S. A., 46, rue de Stassart, Bruxelles.  
 S. A. des Métaux Usinés, 8, rue de la Station, Jupille-lez-Liège.

#### SOUDEURE AUTOGÈNE

##### Matériel, électrodes, exécution

Electricité et Electro-Mécanique, S. A., 19-21, rue Lambert Crickx, Bruxelles.  
 Electro-Soudure Autogène Belge (Esab.), S. A., 118, rue Stephenson, Bruxelles.  
 Electro-Soudure Thermarc, S. A., 7, rue Gillekens, Vilvorde.  
 L'Air Liquide, S. A., 31, quai Orban, Liège.  
 La Soudure Electrique Autogène « Arcos », S. A., 58-62, rue des Deux Gares, Anderlecht-Bruxelles.  
 L'Oxydrique Internationale, S. A. 31, rue Pierre Van Humbeck, Bruxelles.

#### MARCHANDS DE FER ET DE POUTRELLES ET COMPTOIRS DE VENTE

##### DE PRODUITS MÉTALLURGIQUES

##### Individuellement :

Dayum, S. A. Belge, 4, quai Van Meteren, à Anvers.  
 Ucométal (Union Commerciale Belge de Métallurgie), 24, rue Royale, Bruxelles.  
 Anciens Etablissements Paul Devis, S. A., 43, rue Masui, Bruxelles.  
 Oortmeyer, Mercken et C<sup>ie</sup>, Société en commandite simple, 404-412, avenue Van Volxem, Bruxelles.  
 Etablissements Geerts et Van Aalst réunis, S. A., à Mortsel-lez-Anvers.  
 Etablissements Gilot Hustin, 14, rue de l'Etoile, à Namur.  
 Métaux Galler, S. A., 22, avenue d'Italie, à Anvers.

Fers et Aciers Pante et Masquelier, S. A., 30, rue du Limbourg, à Gand.

##### Collectivement :

Groupement des Marchands de fer et poutrelles de Belgique, 2, rue Auguste Orts, Bruxelles.  
 Chambre Syndicale des Marchands de fer, 2, rue Auguste Orts, à Bruxelles.

#### BUREAUX D'ÉTUDES ET INGÉNIEURS-CONSEILS

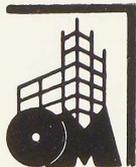
Bureau d'Études Industrielles Fernand Courtoy, Société Coopérative, 43, rue des Colonies, à Bruxelles.  
 Bureau d'Études René Nicolaï, quai des Etats-Unis, 16, Liège.  
 M. C. et P. Molitor, ingénieurs-conseils en construction métallique et soudure électrique, 5, boulevard Emile Bockstaël, à Bruxelles.  
 M. Van der Haeghen, ingénieur-conseil, 20, avenue Michel-Ange, à Bruxelles.  
 M. J. Verdeyen et P. Moenaert, ingénieurs-conseils (A. I. Br.), Bureau Technique de Construction Moderne, 5, rue Jean Chapelié, Bruxelles.

#### MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION

Briqueteries et Tuileries du Brabant, S. A., 21, rue de Mons, à Tubize.  
 Etablissements Cantillana, S. A., rue de France, 29, à Bruxelles-Midi.  
 Le Treillage Céramique Steengas, S. A., 12, avenue Saint-Ambroise, Dilbeek-Bruxelles.  
 Tuileries et Briqueteries d'Hennuyères et de Wanlin, S. A., à Hennuyères.  
 Les Planchers Christin, S. A., 3, place du Béguinage, Bruxelles.  
 S. A. Westvlaamsche Betonwerkerij, 73, quai Saint-Pierre, Bruges.  
 M. M. Vallaëys et Vierin, Briques « Moler », 69, avenue Broustin, Ganshoren, Bruxelles, et 473, Grande Chaussée, Berchem-Anvers.  
 Société Anonyme « Eternit », Cappelle-au-Bois (Malines).  
 Farcométal (métal déployé), 57, rue Gachard, Bruxelles.  
 France et C<sup>ie</sup>, (isolation, acoustique), 8, rue de la Bourse, Bruxelles.

#### MEMBRES INDIVIDUELS

M. Buffin, Constructeur, 131, boulevard Saint-Michel, à Bruxelles.  
 M. Eug. François, professeur à l'Université de Bruxelles, 155, rue de la Loi, Bruxelles.  
 M. Jean François, membre associé de la firme François, rue du Cornet, à Bruxelles.  
 M. César Geeraert, ingénieur, 124, avenue Albert, à Bruxelles.  
 M. Eug. Gevaert, Directeur général honoraire des Ponts et Chaussées, 207, rue de la Victoire, Bruxelles.  
 M. Van Hoenacker, architecte, rue Vénus, 33, Anvers.



# POUTRELLES GREY

A LARGES AILES ET FACES PARALLÈLES

POUR OSSATURES  
D'IMMEUBLES, PONTS  
LIGNES ELECTRIQUES  
ETC.

## 4 SERIES DE PROFILS

TYPE RENFORCE **DIR**

TYPE NORMAL **DIN**

TYPE A AME MINCE **DIL**

TYPE A AILES MINCES **DIE**

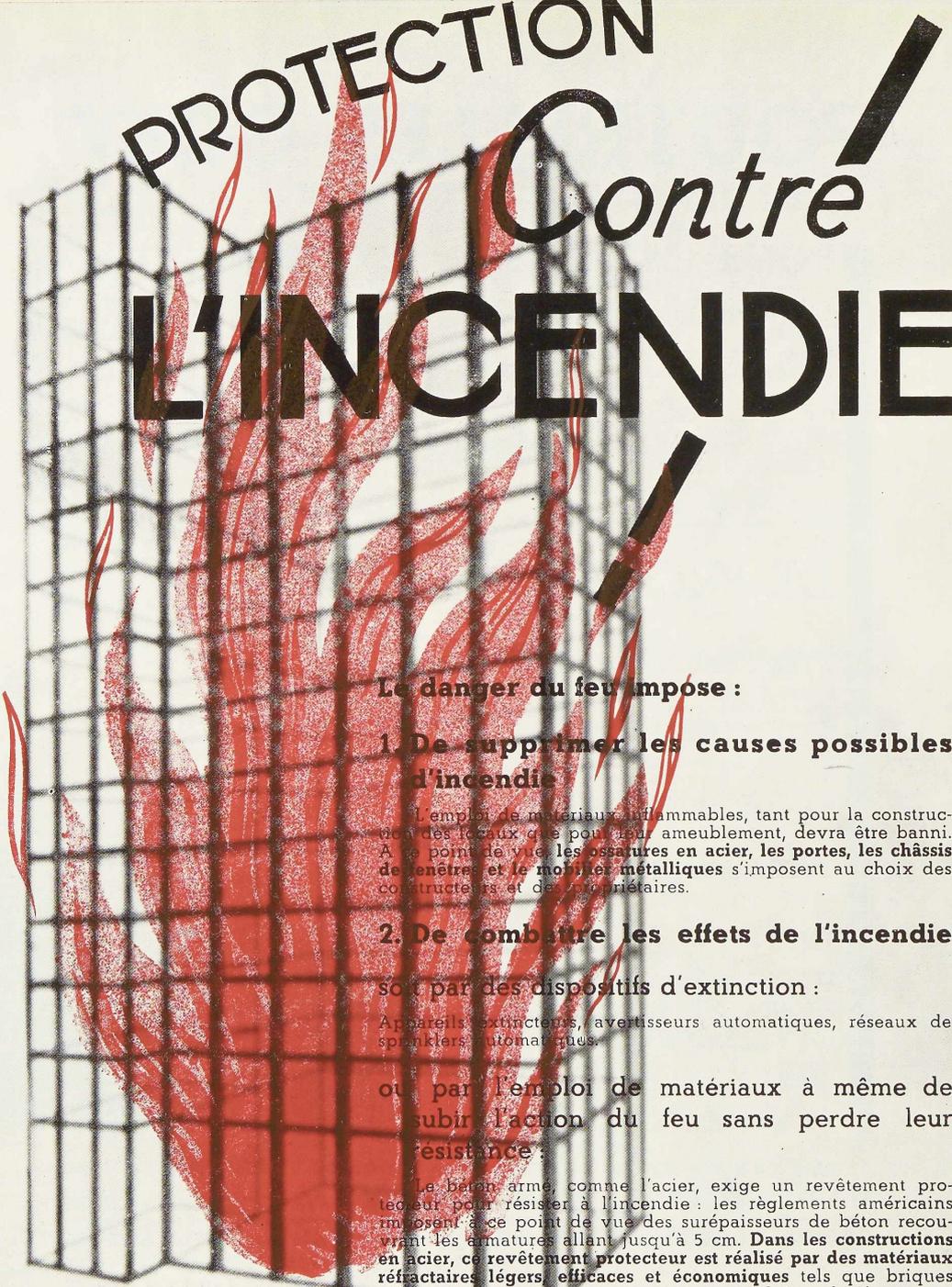
ET TOUS PROFILS INTERMÉDIAIRES  
RÉPONDANT A TOUS LES PROBLÈMES  
DE LA CONSTRUCTION

Immeuble du Boerenbond à Anvers, au 25<sup>e</sup> étage



SEUL FABRICANT EN EUROPE  
**HADIR-DIFFERDANGE**  
GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG

AGENCE DE VENTE EN BELGIQUE  
**DAVUM** SOC. ANONYME BELGE  
4, QUAI VAN METEREN, ANVERS  
TÉLÉGRAMMES: DAVUMPORT  
TÉLÉPHONE: 299.13 à 299.17



# PROTECTION Contre L'INCENDIE

Le danger du feu impose :

## 1. De supprimer les causes possibles d'incendie

L'emploi de matériaux inflammables, tant pour la construction des locaux que pour leur ameublement, devra être banni. À ce point de vue les ossatures en acier, les portes, les châssis de fenêtres et le mobilier métalliques s'imposent au choix des constructeurs et des propriétaires.

## 2. De combattre les effets de l'incendie

soit par des dispositifs d'extinction :

Appareils extincteurs, avertisseurs automatiques, réseaux de sprinklers automatiques.

ou par l'emploi de matériaux à même de subir l'action du feu sans perdre leur résistance :

Le béton armé, comme l'acier, exige un revêtement protecteur pour résister à l'incendie : les règlements américains imposent à ce point de vue des surépaisseurs de béton recouvrant les armatures allant jusqu'à 5 cm. Dans les constructions en acier, ce revêtement protecteur est réalisé par des matériaux réfractaires légers, efficaces et économiques tels que briques réfractaires, corps creux en terre cuite, enduits calorifuges, etc. La résistance du revêtement peut être proportionnée à l'intensité et à la durée maximum de l'incendie possible. Ce principe rationnel est celui adopté dans les fours industriels, qui sont tous construits en ossature en acier.

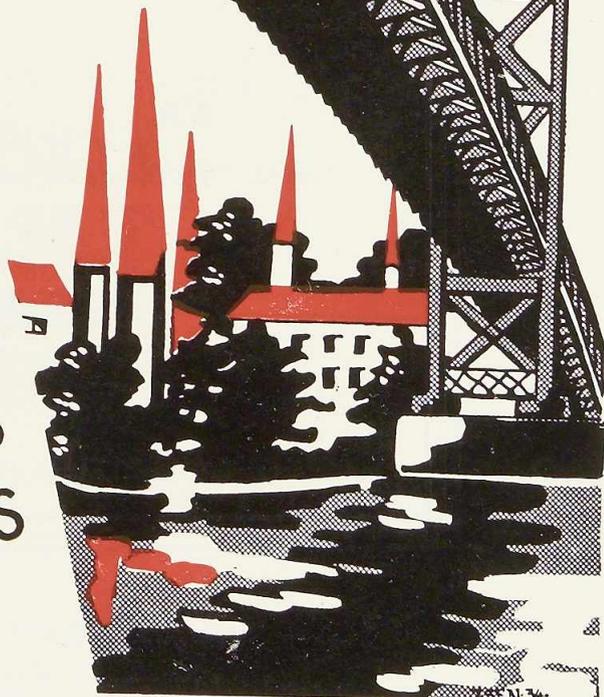
CRÉATION GUY<sub>34</sub>.

SS



# COCKERILL

MÉTALLURGIE  
CONSTRUCTIONS  
MÉCANIQUES ET  
MÉTALLIQUES  
CONSTRUCTIONS  
NAVALES  
CIMENT S  
COULEURS & VERNIS



STUDIO SIMAR-STEVENSON BRUXELLES

# ELECTRODES

ENROBEES & ENDUITES

POUR TOUTES APPLICATIONS  
DE LA SOUDURE A L'ARC

Procédés agréés par la  
SOCIÉTÉ NATIONALE  
DES CHEMINS  
DE FER BELGES



Procédés agréés par le  
LLOYD REGISTER  
OF SHIPPING et le  
BUREAU VERITAS

S. A.

## ELECTRO - SOUDURE THERMARC

RUE GILLEKENS, 7, VILVORDE

TÉLÉPHONE BRUXELLES 15.91.40. ADRESSE TÉLÉGR. THERMARC VILVORDE

# SOCO BELGE

SOCIÉTÉ COMMERCIALE DE BELGIQUE

A  
**OUGRÉE**



**MONOPOLE DES VENTES POUR TOUS PAYS**

de la production des Usines, Charbonnages, Minières et Carrières de la

**S. A. D'OUGRÉE-MARIHAYE**

(Divisions belges et luxembourgeoise)

des produits de la

SOCIÉTÉ BELGE DE L'AZOTE

S. A. DES FOURS A COKE DE ZEEBRUGGE

S. A. DES COKERIES DU MARLY

S. A. DES PRODUITS CHIMIQUES DU MARLY

S. A. DES LAMINOIRS D'ANVERS

S. A. DES FORGES, FONDERIES ET LAMINOIRS DE NIMY

des produits de

L'ENTENTE DES FABRICANTS BELGES DE FIL DE MACHINE

L'ENTENTE BELGE DE CLOUTERIES ET TRÉFILERIES

L'ENTENTE DES FABRICANTS BELGES DE FEUILLARDS ET BANDES A TUBES

**ET POUR L'EXPORTATION**

de la production des Usines de la

S. A. DES HAUTS FOURNEAUX DE LA CHIERS

Usines de Longwy-Bas (M.-et-M., France), de Vireux-Molhain (Ardennes, France)  
et de Blagny-Carignan (Ardennes, France)



**TÉLÉPHONE :** LIÈGE 308.30 et 328 30 (20 lignes)

**TÉLÉGRAMMES :** SOCOBELGE-OUGRÉE

ENTREPRISES  
BLATON-AUBERT

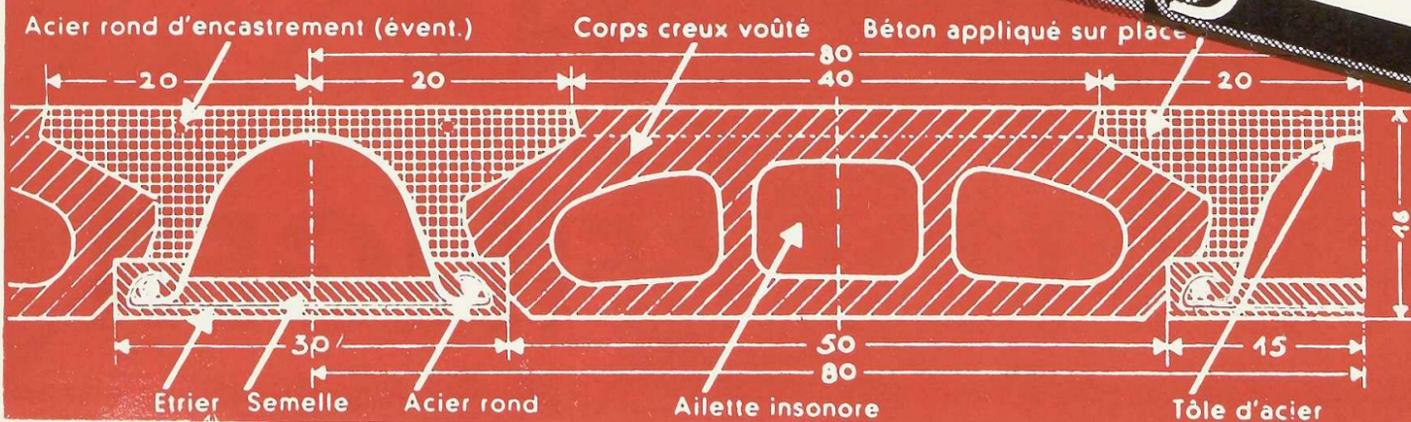
SOCIETE ANONYME



4, Rue du Pavillon, BRUXELLES

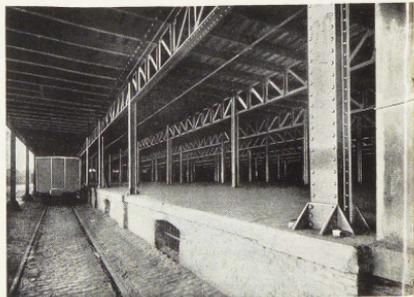
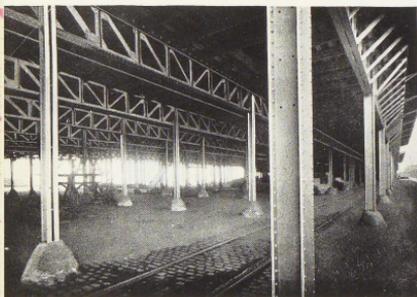
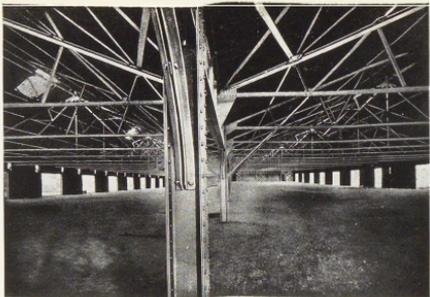
# LE PLANCHER TUBACIER

158, boulev. Adolphe Max, BRUXELLES. Téléph. : 17.53.95  
ARCHITECTES, INGÉNIEURS, PROPRIÉTAIRES !  
Songez que 90 % des appartements vides le sont  
à cause de la sonorité excessive. Evitez cette  
erreur par l'emploi du PLANCHER TUBACIER.  
Toutes portées jusqu'à 12 mètres.



DEMANDEZ CATALOGUE S. F.

STUDIO SIMAR STEVENS BRUXELLES



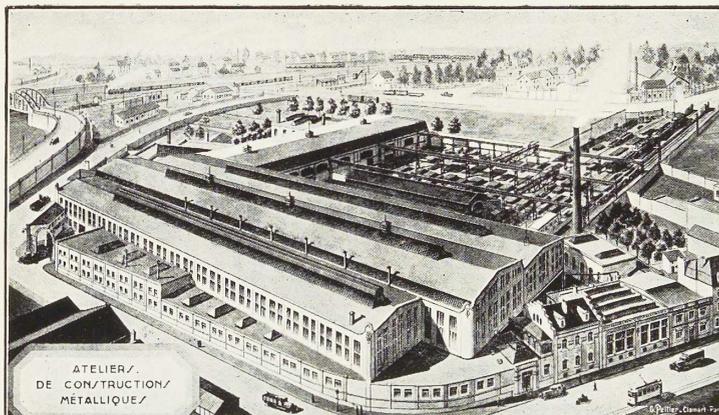
Quelques vues partielles des hangars du port de Gand dont les parties métalliques sont entretenues en bon état grâce à l'emploi de la

**FERRILINE**

FABRIQUÉE EN BELGIQUE PAR

**LES FILS LEVY-FINGER**

S. A. TÉL. : 26.39.60-26.43.07 - R. ED. TOLLENAERE, 32-34, BRUXELLES



**Division : APPAREILS DE LEVAGE**

**ET DE MANUTENTION ELECTRIQUES**

Ponts-Roulants, Treuils, Monorails,  
 Palans électriques de 250 kg. à 10 tonnes,  
 Grues fixes et mobiles, Portiques roulants,  
 Monte-charges, Transbordeurs, Cabestans,  
 Bennes preneuses automatiques.  
 Appareils spéciaux pour usines métallurgiques :  
 Treuils de chargement de Hauts Fourneaux,  
 Chariots automoteurs,  
 Ponts de coulée,  
 Ponts Pitts, Strippeurs,  
 Enfourneuses de Fours Martin,  
 Ponts d'ajustage,  
 etc.

Installations complètes  
 de manutention  
 de tous produits

Téléphones :  
 Luxembourg

23-22  
 23-23  
 28-52

**Division : A CIERIE**

Toutes Pièces en acier  
 coulé, Brutes ou Parachevées

**Division :**

**PONTS ET CHARPENTES**

Constructions métalliques, Installations  
 complètes de Hauts Fourneaux,  
 Ossatures métalliques de magasins,  
 de bâtiments industriels et de maisons  
 d'habitation. Grosse Chaudronnerie.

Appareils Cowper, Conduites à gaz, Réservoirs,  
 Tanks, Bennes.

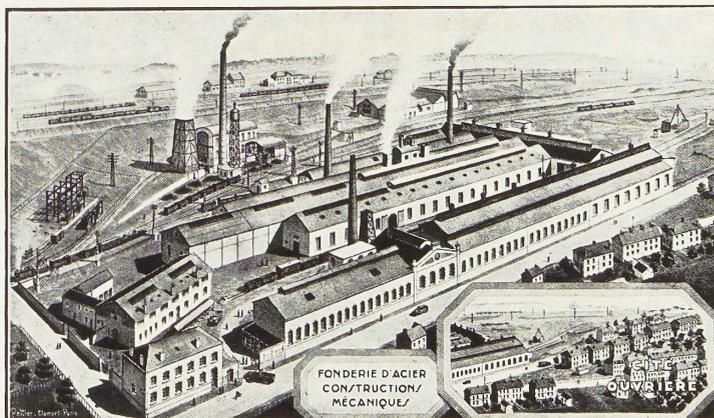
**Division : MECANIQUE GENERALE**

Engrenages taillés à denture droite et à chevrons,  
 Réducteurs de vitesse brevetés,  
 Vannes à vent chaud, Chariots à fonte et à laitier,  
 Cars de coulée

**S. A. des Anc. Etabl. PAUL WURTH, LUXEMBOURG**

Case  
 Postale :  
 Luxembourg  
 34

Adresse  
 télégr. :  
 PEWECO-  
 LUXEMBOURG



# ESAB



ÉLECTRODES

**OK**

Original Kjellberg

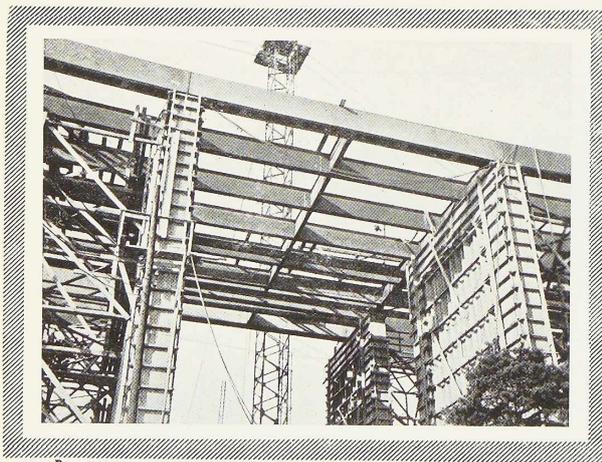
**ELECTRO SOUDURE AUTOGENE BELGE - S. A.**

118, rue Stephenson, Bruxelles — Téléphone 15.91.26 — Télégramme Esab-Bruxelles

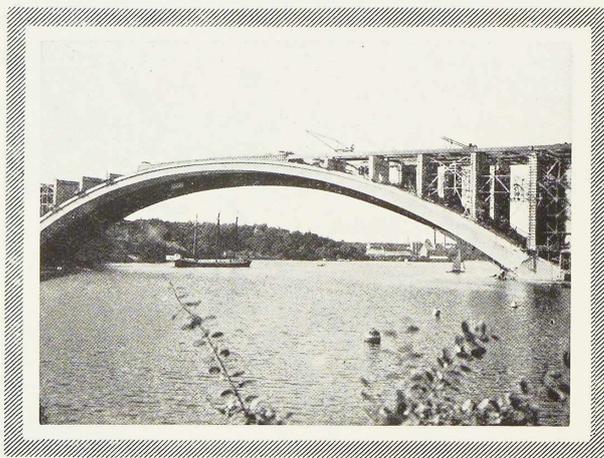
## LA SOUDURE ELECTRIQUE A L'ARC

voit ses applications se multiplier et son champ d'action s'étendre davantage

Les électrodes Kjellberg furent les premières appliquées, et, grâce à leur qualité, ont trouvé une grande diffusion. Inventeur de l'électrode enrobée et fondateur de la Société ESAB, l'ingénieur O. Kjellberg commença ses premières expériences, il y a un quart de siècle. Ses travaux, poursuivis avec opiniâtreté, ont abouti à nos électrodes actuelles, appliquées universellement dans les constructions et ouvrages divers les plus importants.



Partie du tablier du Pont du Traneberg. La longueur totale des soudures dépasse 40 km.



Pont du Traneberg, près de Stockholm, dont la partie métallique a été entièrement soudée avec nos électrodes OK 47 et OK 45

# ESAB

se tient à votre disposition pour effectuer chez vous, et sans engagement, des essais de soudure et pour examiner tous problèmes y relatifs.

GROUPES TRANSFORMATEURS ROTATIFS  
DYNAMOS DE SOUDURE  
TRANSFORMATEURS STATIQUES  
GROUPES A ESSENCE.

**ININFLAMMABLE**



**A 1800°**

La plaque "BAILLISOL" primée entre 250 produits différents, a été adoptée pour l'isolation thermique du nouveau paquebot "La Normandie".

Densité : 130 à 140 kilos le m<sup>3</sup>.

Produit acoustique parfait.

Coefficient de conductibilité : 0,03 le plus bas connu à ce jour.

Se fabrique en toutes épaisseurs à partir de 15 mm.

PRODUITS EN TERRE - CUITE.

**Toitures. Sous-toitures. Toitures-terrasses. Planchers  
Imperméabilisation toitures-terrasses au bitume pur: BINIUM**

GRAND PRIX EXPOSITION DE LIÈGE 1930

**JOSEPH FRANCCART**

61, RUE DE LA SOURCE, 61 • BRUXELLES  
TÉLÉPHONE : 37.77.80 - ADRESSE TÉLÉGRAPHIQUE : FRANCCARJOS. BRUXELLES

STUDIO SIMAR-STEVENSON

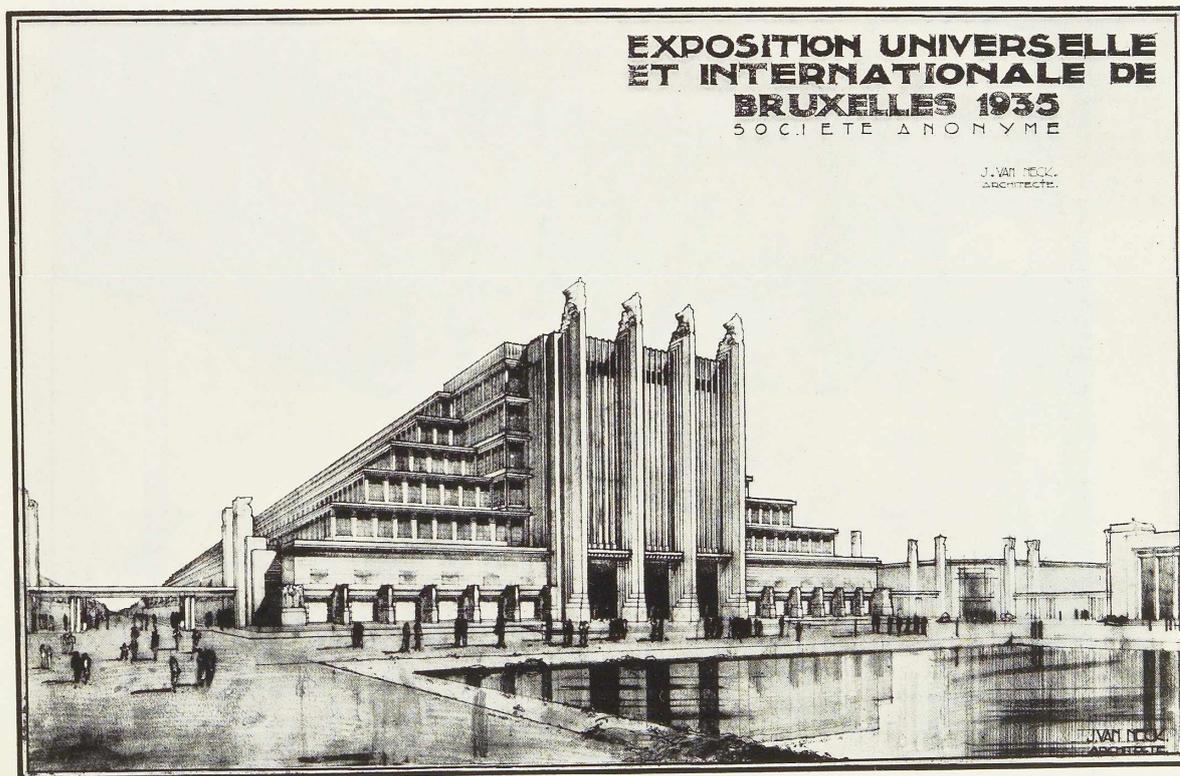


ENTREPRISE DE  
TRAVAUX PUBLICS  
ET PARTICULIERS

**ED. FRANÇOIS & FILS**  
43, RUE DU CORNET, 43  
ETTERBEEK - BRUXELLES

# HALLE CENTRALE

de l'Exposition Universelle et Internationale  
de Bruxelles 1935



ENTREPRISES GÉNÉRALES : ENGEMA-BRUXELLES

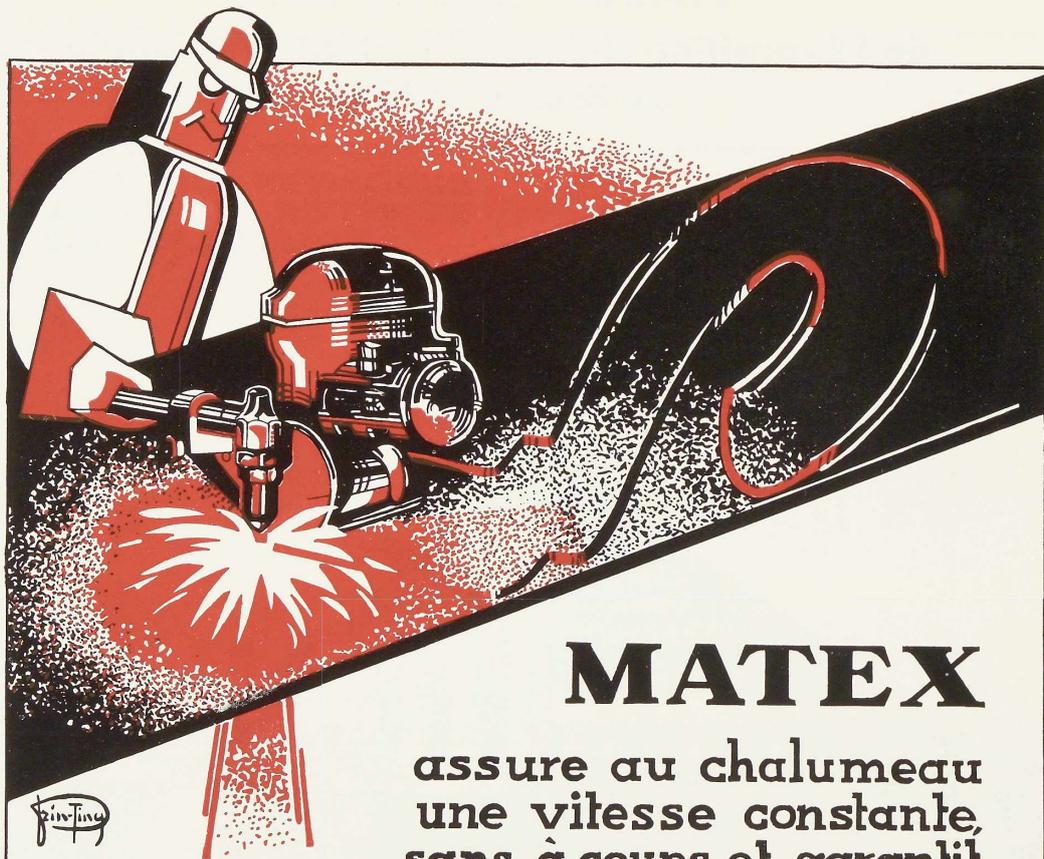
ARCHITECTE : J. VAN NECK

La fourniture des châssis métalliques  
destinés à cette halle a été confiée aux

## USINES CHAMEBEL

LE CHASSIS MÉTALLIQUE BELGE  
SOCIÉTÉ ANONYME - VILVORDE

TÉLÉPHONE : 15.84.24 - LICENCE ET BREVETS WILLIAMS ET WILLIAMS



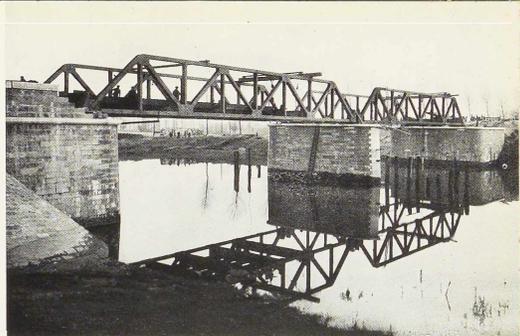
# MATEX

assure au chalumeau  
une vitesse constante,  
sans à-coups, et garantit  
des coupes très nettes qui  
réduisent l'usinage au minimum

---

POUR TOUTS RENSEIGNEMENTS S'ADRESSER A

**L'AIR LIQUIDE S.A. LIEGE.**



PONT-ROUTE DE WAESMUNSTER

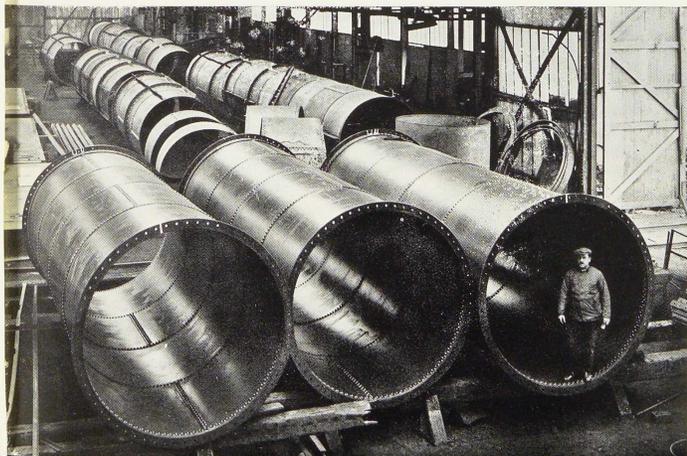
ANCIENS ÉTABLISSEMENTS MÉTALLURGIQUES

# NOBELS-PEELMAN

SOC. AN. SAINT-NICOLAS/WAES, BELGIQUE

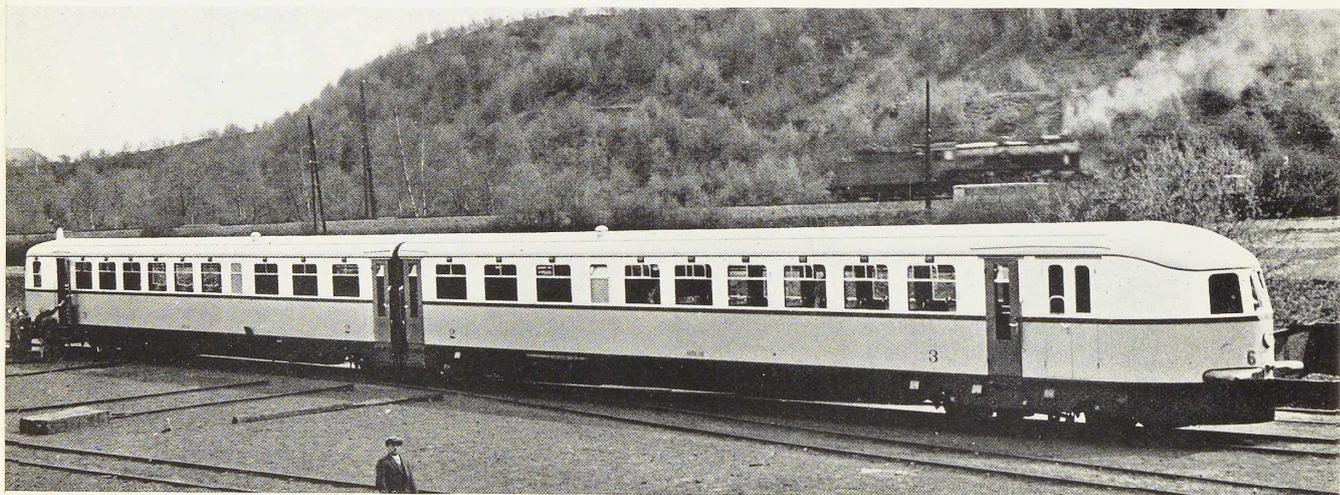


Ponts, Charpentes, Pylones  
Réservoirs, Tanks, Tuyauteries rivées  
Transporteurs-monorails  
Wagons - citernes, wagons - jarres  
Wagons-trémies



TUYAUTERIES RIVÉES  
A DESTINATION DU  
MAROC

# LA NOUVELLE AUTOMOTRICE DES CHEMINS DE FER BELGES



## PEINTE AVEC **C O L O R I N** DEPUIS **A** JUSQU'À **Z**

Il fallait un fini en tous points digne de ces superbes lignes aérodynamiques ! Il fallait surtout des émaux, laques et vernis capables de résister dans les conditions extraordinairement dures qui vont leur être imposées.

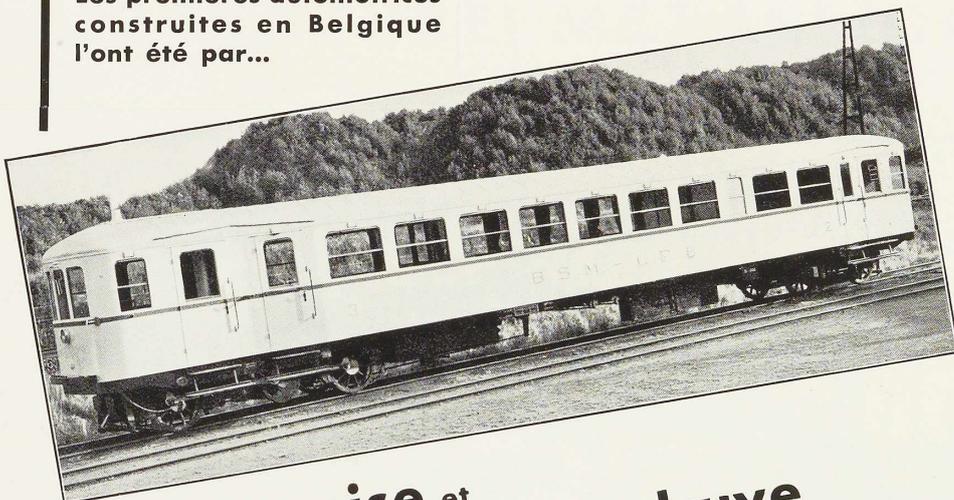
Les produits Colorin répondant supérieurement à ces deux exigences, il n'est donc pas étonnant qu'ils aient été adoptés par les constructeurs « La Brugeoise, Nicaise et Delcuve » à La Louvière, et approuvés par les ingénieurs de la Société Nationale des Chemins de fer Belges.

Voici la liste des produits Colorin utilisés dans ces superbes voitures - orgueil de notre Railway :

POUR L'EXTERIEUR. - Minium de plomb préparé Colorin. Enduit Endurex Colorin. Apprêt Endurex Colorin. 1<sup>re</sup> couche de teinte Colorin. 2<sup>e</sup> couche de teinte Colorin. Email à polir et émail final des tons n° 58 (Bleu acier), 59 (Bleu voiture) et 60 (Beige) de la gamme Colorin.

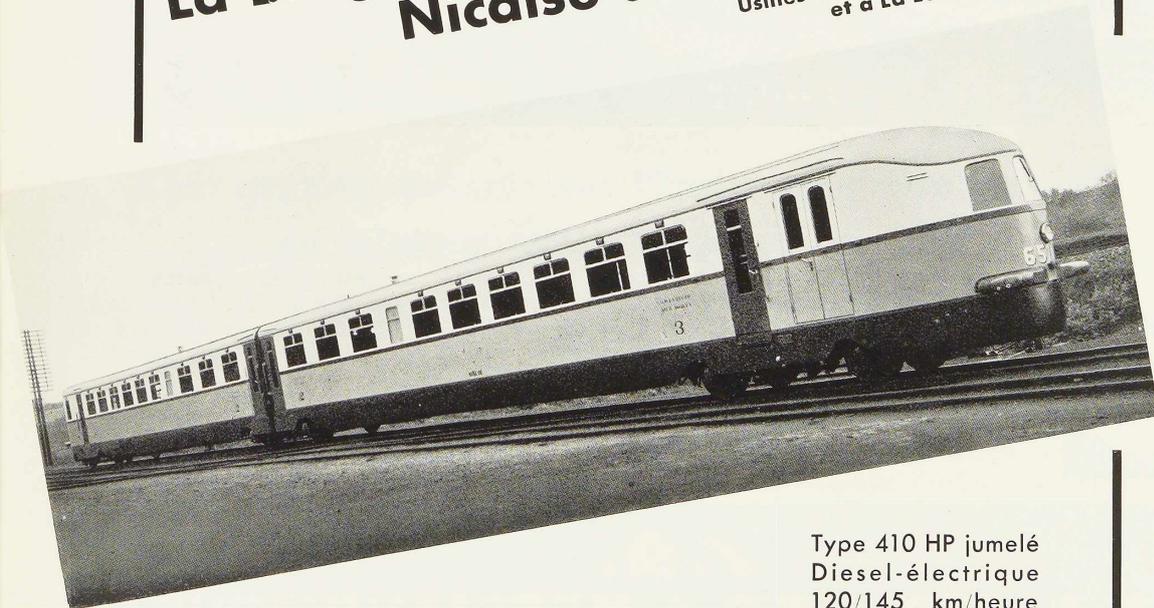
POUR L'INTERIEUR. - Les sièges en bois naturel ont été recouverts de vernis mat Colorin.

**Les premières automotrices  
construites en Belgique  
l'ont été par...**



Types 175 HP.  
et 210 HP.  
Diesel-mécanique  
ou  
Diesel-électrique  
80/90 km/h.

**La Brugeoise et  
Nicaise & Delcuve**  
Usines à Saint-Michel-lez-Bruges  
et à La Louvière



Type 410 HP jumelé  
Diesel-électrique  
120/145 km/heure

# EXPOSITION 1935



(Photo L'Epi-Devolder)

La charpente métallique du bâtiment du Musée d'Art Ancien à l'Exposition Universelle de 1935. Entrepreneur : Van Rymenant.

Pour la construction rivée ou soudée d'ossatures métalliques de buildings, de charpentes de tous genres (gares, marchés couverts, hangars, piers, débarcadères), ponts fixes et mobiles (Vierendeel-Strauss-Scherzer, etc.), grues, etc., vous avez intérêt à consulter la **division PONTS ET CHARPENTES** de ces usines dont l'expérience et la formidable capacité de production constituent une garantie certaine d'exécution parfaite.



S.A.  
**LES ATELIERS METALLURGIQUES  
NIVELLES - BELGIQUE**

STUDIO SIMAR-STEVEN, Bruxelles

---

# L'OSSATURE METALLIQUE

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

---

3<sup>e</sup> ANNÉE · N° 6 · JUIN 1934. LE NUMÉRO, 6 FRANCS

**Abonnements :** Belgique et Grand-Duché de Luxembourg : 1 an, 40 francs  
Étranger : 1 an, 70 francs (14 belgas)

54, RUE DES COLONIES, BRUXELLES. TÉLÉPHONE : 17.29.44. CHÈQUES POSTAUX : 34 017

---

## Sommaire

Les grands palais de l'Exposition universelle et internationale de Bruxelles 1935. Aperçu général concernant les ouvrages métalliques, par L. Baes	pages 279
La nouvelle automotrice jumelée Diesel électrique 410 HP de la Société Nationale des Chemins de Fer Belges	298
Les nouveaux volets métalliques des grands magasins « A l'Innovation » à Bruxelles	302
Les principes de la plasticité parfaite appliqués aux calculs de la résistance des matériaux, par L. Baes	305
L'élargissement du pont de La Hulpe	332
Sécurité d'abord	334
Chronique	335
Ouvrages récemment parus	338
Documentation bibliographique	342

## Les grands palais de l'Exposition Universelle et Internationale de Bruxelles 1935

### Aperçu général concernant les ouvrages métalliques

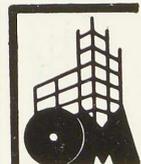
par **Louis Baes**,  
Ingénieur I.C.M.-A.I.Br.  
Professeur à l'Université de Bruxelles

Sur le plateau du Heysel, dans une région actuellement à peine connue des habitants de l'agglomération bruxelloise, la Ville de Bruxelles et la Société de l'Exposition de 1935 poursuivent la création d'un nouveau grand quartier, qui en 1935 sera occupé par l'Exposition universelle et internationale de Bruxelles.

Les avenues du futur quartier, établies dès maintenant à titre définitif, constituent les avenues de l'Exposition ; l'axe fondamental est formé par le boulevard du Centenaire.

Ce très beau boulevard, de 800 mètres de longueur, dont le milieu est occupé par des terre-pleins et des escaliers d'eau, s'élève

279



par une rampe continue de la place Saint-Lambert à la place du Centenaire (côte 72 m 50).

La place du Centenaire est le cœur de l'Exposition de 1935.

Au sommet du plateau, elle constitue une vaste esplanade de 160 mètres de largeur et de 180 mètres de profondeur, occupée dans l'axe par un grand miroir d'eau et un grand buffet d'eau, d'où les eaux dévaleront par les escaliers d'eau du boulevard.

Cette esplanade est encadrée par les cinq grands palais, construits en matériaux durs.

Ce vaste ensemble subsistera après l'Exposition de 1935, alors que toutes les constructions éphémères auront disparu.

Ces cinq grands palais couvrent une surface totale d'environ 45.000 m<sup>2</sup>, ils comprennent :

Dans le fond et dans l'axe, le *Grand Palais principal*, couvrant à lui seul près de 15.000 m<sup>2</sup> ;

Dans le fond et de part et d'autre du Grand Palais principal les *halles latérales* occupant chacune 10.800 m<sup>2</sup> ;

Du côté gauche, le *Palais dit de l'Art ancien*, de 5.500 m<sup>2</sup>, accolé à un bâtiment d'Administration et enfin,

Du côté droit, le *Palais de la Salle des fêtes* de près de 5.000 m<sup>2</sup>.

Ces cinq bâtiments, séparés par de larges espaces constituant coupe-feu, sont raccordés l'un à l'autre par des galeries à colonnettes, qui complètent heureusement l'encadrement de la vaste esplanade de la place du Centenaire.

La conception de cet ensemble architectural est due à M. Joseph Van Neck, architecte en chef de l'Exposition de 1935.

La conception technique des bâtiments est l'œuvre du service technique de l'Exposition, auquel j'ai été directement associé

en qualité d'Ingénieur Conseil pour les charpentes métalliques et pour le Grand Hall principal. Le service technique est dirigé par M. l'Ingénieur Henri Demol.

Les calculs et les plans définitifs et l'exécution sont l'œuvre des sociétés d'entreprises chargées de la construction.

Chacun des cinq grands palais constitue une œuvre architecturale et technique intéressante. Les quatre palais autres que le Grand Palais principal sont couverts par des charpentes métalliques.

Celles-ci ne sont en fait pas visibles, car elles soutiennent de grands plafonds qui les cachent.

Les *sociétés d'entreprises* chargées d'exécuter ces travaux sont : comme entrepreneurs généraux désignés par la Société de l'Exposition :

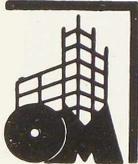
D'une part la Société anonyme Entreprises générales et Matériaux, *Engéma* de Bruxelles, à laquelle a été confiée la construction du principal ouvrage, le Grand Palais principal central et d'une des grandes halles latérales ;

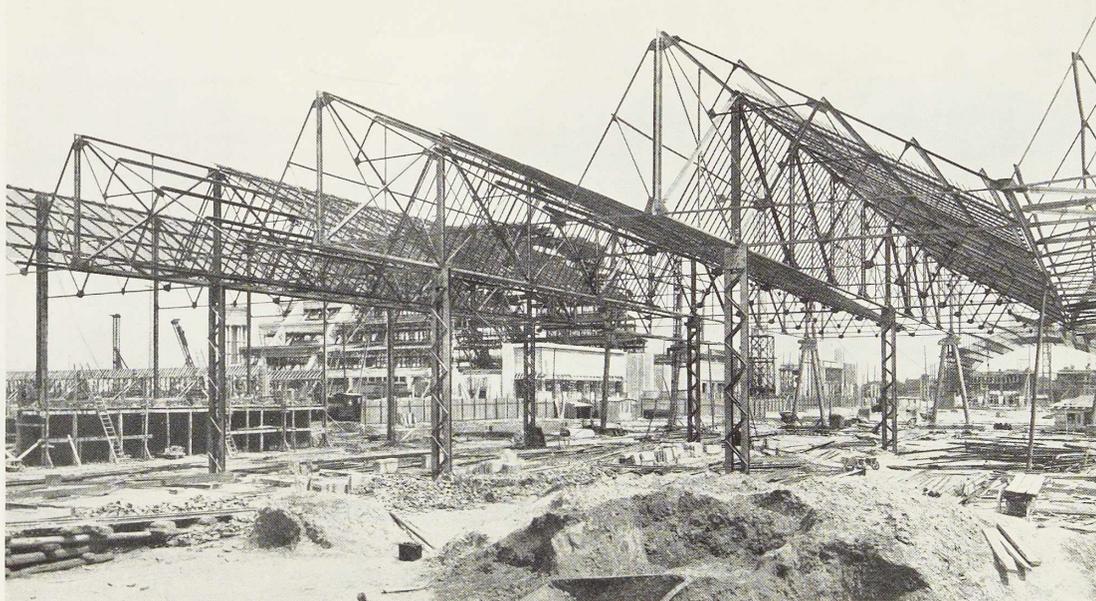
D'autre part la firme d'entreprises *Laurent Van Rymenant*, de Bruxelles, qui a été chargée de la construction de la seconde halle latérale, du bâtiment de la Salle des fêtes et de celui du Musée d'art ancien avec locaux d'Administration.

Ces sociétés ont confié en sous-entreprise l'étude, la construction et le montage de toutes les charpentes métalliques définitives à la Société anonyme des *Ateliers de Construction de Jambes-Namur* (anciens Etablissements Th. Finet). Cette Société couvre pour cette entreprise un groupe de constructeurs composé comme suit :

Elle-même, qui exécute et monte les charpentes des deux grandes halles latérales et monte les charpentes de la Salle des fêtes ;

*Les Ateliers métallurgiques de Nivelles,*





**Fig. 323.** 26 mai 1934. Charpente métallique du bâtiment du Musée d'Art ancien. La charpente est du type Raikem portée par de grands longerons en treillis à grandes mailles soutenus par des colonnes métalliques. (Ateliers Métallurgiques à Nivelles.) (Photo L'Epi-Devolder.)

qui exécutent et montent les charpentes du bâtiment du Musée d'Art ancien ;

*Les Ateliers Wurth à Luxembourg*, qui exécutent les charpentes de la Salle des fêtes.

Mais à côté des charpentes définitives il y a lieu de ne pas perdre de vue l'importante et exceptionnelle charpente métallique constituant le cintre sur lequel sont bétonnés les arcs du Grand palais principal.

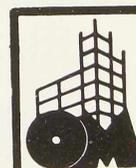
Cette charpente et tous ses accessoires, ainsi que les coffrages métalliques ont été passés en sous-entreprise par la Société Engéma aux *Ateliers Georges Dubois à Jemeppe*.

Enfin la Société Engéma a confié l'exécution des sommiers en acier coulé des rotules des arcs du Grand Palais principal aux *Usines Gustave Boël à La Louvière*, et

celle des grains en acier spécial pour les rotules de pied de ces arcs à la *Société Anonyme des Aciéries de Haine-Saint-Pierre et Lesquin*.

Les opérations de montage du cintre métallique des grands arcs, les opérations de montage et de démontage des coffrages métalliques, l'exécution de l'opération du décintrement des arcs en béton armé et de l'opération importante du ripage du grand cintre dans ses six positions successives ont été confiés par la Société Engéma à la firme *Cornet d'Ampsin*, spécialisée en montages.

La présente note donne un premier aperçu relatif aux ouvrages métalliques de ces grandes entreprises ; des études et descriptions plus détaillées de chacune des parties seront publiées ultérieurement notamment dans l'*Ossature Métallique*.





Musée de l'Art ancien

Halle latérale

Grand palais principal

Fig. 324. Vue générale des chantiers des grands palais de l'Exposition de Bruxelles.

### Bâtiment du Musée d'Art ancien

(Constructeur des charpentes : les Ateliers Métallurgiques à Nivelles.)

Ce Palais comporte de grandes salles couvertes par des charpentes métalliques du type raikem portées par de grands longerons en treillis à grandes mailles soutenus par des colonnes métalliques.

Le type de charpente est entièrement iso-

statique, avec articulations appropriées ; le type est classique.

Ces longerons soutiennent un plafond plat constituant des lanterneaux horizontaux séparés par des bandes opaques réalisées en dalles de béton de pierre ponce peu épaisses, armées du métal déployé type Farco.

La couverture est en éternit en losanges sur sous-toiture.

### Bâtiment de la Salle des Fêtes

(Constructeur des charpentes : les Ateliers Wurth à Luxembourg, montage par les Ateliers de Jambes-Namur.)

Ce bâtiment occupe une surface de 5.000 m<sup>2</sup>, dont la plus grande partie correspond à une surface rectangulaire de 53 m 60 de largeur et de 65 m 50 de longueur. Il comprend essentiellement la grande Salle des Fêtes qui offre normalement 3.300 places assises et exceptionnellement 3.600.

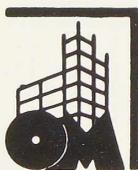
Les façades du bâtiment sont auto-stables au vent.

La salle est couverte par des charpentes

métalliques d'un type un peu spécial, construit pour la première fois en Belgique. Les fermes sont au nombre de douze, espacées de 6 mètres d'axe en axe. Elles ont 43 mètres de portée.

Elles constituent des *arcs dits à quatre rotules*. Les quatre rotules comprennent : les deux rotules d'appuis, du type pendulaire à plaques cintrées à grand rayon de courbure et deux rotules cylindriques en pleine charpente (les cinquièmes nœuds à partir du faite de la membrure supérieure).

Le treillis des fermes est à grandes mailles ; dans les mailles triangulaires dont le





Grand palais principal

Halle latérale

Salle des fêtes

Bruxelles 1935. Vue prise le 17 juin 1934. (Photo L'Epi-Devolder.)

sommet supérieur est une des rotules cylindriques, la barre opposée à ce sommet et appartenant à la membrure inférieure de l'arc est constituée par deux fers plats, dont la tension peut être réglée au montage et même ultérieurement. Cette barre doit se dérober sous une sollicitation de compression.

Le réglage de ces barres spéciales est fait de telle façon que sous l'effet des charges permanentes ces barres seraient comprimées, elles se dérobent donc.

Dans ces conditions la charpente travaille effectivement en *arc à quatre rotules* facile à calculer, mais essentiellement instable.

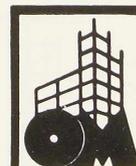
En principe dès qu'une cause de dissymétrie se marque dans la sollicitation d'ensemble, l'une des deux barres spéciales est soumise à traction, l'autre à compression, une seule d'entre elles se dérobe donc et l'arc fonctionne à *trois rotules*. C'est ce qui se produit sous l'action du vent. Le vent soufflant de gauche soumet à traction la barre spéciale de gauche et l'arc fonctionne à trois rotules : les deux rotules d'appui et la rotule intermédiaire de droite. Inversement lorsque le vent souffle de droite. Sous

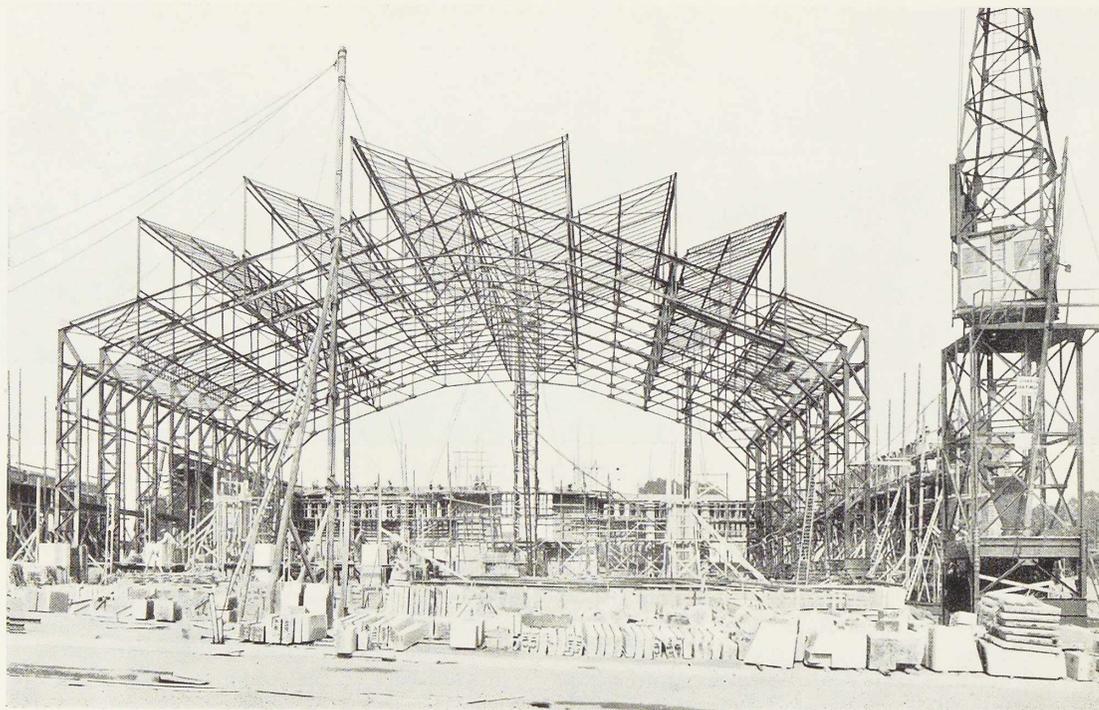
les actions du vent les arcs restent donc isostatiques et facilement chiffrables.

Enfin, dans le cas particulier des actions de la neige associée aux charges permanentes, les deux barres spéciales sont soumises à traction et la ferme travaille en *arc à deux rotules*.

En fait, dans le cas particulier de ces charpentes, l'intérêt d'économie attribué aux arcs à quatre rotules, sous prétexte que les courbes des poussées sont plus favorablement placées, semble bien peu sensible, car il ne faut pas oublier que la réalisation des troisième et quatrième rotules est assez coûteuse, et qu'à cet endroit il faut prendre des précautions au sujet des contreventements pour éviter que la ferme ne présente un manque de raideur normalement à son plan moyen.

Je vois surtout ici comme intérêt à la disposition à quatre rotules une plus grande certitude de la connaissance des efforts sollicitant chaque pièce et donc aussi une certaine économie dans la détermination des profils. Cela est dû au fait que les calculs sont isostatiques et que les cas où l'arc fonctionne à deux rotules seule-





**Fig. 325.** 19 mai 1934. Partie de la charpente métallique de la Salle des fêtes.  
Fermes à quatre rotules : les deux rotules de pied et les 5<sup>es</sup> nœuds des membrures supérieures à partir du faite. Les pièces qui doivent se dérober sous des efforts de compression sont les barres de la membrure inférieure opposées à ces 5<sup>es</sup> nœuds. (Ateliers Wurth à Luxembourg, montage Ateliers de Jambes-Namur.) (Entrepreneur général : L. Van Rymenant de Bruxelles.) (Photo Peeters.)

ment ne constituent qu'une sorte de perturbation des cas isostatiques.

Mais d'autre part il faut prendre garde que les arcs à quatre rotules pourraient parfois être trop déformables. Dans le cas particulier de l'Exposition, c'est une des raisons qui a justifié de réaliser les façades latérales auto-portantes au vent et de supprimer les grands porte-à-faux des balcons des galeries, que l'architecte avait prévus.

La salle couverte par les fermes à quatre rotules est longée de part et d'autre par une galerie de 5 m 40 de largeur, ce qui porte la largeur totale à 53 m 80.

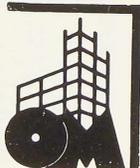
La hauteur depuis les rotules d'appuis des fermes, jusqu'en dessous de la mem-

brure inférieure est de 18 mètres dans l'axe du bâtiment.

Les galeries latérales sont prolongées vers le milieu de la salle par une large galerie de 7 m 40, destinée à recevoir des gradins pour les spectateurs ou des objets d'exposition.

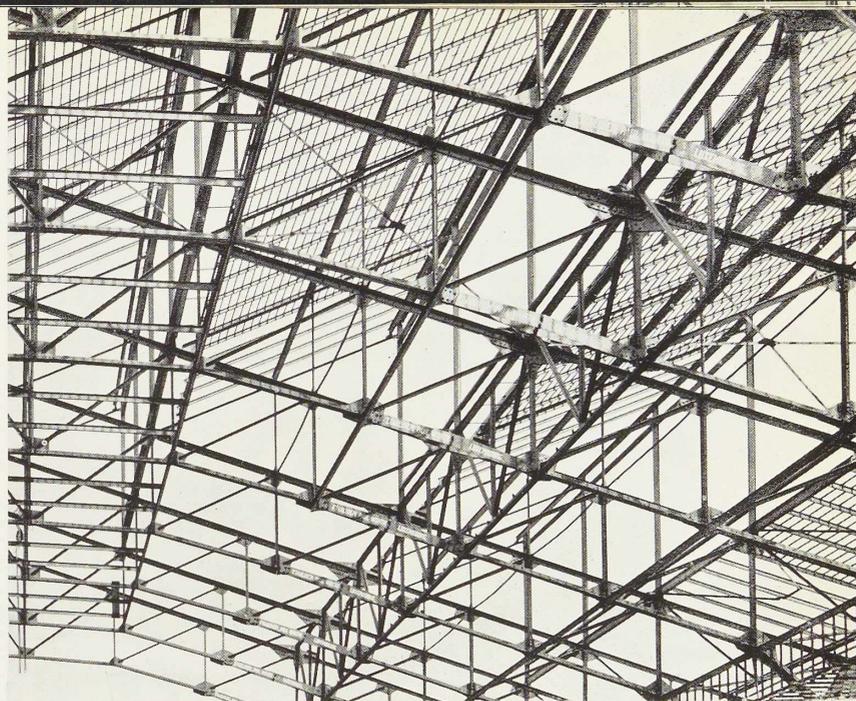
Ces galeries ne sont pas en porte-à-faux comme dans les projets initiaux, elles sont soutenues par de petites colonnes noyées dans les cloisons longitudinales qui règnent sous ces galeries.

On pourrait d'ailleurs dans l'avenir supprimer ces cloisons, les petites colonnes et les galeries et modifier donc l'aspect général de la salle.



**Fig. 326.** Partie de la charpente métallique de la Salle des fêtes. Vue des rotules supérieures et des barres correspondantes qui doivent se dérober sous des efforts de compression.

(Photo L'Epi-Devolder.)



Le rez-de-chaussée de la salle est réalisé en béton armé, la poussée horizontale des fermes en arc, qui prennent appui au niveau du rez-de-chaussée, est neutralisée par les poutres appropriées du hourdis du rez-de-chaussée.

La toiture a la forme en dents de scie, les versants obliques étant couverts au moyen de grands losanges en éternit posés sur sous-toiture. Les parties verticales des dents de scie sont occupées par des châssis métalliques recevant les vitrages.

Le plafond de la salle, soutenu directement aux nœuds de la membrure inférieure, est en principe constitué par des gradins horizontaux et verticaux vitrés.

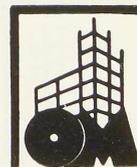
L'éclairage est donc en principe un éclairage naturel, le plafond constituant un lanterneau à gradins cachant les charpentes métalliques.

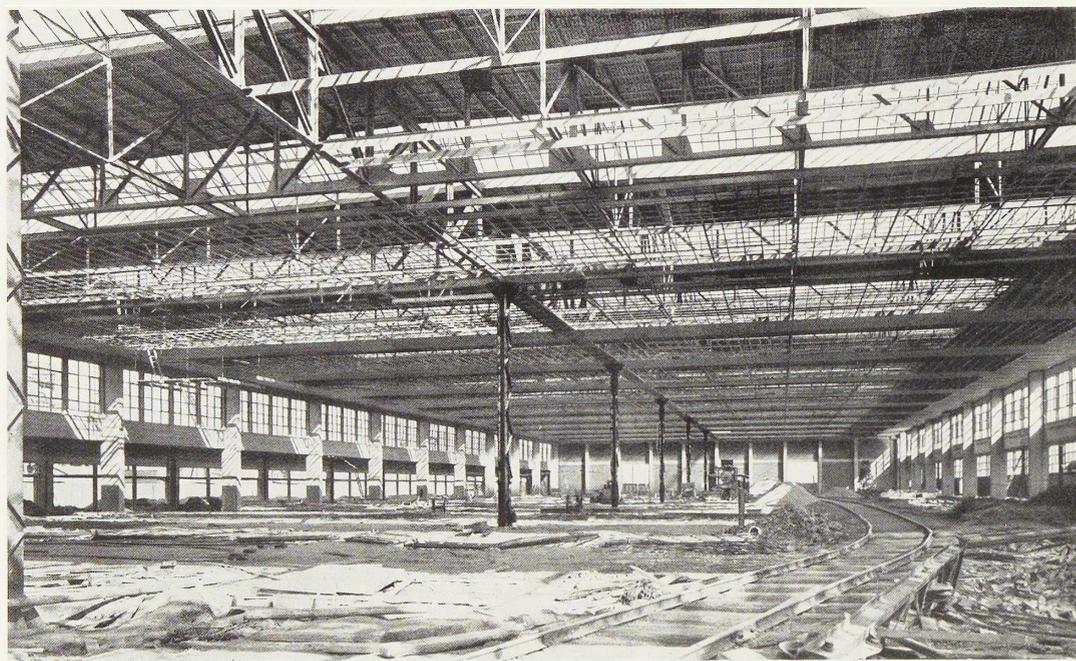
Pendant la durée de l'Exposition le plafond vitré sera remplacé par un plafond

opaque à gradins horizontaux. Les gradins déborderont l'un sur l'autre pour réserver des gorges dans lesquelles seront dissimulés les appareils d'éclairage ; l'éclairage sera donc artificiel et indirect.

Dans le fond de la salle est prévue une vaste masse chorale franchie par une poutre métallique en treillis de 22 m 90 d'ouverture, qui constitue en même temps un élément essentiel de la stabilité des maçonneries du pignon.

Les parties supérieures des charpentes métalliques, constituées par un treillis à grandes mailles, sont assemblées par rivets. Les pieds des fermes, hauts de 13 m 83 comprennent deux montants, l'un réalisé par une poutrelle Grey D. I. N. 20, l'autre par des fers U n° 22, ces montants sont réunis par un treillis, dont tous les assemblages sont exécutés par soudure autogène à l'arc électrique. Les pieds des fermes sont donc expédiés d'une seule masse.





**Fig. 327.** 15 juin 1934. Vue de l'intérieur d'une halle latérale (Ateliers de construction de Jambes-Namur.) (Photo L'Epi-Devolder.)

### Les grandes halles latérales

(Constructeur des charpentes : les Ateliers de construction de Jambes-Namur).

Ces halles sont très vastes, elles couvrent chacune environ 10.800 m<sup>2</sup>; elles ont 65 mètres de largeur et 166 mètres de longueur.

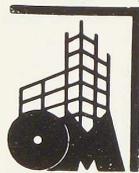
Les façades sont en maçonneries avec pilastres en béton armé. Ces halles sont couvertes par de grandes charpentes métalliques comprenant :

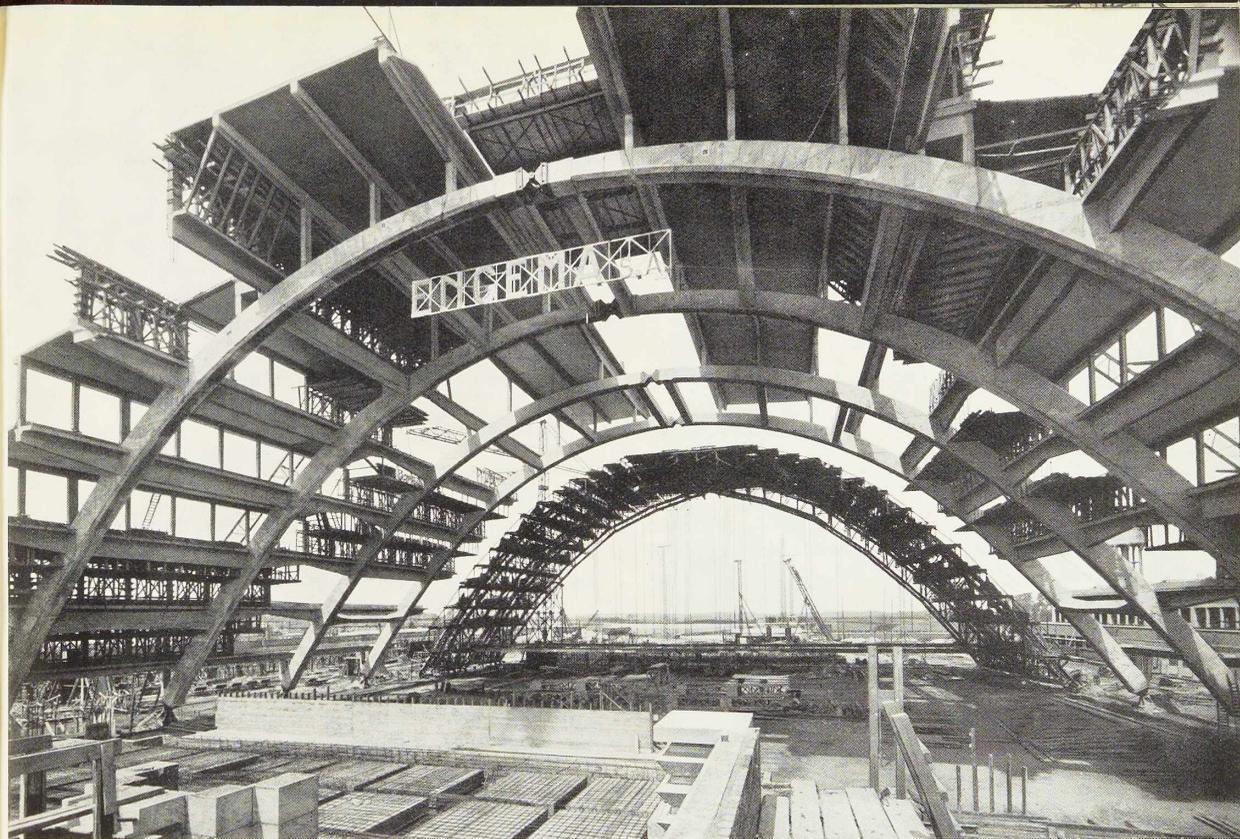
6 colonnes placées dans l'axe du bâtiment et espacées l'une de l'autre de 24 mètres. Ces colonnes portent une charge de 200 tonnes, elles sont constituées par deux poutrelles Grey D. I. N. n° 30 entretoisées par des cornières. Les cornières sont fixées

par soudure autogène à l'arc électrique, le pied de ces colonnes est d'ailleurs également réalisé par soudure à l'arc.

Sur les 6 colonnes court une poutre en treillis en N tenant tout l'axe du bâtiment, cette poutre a une hauteur théorique de 2 m 54. Elle est de type isostatique, l'isostaticité étant réalisée par de véritables articulations disposées de manière appropriée.

Tous les 12 mètres, c'est-à-dire au droit de chaque colonne et à mi-distance entre les colonnes, la grande poutre longitudinale supporte une poutre transversale, elle aussi en treillis N. Ces poutres transversales ont 55 mètres de longueur, elles sont appuyées sur les pilastres des murs et sur la grande





**Fig. 328.** 3 juin 1934. Vue des deux premiers groupes de deux arcs en béton armé à trois rotules. Le cintre métallique a été ripé en vue de la construction du troisième groupe de deux arcs. (Entrepreneur général : S. A. Engéma de Bruxelles.) (Photo L'Epi-Devolder.)

poutre longitudinale. Elles sont isostatiques, comprenant chacune une partie courant du pilastre d'extrémité à la poutre longitudinale, puis dépassant celle-ci en porte-à-faux ; la seconde partie, posée sur le porte-à-faux par une véritable articulation, court jusqu'au pilastre de la seconde extrémité. Enfin, sur les poutres transversales sont fixées, en porte-à-faux, de part et d'autre, de petites poutres en treillis, sur lesquelles sont posées les fermettes soutenant les petites toitures de lanterneaux à deux versants.

Toute la charpente est donc isostatique et donc en principe à libre dilatation.

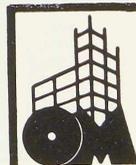
La couverture est constituée d'une part

par les lanterneaux supérieurs de 6 mètres de largeur à deux versants, courant à peu près sur toute la largeur du bâtiment, d'autre part par des bandes bétonnées elles aussi de 6 mètres de largeur séparant ces lanterneaux. Ces bandes sont exécutées en béton mixte, béton de bims et béton normal sur métal déployé Farco.

Ces bandes légèrement en pente sont recouvertes par une mince feuille de cuivre rouge posée au bitume.

Des bandes du même type font retour tout le long des façades longitudinales.

Vers le bas les grandes poutres en treillis supportent de grandes bandes constituant des lanterneaux horizontaux de 6 mètres de



largeur, séparés par des bandes de même largeur constituées par des dalles légères en béton de bims sur métal déployé Farco.

Le plafond du hall est donc horizontal avec éclairage uniformément distribué.

Les six colonnes placées dans l'axe du bâtiment seront enrobées pour éviter leur

déroboement en cas d'incendie. Ces grandes halles constitueront donc un très vaste espace à plafond plat, la hauteur sous plafond est de 9 m 25 ; toutes les charpentes métalliques sont cachées entre le plafond et la toiture. Cet espace sera d'ailleurs ventilé, ainsi que la halle elle-même.

### Le Grand Palais principal

(Entrepreneur général : S. A. Engéma de Bruxelles.)

Le Grand Palais principal constitue dans tout cet ensemble l'œuvre architecturale et technique la plus importante. Elle dépasse tout ce qui a été fait jusqu'ici dans ce domaine. Ce grand palais est, au point de vue technique, caractérisé par ses arcs.

Il comprend douze arcs en béton armé très élancés, très dégagés. L'éclairage naturel est absolument abondant, donnant l'impression que l'on se trouve en plein air, sauf que l'on est abrité.

Le bâtiment occupe une largeur de 90 mètres et une longueur totale de 158 mètres, soit une surface de 14.220 m<sup>2</sup>, couverte sans aucun appui intermédiaire. La largeur est franchie par des arcs en béton armé de 86 mètres de portée, écartés de 12 mètres d'axe en axe, la hauteur sous clef est de 31 mètres. Les arcs sont exceptionnellement élancés, ils sont du type à trois rotules, ils ont un mètre de largeur dans toute leur étendue, tandis que la hauteur varie de 1 m 50 aux pieds à 1 m 80 aux reins et à 1 mètre à la clef.

Ces arcs sont associés par deux, les deux arcs d'un groupe sont reliés par des poutres entretoises en béton armé, franchissant les 12 mètres et jetant des porte-à-faux de 6 mètres de longueur de part et d'autre du groupe.

Ces poutres reçoivent des terrasses et des verrières verticales qui donnent à l'extérieur du bâtiment l'allure à longs gradins

horizontaux, qui font en partie retour sur la façade principale.

L'ensemble du bâtiment comprend donc :

La façade avant, très puissante construction, auto-portante au vent ; six groupes d'arcs associés par deux, occupant chacun une largeur totale de 24 mètres ; la façade arrière, simple écran, dotée de grands contreforts qui la rendent stable au vent.

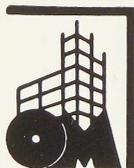
Il y a donc huit parties de l'ouvrage qui sont exécutées indépendantes et qui le resteront toujours.

Les joints complets, espacés tous les 24 mètres, sont protégés par des recouvrements souples.

Les terrasses de couverture sont exécutées en dalles minces en béton mixte, béton de bims et béton normal, sur métal déployé Farco. La couverture est réalisée par une mince feuille de cuivre rouge posée au bitume.

Cet ouvrage en béton armé est exceptionnel, comme on peut en juger par les photographies jointes au présent article. Mais il est surtout exceptionnel par les moyens d'exécution mis en œuvre, car la réalisation d'une telle construction est difficile et délicate et dans le cas particulier d'une Exposition les délais d'achèvement doivent être strictement observés.

La Société Engéma a organisé son chantier en conséquence, les moyens qu'elle a prévus permettent d'exécuter *tout* l'ensemble des opérations relatives à un groupe de deux arcs (arcs proprement dits et les entre-



toises) en un mois, ce qui constitue un record.

Ce record n'est atteint que grâce à l'aide exceptionnelle que donne le métal à cet ouvrage en béton.

Le métal joue son rôle dans cet important problème par les éléments essentiels suivants :

### Les organes d'appuis

Ces organes constituent des rotules à grains sphériques devant transmettre une poussée de 900 tonnes. Ces grains ont 50 cm de diamètre. Ils sont coulés par les Aciéries d'Haine Saint-Pierre et Lesquin.

L'acier est au chrome-nickel, qui, non traité, donne au moins les caractéristiques suivantes :

Limite d'élasticité : 75 à 90 kg par  $\text{mm}^2$  ;

Tension de rupture : 85 à 105 kg par  $\text{mm}^2$  ;

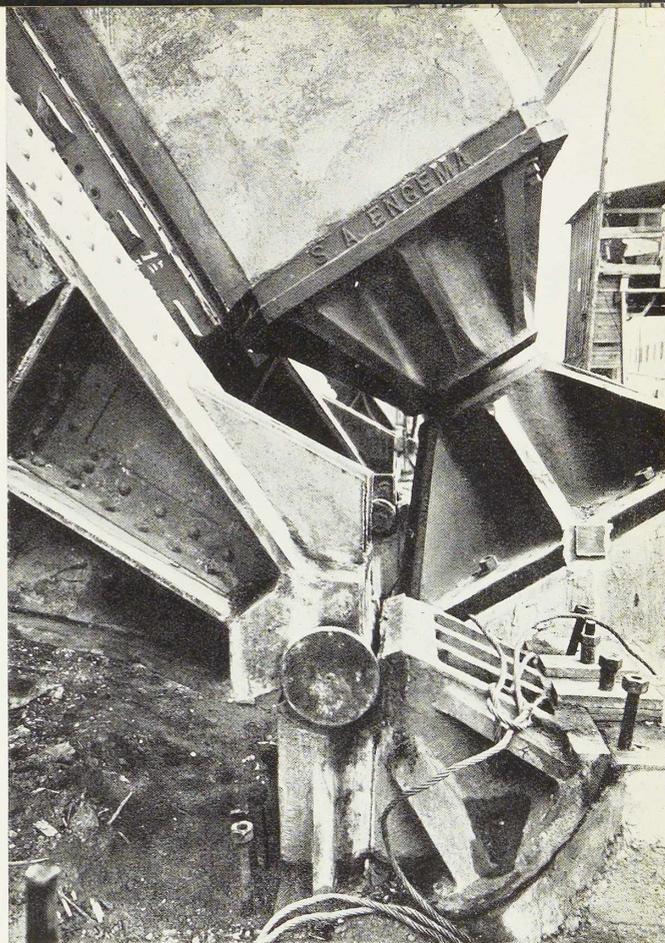
Allongement sur 10 diamètres : 20 à 10 %.

Ces grains d'acier sont emboîtés dans des sommiers en acier coulé, exécutés par les Usines Boël à La Louvière ; l'acier coulé donne au moins :

Limite d'élasticité : 30 kg par  $\text{mm}^2$  ;

Tension de rupture : 50 kg par  $\text{mm}^2$  ;

Allongement sur 5 diamètres : 20 %.

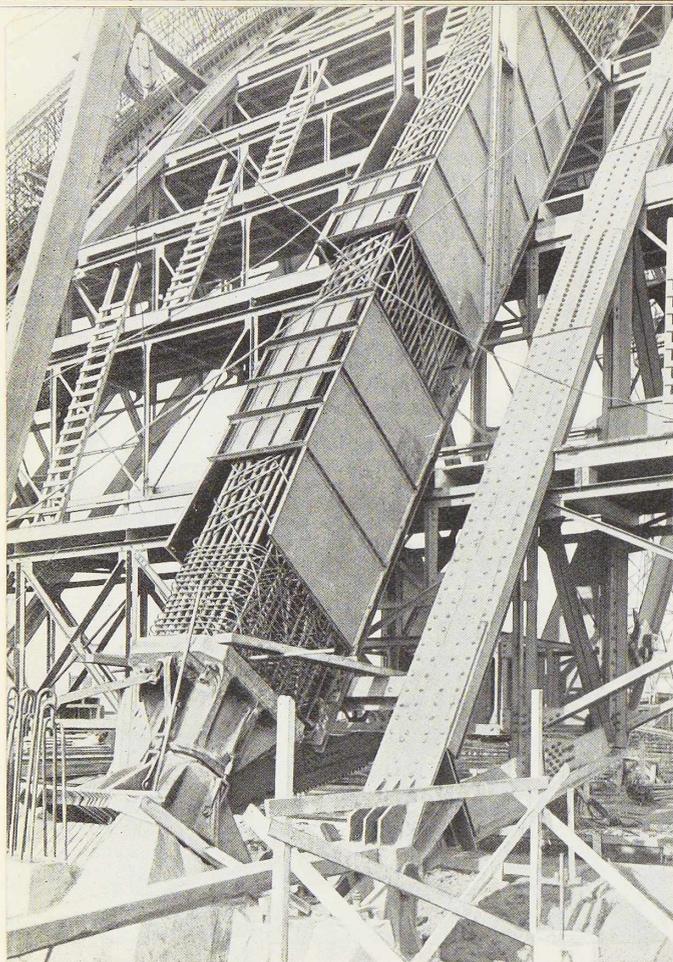


**Fig. 329.** Organes d'appuis d'un arc en béton armé et d'une des fermes du cintre. Les grains en acier au chrome-nickel, formant les rotules des arcs, sont emboîtés dans des sommiers en acier coulé.

(Grains sphériques : Aciéries d'Haine-Saint-Pierre et Lesquin. Sommiers : Usines Boël à La Louvière.) (Ph. W. Kessels.)



**Fig. 330.** 1<sup>er</sup> mai 1934. Vue de la rotule de clef d'un arc en béton armé et des vérins qui serviront au décentrement de l'arc, par écartement des deux moitiés de l'arc à la clef. (Les décentremments sont exécutés par la firme Cornet d'Ampsin.) (Photo W. Kessels.)



**Fig. 331.** 24 mars 1934. Le pied de l'arc I, premier arc derrière la façade. On voit le dé de la fondation, la rotule d'appui de l'arc I, les armatures de cet arc, quelques panneaux du coffrage. On voit aussi la rotule d'appui de la première ferme du cintre. (Photo Peeters.)

### Les rotules de clef

Ces rotules doivent transmettre une poussée de l'ordre de 400 tonnes ; elles sont en acier forgé et sont butées sur des sommiers spéciaux en acier coulé. Elles sont exécutées par les Usines Boël à La Louvière.

### Les armatures des arcs

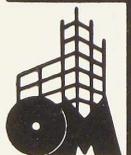
Chaque demi-arc contient à peu près 30 tonnes d'armatures en fers ronds, soit en moyenne 350 kg d'armatures par m<sup>3</sup>, toutes les armatures étant comprises.

Le poids total d'armatures utilisé pour tout le bâtiment : fondations, façades, toitures, etc., comprises, est de l'ordre de 1600 tonnes.

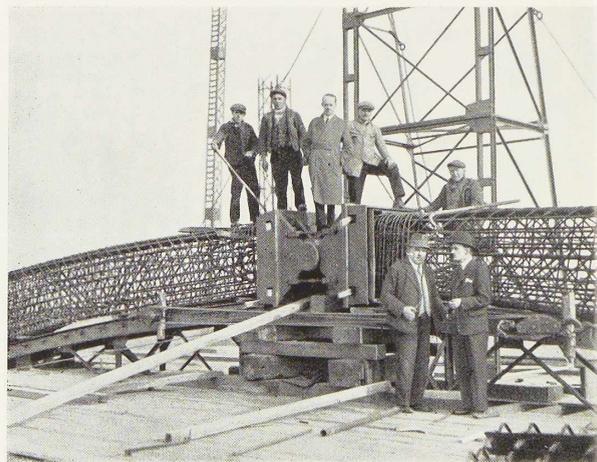
Les armatures d'un arc, dont on soupçonne les dispositions générales par les photographies jointes à cet article, comprennent : vers l'intrados et l'extrados de l'arc : des barres de 40 mm de diamètre ; dans les flancs latéraux : des barres de 20 mm de diamètre ; puis entourant tout cela, deux enroulements en barres de 16 mm disposés en hélices inclinées à 45° dans les quatre faces.

Enfin quelques barres verticales et horizontales entretoisent les flancs l'un à l'autre.

290



**Fig. 332.** 20 mars 1934. La rotule de clef du premier arc. Vue de l'armaturage. (Photo Fontini.)



Cet armaturage est préparé par terre, par demi-arc complet. L'armature de chaque demi-arc est scindée en trois tronçons pesant chacun environ 10 tonnes.

Pour les barres de 40 mm, toutes les jonctions, tant celles faites par terre que celles faites en l'air, sont exécutées par soudure autogène à l'arc électrique : les électrodes employées sont des *types Arcos*.

De cette manière aucun crochet, aucun recouvrement de barres de 40 mm n'est prévu ; ces barres sont d'une seule allure sur toute leur longueur, les soudures se faisant bout à bout. Cela est précieux et évite des encombrements qui seraient extrêmement nuisibles. Les grands arcs de l'Exposition constituent la plus importante application de la soudure des armatures qui ait été réalisée jusqu'ici.

Les essais effectués sur des barres prélevées sur chantier, après soudure, ont toujours donné jusqu'ici la cassure nettement en dehors de la soudure, sans affaiblissement de la résistance de la barre.

Les tronçons du ferrailage des arcs, pesant près de 10 tonnes, sont hissés d'une pièce par la grue Titan, qui les laisse descendre le long de la tôle de fond du coffrage.

### Les coffrages

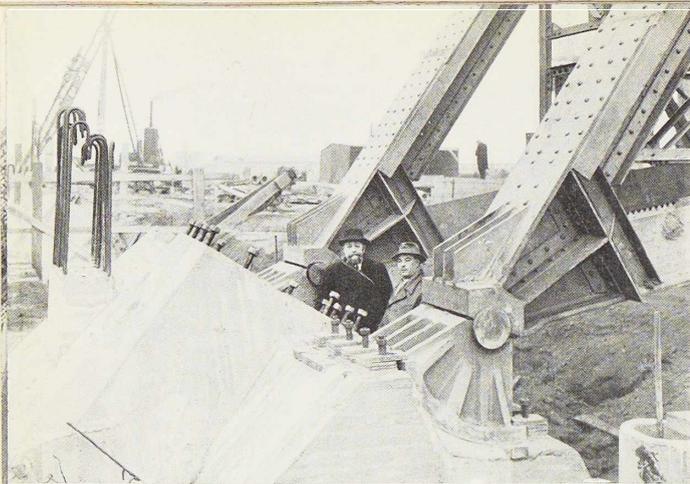
Les coffrages des arcs et des entretoises sont métalliques. Ils ont été exécutés par les Ateliers Dubois à Jemeppe. Ces coffrages doivent être assez résistants car le béton employé est assez fluide ; ils doivent être bien réguliers car le béton reste brut, non recouvert d'enduit. Les coffrages des arcs pèsent environ pour deux arcs 65 tonnes ; les coffrages des entretoises correspondantes pèsent environ 75 tonnes. En outre plus de 200 chevalets destinés à supporter ces coffrages sur le cintre pèsent environ 25 tonnes.



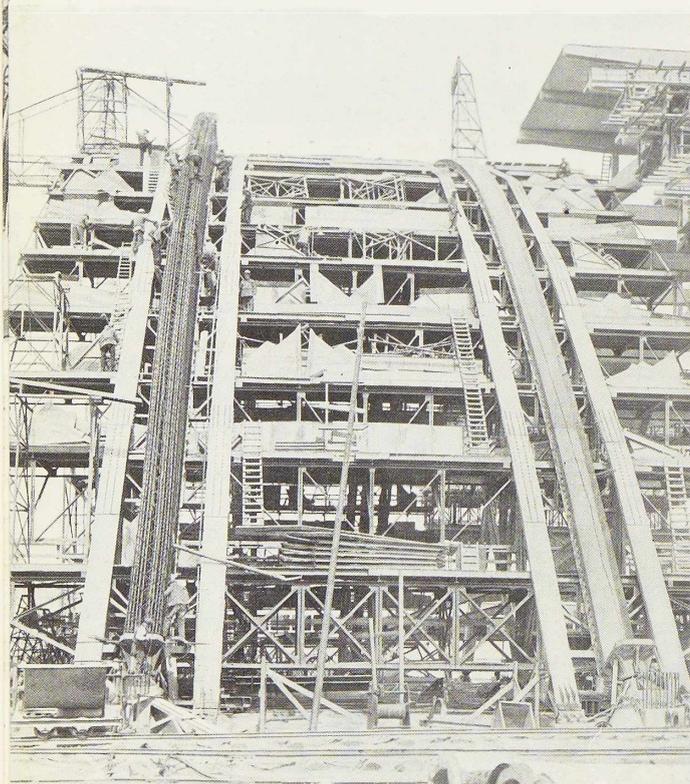
Fig. 333. 11 février 1934. Le montage des deux premières fermes du cintre métallique. On voit les six mâts de montage en place aux abords de la deuxième ferme. Dans la partie centrale les fermes ne sont pas encore entretoisées. (Photo Peeters.)



Fig. 334. 20 février 1934. Montage de la troisième ferme du cintre métallique.



**Fig. 335.** 11 février 1934. Les dés de la fondation du premier arc. On voit les pieds et les rotules d'appuis des deux premières fermes du cintre métallique, avec les secteurs en acier coulé qui portent sur les dés auxiliaires en béton, à côté du dé central sur lequel viendra s'appuyer l'arc en béton.



**Fig. 336.** 5 juin 1934. 3 jours après le deuxième décintrement et le deuxième déplacement du cintre. Les deux premiers groupes d'arc sont décintrés. Le cintre est dans sa troisième position ; pour l'arc V on voit la tôle de fond du coffrage ; le ferrailage de l'arc VI est en cours ; les coffrages sont encore sur les planchers de travail du cintre. (Photo Peeters.)

## Le cintre métallique

(Constructeur : Ateliers Dubois à Jemeppe-sur-Meuse.)

Le problème du cintre constituait pour cet ouvrage un problème essentiel. La Société de l'Exposition n'ayant pas admis l'idée qui avait été présentée d'un décintrement arc par arc, a imposé l'exécution et le décintrement des arcs par couple, avec toutes les entretoises correspondantes.

De ce fait le cintre doit porter deux arcs complets, leurs entretoises et une partie des terrasses et des coffrages des terrasses. Cela représente plus de 1.800 tonnes de béton armé et de bois. Le problème comportant l'exécution de douze arcs, par groupes de deux, impliquait cinq déplacements du cintre, en outre de son premier montage.

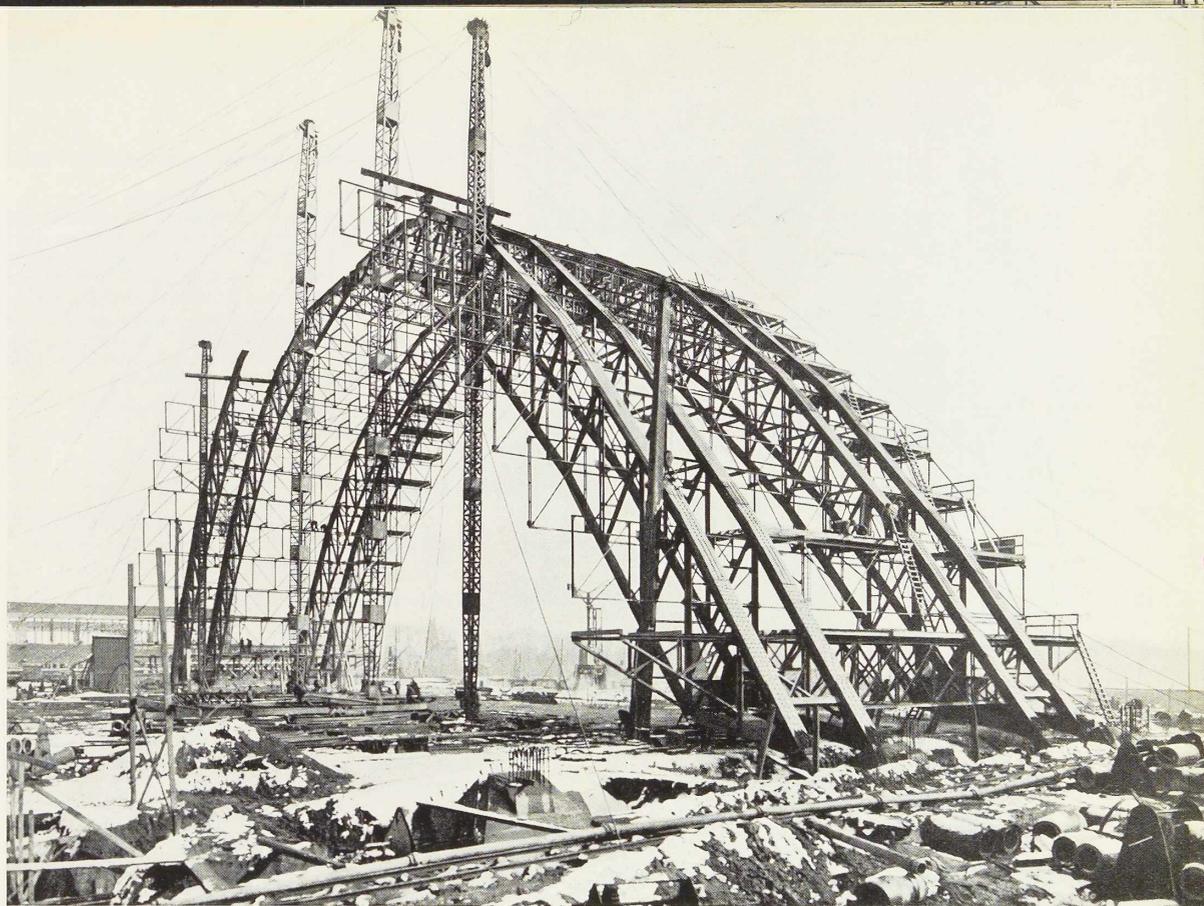
Ces circonstances ont justifié le choix d'un cintre métallique puissant et des dispositions particulières pour son déplacement, qui se sont révélées très efficaces.

A chaque arc en béton à exécuter correspondent deux fermes du cintre, ces deux fermes sont écartées de 3 mètres d'axe en axe.

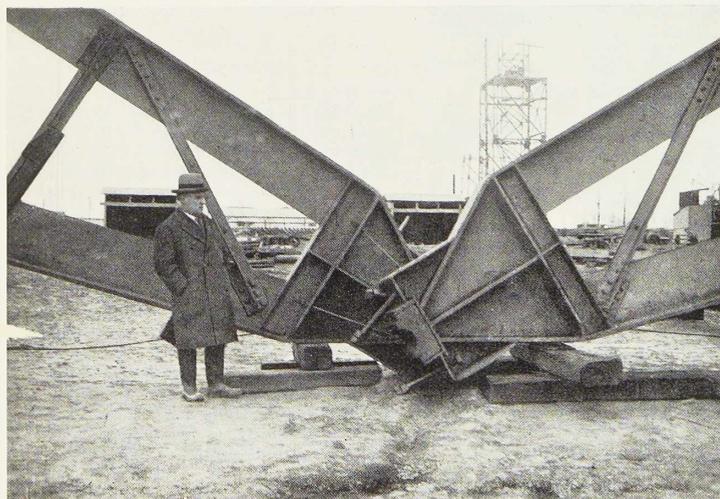
Le cintre complet comprend donc quatre fermes, ces fermes sont à trois rotules, comme les arcs définitifs, elles sont en treillis à grandes mailles dont la moitié des barres du treillis sont verticales pour faciliter l'attache des 34 traverses en treillis qui entretoisent les fermes.

Les arcs ont une portée de 85 mètres et la rotule de clef est à 28 m 25 au-dessus de celles d'appui. Les traverses en treillis sont prolongées de 4 m 50 en porte-à-faux au delà des fermes extrêmes, de manière que l'ensemble occupe une largeur totale de 24 mètres, ce qui correspond à la largeur totale d'un groupe d'arcs en béton avec ses entretoises en porte-à-faux.

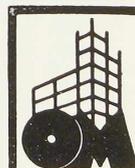
Les membrures des fermes du cintre sont

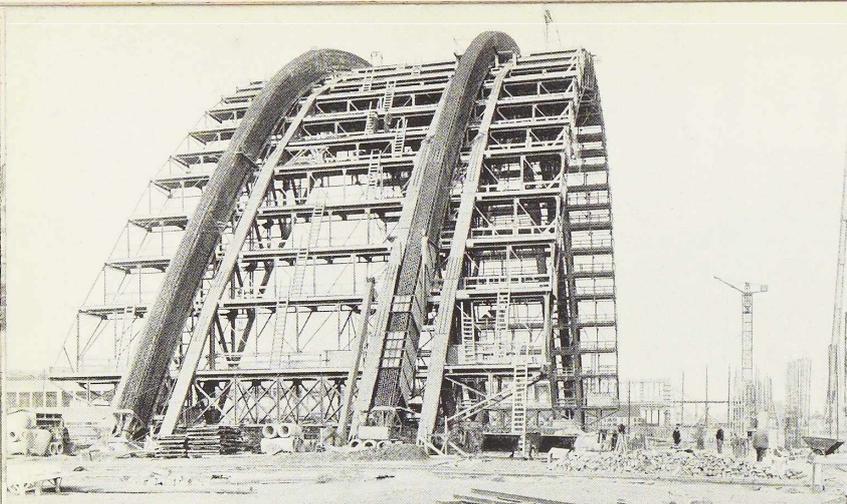


**Fig. 337.** 1<sup>er</sup> mars 1934. Montage de la quatrième ferme du cintre métallique. Le poids total du cintre, y compris ses chemins de roulement et les coffrages métalliques, est de plus de 650 tonnes d'acier.  
(Photo W. Kessels.)



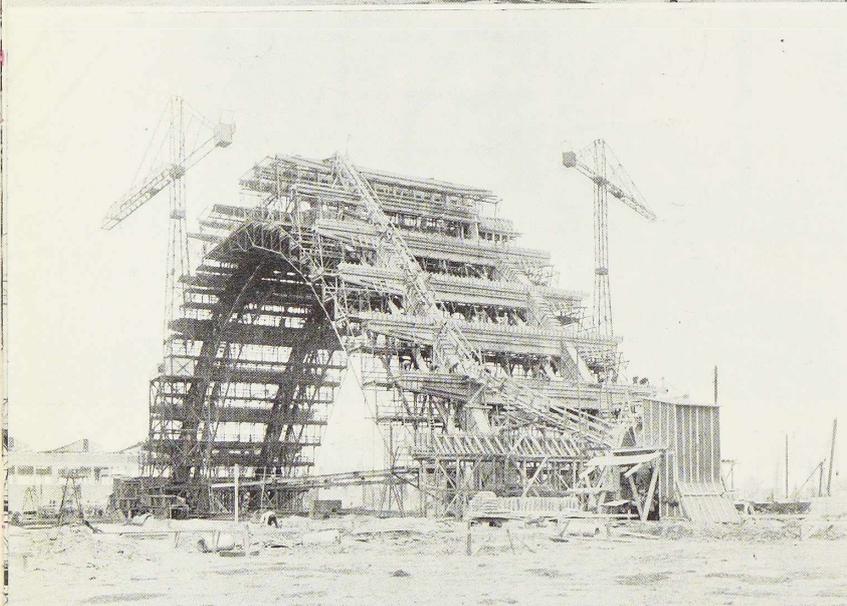
**Fig. 338.** 1<sup>er</sup> février 1934. Le montage de la première ferme du cintre métallique. Les deux demi-fermes sont posées sur leur rotule d'appui, les têtes de ces demi-fermes se présentent l'une près de l'autre et sont sur le point d'être relevées par les mâts de charge et par rotation autour des rotules d'appui. (Photo Fontini.)





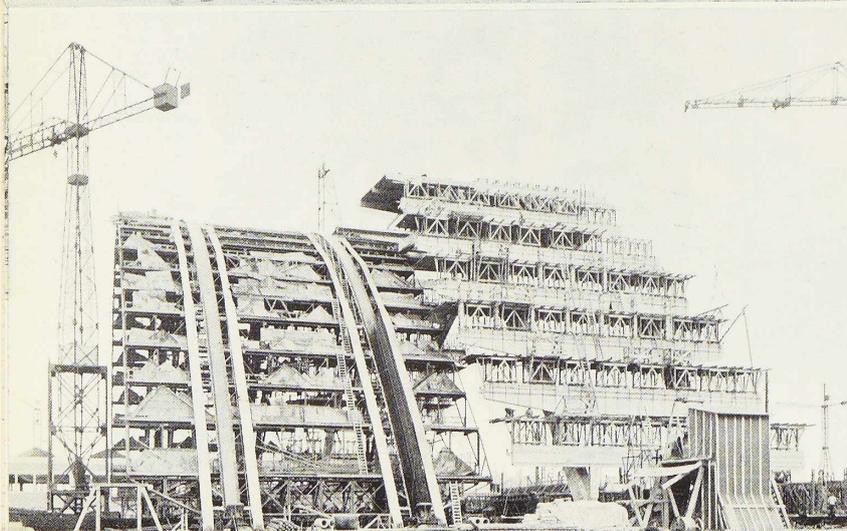
**Fig. 339.** 24 mars 1934. Le cintre métallique complètement monté, avec les diverses plates-formes constituant les planchers de travail. Les rotules des arcs I et II sont en place, ainsi que les armatures des arcs proprement dits ; quelques panneaux du coffrage sont présentés. (Constructeur du cintre : Ateliers Dubois à Jemeppe-sur-Meuse.)

(Photo Peeters.)



**Fig. 340.** 14 avril 1934. Le cintre dans sa première position. Le cintre métallique porte tous les coffrages métalliques des arcs et des entretoises. On prépare le coffrage des terrasses supérieures. La grande passerelle inclinée soutient la tuyauterie de la pompe à béton. Le bétonnage des arcs et des entretoises est terminé, on bétonne les poutres supérieures. (Entrepreneur général : S. A. Engéma.)

(Photo Peeters.)



**Fig. 341.** 5 mai 1934. Un jour après la mise en place du cintre métallique dans sa deuxième position. Le premier groupe d'arcs est décintré, il porte les planchers de travail pour le bétonnage des terrasses. Le cintre porte sur les planchers de travail les tôles des coffrages métalliques démontés. Pour l'arc IV, on voit la tôle du fond du coffrage ; pour l'arc III, le tronçon d'armatures du bas est déjà en place. Dans le haut du cintre, on voit le petit chevalet sur lequel l'extrémité de la flèche du Titan vient poser, ce qui permet à celui-ci d'amener en n'importe quel point les tronçons d'armature des arcs, pesant chacun près de 10 tonnes.

constituées par des poutrelles Grey (D. I. R. 100 ou D. I. N. 100 ou 80) coupées en deux et prenant donc la forme T. Les diagonales et les montants sont en cornières assemblées directement sur l'âme de ces T. Les assemblages sont réalisés au moyen de boulons chassés durs dans les trous.

Les calculs ont été faits sur la base d'une tension primaire de 12,50 kg par mm<sup>2</sup>. Il y a lieu de compter en plus 15 % au moins de tension secondaire due à l'excentricité des assemblages.

Les rotules du cintre sont cylindriques, les pièces d'appuis de ces rotules sur les fermes du cintre sont réalisées en acier et assemblées par de puissants cordons de soudure à l'arc électrique. Les sommiers d'appuis des rotules sur les fondations sont en acier coulé et ont la forme de secteurs retenus en place par des crapauds.

Les fermes du cintre sont appuyées par leurs rotules inférieures sur les fondations définitives des arcs en béton. A cet effet ces fondations présentent de part et d'autre du dé d'appui de l'arc en béton des dés auxiliaires sur lesquels viennent prendre appui les sommiers en acier coulé en forme de secteurs circulaires.

Les traverses en treillis entretoisant les fermes supportent les nombreux planchers de travail très bien aménagés en gradins sur le cintre.

Les coffrages métalliques des arcs proprement dits comportent une tôle de fond, cintrée, portée par deux fers U cintrés, fixés par boulonnage sur les entretoises en treillis et susceptibles d'être réglés.

Les coffrages métalliques des entretoises des arcs et des poutres des toitures supérieures sont supportées par les planchers de travail par l'intermédiaire de chevalets en treillis.

Le problème du cintre et de son déplacement a été en grande partie commandé par

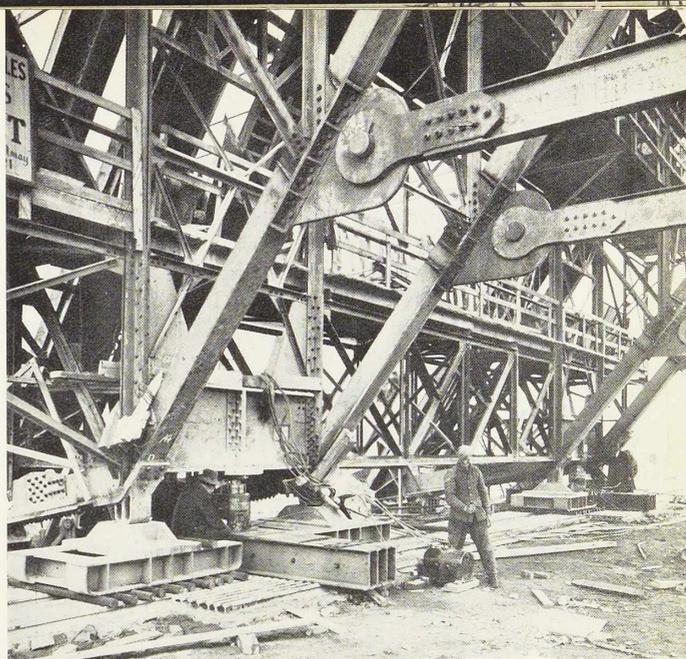


Fig. 342. 2 mai 1934. Immédiatement après le décintrement du premier groupe d'arcs en béton armé. Le cintre est soulevé par des vérins hydrauliques et va être déposé sur des chariots en vue du ripage. (Photo W. Kessels.)

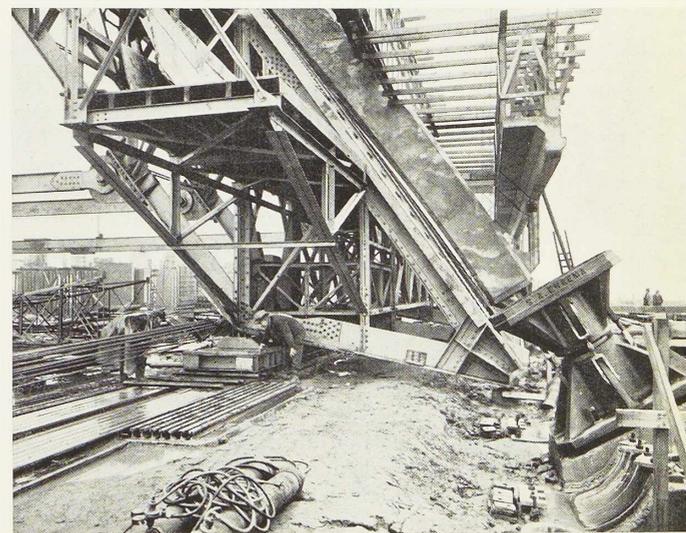


Fig. 343. 3 mai 1934. Ripage du cintre métallique après le décintrement. (Photo W. Kessels.)

---

le procédé de décintrement des arcs en béton et par la nécessité d'accélérer le travail, étant donné le délai imposé.

*Le décintrement est fait en montant*, c'est-à-dire en écartant les deux moitiés des arcs à la clef, par le jeu de deux vérins placés à cet endroit, dans le bloc même des rotules de clef.

Cette solution de principe était déjà indiquée nettement dans les plans présentés à l'adjudication, elle a été précisée et complétée de manière fort heureuse par la Société Engéma, au point de vue du logement des vérins.

L'expérience technique est posée que la vraie solution pour décintrer des arcs aussi élancés, et je dirai aussi souples, est de procéder en ouvrant ces arcs à la clef et en les dégageant du cintre en montant, le cintre restant présent avec toute sa puissance et remontant un peu par élasticité.

Les vérins utilisés sont au nombre de deux par arc, ce sont des vérins de 300 tonnes.

L'opération du décintrement est exécutée par la Firme Cornet d'Ampsin et a réussi remarquablement.

L'ouverture que l'on donne à la clef est de 120 mm environ, ce qui décolle l'arc de son cintre d'environ 40 mm à la clef. Les dispositions détaillées de cette opération du décintrement et les calculs de déformation qui y sont relatifs feront l'objet d'un article spécial que je prépare en ce moment.

Je puis déjà dire que toutes les prévisions du calcul se trouvent remarquablement confirmées et que la démonstration technique est nettement faite de l'excellence du procédé pour des arcs aussi élancés.

La question du délai a justifié de ne pas songer à démonter la charpente du cintre, mais au contraire à la déplacer d'une seule masse.

---

Il s'agit ici d'une opération de montage de premier ordre puisqu'il faut riper chaque fois de 24 mètres une charpente de 85 mètres de portée, pesant avec tous les planchers de travail et les coffrages environ 750 tonnes. L'opération est exécutée par la firme Cornet d'Ampsin, en ce moment elle a déjà été réalisée à deux reprises. Les Ateliers Dubois, à la suite de mises au point qui furent l'objet de plusieurs études, dotèrent le cintre d'un tirant à chacune des fermes du cintre, ce tirant est réalisé au moyen d'une poutrelle P. N. 40, et intercalèrent au milieu de chaque tirant un dispositif de cadres permettant d'exercer dans le tirant et au moyen d'un vérin hydraulique une traction de 100 à 150 tonnes. L'opération du déplacement du cintre fut conçue comme suit :

a) Action des vérins, mettant les tirants en tension, ce qui a comme effet d'annuler les poussées horizontales du cintre sur les fondations ;

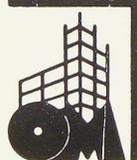
b) Présentation de vérins sous les traverses inférieures entretoisant les fermes du cintre et soulèvement de celles-ci, de manière à annuler les réactions verticales du cintre sur les fondations ;

c) Dégagement complet des rotules du cintre qui dès ce moment ne transmettent plus rien et enlèvement des sommiers d'appui en acier coulé, en forme de secteur ;

d) Descente du cintre sur ses vérins et report de la charge du cintre sur huit petits chariots traîneaux.

Dès ce moment le cintre se trouve porté sur les huit petits traîneaux et n'est stable que parce qu'il constitue une charpente à trois rotules à tirant.

Les chariots sont portés chacun sur huit rondins d'acier de 80 mm de diamètre. Ces rondins sont posés sur un chemin de roulement constitués de rails Vignole jointifs, déposés sur une couche de béton de 20 cm



d'épaisseur et de 2 mètres de largeur.

Tout cela étant préparé, le cintre est déplacé par l'action de treuils à mains agissant sur des mouflages à huit brins.

L'opération du déplacement a réussi remarquablement ; elle s'exécute en 3 heures.

Y fait suite l'opération de la remise en place du cintre sur les nouvelles fondations.

Lors de la seconde opération, le décintrement complet a pris 3 heures environ. Le décintrement a commencé un matin vers neuf heures et le lendemain au soir le cintre se trouvait replacé dans la position nouvelle, butant sur les fondations du nouveau groupe d'arcs.

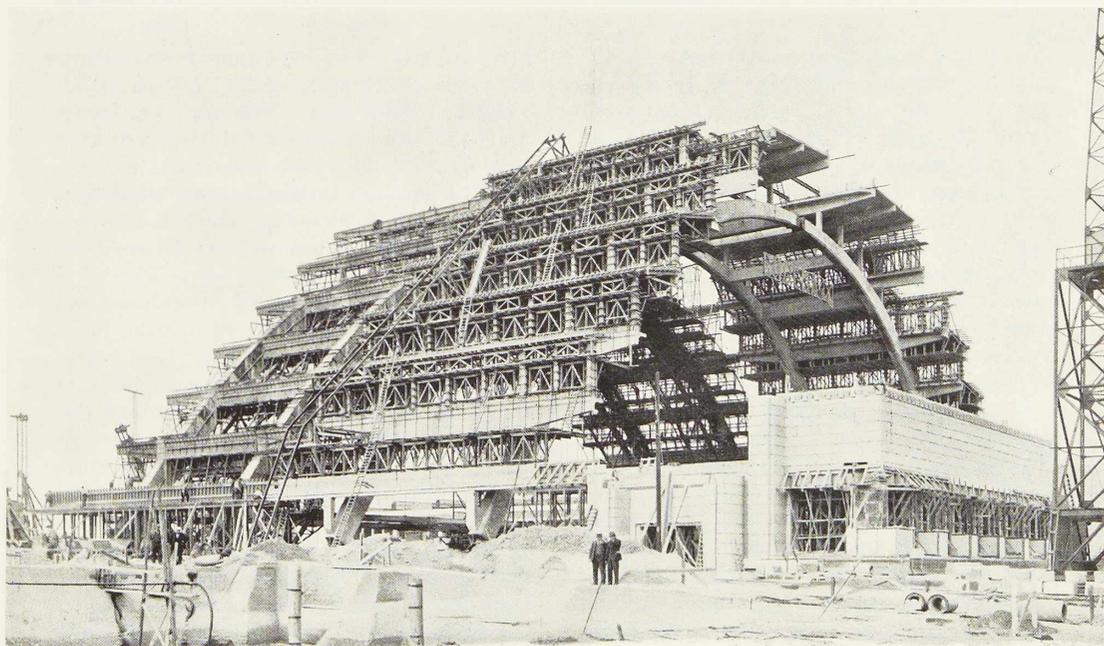
On voit combien, pour la réalisation de ce remarquable ouvrage en béton armé,

l'intervention du métal et des possibilités qu'il donne a été essentielle pour assurer un travail précis et soigné et permettre de le mener avec une cadence exceptionnellement rapide, imposée par les circonstances.

Il est intéressant de savoir que le premier décintrement a eu lieu le 1<sup>er</sup> mai 1934 et que le deuxième a eu lieu le 1<sup>er</sup> juin 1934, *la cadence est donc de un mois tout juste par couple d'arcs, toutes opérations comprises.*

Un tel travail fait honneur à toutes les firmes qui ont contribué à concevoir et à réaliser l'application des procédés d'exécution. Il constituera assurément le principal élément technique nouveau de l'Exposition de Bruxelles de 1935.

L. B.  
Juin 1934.



**Fig. 344.** 19 mai 1934. Vue d'ensemble montrant le coin de la façade principale ; le premier groupe d'arcs décintrés, avec les coffrages des terrasses et les rails du monte-charge pour le bétonnage des terrasses ; le second groupe d'arcs déjà bétonné sur le cintre métallique. (Entrepreneur général : S. A. Engéma.) (Photo Peeters.)

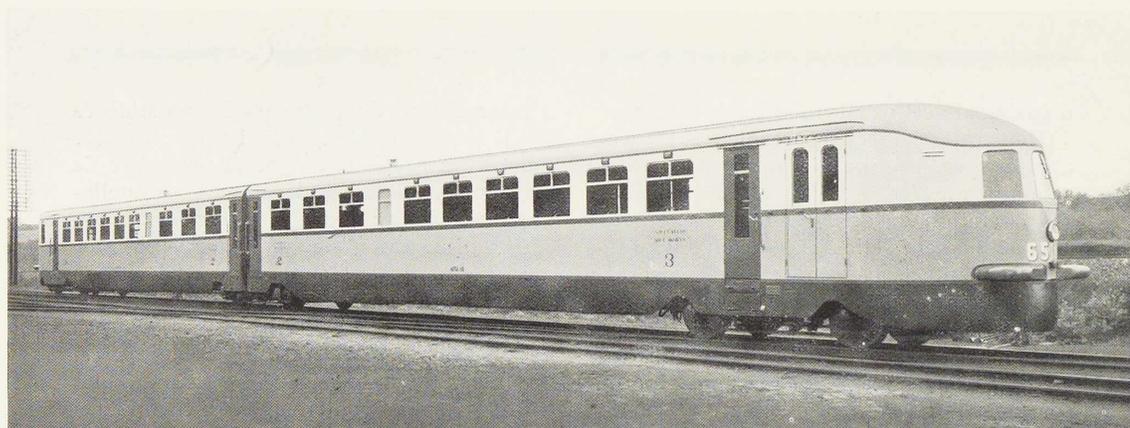


Fig. 345. Vue extérieure de l'automotrice 410 HP.

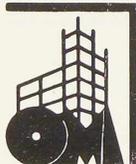
## La nouvelle automotrice jumelée Diesel-électrique 410 HP de la Société Nationale des Chemins de Fer Belges

La presse quotidienne invitée par la Société Nationale des Chemins de Fer Belges aux essais de réception de l'automotrice Diesel électrique 410 HP qui vient d'entrer en service sur la ligne Bruxelles-Midi-Gand, a donné une description succincte de ce matériel considéré surtout au point de vue confort et rapidité. Il intéressera nos lecteurs de trouver ici quelques précisions concernant cette voiture étudiée par les services techniques de la S. A. La Brugeoise et Nicaise et Delcuve et construite dans ses usines de La Louvière.

Quoique née à peine depuis deux lustres, l'industrie de la construction automotrice possède déjà au moins deux écoles de tendances diamétralement opposées : l'une, désirent maintenir autant que possible les caractéristiques générales du matériel roulant existant, est basée sur des principes constituant, en somme, une simple « motorisation » des voitures usuelles ; cette école

a trouvé ses principaux adeptes en Europe Centrale (Allemagne, Hongrie, Tchécoslovaquie), ainsi qu'en Suède et au Danemark. L'autre, rompant délibérément avec la pratique usuelle de la construction ferroviaire, cherche son inspiration, aussi bien au point de vue forme que matériaux, dans la construction automobile et même aéronautique ; elle est représentée par certaines créations d'origine américaine, française, italienne et autrichienne. Laquelle l'emportera ? Il serait prématuré d'en juger. Les exigences de réseau à réseau diffèrent totalement. En outre, le côté technique pur ne constitue qu'un seul aspect du problème, dominé la plupart du temps par des facteurs économiques ou financiers tels que coût d'achat, coût d'entretien, de réparations et d'amortissement, sur les trois derniers desquels les résultats expérimentaux sont encore insuffisants à l'heure actuelle.

Sans doute, la S.N.C.F.B. agit-elle donc



sagement lorsqu'elle prescrivit à la Brugeoise et Nicaise et Delcuve un programme constituant un moyen-terme entre les deux tendances : construire une automotrice capable de transporter à vitesse élevée, avec une puissance moyenne, le plus grand nombre possible de voyageurs, dans des conditions de confort et de sécurité ne s'écartant pas trop de la pratique normale des Chemins de Fer, n'imposant pas de modification à la voie ni à la signalisation, d'une durée d'amortissement relativement élevée, et n'entraînant pas la création de coûteux pares de pièces de rechange spéciales pour la partie carrosserie du matériel.

Pour satisfaire à ce programme de la manière heureuse qu'on sait, la Brugeoise et Nicaise et Delcuve s'inspira des principes suivants :

1<sup>o</sup> *Recherche de la meilleure forme aérodynamique appropriée aux grandes vitesses demandées.*

Quoique l'on en ait dit, l'élaboration d'une bonne forme aérodynamique est essentielle pour des véhicules devant réaliser des vitesses commerciales de l'ordre de 110-120 km/h, si l'on ne tient pas à augmenter fortement la puissance motrice. Il nous mènerait trop loin de décrire en détail les essais, cependant d'un intérêt réel, que la Brugeoise et Nicaise et Delcuve a effectués sur maquettes, au tunnel aérodynamique de Rhode-Sainte-Genèse, puis au Laboratoire des recherches aérodynamiques de Friedrichshafen. Disons cependant que la forme qui fut adoptée à la suite d'essais comparatifs avec les maquettes ayant servi pour l'automotrice jumelée de la Reichsbahn a pleinement justifié l'intérêt et la nécessité de tels essais :

2<sup>o</sup> *Etude critique des matériaux et de leur distribution judicieuse.* Pour les éléments soumis à sollicitations importantes, d'accord avec la S.N.C.F.B. le constructeur

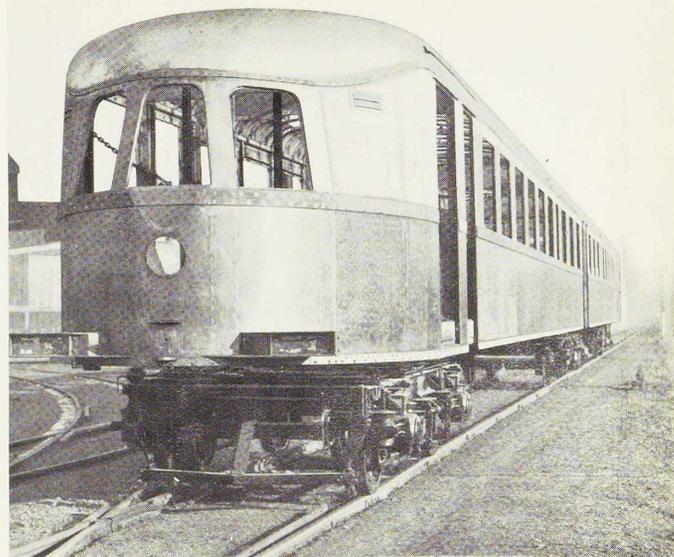


Fig. 346. Carcasse de l'automotrice 410 HP. en construction.

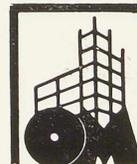
choisit l'acier, matériau connu aussi bien dans ses caractéristiques physiques et chimiques que dans son comportement de durée. C'est ainsi que les principaux éléments du châssis et de l'ossature de caisse sont en acier, avec une utilisation étendue de profils légers laminés ou constitués par des tôles pliées ou embouties.

Toutefois le duralumin fut utilisé dans certaines membrures soumises à fatigue moindre, ainsi que pour l'encadrement et l'ossature de la toiture, cette dernière étant en tôle d'aluminium.

Les garnitures intérieures, poignées de portes, ferrures de sièges, porte-colis, cadres de châssis, ventilateurs, etc., sont en alliages légers :

3<sup>o</sup> *L'emploi de la soudure, qui a été appliquée partout où elle était compatible avec le souci d'une exécution parfaite et avec la possibilité de remplacement aisé des éléments sujets à usure ou avarie.*

Ajoutons que, cette automotrice étant



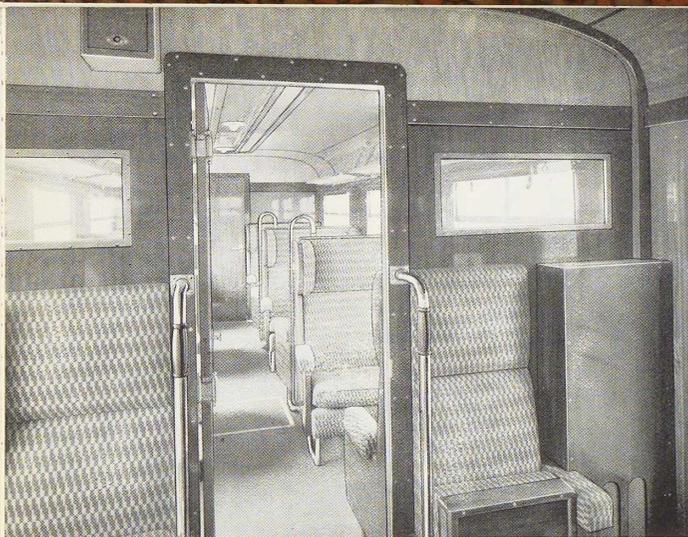


Fig. 347. Intérieur de voiture de II<sup>e</sup> classe.

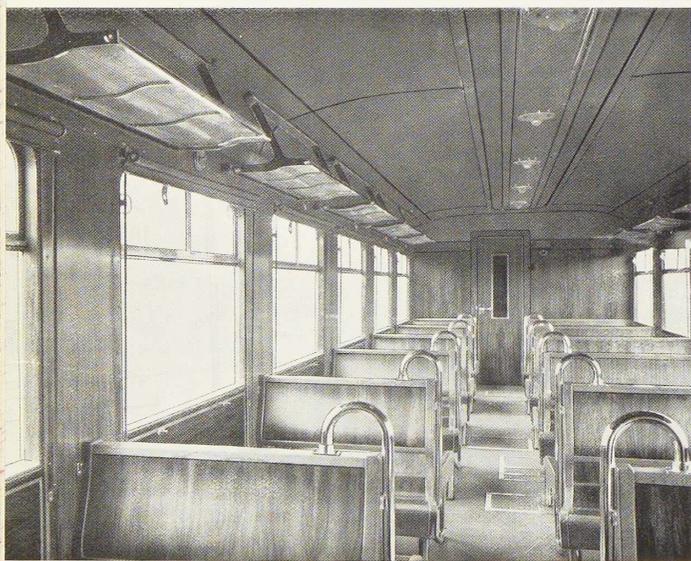


Fig. 348. Intérieur de voiture de III<sup>e</sup> classe.

destinée à la circulation comme unité isolée, une certaine réduction de tare a été obtenue par la suppression des appareils usuels de choc et de traction et leur remplacement par des amortisseurs légers de type spécial et d'une simple traction de secours.

L'automotrice ainsi construite, de 44 m 350 de longueur, pèse complètement équipée, mais sans combustible, huile, eau ni sable : 67 t 400. En ordre de marche, les susdits ingrédients compris, le poids est de 70 et, avec sa charge normale de 185 voyageurs : 85 tonnes.

Les résultats des essais ont largement dépassé le programme assigné. Alors que ce dernier prévoyait une vitesse commerciale de 105 km/h, la vitesse commerciale réalisée normalement sur des parcours présentant des rampes de 13 pour mille est de 120-125 km/h. Aux essais, sous pleine charge, et avec vent debout ou soufflant à 45° à une vitesse de 20 km/h on a fréquemment atteint et soutenu le 140 à 147 km/h. Ceci avec un seul moteur Diesel de 410 HP.

Rappelons, à titre de comparaison avec le « Hambourgeois volant » de la Reichsbahn, que cette dernière automotrice, équipée de deux moteurs Diesel, totalisant 820 HP, mais de 41 m 900 de longueur seulement et n'offrant que 102 places, pèse à vide 74.400 kilos et 77.400 kilos en ordre de marche sans voyageurs.

La presse quotidienne a loué, à juste titre, la décoration intérieure exécutée sous la direction de l'architecte Henry Van de Velde, conseiller artistique de la S.N.C.F.B. L'emploi judicieux des bois et contreplaqués d'essences du Congo belge, bubinga moiré et avodiré en II<sup>e</sup> classe, limba foncé et limba clair en III<sup>e</sup> classe a permis de réaliser un effet décoratif heureux auquel contribue la disposition particulière de l'éclairage sur réflecteur longitudinal creux dans le plafond.

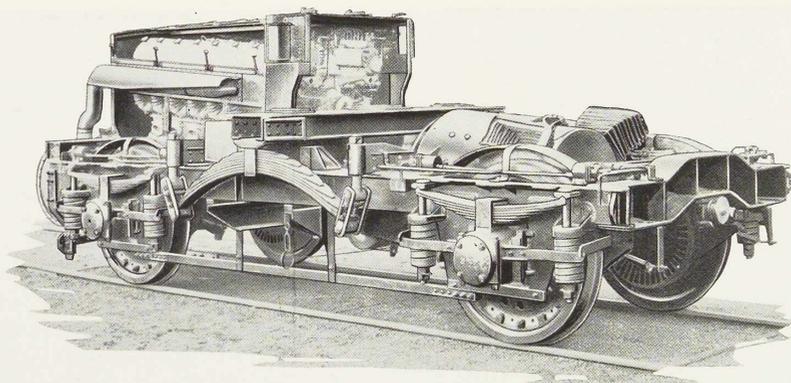


Fig. 349. Bogie moteur de l'automotrice 410 HP.

Le chauffage est assuré par eau chaude, au moyen d'une chaudière *Ideal classic*. Les marchepieds sont à mouvement de relevage commandé par air comprimé, synchronisé avec la manœuvre des portes.

Le freinage est assuré par un frein Westinghouse automatique actionnant sur chaque roue deux petits cylindres de frein attaquant des segments de frein agissant sur des tambours fixés aux roues. En outre, les deux bogies extrêmes sont freinés par un frein à main à pression d'huile.

Quelques mots, pour terminer, de la partie motrice.

La puissance est fournie par un moteur Diesel-Maybach de 410 HP tournant à 1.400 tours/minute, à 12 cylindres. Le moteur Diesel est accouplé directement à une génératrice formant avec celle-ci un groupe électrogène qui est monté dans le bogie avant de la voiture. Le courant produit par la génératrice est envoyé directement aux deux moteurs de traction qui attaquent, par pignon et engrenage, le bogie central de la voiture.

Signalons deux particularités intéressantes du groupe électrogène : 1° Le moteur Diesel est lancé électriquement au moyen de la génératrice principale fonc-

tionnant comme moteur, le courant étant fourni par la batterie d'accumulateurs (48 éléments, 96 volts). Pour réduire le temps de démarrage, un électro-aimant de lancement entre en fonction en même temps, attaque le régulateur de pression d'huile et veille à l'amenée immédiate du combustible au moteur ; 2° La génératrice est construite de manière que sa courbe de puissance concorde aussi complètement que possible avec celle du moteur Diesel. On a choisi le couplage « Gebus-Siemens » qui, comme on sait, adapte instantanément le nombre de tours du moteur Diesel à la puissance demandée à la génératrice par les moteurs de traction. Il s'en suit que la manœuvre du groupe est extrêmement simple et, pratiquement le mécanicien n'a qu'à fixer la vitesse du Diesel pour en obtenir la puissance nécessaire pour accomplir un trajet déterminé dans un temps donné.

La voiture étant conduite par un seul mécanicien, le contrôleur de commande est muni d'un dispositif de sécurité amenant l'arrêt du moteur Diesel et le fonctionnement des freins en cas de défaillance.

Les consommations de combustible et d'huile de graissage aux essais intensifs ont été des plus satisfaisants.

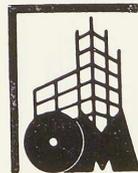




Fig. 350. Les volets abaissés, les vitrines sont entièrement dégagées.

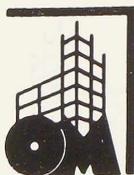
## Les nouveaux volets métalliques des Grands Magasins « A l'Innovation » à Bruxelles

En 1909, la Société L. Tietz faisait construire de grands magasins, rue Neuve, à Bruxelles, d'après les plans de l'architecte anversois J. Hertogs. L'entreprise générale fut confiée à la firme Ed. François et Fils qui passa commande de toute la partie métallique à la firme P. Bracke de Bruxelles.

Parmi les diverses innovations réalisées dans ce bâtiment figurait un rideau de volets émergent du trottoir, mus par une batterie de moteurs hydrauliques.

Lorsqu'après la guerre, ces magasins furent acquis par la Société « A l'Innovation » des travaux importants y furent aussitôt entamés sous la direction de l'architecte V. Horta.

Faute d'entretien durant les hostilités, les volets à commande hydraulique étaient devenus inutilisables ; néanmoins, l'installation demeura telle quelle jusqu'en 1931. A ce moment, sur les instances des assureurs d'abord et de la Ville de Bruxelles



ensuite, qui désirait faire respecter certains règlements de police, la question fut reprise et l'étude en fut confiée à l'architecte Dautzenberg.

A la suite d'une adjudication concours, le projet de volets métalliques présenté par la firme P. Bracke fut adopté et le 1<sup>er</sup> mai 1933, cette firme fut chargée de l'exécution de la nouvelle installation.

Elle consiste en 12 panneaux de 4 m 50 de largeur sur 2 m 20 d'émergence, plus 2 petits panneaux obliques, de raccord, formant une barrière de protection de 56 m de longueur environ sur 2 m 20 de hauteur (voir fig. 351).

Ces panneaux très rigides sont constitués par un cadre revêtu de tôle au cuivre, afin d'éviter l'oxydation ; la partie supérieure en tôle striée au cuivre, forme bouchon de la gaine ménagée dans le trottoir et s'adapte exactement aux bordures en cuivre de la dite gaine.

Tous ces panneaux sont indépendants les uns des autres, et sont manœuvrables séparément tout en s'emboîtant les uns dans les autres, de façon à former un écran sans solution de continuité.

L'indépendance des panneaux est visible sur la figure 352.

Chaque panneau étant presque équilibré,

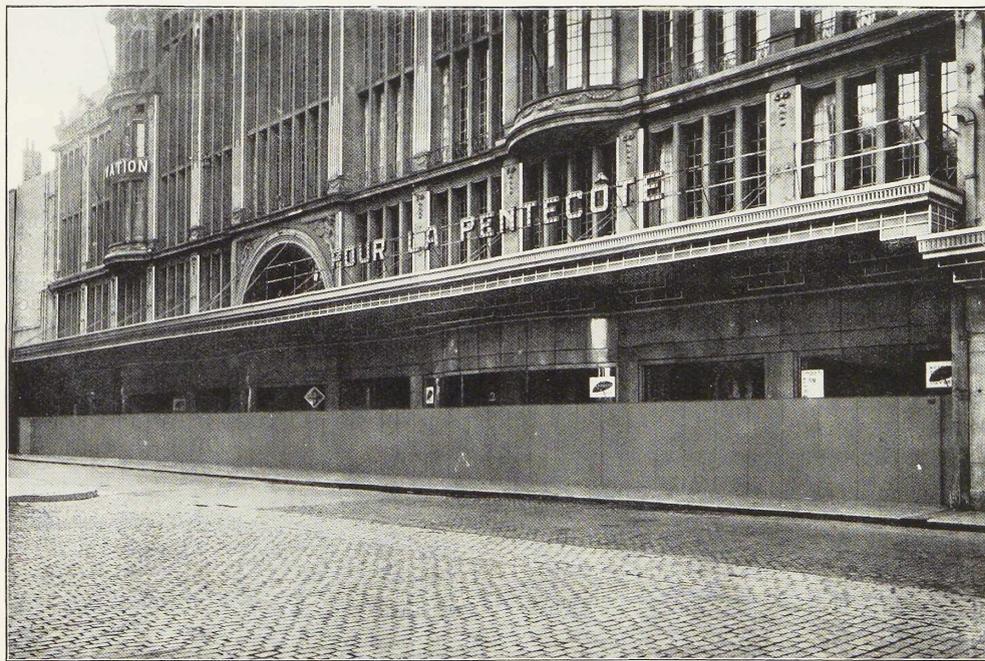
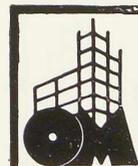


Fig. 351. Vue générale des vitrines avec les volets relevés.



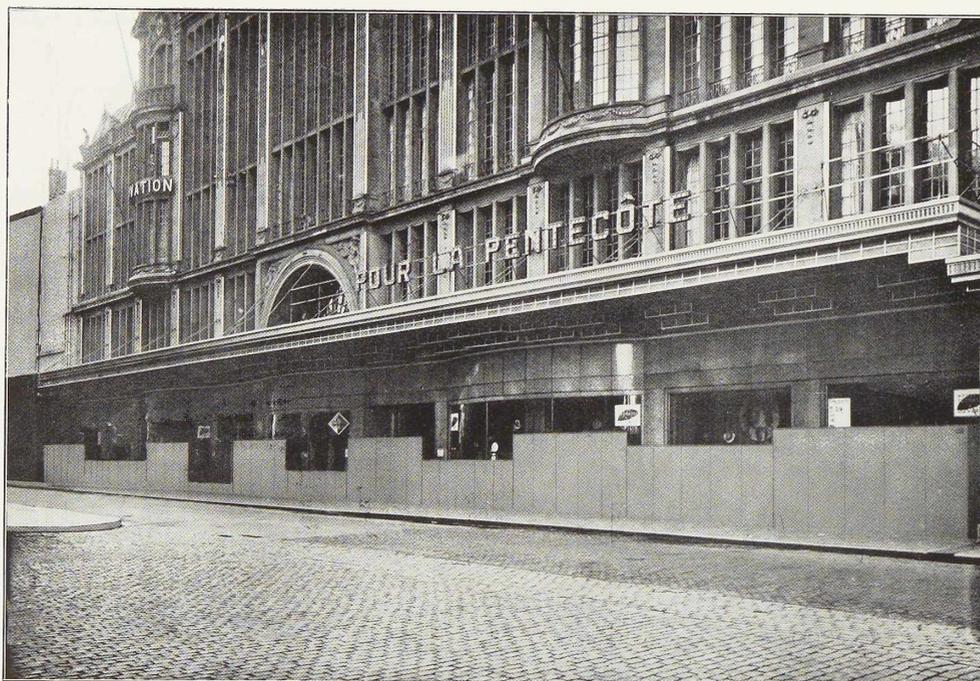


Fig. 352. Cette vue montre l'indépendance des différents panneaux de volets.

sa manœuvre à la main est très aisée ; aussi la manœuvre de la totalité des volets a pu être réalisée en quelques minutes à l'aide de deux hommes seulement.

Le système qui vient d'être esquissé peut être équipé électriquement. On peut ainsi commander à distance la manœuvre de chaque panneau séparément ou de tous les panneaux à la fois.

Ce système présente de nombreux avantages et n'est pas plus coûteux que n'importe quel autre.

Parmi ces avantages on peut citer :

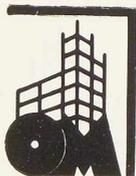
- a) Continuité des moyens de protection ;
- b) Simplification des vitrines par suite de l'absence de tout dispositif pour l'établissement de volets ;
- c) Entretien facile par suite de l'accès-

sibilité en tout temps, des sous-sols où sont logés les panneaux ;

d) Possibilité de donner à ces panneaux de protection une longueur quelconque, illimité, et la hauteur désirée, ceci bien entendu pour autant que les sous-sols le permettent.

La figure 350 représente la façade de « L'Innovation » dégagée, les panneaux étant descendus ; à la figure 351, les panneaux sont relevés ; à la figure 352, les panneaux sont les uns descendus partiellement, les autres relevés pour bien démontrer leur indépendance.

Nous ne doutons pas que cette installation originale soit de nature à intéresser les dirigeants de tous les grands magasins et autres établissements publics.



---

# Les principes de la plasticité parfaite appliqués aux calculs de résistance des matériaux <sup>(1)</sup>

par **Louis Baes,**

Ingénieur I. C. M., professeur à l'Université de Bruxelles

## 1. Remarque générale

Sous l'empire de la vive concurrence que la construction métallique subit de la part de la construction en béton armé, depuis quelques années les calculateurs des ouvrages en métal cherchent à accroître de diverses manières l'économie des constructions métalliques. Ils y parviennent notamment en tirant parti de la très précieuse particularité dite *du palier*, que présente l'acier doux employé dans la construction des ponts et des charpentes.

Comme ces procédés de calculs tendent à se répandre, il est fort désirable de résumer les principes qui sont à leur base ; c'est là le but de cet article, dans le corps duquel il ne peut d'ailleurs être question d'établir les démonstrations détaillées des formules. Ignorer les principes qui sont à la base de ces calculs pourrait conduire à de sérieuses erreurs et donc à des mécomptes.

## 2. Plasticité en général et plasticité parfaite

L'expérience montre que dans les limites des très petites déformations, certains corps, et notamment les aciers employés dans la construction des ponts et des charpentes, obéissent à la théorie de l'élasticité.

La loi de Hooke généralisée constitue donc l'une des relations fondamentales se trouvant à la base du calcul des constructions sollicitées dans ces conditions.

Mais l'expérience montre aussi que pour ces mêmes matières, dès que les déformations cessent d'être très petites, elles cessent manifestement d'être totalement élastiques.

On dit alors que la matière a dépassé la limite

<sup>(1)</sup> Cet article constitue un résumé de la communication faite en février 1934 à l'Association belge pour l'Etude, l'Essai et l'Emploi des matériaux (A.B.E.M.).

Voir aussi L. BAES, *Cours de Résistance des Matériaux et de Stabilité des Constructions*, t. I, chap. X, Eléments de la théorie de la plasticité parfaite des corps solides. Bruxelles, 1930-34.

d'élasticité, on dit qu'elle est *en plasticité* ; elle est alors déformée de manière permanente sans que la cohésion interne soit cependant détruite.

Les déformations plastiques sont donc à opposer aux déformations élastiques, en ce sens qu'elles ne s'annulent pas lorsque les charges qui les ont provoquées disparaissent. Sous charges constantes, si ces déformations ne sont pas constantes, elles ne peuvent que croître avec le temps.

On ne connaît pas de loi simple et générale des déformations plastiques ou permanentes.

Toutefois pour des matières telles que l'acier, il semble que les déformations plastiques se font à *volume constant*, ce qui implique qu'elles soient essentiellement produites par des glissements.

Il apparaît donc que *les glissements et les tensions tangentielles qui les accompagnent jouent un rôle prépondérant dans la théorie de la plasticité*.

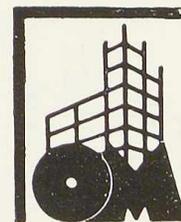
Les déformations plastiques ou permanentes sont en général beaucoup plus grandes que les déformations élastiques qui les précèdent ou qui les accompagnent.

Elles ne répondent en général pas aux relations linéaires ou de proportionnalité exprimées notamment par les lois de Hooke et en général elles dépendent de la durée d'application des charges.

L'acier doux de construction, soumis à un essai de traction simple, mené suffisamment lentement, à la température ordinaire, présente un caractère très spécial dans la première partie des déformations plastiques.

Le diagramme d'un tel essai, réalisé au moyen d'une machine de traction fonctionnant par refoulement d'huile sous pression, présente la forme très caractéristique donnée figure 353.

La partie OA constitue à peu près dans toute sa longueur la phase d'élasticité ou des allongements très petits et proportionnels aux charges ; tout le restant du diagramme constitue la phase de plasticité.



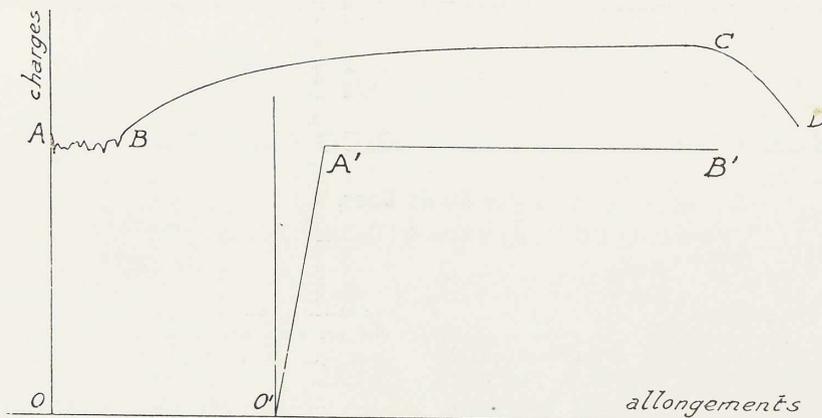


Fig. 353. Diagramme de l'essai de traction d'un acier pour barre à béton.

Tension limite apparente d'élasticité :  $R_e = 31,20$  kg par  $\text{mm}^2$  (niveau A B).  
 Tension limite de rupture conventionnelle :  $R_r = 45$  kg par  $\text{mm}^2$  (niveau C).  
 Tension moyenne au moment de la rupture :  $R_{m,r} = 96,70$  kg par  $\text{mm}^2$  (niveau D).  
 Allongement après rupture, sur 10 d :  $\delta_r = 27,8$  % (abscisse de D).  
 Striction :  $s = 63,5$  %.  
 O'A' phase de proportionnalité ou d'élasticité, A'B' palier de plasticité.

Comme on le voit, celle-ci commence par une partie pendant laquelle l'allongement de l'éprouvette se poursuit à charge sensiblement constante. C'est à ce moment que l'on voit nettement apparaître des lignes de glissement sur la surface de l'éprouvette (lignes de Piobert, Hartmann, Lüders) (fig. 354).

Dès cet instant des allongements très sensibles se produisent.

La forme du diagramme de traction de l'acier doux a conduit à considérer le cas d'une matière spéciale dite idéalement plastique dont le diagramme de traction serait constitué dans la phase élastique par une droite oblique O'A' et dans la phase plastique par une droite horizontale A'B' (fig. 353).

C'est aux cas dérivés directement de cette conception que je propose de réserver l'expression de *plasticité parfaite*.

Il y aura des cas d'états simples, doubles ou triples de tensions en plasticité parfaite, ce qui impliquera l'introduction d'une *hypothèse de plasticité parfaite relative aux tensions*.

Il va de soi que les conditions d'application des propriétés de la plasticité parfaite sont donc limitées, cependant les résultats d'une telle étude sont fructueux et indicatifs de l'interprétation à donner aux phénomènes de déformation au delà de la limite d'élasticité.

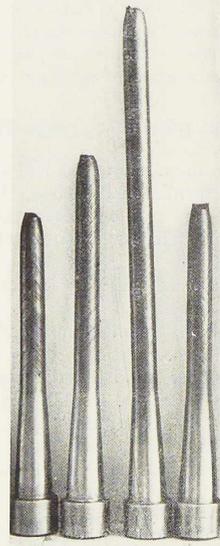
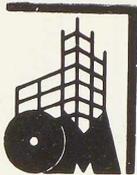


Fig. 354. Eprouvettes d'acier doux ayant été rompues. Lignes de glissement  $g$  groupées en deux familles de lignes orthogonales.



Il se fait que l'on tente aujourd'hui d'appliquer la théorie de la plasticité parfaite au calcul de nombreux ensembles constructifs en acier et cela pour des raisons d'économie ; c'est ce qui en accroît l'intérêt technique actuel.

Il serait évidemment désirable de traiter l'étude des déformations plastiques d'une manière plus générale, c'est-à-dire en ne se limitant pas aux cas de la plasticité parfaite.

La matière idéalement plastique serait donc telle que, sollicitée par traction pure produisant la tension de plasticité  $R_p$ , elle subirait des déformations croissantes avec le temps et ne pourrait pas être considérée en équilibre avant d'avoir

atteint la limite des déformations de plasticité parfaite (fond du palier B).

Mais cette même matière, sollicitée autrement que par traction ou compression pure, sera souvent dans des conditions telles que dans une partie de la pièce il y aura équilibre élastique, tandis que dans les autres parties il y aura équilibre plastique, sans qu'en principe il y ait accroissement des déformations avec le temps.

Ces cas sont les plus intéressants au point de vue technique et économique ; ils comprennent de nombreux problèmes de flexion, de torsion et d'états complexes dus à la présence de trous ou d'encoches, ainsi que les cas de tubes de forte épaisseur soumis à une forte pression intérieure.

### Notations employées dans cet article et dans ceux de MM. Joukoff et Wilkin qui paraîtront dans le numéro 7-8 de la Revue

$\sigma_n$  une tension normale, l'indice correspond à la direction de la normale à la facette ;  
 $\tau_{n'n''}$  une tension tangentielle, le premier indice correspond à la direction de la normale à la facette, le second marque la direction de la composante de la tension  $\tau$  ;  
 $\delta_n$  une dilatation linéaire dans la direction  $n$  ;  
 $\gamma_{n'n''}$  une distorsion de l'angle droit formé par les directions  $n'$  et  $n''$  ;  
 $\vec{d}$  vecteur déplacement d'un point, de composantes  $u, v, w$  ;  
 $\vec{v}$  vecteur vitesse du déplacement d'un point, de composantes  $u^*, v^*, w^*$  ;  
 $\rho$  densité de la matière ;  
 $\mu_x, \mu_y, \mu_z$  composantes de l'action massique unitaire, telle que l'accélération ;  
 $R_e$  limite apparente d'élasticité en traction pure ;  
 $E$  et  $G$  modules d'élasticité longitudinal et transversal ;  
 $\frac{1}{m}$  coefficient de Poisson ;  
 $G$  module de plasticité (différent d'un point à l'autre) ;

On a donc notamment :

$$\sigma_x, \delta_x, \tau_{yz}, \gamma_{yz}, u, u^*, \delta_x^* = \frac{\partial u^*}{\partial x}$$

$$\gamma_{yz}^* = \frac{\partial v^*}{\partial z} + \frac{\partial w^*}{\partial y}$$

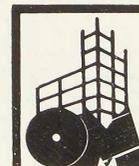
$$\sigma_y, \delta_y, \tau_{zx}, \gamma_{zx}, v, v^*, \delta_y^* = \frac{\partial v^*}{\partial y}$$

$$\gamma_{zx}^* = \frac{\partial w^*}{\partial x} + \frac{\partial u^*}{\partial z}$$

$$\sigma_z, \delta_z, \tau_{xy}, \gamma_{xy}, w, w^*, \delta_z^* = \frac{\partial w^*}{\partial z}$$

$$\gamma_{xy}^* = \frac{\partial u^*}{\partial y} + \frac{\partial v^*}{\partial x}$$

$\delta_x^*, \delta_y^*, \delta_z^*$  sont parfois appelées les dilatations du vecteur vitesse dans les directions  $x, y, z$  ;  
 $\gamma_{xy}^*, \gamma_{yz}^*, \gamma_{zx}^*$  sont alors appelées les glissements du vecteur vitesse.  
 $\sigma_I, \sigma_{II}, \sigma_{III}$  les tensions principales en un point ;  
 $\delta_I, \delta_{II}, \delta_{III}$  les dilatations principales en ce point ;  
 $\delta_I^*, \delta_{II}^*, \delta_{III}^*$  les expressions  $\delta^*$  correspondantes ;  
 $\tau_{I,II}, \tau_{II,III}, \tau_{III,I}$  les tensions tangentielles maxima, (sur les facettes bissectrices des facettes principales) ;  
 $\sigma_{I,II}, \sigma_{II,III}, \sigma_{III,I}$  les tensions normales sur les mêmes facettes.



## RÉSUMÉ DES PRINCIPES DE LA PLASTICODYNAMIQUE

### 3. Travaux de Tresca

A partir de 1864, l'attention de l'Académie des Sciences fut attirée, par plusieurs mémoires importants de Tresca, sur certaines propriétés des métaux qui se manifestent lorsque la limite d'élasticité est dépassée <sup>(1)</sup>.

Le premier de ces mémoires avait pour objet :

« 1° De montrer, par les résultats de nombreuses expériences, que les corps solides peuvent, sans changer d'état, s'écouler à la manière des liquides lorsqu'on exerce à leurs surfaces des pressions suffisamment fortes ; 2° de donner la théorie de cet écoulement et d'indiquer les déductions les plus importantes que l'on peut en tirer pour l'étude des mouvements moléculaires, pour celle du travail mécanique qu'ils exigent et pour diverses autres applications. »

Manifestement il s'agit dans toutes ces expériences de *très grandes déformations*.

Les essais ont d'ailleurs porté surtout sur le plomb et quelques-uns sur le fer au rouge, le kaolin, la terre à briques, le zinc, le cuivre et certains alliages.

La théorie de Tresca, comme d'ailleurs toutes les théories de la plasticité, considère comme démontré expérimentalement le principe que :

*La déformation plastique se fait sans changement de volume.*

*Conclusion relative à la théorie de la plasticité de Tresca, quant aux tensions :*

Le moins que l'on puisse dire du raisonnement sur lequel s'appuie l'auteur pour calculer les forces extérieures nécessaires pour produire la

déformation plastique est qu'il manque de clarté et qu'il est ambigu. Il comporte un départage mal établi entre les pressions intérieures et des pressions extérieures.

Ce raisonnement a été vivement critiqué par Ch. Duguet <sup>(2)</sup>; cet auteur reproche le caractère mal défini des expressions « écoulement » et « état de fluidité des corps solides » et critique surtout le principe de l'égalité de pression ou de tension en tous sens.

Il est d'ailleurs à noter que de Saint-Venant, auquel on doit la première théorie mathématique de la plasticité, reconnaît que (1872) :

« La supposition relative au travail de déformation, dont nous parlons, était sans doute hardie et du genre de celles qu'une certaine intuition, *difficile à motiver*, suggère assez ordinairement aux auteurs qui ouvrent des voies nouvelles. »

« On peut voir, du reste, et il n'est que juste de le dire ici, que l'auteur du mémoire cité n'a point commis ces erreurs que quelques personnes ont cru y apercevoir. Il n'a pas fait la pression « égale en tous sens », ni même en trois sens rectangulaires principaux, ce qui eut entraîné l'absence de toute résistance au glissement ou de toute solidité, car il ne les a jamais faites égales qu'au signe près, pour une au moins des trois, ce qui conserve l'état solide. »

Lorsque de Saint-Venant établit sa théorie de la plasticité, il ne suit d'ailleurs nullement les principes posés par Tresca.

Il y a des cas simples où la méthode de Tresca donne les mêmes résultats que la méthode devenue classique, mais de Saint-Venant signale que l'un des résultats posés par Tresca est contestable, c'est celui relatif à un cylindre creux dont la surface extérieure est inextensible et qui est soumis à une pression intérieure.

Il faut donc conclure que si les nombreux essais de Tresca ont accumulé des documents descriptifs importants sur les déformations plastiques des

<sup>(1)</sup> Dans le tome 20 (1872) des *Mémoires présentés par divers savants à l'Académie des Sciences de l'Institut de France* (partie Sciences mathématiques et physiques), voir les mémoires suivants de Henri Tresca :

Pages 75 à 136 : *Mémoire sur l'écoulement des corps solides* ; mémoire présenté le 7 novembre 1864 — rapporté par M. Morin le 12 juin 1865.

Pages 137 à 184 : *Applications de l'écoulement des corps solides au laminage et au forgeage*.

Pages 281 à 286 : *Complément au mémoire sur l'écoulement des corps solides*.

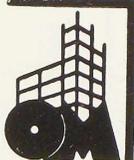
Pages 617 à 838 : *Écoulement des corps solides. — Mémoire sur le poinçonnage des métaux*.

A l'occasion de ces mémoires, et sur la proposition de de Saint-Venant, une rubrique spéciale *Plasticodynamique* fut ouverte dans les mémoires de l'Académie.

<sup>(2)</sup> Ch. DUGUET, *Déformation des corps solides. Limite d'élasticité et résistance à la rupture*.

Première partie : *Statique générale*. Paris, Gauthier-Villars, 1882.

Deuxième partie : *Statique générale*. Paris, Berger-Levrault, 1885.



corps solides, il n'y a pas lieu de retenir le procédé de calcul des forces que cet auteur a posé <sup>(1)</sup>.

#### 4. Nombre d'équations nécessaires dans la théorie de la plasticité parfaite

Il faut préciser la position du problème pour se rendre compte de la raison de l'introduction de certaines hypothèses.

*Cas général.* — On sait que dans le cas général d'un corps isotrope, sans aucune condition de symétrie au point de vue des tensions et des déformations, l'état de tension en chaque point est caractérisé par six composantes des tensions relatives à trois facettes formant trièdre et l'état de déformation est défini par les trois composantes  $u, v, w$ , du vecteur déplacement  $\vec{d}$  du point.

Le nombre d'inconnues à déterminer en chaque point est donc neuf. Dans la théorie de l'élasticité limitée aux petites déformations, les tensions et les déformations sont liées par les lois de Hooke et l'ensemble des équations dont on dispose suffit ainsi en principe pour résoudre chaque cas déterminé.

L'état plastique parfait diffère essentiellement de l'état élastique, en ce sens que ce n'est plus aux dilatations et glissements actuels du solide que les tensions sont liées.

Pour l'état plastique il faut introduire des hypothèses supplémentaires. On ne dispose en effet que de :

3 équations différentielles de l'équilibre indéfini (équation d'équilibre de translation du parallépipède élémentaire);

1 équation exprimant l'incompressibilité du volume de matière plastique;

1 équation exprimant la condition de plasticité, relative aux tensions, condition qui fait l'objet d'une hypothèse.

Cela ne fait que 5 équations pour 9 inconnues, il en manque quatre, qui seront fournies par des hypothèses supplémentaires.

*Cas particulier de la déformation plane*, la déformation se faisant donc semblablement dans une famille de plans parallèles.

(1) MARCEL BULLOIN, *Recherches théoriques sur la plasticité et la fragilité des solides isotropes*. Annales de Physique, Tomes XIII à XIV, 1920-21. — Cet auteur déclare qu'il est malheureux que l'interprétation (de Tresca) soit dominée par l'idée d'écoulement analogue à celui d'un fluide très visqueux, mais de propriétés isotropes. A son avis, c'est là l'erreur qui fausse toute la théorie; elle est due à Tresca, mais a été formulée par de Saint-Venant. Elle ne tient en aucune manière compte de la propriété si caractéristique de l'écrasement des métaux.

Dans ce cas le nombre d'inconnues tombe à 6 :  
Quatre tensions :  $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xz}$  (si la direction  $y$  est celle normale à la famille de plans en question),

Deux composantes de déplacement :  $u, w$ .

On dispose donc dans ce cas de :

2 équations indéfinies de l'équilibre,

1 équation exprimant l'incompressibilité de la matière,

1 équation exprimant la condition de plasticité relative aux tensions, que l'on va poser.

Les deux équations qui manquent seront obtenues par l'introduction d'une hypothèse relative aux vitesses des déformations par glissement.

#### 5. Théorie de la plasticité parfaite de de Saint-Venant

Cette théorie est établie pour le cas particulier où la déformation se fait semblablement dans une famille de plans parallèles (état plan de déformation).

*Principe de plasticité de de Saint-Venant relatif aux tensions :*

Ce n'est que dans un mémoire de 1872 que de Saint-Venant dégage nettement ce principe <sup>(1)</sup>. Il l'appelle « Principe de Tresca », et cependant nulle part n'apparaît que cet auteur ait formulé explicitement ce principe, au contraire, puisque, une fois posé, ce principe rend inutile toutes les considérations ambiguës relatives à la pression de fluidité. Ce principe, qui a été le point de départ de nombreuses études, peut s'énoncer comme suit :

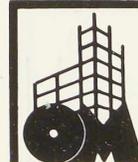
*L'état plastique se produit en un point dès que la plus grande tension tangentielle y atteint une valeur déterminée K, qui serait une constante spécifique de la matière égale d'ailleurs à la moitié de la limite apparente d'élasticité en traction pure  $R_e$ .*

$$\tau_{\max} = K = \frac{R_e}{2} \text{ ou } \sigma_I - \sigma_{III} = 2K = R_e \quad (1)$$

Cette hypothèse correspond, pour le cas considéré, à l'équation

$$\tau_{xz}^2 + \left( \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \right)^2 = K^2 = 4R_e^2. \quad (1bis)$$

(1) DE SAINT-VENANT, *Sur l'intensité des forces capables de déformer, avec continuité, des blocs ductiles cylindriques, pleins ou évidés, et placés dans diverses circonstances*. Comptes rendus de l'Académie des Sciences, 15 avril 1872.



Hypothèse relative aux vitesses de glissement <sup>(1)</sup> <sup>(2)</sup> :

de Saint-Venant introduit, en outre, l'hypothèse que le maximum de la vitesse de glissement relatif se produit sur la facette subissant la tension tangentielle maximum.

L'équation obtenue ainsi est la suivante :

$$\frac{\tau_{zx}}{\frac{1}{2} \left( \frac{\partial w^*}{\partial x} + \frac{\partial u^*}{\partial z} \right)} = \frac{\sigma_z - \sigma_x}{\frac{\partial w^*}{\partial z} - \frac{\partial u^*}{\partial x}}$$

Maurice Lévy a fait remarquer qu'il y a une seconde équation de cette forme :

$$\frac{\tau_{zx}}{\frac{1}{2} \left( \frac{\partial w^*}{\partial x} + \frac{\partial u^*}{\partial z} \right)} = \frac{\sigma_y - \sigma_z}{\frac{\partial v^*}{\partial y} - \frac{\partial w^*}{\partial z}}$$

et que associée à la précédente cette équation donne

$$\sigma_y = \frac{1}{2} (\sigma_x + \sigma_z).$$

Les équations fondamentales de la plasticité parfaite, d'après de Saint-Venant, sont donc, pour l'état de déformation plane :

$$(2) \left\{ \begin{aligned} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} &= \rho \left( \mu_x - \frac{\partial u^*}{\partial t} - u^* \frac{\partial u^*}{\partial x} - w^* \frac{\partial u^*}{\partial z} \right) \\ \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} &= \rho \left( \mu_z - \frac{\partial w^*}{\partial t} - u^* \frac{\partial w^*}{\partial x} - w^* \frac{\partial w^*}{\partial z} \right) \\ \frac{\partial u^*}{\partial x} + \frac{\partial w^*}{\partial z} &= 0 \\ \tau_{zx}^2 + \left( \frac{\sigma_z - \sigma_x}{2} \right)^2 &= K^2 \\ \frac{\tau_{zx}}{\frac{1}{2} \left( \frac{\partial w^*}{\partial x} + \frac{\partial u^*}{\partial z} \right)} &= \frac{\sigma_z - \sigma_x}{\frac{\partial w^*}{\partial z} - \frac{\partial u^*}{\partial x}} = \frac{\sigma_y - \sigma_z}{\frac{\partial v^*}{\partial y} - \frac{\partial w^*}{\partial z}} \end{aligned} \right.$$

On peut en cas de mouvement très lent et si les  $\mu$  sont petits, annuler les seconds membres des deux premières équations.

(1) DE SAINT-VENANT, Sur l'établissement des équations des mouvements intérieurs opérés dans les corps solides ductiles au delà des limites où l'élasticité pourrait les ramener à leur premier état. *Compte rendu de l'Académie des Sciences*, 7 mars 1870, p. 477.

(2) Cette hypothèse n'a rien de commun avec les hypothèses de la déformation plastique que Tresca a cru pouvoir poser pour représenter les résultats de ses essais, les hypothèses de Tresca étaient marquées d'une singulière discontinuité.

## 6. Théorie de la plasticité parfaite de Maurice Lévy<sup>(1)</sup>

Cas général. — M. Lévy a généralisé le problème traité par de Saint-Venant.

Il a été dit que dans le cas général il y a 9 inconnues, il faut donc poser 9 équations. L'auteur pose les équations suivantes :

Les 3 équations différentielles de l'équilibre contraint.

L'équation différentielle exprimant que la déformation plastique se fait à volume constant ;

L'équation exprimant la condition de plasticité ; il reprend comme condition de plasticité celle posée par de Saint-Venant :

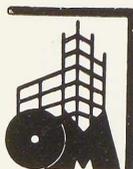
La plus grande tension tangentielle atteint la valeur  $K$  ou  $\frac{R_e}{2}$ .

Enfin quatre équations liant les tensions aux composantes du déformateur du vecteur vitesse de déplacement, ces dernières équations sont obtenues par généralisation, avec la même symétrie, de celle posée par de Saint-Venant pour le cas à deux dimensions.

Les équations de Maurice Lévy sont :

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} &= \\ \rho \left( \mu_x - \frac{\partial u^*}{\partial t} - u^* \frac{\partial u^*}{\partial x} - v^* \frac{\partial u^*}{\partial y} - w^* \frac{\partial u^*}{\partial z} \right) & \\ \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} &= \\ \rho \left( \mu_y - \frac{\partial v^*}{\partial t} - u^* \frac{\partial v^*}{\partial x} - v^* \frac{\partial v^*}{\partial y} - w^* \frac{\partial v^*}{\partial z} \right) & \\ \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} &= \\ \rho \left( \mu_z - \frac{\partial w^*}{\partial t} - u^* \frac{\partial w^*}{\partial x} - v^* \frac{\partial w^*}{\partial y} - w^* \frac{\partial w^*}{\partial z} \right) & \\ \frac{\partial u^*}{\partial x} + \frac{\partial v^*}{\partial y} + \frac{\partial w^*}{\partial z} &= 0 \\ \frac{\tau_{xy}}{\frac{1}{2} \left( \frac{\partial u^*}{\partial y} + \frac{\partial v^*}{\partial x} \right)} &= \frac{\tau_{yz}}{\frac{1}{2} \left( \frac{\partial v^*}{\partial z} + \frac{\partial w^*}{\partial y} \right)} = \end{aligned}$$

(1) Maurice Lévy, Extrait d'un *Mémoire sur les équations générales des mouvements intérieurs des corps solides ductiles au delà des limites où l'élasticité pourrait les ramener à leur premier état*. *Compte rendu de l'Académie des Sciences*, 20 juin 1870, pp. 1323 à 1325. Voir aussi : *Journal de Liouville*, 1871, p. 369.



$$= \frac{\tau_{zx}}{\frac{1}{2} \left( \frac{\partial w^*}{\partial x} + \frac{\partial u^*}{\partial z} \right)} = \frac{\sigma_z - \sigma_x}{\frac{\partial w^*}{\partial z} - \frac{\partial u^*}{\partial x}} = \frac{\sigma_y - \sigma_z}{\frac{\partial v^*}{\partial y} - \frac{\partial w^*}{\partial z}}$$

et la condition de plasticité, qui s'exprime par la condition que la plus grande racine  $\tau^2$  de l'équation :

$$4(\tau^2 + q)(4\tau^2 + q)^2 + 27r^2 = 0$$

a pour valeur  $K^2$ .

Dans cette dernière expression :

$$p = \frac{\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z}{3} = \frac{\sigma_I + \sigma_{II} + \sigma_{III}}{3}$$

pression moyenne normale,

$$q = \sigma'_x \sigma'_y + \sigma'_y \sigma'_z + \sigma'_z \sigma'_x - \tau_{xy}^2 - \tau_{yz}^2 - \tau_{zx}^2$$

et  $r = \sigma'_x \tau_{yz}^2 + \sigma'_y \tau_{zx}^2 + \sigma'_z \tau_{xy}^2 - \sigma'_x \sigma'_y \sigma'_z - 2\tau_{xy} \tau_{yz} \tau_{zx}$

$$\sigma'_x = \sigma_x - p, \quad \sigma'_y = \sigma_y - p, \quad \sigma'_z = \sigma_z - p.$$

## 7. Théorie de la plasticité parfaite de de Mises (1)

Cet auteur traite le cas général.

Il introduit l'hypothèse que le tenseur des tensions de la sollicitation superposée à l'état de contrainte hydrostatique, agissant avec l'intensité de la pression moyenne normale  $p$ , est une fonction linéaire du tenseur déformateur du vecteur vitesse (2).

L'auteur ajoute en outre la condition de plasticité suivante (2) : la somme des carrés des trois tensions tangentielles maximum, appelées parfois les tensions tangentielles principales, a pour valeur  $2K^2$  :

$$\tau_{I,II}^2 + \tau_{II,III}^2 + \tau_{III,I}^2 = 2K^2 \quad (4)$$

Cette condition peut être remplacée par :

$$(\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z)^2 - 3(\sigma_x \sigma_y + \sigma_y \sigma_z + \sigma_z \sigma_x) + 3(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2) = 4K^2.$$

Elle correspond à caractériser la frontière séparant le domaine de l'élasticité du domaine de la

plasticité, par la condition que le travail spécifique de changement de forme par glissement atteint sur cette frontière la valeur :

$$T^0_1 = \frac{1}{3} \frac{K^2}{G}.$$

Les équations générales de la théorie de la plasticité parfaite de de Mises peuvent s'écrire :

Les trois équations indéfinies de l'équilibre, dont les seconds membres peuvent souvent être annulés :

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} &= \\ \rho \left( \nu_x - \frac{\partial u^*}{\partial t} - u^* \frac{\partial u^*}{\partial x} - v^* \frac{\partial u^*}{\partial y} - w^* \frac{\partial u^*}{\partial z} \right) & \\ \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} &= \\ \rho \left( \nu_y - \frac{\partial v^*}{\partial t} - u^* \frac{\partial v^*}{\partial x} - v^* \frac{\partial v^*}{\partial y} - w^* \frac{\partial v^*}{\partial z} \right) & \\ \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} &= \\ \rho \left( \nu_z - \frac{\partial w^*}{\partial t} - u^* \frac{\partial w^*}{\partial x} - v^* \frac{\partial w^*}{\partial y} - w^* \frac{\partial w^*}{\partial z} \right) & \end{aligned} \right\} (5)$$

Les six relations fonctions d'un module  $G^*$  différent en chaque point :

$$\begin{aligned} \sigma_x - p &= 2G^* \frac{\partial u^*}{\partial x} & \tau_{yz} &= G^* \left( \frac{\partial v^*}{\partial z} + \frac{\partial w^*}{\partial y} \right) \\ \sigma_y - p &= 2G^* \frac{\partial v^*}{\partial y} & \tau_{zx} &= G^* \left( \frac{\partial w^*}{\partial x} + \frac{\partial u^*}{\partial z} \right) \\ \sigma_z - p &= 2G^* \frac{\partial w^*}{\partial z} & \tau_{xy} &= G^* \left( \frac{\partial u^*}{\partial y} + \frac{\partial v^*}{\partial x} \right) \end{aligned}$$

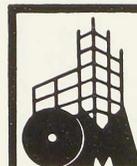
La condition de plasticité sous l'une ou l'autre de ses formes, par exemple :

$$(\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z)^2 - 3(\sigma_x \sigma_y + \sigma_y \sigma_z + \sigma_z \sigma_x) + 3(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2) = 4K^2$$

Soit 10 équations entre 10 inconnues, dont  $G^*$  est une inconnue auxiliaire. Ces équations indéfinies, applicables en tous les points du domaine plastique, jointes aux conditions imposées aux limites de ce domaine, sont en principe propres

(1) R. v. MISES, *Mechanik der festen Körper im plastisch-deformablen Zustand*, Nachrichten der K. Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen (Mathematik-physikalische Klasse), 1913.

(2) Voir L. BAES, *Cours de Résistance des matériaux et Stabilité des constructions*, t. I, chap. X, Bruxelles, 1930-34.



à déterminer l'état de tension et de déformation en chaque point du domaine plastique, dans les conditions du problème, notamment dans les petites déformations.

Il est très important de faire remarquer qu'au point de vue déformation, les hypothèses anciennes de de Saint-Venant, de M. Lévy et modernes de de Mises ont la même signification, seule la condition de plasticité relative aux tensions diffère.

### 8. Analogie de forme entre les relations de la plasticité parfaite et les relations de l'élasticité. — Notion du module de plasticité

En élasticité on dispose des expressions suivantes :

$$(6) \quad \left\{ \begin{array}{l} \sigma_x = 2G \left( \delta_x + \frac{\delta_v}{m-2} \right) \quad \tau_{yz} = G \gamma_{yz} \\ \sigma_y = 2G \left( \delta_y + \frac{\delta_v}{m-2} \right) \quad \tau_{zx} = G \gamma_{zx} \\ \sigma_z = 2G \left( \delta_z + \frac{\delta_v}{m-2} \right) \quad \tau_{xy} = G \gamma_{xy} \end{array} \right.$$

et donc

$$(7) \quad \left\{ \begin{array}{l} \delta_x = \frac{1}{E} \left[ \sigma_x - \frac{1}{m} (\sigma_y + \sigma_z) \right] \quad \gamma_{yz} = \frac{1}{G} \tau_{yz} \\ \delta_y = \frac{1}{E} \left[ \sigma_y - \frac{1}{m} (\sigma_z + \sigma_x) \right] \quad \gamma_{zx} = \frac{1}{G} \tau_{zx} \\ \delta_z = \frac{1}{E} \left[ \sigma_z - \frac{1}{m} (\sigma_x + \sigma_y) \right] \quad \gamma_{xy} = \frac{1}{G} \tau_{xy} \end{array} \right.$$

En plasticité parfaite, par l'une ou l'autre des trois théories indiquées, on dispose des expressions suivantes :

$$(8) \quad \left\{ \begin{array}{l} \sigma_x - p = 2 G^* \delta_x^* \quad \tau_{yz} = G^* \gamma_{yz}^* \\ \sigma_y - p = 2 G^* \delta_y^* \quad \tau_{zx} = G^* \gamma_{zx}^* \\ \sigma_z - p = 2 G^* \delta_z^* \quad \tau_{xy} = G^* \gamma_{xy}^* \end{array} \right.$$

avec 
$$p = \frac{\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z}{3} = \frac{\sigma_I + \sigma_{II} + \sigma_{III}}{3}$$

Ces expressions correspondent à :

$$\left\{ \begin{array}{l} \delta_x^* = \frac{1}{3 G^*} \left[ \sigma_x - \frac{1}{2} (\sigma_y + \sigma_z) \right] \quad \gamma_{yz}^* = \frac{1}{G^*} \tau_{yz} \\ \delta_y^* = \frac{1}{3 G^*} \left[ \sigma_y - \frac{1}{2} (\sigma_z + \sigma_x) \right] \quad \gamma_{zx}^* = \frac{1}{G^*} \tau_{zx} \\ \delta_z^* = \frac{1}{3 G^*} \left[ \sigma_z - \frac{1}{2} (\sigma_x + \sigma_y) \right] \quad \gamma_{xy}^* = \frac{1}{G^*} \tau_{xy} \end{array} \right. \quad (9)$$

Ces équations constituent l'équivalent, dans le domaine de la plasticité, des relations de Hooke dans le domaine de l'élasticité ; on est incité à appeler  $G^*$  le module de plasticité de la matière,  $3 G^*$  jouerait le rôle du module  $E^*$ ; car l'analogie

du coefficient de Poisson  $\frac{1}{m}$  valant  $\frac{1}{2}$ , on aurait

$$\frac{E^*}{G^*} = 2 \frac{m+1}{m} = 3, \text{ ou } E^* = 3 G^*.$$

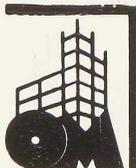
Mais il faut se garder de pousser l'analogie trop loin, car entre l'élasticité et la plasticité il y a à ce point de vue une différence essentielle : les modules d'élasticité  $E$  et  $G$  sont des quantités caractéristiques de la matière, identiques en tous les points du corps élastique ;

Le module de plasticité  $G^*$  est au contraire variable d'un point à un autre du corps et en plasticodynamique d'un instant à l'autre en un même point, il ne constitue donc en fait qu'une variable auxiliaire, c'est d'ailleurs pour cela que le nombre d'équations du cas général du problème de de Mises est de 10 au lieu de 9.

Si l'on se rapporte aux tensions principales,  $\sigma_I, \sigma_{II}, \sigma_{III}$  et aux dilatations principales  $\delta_I, \delta_{II}, \delta_{III}$ , on a donc :

en élasticité :

$$\left\{ \begin{array}{l} \delta_I = \frac{1}{E} \left[ \sigma_I - \frac{1}{m} (\sigma_{II} + \sigma_{III}) \right] \\ \delta_{II} = \frac{1}{E} \left[ \sigma_{II} - \frac{1}{m} (\sigma_{III} + \sigma_I) \right] \\ \delta_{III} = \frac{1}{E} \left[ \sigma_{III} - \frac{1}{m} (\sigma_I + \sigma_{II}) \right] \end{array} \right. \quad (10)$$



en plasticité parfaite :

$$(11) \quad \begin{cases} \delta_I^* = \frac{1}{3G^*} \left[ \sigma_I - \frac{1}{2} (\sigma_{II} + \sigma_{III}) \right] \\ \delta_{II}^* = \frac{1}{3G^*} \left[ \sigma_{II} - \frac{1}{2} (\sigma_{III} + \sigma_I) \right] \\ \delta_{III}^* = \frac{1}{3G^*} \left[ \sigma_{III} - \frac{1}{2} (\sigma_I + \sigma_{II}) \right] \end{cases}$$

Et on remarque qu'en plasticité parfaite on a la relation importante :

$$(12) \quad \frac{(\delta_{II}^* - \delta_I^*) + (\delta_{II}^* - \delta_{III}^*)}{\delta_I^* - \delta_{III}^*} = \frac{(\sigma_{II} - \sigma_I) + (\sigma_{II} - \sigma_{III})}{\sigma_I - \sigma_{III}}$$

Ce qui correspond à une propriété intéressante, particulière à la plasticité : la figure constituée par les trois circonférences principales de la représentation des tensions par la méthode Mohr est semblable à celle constituée par les trois circonférences principales de la représentation des dilatations et des glissements du vecteur vitesse par la même méthode, quelle que soit la position de l'origine 0 de chacune de ces représentations.

Il importe ici, au point de vue pratique, de distinguer d'une manière bien nette deux cas souvent assez différents l'un de l'autre. Certains auteurs omettent de faire clairement cette distinction :

### 9. Cas particulier de l'état plan de tension. (Cas très fréquent dans les applications)

Dans ce cas, en chaque point de la masse plastique, l'une des tensions principales est nulle, soit  $\sigma_{II} = 0$  et la direction de cette tension est la même partout. (Cas d'une tôle sollicitée par des forces distribuées dans son plan.)

La condition de plasticité de de Saint-Venant et M. Lévy reste évidemment :

$$\tau_{\max} = \frac{\sigma_I - \sigma_{III}}{2} = \pm K = \pm \frac{R_c}{2}$$

En coordonnées cartésiennes  $\sigma_I, \sigma_{III}$  elle est représentée par les deux droites CC (fig. 355).

La condition de plasticité de de Mises devient :

$$\sigma_I^2 - \sigma_I \sigma_{III} + \sigma_{III}^2 = 4K^2 = R_c^2.$$

En coordonnées cartésiennes  $\sigma_I, \sigma_{III}$  cette condition est représentée par une ellipse (fig. 355).

En fonction des tensions  $\sigma_x, \sigma_z, \tau_{zx}$  du plan normal à  $\sigma_{II}$  cette condition prend la forme :

$$\sigma_x^2 - \sigma_x \sigma_z + \sigma_z^2 + 3\tau_{zx}^2 = 4K^2 = R_c^2.$$

On voit que lorsque les deux tensions principales  $\sigma_I$  et  $\sigma_{III}$  sont de signes contraires, l'hypothèse de de Saint-Venant et celle de de Mises ne diffèrent guère, mais il n'en est pas de même lorsque les tensions principales  $\sigma_I$  et  $\sigma_{III}$  sont de même signe et que le point représentatif est assez loin d'un des points C.

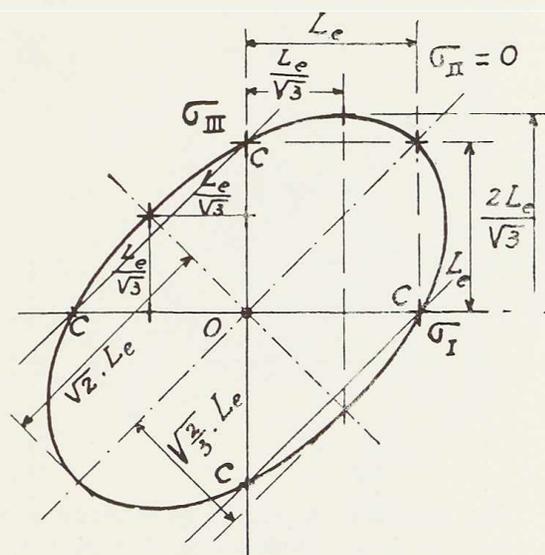
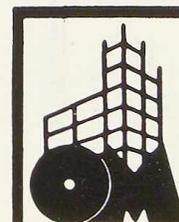


Fig. 355. Etat plan de tension :  $\sigma_{II} = 0$ .  
Hypothèse de de Saint-Venant : les droites CC.  
Hypothèse de de Mises : l'ellipse.  
(Lire  $R_c$  au lieu de  $L_c$ ).

Lorsqu'on soumet une pièce d'acier à une sollicitation qui met la matière en plasticité dans certaines régions, on voit apparaître sur les faces extérieures de la pièce des lignes, traces des glissements. Ces lignes, reconnues notamment par Hartmann, n'ont pas été expliquées correctement par cet auteur. Aujourd'hui elles s'expliquent avec toute la clarté désirable, surtout si l'on interprète les cas au moyen de la représentation de Mohr.

Dans les cas d'état plan de tension, correspondant à une face libre de la pièce (cas fréquent), les traces des glissements apparaissant sur la face libre (plan  $x.z$  ou I.III) répondent aux caractères suivants :



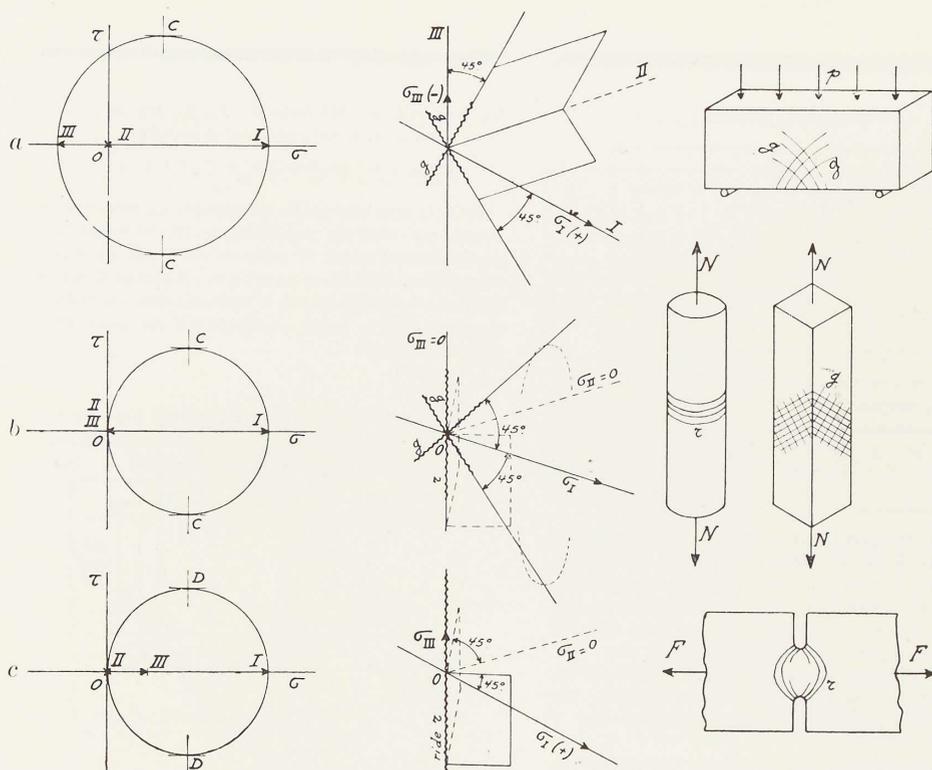


Fig. 356a-b-c. Aspects des réseaux  $q$  ou des rides  $r$  de glissement apparaissant sur les faces extérieures des pièces, dans les parties en état plan de tension.

cas a :  $\sigma_{II} = 0$ ,  $\sigma_I$  et  $\sigma_{III}$  de signe contraire

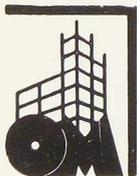
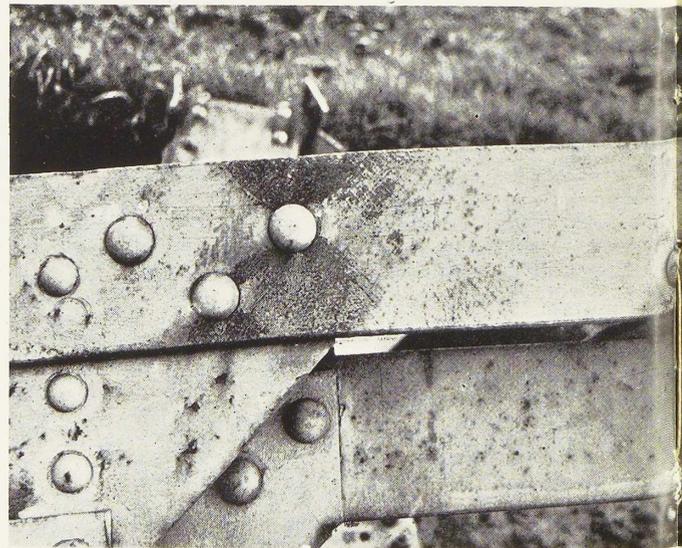
cas b :  $\sigma_{II} = \sigma_{III} = 0$ ,

cas c :  $\sigma_{II} = 0$ ,  $\sigma_I$  et  $\sigma_{III}$  de même signe.

Fig. 356d. Lignes de glissement ayant craquelé la peinture recouvrant une pièce métallique, dans la partie de celle-ci qui a été sollicitée au delà de la limite d'élasticité.

(Cas où  $\sigma_I$  et  $\sigma_{III}$  sont de signes contraires).

(On peut obtenir aisément des réseaux de ce genre, lorsque les pièces d'acier portent encore la croûte de laminage ou en les recouvrant d'un vernis approprié.)



Trois cas peuvent se présenter pour l'état-plan de tension :

1° Les deux tensions principales  $\sigma_I$ ,  $\sigma_{III}$  différentes de zéro sont de *signe différent* (fig. 356a et d) et (fig. 357).

Dans ce cas les facettes sur lesquelles le glissement de plasticité se produit sont représentées par les points C, elles sont parallèles à la direction II et donc normales au plan I, III.

Les glissements de plasticité se produisent parallèlement au plan I-III et se marquent nettement dans ce plan par *deux familles conjuguées de lignes de glissement g*, constituant un *réseau orthogonal*, bissectant celui des isostatiques.

2° Les deux tensions principales  $\sigma_I$ ,  $\sigma_{III}$  différentes de zéro sont de *même signe* (fig. 356c) et (fig. 358).

Les facettes sur lesquelles le glissement de plasticité se produit sont représentées par les points D ; elles sont parallèles à la plus petite des deux tensions  $\sigma_I$ ,  $\sigma_{III}$  ; elles sont inclinées à 45° sur le plan I, III et le coupent toutes deux suivant la trace de la plus petite tension.

Dans une telle région les glissements de plasticité se marquent donc nettement dans le plan I, III par l'apparition *d'une seule famille de rides de glissement r*, confondues avec l'une des familles d'isostatiques.

3° Seule  $\sigma_I$  est *différente de zéro* (fig. 356b).

Ce cas est intermédiaire entre les deux autres et fait apparaître ou des *rides de glissement r* constituant une seule famille de lignes, ou des lignes de glissement *g*, groupées en deux familles constituant un réseau orthogonal. Un fait ou l'autre pourra déterminer l'apparition soit des rides *r*, soit du réseau des lignes *g*.

On remarque que le cas des rides de glissement *r* (2°) est complètement différent des cas du réseau des lignes de glissement *g* (1°) et qu'il est donc important de faire la distinction.

Il est à remarquer qu'en général les rides *r* sont moins bien déliées l'une de l'autre que les lignes de glissement *g*.

Au cours d'une mise en charge d'une pièce, des réseaux de lignes *g* ou des rides *r* peuvent apparaître successivement (1).

(1) Voir de nombreux exemples de rides *r* et de lignes de glissement *g* dans l'ouvrage :

L. HARTMANN, *Distribution des déformations dans les métaux soumis à des efforts*, 1896.

Les descriptions de ces lignes sont bien faites dans cet ouvrage, mais les interprétations en sont en grande partie inexactes.

(2) Ch. FRÉMONT, *Mesure de la limite élastique des métaux*. Bulletin de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale, sept. 1903, Paris.

Le cas de l'état plan de tension dans lequel  $\sigma_I$  et  $\sigma_{III}$  sont de même signe est celui qui est en jeu dans l'éprouvette de traction préconisée avec beaucoup de raison par M. Frémont (2) (fig. 358) pour la détermination de la limite apparente d'élasticité  $R_e$  de l'acier, limite confondue d'ailleurs avec la limite de plasticité 2 K.

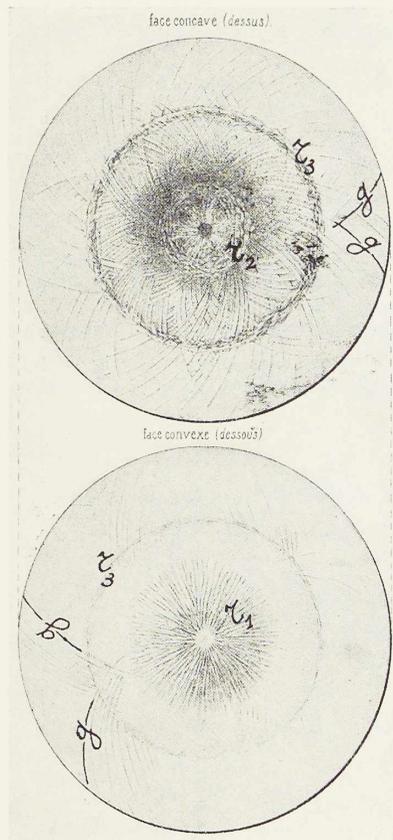
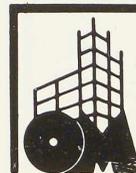


Fig. 357. Tôle d'acier ayant été déformée par l'application d'un poinçon.

Lignes de glissement *g* et rides *r*.

(Figure extraite de « Distribution des déformations dans les métaux soumis à des efforts » L. Hartmann, 1896.)



### 10. Cas particulier de l'état plan de déformation en plasticité parfaite.

La déformation plastique se fait alors semblablement dans des plans parallèles.

Si l'on suppose que les plans de glissement sont parallèles au plan  $xz$ , la direction des  $y$  sera celle de la tension principale  $\sigma_{II}$ ;

Le plan  $xz$  sera celui des tensions principales  $\sigma_I$  et  $\sigma_{III}$ .

Comme dans le cas considéré  $\frac{\partial v^*}{\partial y} = 0$

$$\sigma_y - p = 0$$

$$\text{donc } \sigma_y = p = \frac{\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z}{3} \quad \text{et} \quad \sigma_y = \frac{\sigma_x + \sigma_z}{2}$$

$$\sigma_{II} = \frac{\sigma_I + \sigma_{III}}{2} \quad \text{en tous les points.}$$

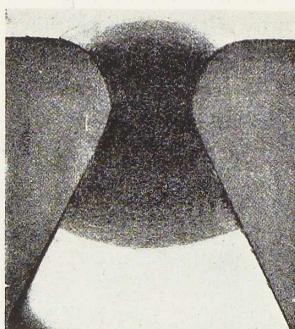
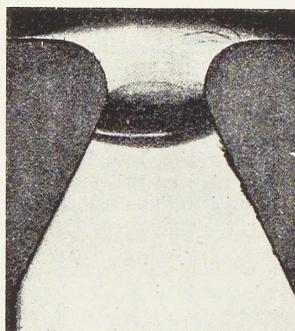
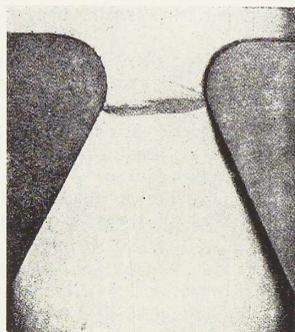
Donc le cas plan considéré est spécial, dans la figure de Mohr le point II se trouve au milieu du segment I III (fig. 359). La tension  $\sigma_y$  ou  $\sigma_{II}$  est donc bien la tension principale intermédiaire.

Les équations du cas sont, si l'on peut négliger dans les premières équations les effets des vitesses :

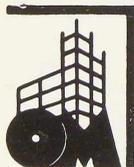
d'après de Saint-Venant et Maurice Lévy

$$\left. \begin{array}{l} (1) \quad \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} = 0 \\ (2) \quad \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} = 0 \\ (3) \quad \sigma_y = \frac{1}{2} (\sigma_x + \sigma_z) \\ (4) \quad (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 4 \tau_{zx}^2 = 4 K^2 = R_0^2 \\ (5) \quad \frac{\sigma_z - \sigma_x}{\tau_{zx}} = \frac{\frac{\partial w^*}{\partial z} - \frac{\partial u^*}{\partial x}}{\frac{1}{2} \left( \frac{\partial w^*}{\partial x} + \frac{\partial u^*}{\partial z} \right)} \\ (6) \quad \frac{\partial u^*}{\partial x} + \frac{\partial w^*}{\partial z} = 0 \end{array} \right\}$$

Soit 6 équations entre 6 variables.



**Fig. 358.** Epruvette de tôle sollicitée par traction. L'épruvette est successivement envahie par les rides de glissement  $\mathbf{r}$ . (Figure extraite de « Mesure de la limite élastique des métaux », Ch. Frémont, 1903.)



d'après de Mises

$$(13') \left\{ \begin{array}{l} (1) \quad \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} = 0 \\ (2) \quad \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} = 0 \\ (3) \quad \sigma_y = \frac{1}{2} (\sigma_x + \sigma_z) \\ (4) \quad (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 4 \tau_{zx}^2 = \frac{16 K^2}{3} = \frac{4}{3} R_e^2 \\ (5) \quad \left. \begin{array}{l} \sigma_x - p = 2 G^* \frac{\partial u^*}{\partial x} \\ \sigma_z - p = 2 G^* \frac{\partial u^*}{\partial z} \\ \tau_{zx} = G^* \left( \frac{\partial u^*}{\partial x} + \frac{\partial u^*}{\partial z} \right) \end{array} \right\} \\ (6) \quad p = \frac{\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z}{3} = \frac{1}{2} (\sigma_x + \sigma_z) \end{array} \right.$$

Soit 8 équations entre 8 variables.

Par élimination de  $p$  et de  $G^*$  les équations (5') redonnent (5), quant à l'équation (6') elle correspond à l'association de (6) et des deux premières équations (5').

La condition de plasticité de de Mises peut s'écrire dans ce cas :

$$\sigma_I - \sigma_{III} = \pm \frac{4}{\sqrt{3}} K = \pm \frac{2}{\sqrt{3}} R_e$$

elle est représentée en coordonnées cartésiennes  $\sigma_I, \sigma_{III}$  (fig. 360) par deux droites inclinées à 45° sur les axes.

On voit que dans le cas de la déformation plane les deux conditions de plasticité, celles de de Saint-Venant et celle de de Mises sont identiques sauf que dans la première le second membre de l'équation (4) est le carré de  $R_e$ , limite de plasticité en traction pure et que dans la seconde ce second membre vaut le carré de  $\frac{2}{\sqrt{3}} R_e$ .

Pour la facilité on conviendra de les écrire toutes les deux sous la forme

$$(\sigma_z - \sigma_x)^2 + 4 \tau_{zx}^2 = \tau^2 \quad \text{ou} \quad (\sigma_I - \sigma_{III})^2 = \tau^2$$

Dans la méthode de de Saint-Venant et M. Lévy:  $\tau = 2 K$  est la limite apparente d'élasticité  $R_e$  de la traction pure ;

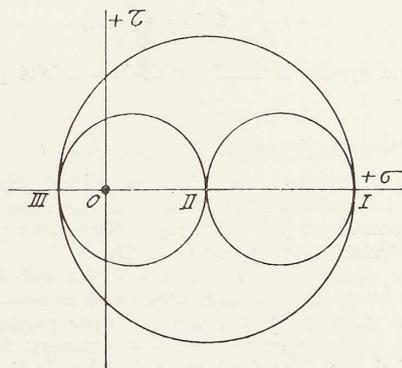


Fig. 359. Etat plan de déformation plastique parfaite :

$$\sigma_{II} = \frac{\sigma_I + \sigma_{III}}{2}$$

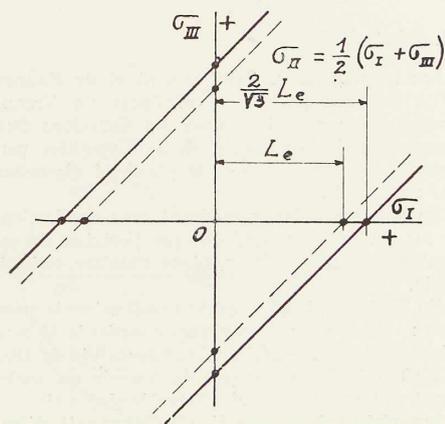
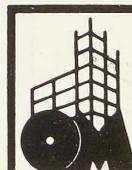


Fig. 360. Etat plan de déformation :  $\delta_{II} = 0$ .  
Hypothèse de de Saint-Venant : les droites pointillées.  
Hypothèse de de Mises : les droites en trait plein.  
(Remplacer à la figure  $L_e$  par  $R_e$ .)



Dans la méthode de de Mises :

$$\mathcal{P} = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot 2K = \frac{2}{\sqrt{3}} R_c$$

$\mathcal{P}$  sera appelée la constante de la plasticité parfaite.

*Traces de glissement sur le plan I. III :*

La tension  $\sigma_y$  ou  $\sigma_{11}$  étant la tension principale intermédiaire, les facettes sur lesquelles les glissements de plasticité se produisent sont perpendiculaires au plan  $xz$  ou I. III.

Les surfaces de glissement sont des cylindres dont les génératrices sont normales à ce plan.

Les glissements se produisent donc parallèlement à ce plan et se marquent nettement dans celui-ci par deux familles conjuguées de lignes de glissement  $g$ , constituant un réseau orthogonal, bissectant celui des isostatiques  $s_I, s_{III}$ .

Dans le cas de déformation plane les traces de glissement sont donc du même genre que dans les cas 1<sup>o</sup> et parfois 3<sup>o</sup> de l'état plan de tension.

### Résumé des principes de la plasticostatique, c'est-à-dire de l'étude des états d'équilibre plastique dans les très petites déformations

#### 11. Généralités

Les travaux de de Saint-Venant et de Maurice Lévy, suscités par les expériences de Tresca, avaient donc abouti à poser les équations fondamentales de la plasticité dans l'hypothèse particulière où la condition de plasticité s'exprime par :  $\tau_{\max} = K$ .

En fait, ces théories restèrent sans application; le cas du poinçonnage, qui fut l'origine de ces études, ne fut jamais traité de manière satisfaisante.

En 1875, de Saint-Venant se posait même la question : « La plasticodynamique, constituée et fondée sur les faits expérimentaux recueillis de 1863 à 1869, est-elle en mesure de fournir ou seulement de promettre les résultats désirés ? » (1).

Les phénomènes que l'on se proposait d'étudier par la plasticodynamique : le pétrissage, le

poussage ou filage et le moulage des pâtes, le laminage, le forgeage, l'étirage, le poinçonnage, l'emboutissage des métaux, sont excessivement complexes et semblent inabornables par des calculs de ce genre, ce sont d'ailleurs des problèmes de très grandes déformations.

La phase actuelle de la théorie de la plasticité, commandée par une préoccupation d'économie, a un objet plus limité.

Au lieu de considérer les déformations de grande amplitude, on s'attache plutôt actuellement à étudier des cas où les déformations tout en étant plastiques sont *fort petites* et l'intérêt se porte surtout sur l'étude de régions en état d'équilibre plastique (*plasticostatique*).

D'ailleurs en général dans les problèmes qui intéressent le constructeur les régions plastiques sont localisées et la masse du corps sollicité se partage en deux domaines :

Le domaine élastique dans lequel les lois de l'élasticité sont applicables ;

Le domaine plastique dans lequel ce sont les lois de la plasticité qui sont en jeu.

La surface de séparation ou *frontière des deux domaines* peut être fixe dans la masse, mais cela est rare ; en général le domaine où naît l'état plastique est d'abord très étroit et s'étend progressivement à mesure que les forces extérieures croissent.

A la surface frontière, les trois composantes du déplacement de la matière sont continues et l'état de tension est le même évalué d'une part par les lois de l'élasticité, d'autre part par celles de la plasticité. Cela fournit certaines conditions qui interviennent dans le calcul des constantes d'intégration.

#### 12. Les équations particulières aux états d'équilibre plastique dans les très petites déformations (1)

Le vecteur déplacement  $\bar{d}$  a comme composantes  $u, v, w$  ;

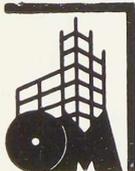
Le vecteur vitesse  $\bar{v}$  a comme composantes  $u^*, v^*, w^*$  ;

Or en principe  $u, v, w$  sont fonction de  $x, y, z$  et du temps  $t$  ; donc

$$u^* = \frac{du}{dt} = \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u}{\partial x} u^* + \frac{\partial u}{\partial y} v^* + \frac{\partial u}{\partial z} w^*$$

(1) DE SAINT-VENANT, De la suite qu'il serait nécessaire de donner aux recherches expérimentales de plasticodynamique. Compte rendu de l'Académie des Sciences, 19 juillet 1875, tome 81.

(1) Correspond au « Stationary Flow of a plastic mass ». Voir A. NADAI, *Plasticity*. McGraw-Hill, New-York et Londres 1931.



Lorsqu'on ne considère que des petits mouvements autour d'une position d'équilibre et lorsque la vitesse  $\bar{v}$  est très faible, les trois derniers termes du second membre sont négligeables vis-à-vis du premier, ce sera le cas des petites déformations plastiques des corps solides employés en construction. Dans ce cas la région plastique est d'ailleurs limitée par des régions du corps qui ne sont pas en plasticité, mais bien en élasticité.

Dans ce cas on a donc

$$\frac{du}{dt} = \frac{\partial u}{\partial t}$$

Donc

$$\delta_x^* = \frac{\partial u^*}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \cdot \frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t} \cdot \frac{\partial u}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial t} \cdot \delta_x.$$

Il est donc rationnel alors d'appeler  $\delta_x^*$  la vitesse de la dilatation  $\delta_x$  ;

$$\text{De même on montrerait que } \gamma_{yz}^* = \frac{\partial}{\partial t} \gamma_{yz}.$$

Il est donc rationnel alors d'appeler  $\gamma_{yz}^*$  la vitesse du glissement.

On a donc  $\delta_x = \delta_x^* \cdot dt$  et analogues.

Donc si on considère les déformations au bout du même temps  $dt$  on peut écrire en plasticité, pour des déformations de très faible vitesse et de très faible amplitude :

$$\left. \begin{aligned} \delta_I &= \frac{1}{3 G^*} \left[ \sigma_I - \frac{1}{2} (\sigma_{II} + \sigma_{III}) \right] \\ \delta_{II} &= \frac{1}{3 G^*} \left[ \sigma_{II} - \frac{1}{2} (\sigma_{III} + \sigma_I) \right] \\ \delta_{III} &= \frac{1}{3 G^*} \left[ \sigma_{III} - \frac{1}{2} (\sigma_I + \sigma_{II}) \right] \end{aligned} \right\} (11 \text{ bis})$$

Dans ces mêmes conditions l'équation (12) devient :

$$\frac{(\delta_{II} - \delta_I) + (\delta_{II} - \delta_{III})}{\delta_I - \delta_{III}} = \frac{(\sigma_{II} - \sigma_I) + (\sigma_{II} - \sigma_{III})}{\sigma_I - \sigma_{III}} \quad (12 \text{ bis})$$

de sorte que pour les déformations plastiques de petite amplitude et à faible vitesse, la figure constituée par les trois circonférences principales de la représentation des tensions par la méthode de Mohr est semblable à celle constituée par les trois circonférences principales de la représentation des déformations par la même méthode, quelle que soit la position de l'origine O de chacune de ces représentations (fig. 361). Cette propriété est parfois le point de départ de la résolution du cas.

Il est d'ailleurs à remarquer que ce résultat est rigoureux pour les trois cas suivants : traction pure, compression pure, cisaillement simple.

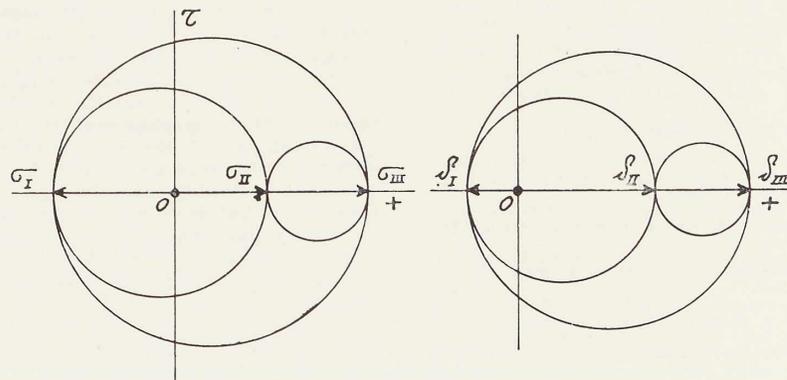
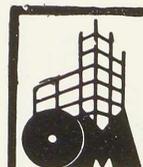


Fig. 361. Ces deux figures sont semblables, sauf la position du point O. Cas de l'équilibre plastique dans les petites déformations.



Il semble à première vue que grâce aux équations 11bis la théorie de l'équilibre plastique peut s'établir par analogie d'après la théorie de l'équilibre élastique. Il n'en est rien, car ce qui a été appelé par analogie le module de plasticité  $G^*$  n'est pas constant, est différent d'un point à l'autre de la masse plastique.

Aussi est-il essentiel de faire remarquer que des mesures de déformation analogues à celles que l'on fait en élasticité, par exemple, au moyen des appareils extensomètres, ne permettent en général pas de calculer les tensions dans la région plastique.

*L'investigation expérimentale doit donc être menée pour l'étude d'une région plastique par d'autres moyens que pour l'étude d'une région élastique.*

L'étude tant théorique qu'expérimentale d'une région plastique se base souvent sur des propriétés très remarquables des lignes de glissement et des lignes de courant de cette région ; les lignes de glissement, qui sont souvent faciles à faire apparaître, sont ainsi le point de départ de beaucoup d'études.

### 13. Quelques propriétés des lignes de glissement $g$ constituant deux familles formant un réseau orthogonal :

On a montré aux nos 9 et 10 que dans le cas de l'état plan de tension, si les tensions principales  $\sigma_I$  et  $\sigma_{III}$  ne sont pas de même signe, et toujours dans le cas de l'état plan de déformation, les glissements de plasticité font apparaître des lignes constituées en deux familles : formant un réseau orthogonal. Ce sont ces lignes que l'on désigne dans tout ce qui suit sous le nom de lignes de glissement  $g_I$  et  $g_{III}$ . Les facettes correspondant à ces lignes subissent la tension tangentielle maximum de plasticité égale à  $\frac{\mathcal{P}}{2}$ .

(1) I. L. PRANDTL, Ueber die Eindringungsfestigkeit (Härte) plastischer Baustoffe und die Festigkeit von Schneiden. Z. A. M. M. Band 1, pp. 15 à 20, 1921.

2. H. HENCKY, Ueber einige Statisch bestimmte Fälle des Gleichgewichts in plastischen Körpern. Z. A. M. M. Band 3, pp. 241 à 250, 1923.

3. I. L. PRANDTL, Anwendungsbeispiele zu einem Henckyschen Satz über das plastische Gleichgewicht. Z. A. M. M. Band 3, pp. 401 à 405, 1923.

4. C. CARATHÉODORY et E. SCHMIDT, Ueber die Hencky-Prandtl'schen Kurven. Z. A. M. M. Band 3, pp. 468 à 475, 1923.

5. R. V. MISES, Bemerkungen zur Formulierung des mathematischen Problems der Plastizitätstheorie. Band 5, pp. 147 à 149, 1925.

6. Mme POLLACZEK-GEIRINGER, Beitrag zum vollständigen ebenen Plastizitätsproblem. Troisième Congrès de Mécanique appliquée, Stockholm, 1930.

7. E. SCHATZ, Das ebene Problem des plastischen Körpers mit freier Oberfläche. Ingenieur-Archiv Band 4, pp. 227 à 243, 1933.

On sait que le réseau de ces lignes est isogonal à  $45^\circ$  du réseau des lignes isostatiques  $s_I$  et  $s_{III}$ .

Les lignes de glissement existent tant en région plastique qu'en région élastique. Pour les métaux dits à paier (acier doux) elles sont très nettement apparentes dans la région plastique et constituent des courbes absolument caractéristiques (fig. 357).

En élasticité, en principe les lignes isostatiques pouvant avoir des allures quelconques, il en est de même des lignes de glissement.

Au contraire, on va résumer ci-dessous des conditions auxquelles doivent satisfaire les lignes de glissement du domaine plastique.

Une difficulté sérieuse réside dans le fait que, dans la plupart des cas pratiques, on ne connaît pas *a priori*, à moins que par la voie expérimentale, la frontière entre les deux domaines, ce qui rend difficile de fixer les conditions limites à cette frontière.

Il est à remarquer nettement que les lignes de glissement sont les lieux de points où se produit une rupture d'équilibre de la matière si celle-ci présente effectivement le phénomène dit du palier.

Dans le cas de déformation plane, la courbe frontière de la plasticité est caractérisée par  $\sigma_I - \sigma_{III} = \mathcal{P}$ .

On possède l'équation différentielle des lignes de glissement de la plasticité parfaite et l'équation générale de ces lignes :

Les cas particuliers les plus fréquents sont :

La droite, la circonférence, la cycloïde, la spirale logarithmique.

Ce sont bien là les formes générales que l'on trouve parfaites ou altérées dans les réseaux orthogonaux de lignes de Hartmann.

Parmi les propriétés connues des lignes de glissement de la plasticité parfaite, les plus particulièrement simples et utiles sont les suivantes :

a) Lorsqu'on suit une ligne de glissement déterminée, entre deux points A et B, la variation que subit la tension normale à cette ligne est égale au produit de la constante de plasticité  $\mathcal{P}$  par l'angle (en radians) dont a tourné la tangente à la ligne, en passant du point A au point B (angle de contingence de B par rapport à A) (fig. 362).

La tension tangentielle relative aux éléments tangents à la courbe de glissement a la valeur constante  $\tau_{\max} = \frac{\mathcal{P}}{2}$ , la tension normale relative à ces mêmes éléments a pour valeur

$$\sigma_{I-III} = \frac{\sigma_I + \sigma_{III}}{2}$$



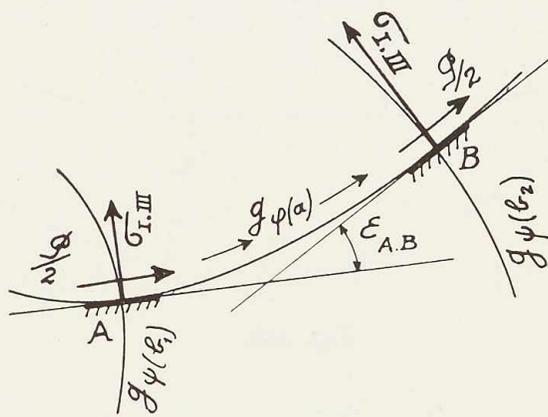


Fig. 362

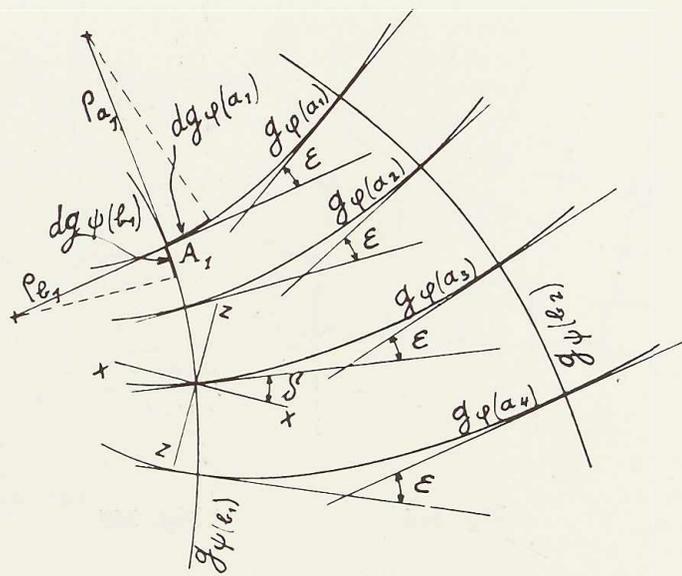


Fig. 363

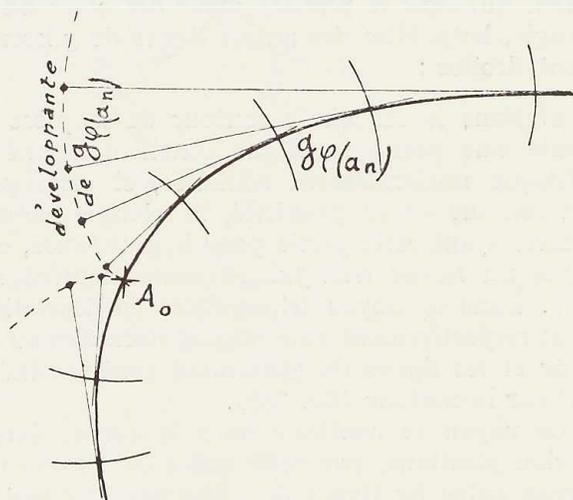


Fig. 364

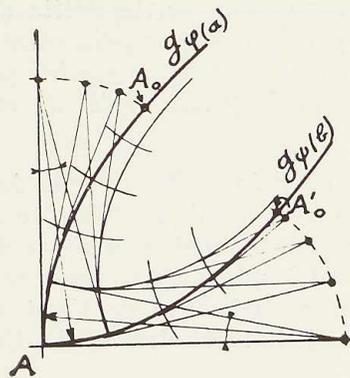


Fig. 365

La propriété s'écrit donc comme suit :

$$(14) \quad (\sigma_{I,III})_B - (\sigma_{I,III})_A = \varepsilon_{A,B} \times P$$

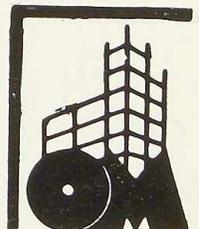
b) L'angle de contingence  $\varepsilon$  relatif aux points où les lignes de glissement d'une des familles rencontrent deux lignes de glissement déterminées de l'autre famille est constant (fig. 363).

c) Les centres de courbure des lignes de glissement de la seconde famille, aux points où elles

rencontrent une ligne déterminée de la première famille, sont sur une certaine développante de cette ligne (fig. 364 et 365).

On connaît en outre le moyen de déterminer point par point les lignes de glissement d'une région en plasticité parfaite, siège d'un réseau orthogonal de lignes  $g$ , si l'on possède une des lignes de glissement de chacune des familles.

Et dès lors, d'après ces propriétés, apparaissent des :



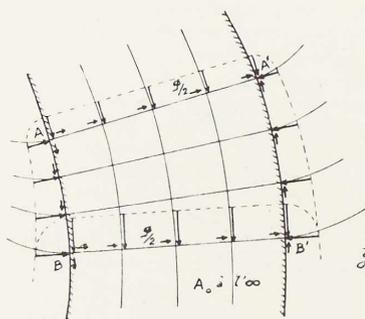


Fig. 366

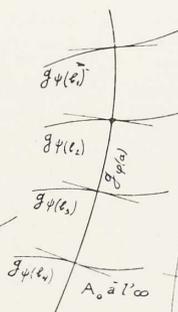


Fig. 367

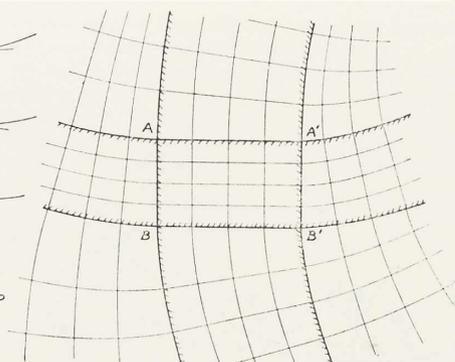


Fig. 368

#### 14. Particularités de forme des lignes de glissement d'une région plastique :

a) Si une ligne de glissement de l'une des familles présente une partie droite (fig. 366), toutes les lignes de glissement de la première famille présentent une partie droite dans la région limitée par le tube compris entre les lignes de glissement de la deuxième famille passant par les extrémités de la partie droite de la première courbe ;

b) En tous les points d'une partie droite d'une ligne de glissement plastique, l'état de tension est le même, de plus connaissant l'état de tension le long de l'une des droites, on passe sans aucune difficulté à la connaissance de l'état de tension le long d'une des autres droites du titre a (fig. 366) ;

c) Si une ligne de glissement de l'une des familles présente un point d'inflexion, les autres lignes de glissement de cette même famille présentent aussi un point d'inflexion et la ligne de glissement de l'autre famille passant par le point d'inflexion est le lieu de tous ces points (fig. 367) ;

d) Si deux lignes de glissement de familles différentes présentent chacune une partie droite qui aboutissent en un même point, ces droites sont évidemment normales entre elles ; il existe alors un noyau rectangulaire dont ces droites sont deux des côtés et dans lequel les lignes de glissement forment un damier orthogonal. Les isostatiques constituent le damier orthogonal couché à 45°

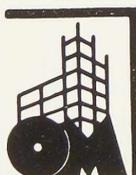
sur le précédent (fig. 368). Dans la traversée des deux bandes constituées entre les lignes de glissement qui sont le prolongement des côtés du rectangle, les parties des autres lignes de glissement sont droites ;

e) Dans le cas où le contour de la pièce présente une partie rectiligne constituant une isostatique uniformément sollicitée, si cette partie du contour est en plasticité, le triangle rectangle isocèle ayant cette partie pour hypoténuse, constitue un noyau triangulaire uniformément sollicité. Dans ce noyau triangulaire les isostatiques sont respectivement parallèles et normales au contour et les lignes de glissement sont inclinées à 45° sur le contour (fig. 369).

Ce noyau se continue dans le corps, dans la région plastique, par deux tubes ou bandes comprises entre les lignes de glissement passant par les sommets du triangle. A la traversée de ces bandes, les lignes de glissement qui leur sont transversales présentent des parties droites. L'état de tension le long de chacune de ces parties droites est uniforme ;

f) Dans les parties dans lesquelles les lignes de glissement d'une des familles sont des droites rayonnant d'un même centre, les lignes de glissement de l'autre famille sont des circonférences ayant ce point comme centre, les isostatiques sont des spirales logarithmiques coupant les rayons sous l'angle de 45° (fig. 370).

Dans ce cas les tensions tangentielles sont partout égales à  $\frac{P}{2}$  tout le long des rayons et des circonférences, de plus le long de chaque rayon



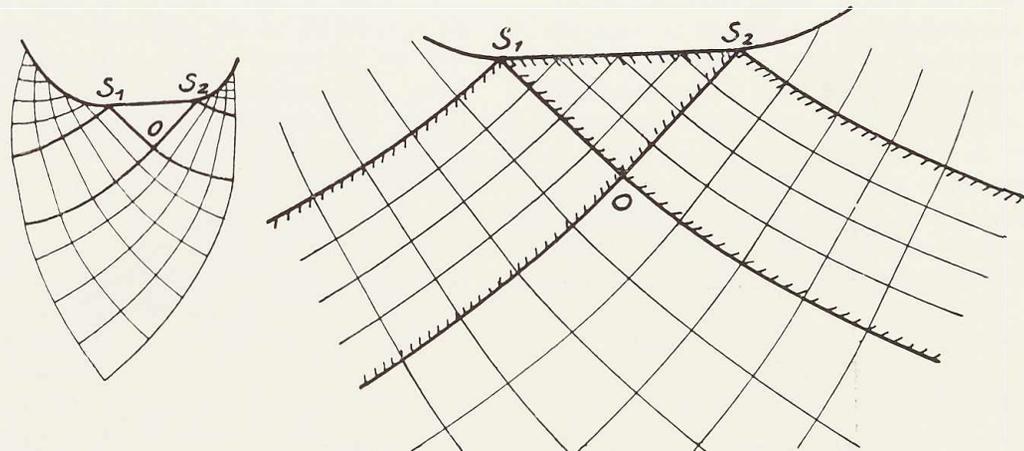


Fig. 369

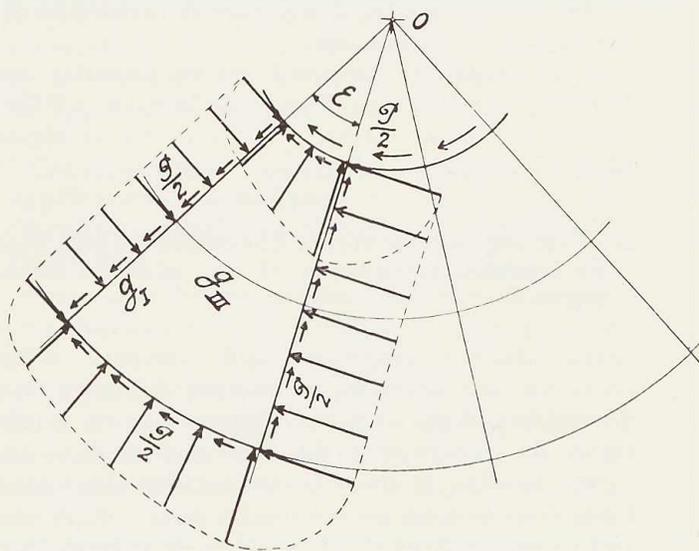


Fig. 370

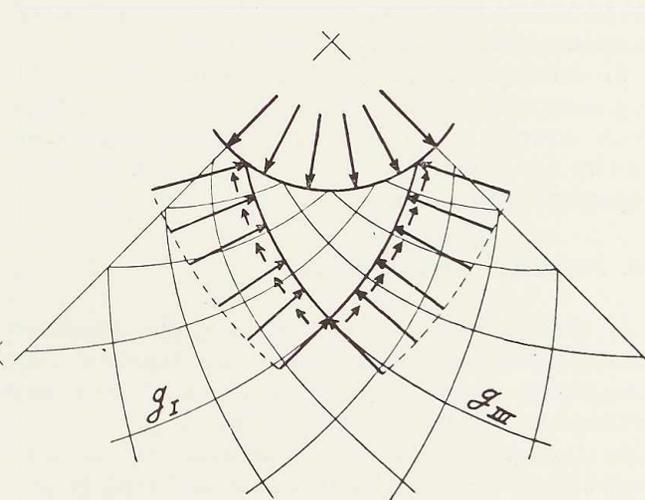


Fig. 371

la tension normale est constante, mais d'un rayon au voisin écarté de l'angle  $\varepsilon$ , la tension normale varie de  $\mathcal{P} \times \varepsilon$ . (Première propriété générale);

g) Dans les parties dans lesquelles les lignes isostatiques sont des droites rayonnant d'un centre et les circonférences correspondantes, les lignes de glissement sont des spirales logarithmiques coupant les rayons à  $45^\circ$ . Le long de chacune de ces spirales la tension tangentielle est constante  $\frac{\mathcal{P}}{2}$ , tandis que la tension normale varie de  $\mathcal{P} \cdot \varepsilon$  en passant d'un point à un autre situés sur des rayons faisant entre eux l'angle  $\varepsilon$  (fig. 371);

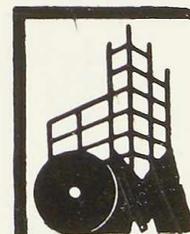
h) A une partie du contour libre de la pièce

en région plastique, le long de laquelle la sollicitation est nulle ou uniforme et purement normale, correspond :

Si cette partie est *concave*, un noyau plastique de forme générale triangulaire compris entre deux courbes caractéristiques dont les concavités se font vis-à-vis (fig. 372).

Si cette partie est *convexe*, un noyau plastique de forme générale triangulaire compris entre deux courbes caractéristiques dont les convexités se font vis-à-vis (fig. 373).

Il est à remarquer que dans chacun de ces noyaux de forme générale triangulaire, entre le sommet O du noyau et les points  $S_1$  et  $S_2$ , la tension normale aux lignes de glissement varie



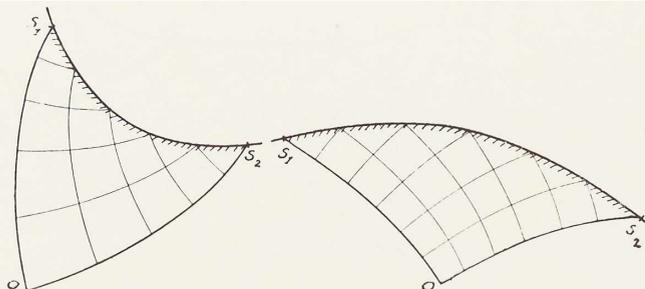


Fig. 372

Fig. 373

de la même quantité, l'angle de contingence est le même entre  $O$  et  $S_1$  et entre  $O$  et  $S_2$ .

Si cette partie présente un point d'inflexion, il y a deux noyaux plastiques, compris l'un entre deux courbes dont les concavités se regardent, l'autre entre deux courbes dont les convexités se regardent (fig. 374).

#### 15. Propriété remarquable :

Il résulte de tout cela une propriété précieuse pour l'étude de la distribution des tensions dans une région de plasticité parfaite siège d'un réseau orthogonal de lignes de glissement  $g$ .

Si l'on connaît l'état de tension en un seul point de la région plastique, en utilisant la première propriété on peut à l'aide des lignes de glissement connaître de proche en proche l'état de tension en n'importe quel point de la région plastique ; cette propriété est remarquable et constitue la base de l'étude expérimentale.

Elle fait apparaître l'importance *exceptionnelle* des lignes de glissement.

A ces propriétés viennent encore s'ajouter certaines propriétés des *lignes de courant*, trajectoires du vecteur vitesse des points de la région plastique.

#### 16. Remarque importante concernant l'état plan de tension, lorsque $\sigma_I$ et $\sigma_{III}$ sont de même signe :

Les diverses propriétés qui viennent d'être énoncées sont obtenues en partant des conditions d'équilibre d'un élément compris entre quatre lignes de glissement prises deux à deux dans une même famille, la tension tangentielle étant constante tout le long de ces quatre lignes. Cela convient essentiellement au cas plan de déformation.

Dans le cas plan de tension ( $\sigma_{II} = 0$ ) toutes ces propriétés se maintiennent pour les mêmes raisons dans l'hypothèse de plasticité de Saint-

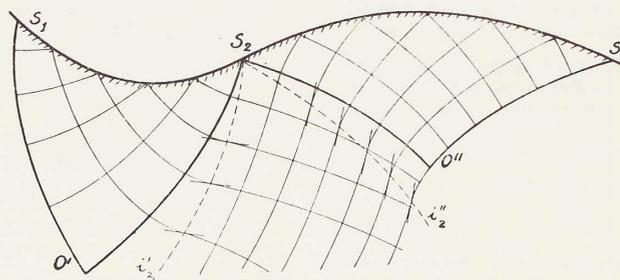
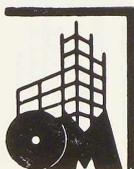


Fig. 374



Venant, M. Lévy, si  $\sigma_I$  et  $\sigma_{III}$  sont de signe contraire. Mais pour l'hypothèse de de Mises il n'en est plus rigoureusement ainsi. Toutefois les différences doivent être assez faibles, car pour  $\sigma_I$  et  $\sigma_{III}$ , de signe contraire, l'ellipse qui représente cette hypothèse est très près des droites CC qui représentent l'hypothèse de de Saint-Venant (fig. 355).

Dans l'état plan de tension, si  $\sigma_I$  et  $\sigma_{III}$  sont de même signe, les traces de glissement qui apparaissent constituent une seule famille de *rides de glissement confondues* avec l'une des familles de lignes isostatiques.

Les propriétés du réseau des lignes de glissement qui viennent d'être établies ne sont donc plus en question, d'ailleurs le long des lignes bissectant le réseau des isostatiques la tension tangentielle n'est plus constante ni égale à  $\mathcal{P}/2$ .

Il est donc extrêmement important, pour éviter toute erreur, si l'on se trouve devant un cas d'état plan de tension, de constater si les tensions  $\sigma_I$  et  $\sigma_{III}$  sont ou non de même signe.

#### 17. Considérations générales relatives aux applications techniques de la théorie de l'équilibre plastique limitée aux petites déformations :

Le domaine des applications de cette théorie est essentiellement celui des pièces en acier relativement doux, c'est-à-dire présentant assez nettement le phénomène du palier.

La plupart des applications sont basées sur la théorie de de Saint-Venant, fixant pour valeur de la constante de plasticité la limite apparente d'élasticité  $R_e$  de l'acier dans un essai de traction pure :

$$2\tau_{\max} = \sigma_I - \sigma_{III} = R_e$$

On a vu que les fondements de cette théorie datent de 1865-1872, mais ce n'est que dans ces dernières vingt années que l'intérêt technique de cette théorie s'est révélé au point de vue de l'économie des constructions en acier (1).

En fait, l'analyse des phénomènes qui se succèdent lorsqu'on conduit jusqu'à rupture l'essai de pièces en acier, a toujours impliqué des interprétations très distinctes de celles auxquelles conduit la théorie de l'élasticité !

(1) N. C. KIST, *Die Zähigkeit des Materials als Grundlagen für die Berechnung von Brücken, Hochbauten und ähnlicher Konstruktionen aus Flusseisen*. Eisenbau, 1920.

M. GRÜNING, *Die Tragfähigkeit statisch unbestimmter Systeme aus Stahl bei beliebig häufig wiederholter Belastung*. Berlin, 1926.

F. BLEICH, *La ductilité de l'acier. Son application au dimensionnement des systèmes hyperstatiques*. Bruxelles, *L'Ossature Métallique*, troisième année, n° 2, 1934.

Il a toujours fallu se garder, pour les pièces en acier, d'analyser les phénomènes de déformation au delà de la limite d'élasticité au moyen des formules posées en deçà de cette limite.

Mais ce n'est que sous l'empire de la vive concurrence entre le béton armé et le métal, que depuis quelques années les calculateurs des ouvrages en métal cherchent à tirer parti de la précieuse particularité dite *du palier*, que présente l'acier doux, dans les conditions habituelles de son emploi.

Il importe de ne pas perdre de vue que le cas de l'état plan de tension et le cas de l'état plan de déformation sont nettement à distinguer l'un de l'autre. Ils peuvent d'ailleurs être simultanés.

Que de plus il est des cas d'états plans de tension dans lesquels les propriétés des réseaux des lignes de glissement sont inopérantes, parce que ces réseaux ne se produisent pas et sont remplacés par une seule famille de *rides de glissement*, qui successivement envahit la pièce.

Ces deux groupes de cas doivent être analysés très différemment.

Les théories qui ont été résumées ci-avant montrent bien que, pas plus en plasticité qu'en élasticité, on ne peut se permettre de fixer la distribution des tensions d'une manière trop simpliste ; cette distribution est commandée par des relations bien définies qui doivent être satisfaites, sous peine que le cas soit analytiquement absurde.

Enfin il est bon de faire remarquer que les cas d'application se distinguent en outre nettement suivant que :

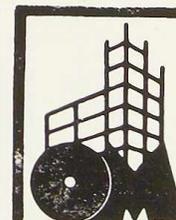
1° Sous les sollicitations prévues des déformations plastiques sont nécessairement atteintes, de sorte que l'équilibre met *effectivement* en jeu des tensions de plasticité.

Dans ces cas la question de l'action de la répétition des effets reste à élucider, ainsi que celle de la tenue de l'ouvrage à travers le temps. (Voir exemple qui suit et la note de M. G. Wilkin sur le mandrinage qui paraîtra dans le n° 7-8 de *L'Ossature Métallique*.)

2° Des déformations plastiques ne se produiront en fait pas ; on établit grâce à elles un *état d'équilibre limite de l'ouvrage*, qui se produirait si vraiment elles étaient en jeu.

Si cet état limite donne des relations plus favorables à l'économie du projet que les relations d'élasticité, on part de cet état limite pour le calcul de l'ouvrage.

On se met en sécurité par rapport à cet état



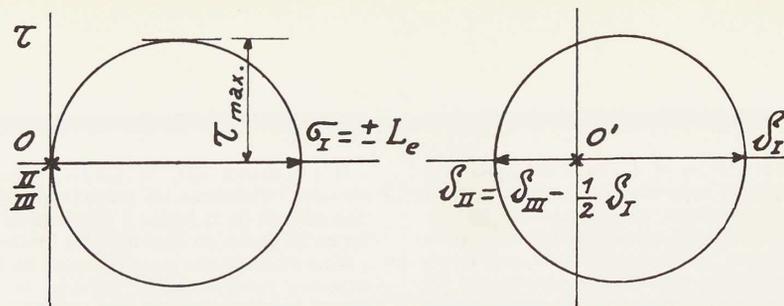


Fig. 375

$$\left( \begin{array}{l} \text{Lire } R_e \text{ au lieu de } L_e \\ \text{et } \delta_{II} = \delta_{III} = -\frac{1}{2} \delta_I \end{array} \right)$$

limite par un coefficient de sécurité que l'on se choisit opportunément.

En fait c'est bien plutôt ce second cas d'application qui constitue la base du plus grand nombre de problèmes de construction dans lesquelles on cherche aujourd'hui à faire jouer la distribution des tensions de la plasticité, en vue d'en tirer économiquement parti. (Voir la note de M. A. Joukoff relative au calcul de cas hyperstatiques de flexion qui paraîtra dans le n° 7-8 de l'*Ossature Métallique*.)

Il importe cependant d'être prudent, d'expérimenter largement dans ces domaines d'application.

La technique est en effet un domaine dans lequel la théorie et les spéculations théoriques sont un indicateur et un guide, mais c'est l'expérimentation en laboratoire et sur constructions réelles qui commande finalement et qui décide si les conceptions théoriques peuvent être transportées telles quelles dans la pratique journalière de l'art de construire.

En fait, dans la réalité des constructions en acier, la nature a incontestablement toujours mis en jeu les propriétés de plasticité de l'acier qui ont neutralisé les grandes aggravations de tensions qui se seraient produites en divers endroits avec des matériaux raides, ne jouissant pas de la propriété de plasticité.

Ce que l'on veut aujourd'hui, c'est tirer effectivement et *a priori* parti de cette propriété; c'est très logique, étant donné l'âpreté de la concurrence entre les procédés de construction; encore faut-il y aller avec quelque prudence.

Un des facteurs de cette prudence est assurément une bonne connaissance des principes analytiques du problème et un calcul plus serré des sollicitations locales, afin de mieux connaître celles-ci et de ne plus devoir compter implicitement et de manière mal définie sur la plasticité pour couvrir la différence entre les sollicitations réelles et celles qu'un calcul sommaire aurait fixées.

18. Quelques remarques relatives aux cas particuliers des états plans de tension, dans lesquels le réseau des lignes isostatiques est un damier régulier, en chaque point duquel il y a état simple de tension :

Le réseau des lignes de glissement est aussi un damier régulier incliné diagonalement par rapport au damier des isostatiques.

Si  $\sigma_I$  est la seule tension principale différente de zéro, les conditions de plasticité de de Saint-Venant, de M. Lévy et de de Mises sont identiques :

$$\sigma_I = \pm R_e \quad \text{ou} \quad \tau_{\max} = \pm \frac{R_e}{2} \quad (15)$$

$R_e$  étant la tension limite apparente d'élasticité en traction pure.

Dans les petites déformations, d'après les équations 11bis :

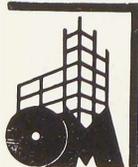
$$\delta_I = \frac{1}{E^*} \sigma_I = \frac{1}{3G^*} \sigma_I, \quad \delta_{II} = \delta_{III} = -\frac{1}{2} \delta_I \quad (16)$$

donc en tous les points de la région plastique étudiée la tension  $\sigma_I$  est constante et les figures de Mohr présentent l'aspect représenté à la figure 375.

On sait que  $G^*$  n'est pas constant; sa variation est donc connue si l'on connaît la variation de  $\delta_I$ .

Ces remarques sont notamment à la base de l'étude de la flexion plane et pure des pièces droites dont certaines régions sont en plasticité tandis que le restant de la pièce reste élastique. (Voir l'application qui sera traitée dans le n° 7-8 de l'*Ossature Métallique*, par M. A. Joukoff.)

L. B. février 1934.



## Application de la plasticité parfaite à l'étude d'une enveloppe cylindrique à forte épaisseur, soumise à une forte différence de pression

par Louis Baes,

Ingénieur I. C. M., professeur à l'Université de Bruxelles

Le tube étant considéré très long et les fonds ne constituant pas une entrave à la déformation du tube, cette déformation se fait en laissant le tube parfaitement cylindrique.

Si l'on considère une partie de la longueur du tube on dira donc qu'elle subit une déformation plane.

*Premier cas.* — La pression intérieure est telle que tout reste élastique : Dans ce cas le problème traité par les procédés classiques donne (fig. 376) :

Tension radiale :

$$\sigma_r = \frac{p_i}{\left(\frac{r_e}{r_i}\right)^2 - 1} \left[ 1 - \left(\frac{r_e}{r}\right)^2 \right] \quad (1)$$

Tension circonférentielle :

$$\sigma_t = \frac{p_i}{\left(\frac{r_e}{r_i}\right)^2 - 1} \left[ 1 + \left(\frac{r_e}{r}\right)^2 \right]$$

Il résulte de ces formules que  $\sigma_r$  et  $\sigma_t$  étant les tensions principales des sections transversales du tube, la pression  $p_i$  qui ferait tout juste atteindre la condition de plasticité à l'intrados du tube, s'obtient comme suit :

Pour l'état de déformation plane, la condition de plasticité est :

$$\sigma_t - \sigma_{III} = R_e$$

Dans le cas du tube la différence  $\sigma_t - \sigma_{III}$  est maximum à l'intrados. La condition de plasticité est donc :

$$(\sigma_t - \sigma_r) \text{ à l'intrados ou pour } r = r_i = R_e$$

ce qui donne en valeur absolue :

$$p_i = \frac{R_e}{2} \left[ 1 - \left(\frac{r_i}{r_e}\right)^2 \right] \quad (1)$$

*Deuxième cas.* — La pression intérieure est telle qu'une partie de l'épaisseur du tube est en plasticité, l'autre partie restant élastique (2).

(1) Voir L. BAES et L. BLANJEAN, *Calcul des enveloppes cylindriques soumises à de fortes différences de pression, dans les limites de l'élasticité* (Revue de l'Ecole polytechnique de Bruxelles, décembre 1933).

(2) Cette application est traitée en s'inspirant de : A. NADAI, *Plasticity*, 1931.

On a donc :  $p_i > \frac{R_e}{2} \left[ 1 - \left(\frac{r_i}{r_e}\right)^2 \right]$

Soit  $r'$  le rayon de la frontière entre la région plastique et la région élastique, toute la partie à l'intrados de la frontière est en plasticité.

Tant dans la région plastique que dans la région élastique, l'équation différentielle de l'équilibre d'un élément de la paroi du tube est (fig. 376) :

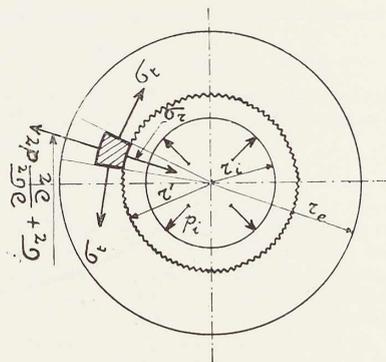


Fig. 376. correspond à la limite de la région plastique.

$$\frac{d(\sigma_r r)}{dr} - \sigma_t = 0 \quad \text{ou} \quad r \frac{d\sigma_r}{dr} = \sigma_t - \sigma_r$$

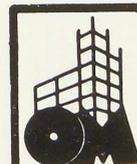
Dans la région plastique, donc pour  $r_i \leq r \leq r'$ , la condition de plasticité est :  $\sigma_t - \sigma_r = R_e$

$$\text{donc} \quad r \frac{d\sigma_r}{dr} = R_e \quad d\sigma_r = R_e \frac{dr}{r}$$

$$\text{par suite} \quad \left\{ \begin{array}{l} \sigma_r^* = k + R_e \log r \\ \sigma_t^* = k + R_e (\log r + 1) \end{array} \right.$$

Dans la région élastique, donc pour  $r' \leq r \leq r_e$ , la méthode classique donne

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_r = b - \frac{c}{r^2} \\ \sigma_t = b + \frac{c}{r^2} \end{array} \right.$$



Lignes de glissement  
et lignes de  
courant.

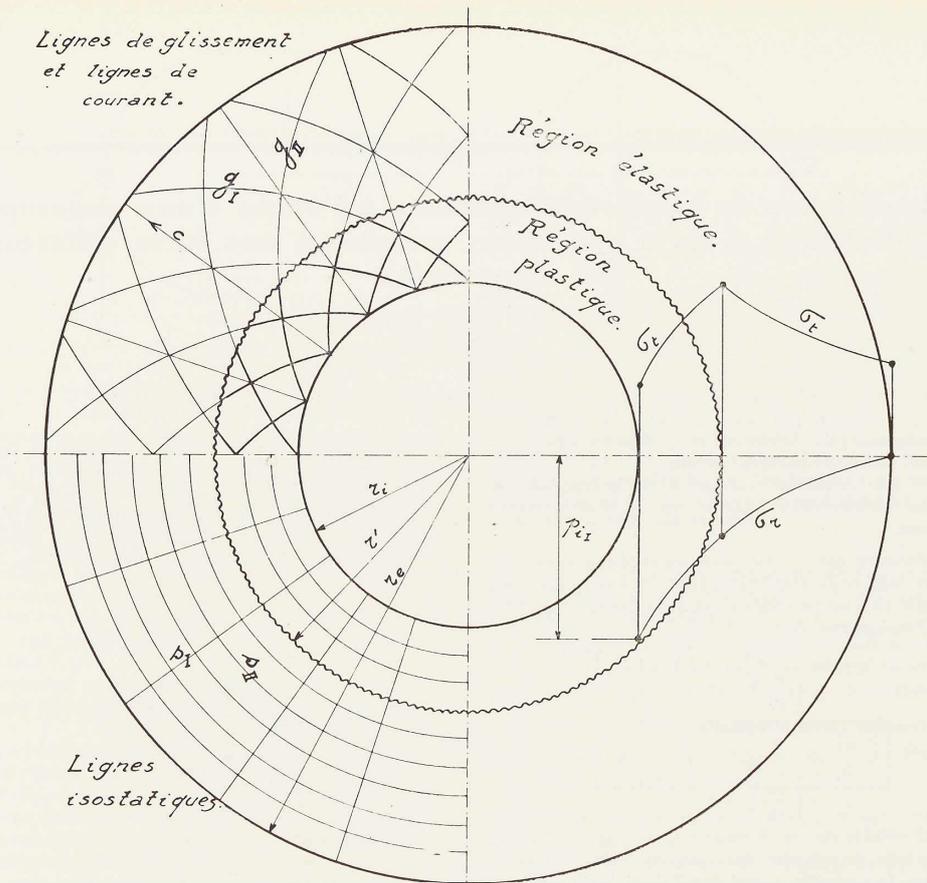


Fig. 377

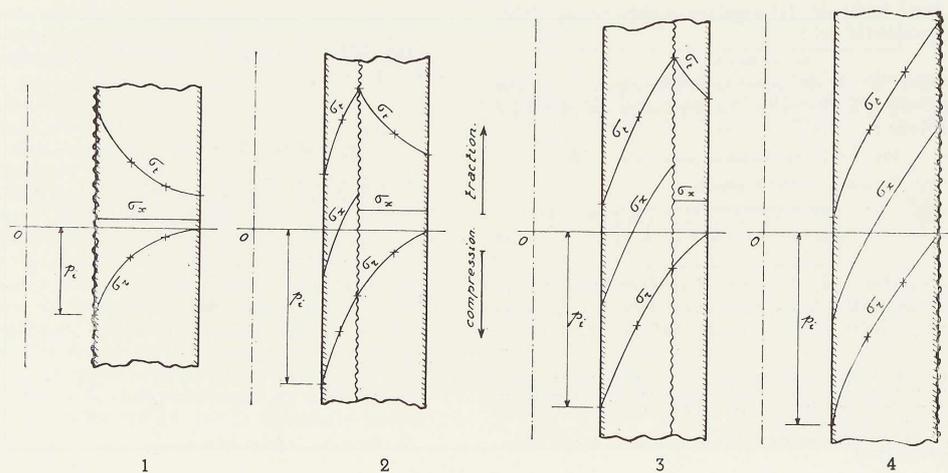
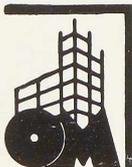


Fig. 378

1. La plasticité est atteinte à la couche intrados seulement ; 2 et 3. La plasticité est atteinte dans une partie de l'épaisseur, côté intrados ; 4. La plasticité est atteinte dans toute l'épaisseur de la paroi.



Pour déterminer les trois constantes  $k$ ,  $b$ ,  $c$  qui interviennent dans ce problème, on dispose de trois conditions :

$$\begin{aligned} \text{pour } r = r_e, \quad \sigma_{re} &= 0 \\ \text{pour } r = r', \quad \sigma_{r'}^* &= \sigma_{r'} \quad \text{et} \quad \sigma_{t'}^* = \sigma_{t'} \end{aligned}$$

ces dernières signifient qu'au rayon frontière les tensions calculées par les formules de la plasticité et par les formules de l'élasticité sont les mêmes.

Quant à la condition pour  $r = r_i$ ,  $\sigma_{ri} = -p_i$ , elle permettra de donner l'expression de la pression  $p_i$  qui provoque la plasticité jusqu'au rayon  $r'$ .

Les trois premières conditions s'écrivent :

$$\left\{ \begin{aligned} b - \frac{c}{r_e^2} &= 0 \\ b - \frac{c}{r'^2} &= k + R_e \log r' \\ b + \frac{c}{r'^2} &= k + R_e (\log r' + 1) \end{aligned} \right.$$

donc les constantes ont pour valeur :

$$\begin{aligned} c &= \frac{R_e}{2} r'^2, \quad b = \frac{R_e}{2} \left( \frac{r'}{r_e} \right)^2, \\ k &= \frac{R_e}{2} \left[ \left( \frac{r'}{r_e} \right)^2 - 1 - 2 \log r' \right] \end{aligned}$$

Les expressions des tensions deviennent : pour  $r_i \leq r \leq r'$ , région plastique :

$$(2) \quad \left\{ \begin{aligned} \sigma_r^* &= \frac{R_e}{2} \left[ \left( \frac{r'}{r_e} \right)^2 - 1 + 2 \log \frac{r}{r'} \right] \\ &= -p_i + R_e \log \frac{r}{r_i} \\ \sigma_t^* &= \frac{R_e}{2} \left[ \left( \frac{r'}{r_e} \right)^2 + 1 + 2 \log \frac{r}{r'} \right] \\ &= -p_i + R_e \left[ \log \frac{r}{r_i} + 1 \right] \end{aligned} \right.$$

pour  $r' \leq r \leq r_e$ , région élastique :

$$(3) \quad \left\{ \begin{aligned} \sigma_r &= \frac{R_e}{2} \left( \frac{r'}{r_e} \right)^2 \left[ 1 - \left( \frac{r_e}{r} \right)^2 \right] \\ \sigma_t &= \frac{R_e}{2} \left( \frac{r'}{r_e} \right)^2 \left[ 1 + \left( \frac{r_e}{r} \right)^2 \right] \end{aligned} \right.$$

Si dans la formule  $\sigma_r^*$ , on fait  $r = r_i$ , on a  $\sigma_{ri}^* = -p_i$ , l'expression de la pression intérieure qui provoque de la plasticité jusqu'au rayon  $r'$  est donc :

$$(4) \quad p_i = \frac{R_e}{2} \left[ 1 - \left( \frac{r'}{r_e} \right)^2 - 2 \log \frac{r_i}{r'} \right]$$

en valeur absolue.

Par raison de symétrie (fig. 377), aussi bien dans la région plastique que dans la région élastique, les lignes de courant sont les rayons émanant du centre O ; les lignes isostatiques sont, les unes ces mêmes rayons, les autres les circonférences ayant ce point comme centre ; les lignes de glissement sont constituées par les deux familles de spirales logarithmiques rencontrant tous les rayons sous l'angle de 45°. On remarque que les deux tensions principales sont de signes contraires.

Ces spirales logarithmiques ont comme équation en coordonnées polaires :

$$r = a e^{\omega}$$

$a$  étant le rayon de la spirale sur l'axe de référence, pour  $\omega = 0$ .

On a donc  $\log r = \log a + \omega$ .

Si l'on considère deux points de l'une des spirales logarithmiques situés aux distances  $r$  et  $r_i$  du centre,

$$\log r - \log r_i = \omega_r - \omega_{r_i} = \varepsilon$$

l'angle  $\varepsilon$  dont on a tourné la tangente à la spirale, en passant d'un de ces points à l'autre est donc tel que :

$$\varepsilon = \log \frac{r}{r_i}$$

En vertu de la propriété des lignes de glissement la tension principale radiale, la tension principale circonférentielle, la tension normale subie par les éléments tangents à la spirale varient toutes entre l'intrados et le rayon  $r$  de la région plastique de la quantité  $R_e \times \varepsilon$  (1).

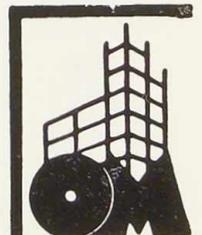
Il est intéressant de montrer par la figure 378 pour un cas déterminé, par exemple pour  $\frac{r_i}{r_e} = 0,4$ , les diagrammes des tensions  $\sigma_r$ ,  $\sigma_t$ ,  $\sigma_x$  pour diverses valeurs de la pression  $p_i$ , amenant la frontière de plasticité plus ou moins loin dans l'épaisseur de la paroi.

La figure 379 donne en outre la loi de variation de la pression  $p_i$  en fonction de la valeur du rapport  $\frac{r'}{r_e}$  du rayon frontière de la plasticité et du rayon extrados.

(1) On pourrait résoudre le problème en partant de cette propriété, elle permet en effet d'écrire directement :

$$\left\{ \begin{aligned} \sigma_r^* &= -p_i + R_e \log \frac{r}{r_i} \\ \sigma_t^* &= -p_i + R_e \left[ \log \frac{r}{r_i} + 1 \right] \end{aligned} \right.$$

la théorie classique donne dans la région élastique :



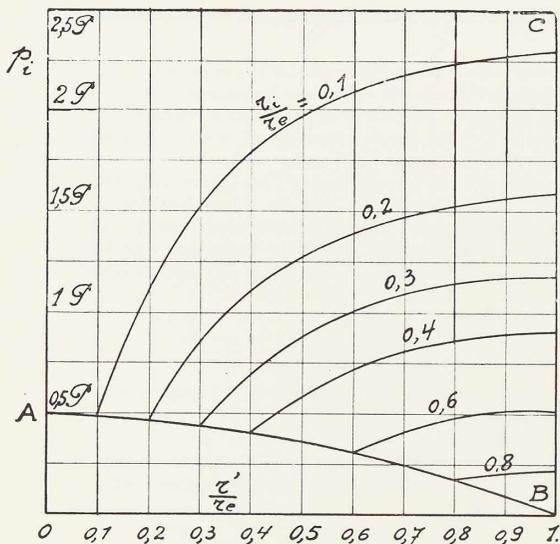


Fig. 379. Les points de la courbe AB correspondent aux cas où la plasticité est atteinte dans la couche intrados seulement.

Chaque courbe de ce diagramme correspond à une autre valeur du rapport  $\frac{r_i}{r_e}$ .

On constate que si  $\frac{r_i}{r_e} = 0,4$ , la pression nécessaire pour amener toute l'épaisseur de la paroi en

$$\begin{cases} \sigma_r = b - \frac{c}{r^2} \\ \sigma_t = b + \frac{c}{r^2} \end{cases}$$

Les conditions particulières du cas sont :  
 pour  $r = r_e$ ,  $\sigma_{re} = 0$   
 pour  $r = r'$ ,  $\sigma_{r'} = \sigma_r$ , et  $\sigma_{t'} = \sigma_t$ ,  
 elles sont donc :

$$\begin{cases} b - \frac{c}{r_e^2} = 0 \\ b - \frac{c}{r'^2} = -p_i + \log \frac{r'}{r_i} \\ b + \frac{c}{r'^2} = -p_i + P \left[ \log \frac{r'}{r_i} + 1 \right] \end{cases}$$

donc  $c = \frac{P}{2} r'^2$ ,  $b = \frac{P}{2} \left( \frac{r'}{r_e} \right)^2$ ,

$$p_i = \frac{P}{2} \left[ 1 - \left( \frac{r'}{r_e} \right)^2 - 2 \log \frac{r_i}{r'} \right]$$

ce qui redonne les équations (2) et (3).

plasticité est 2,12 fois celle nécessaire pour ne produire la plasticité qu'à la couche intrados.

Un tel résultat est un précieux élément d'appréciation du coefficient de sécurité réel de l'enveloppe cylindrique étudiée.

A titre d'exemple, soit une enveloppe cylindrique en acier de 15 cm de rayon intrados, devant résister à une pression intérieure de 1.000 kg par  $\text{cm}^2$ , la constante de plasticité de l'acier ayant comme valeur

$$R_e = 3.000 \text{ kg par cm}^2 \text{ (limite apparente d'élasticité)}$$

Voici trois solutions différentes pour le calcul de l'épaisseur de l'enveloppe (fig. 380).

I. — On s'impose de calculer l'épaisseur de la paroi dans les limites de l'élasticité, en se basant sur le critérium de la tension tangentielle maximum atteignant 1.200 kg par  $\text{cm}^2$ .

La formule dans laquelle on remplace  $\frac{R_e}{2}$  par 1.200 kg par  $\text{cm}^2$  donne

$$\frac{r_e}{r_i} = 2,45; \quad \text{donc } e = 1,45 r_i = 21,75 \text{ cm.}$$

Pour une enveloppe de cette épaisseur, la formule (1) montre que pour que seule la couche intrados de l'enveloppe soit en plasticité, la pression intrados doit monter à :

$$p_i' = \frac{3.000}{2} [1 - 0,168] = 1.250 \text{ kg par cm}^2.$$

La formule (3) dans laquelle on fait  $r' = r_e$  (ou le diagramme fig. 379), montre que pour que la totalité de l'épaisseur soit en plasticité, il faut que la pression intrados monte à :

$$p_i'' = \frac{3.000}{2} \times 2 \log 2,45 = 2.680 \text{ kg par cm}^2$$

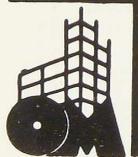
soit 2,68 fois la pression  $p_i$  qui a servi de base au calcul.

II. — On s'impose de calculer l'épaisseur de la paroi par la condition que la couche intrados est seule en plasticité sous la pression  $p_i$  de 1.000 kg par  $\text{cm}^2$ .

La formule (3) donne :

$$1000 = \frac{3.000}{2} \left[ 1 - \left( \frac{r_i}{r_e} \right)^2 \right]$$

$$\frac{r_e}{r_i} = 1,73 \quad \text{donc } e = 0,73 r_i = 11 \text{ cm.}$$



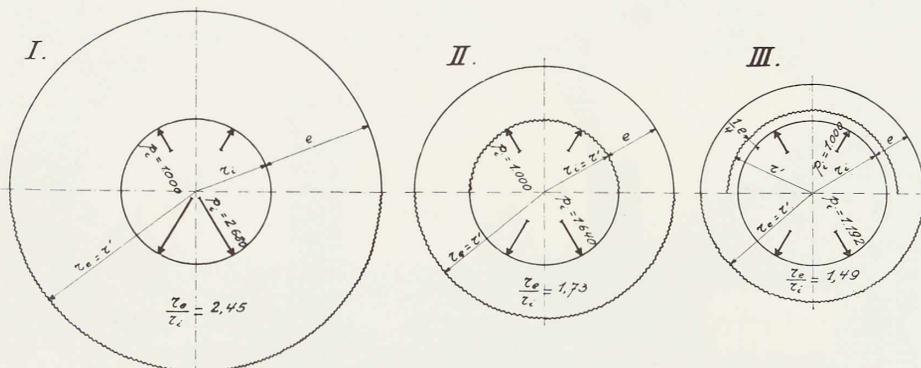


Fig. 380. Comparaison des épaisseurs à donner pour  $p_i = 1.000 \text{ kg par cm}^2$  :

- I. L'élasticité n'était pas dépassée ;
  - II. La couche intrados étant en plasticité ;
  - III. Le quart de l'épaisseur étant en plasticité.
- L'économie en poids de II par rapport à I est de 60 % et de III par rapport à I, 77,5 %.  
 Cette figure indique aussi la valeur que devrait atteindre la pression intérieure  $p_i$ , pour que toute la paroi soit en plasticité.

La formule (3), dans laquelle on fait  $r' = r_e$ , montre que pour la totalité de l'épaisseur soit en plasticité, il faut que la pression intrados monte à :

$$p_i = \frac{3.000}{2} \times 2 \log 1,73 = 1.640 \text{ kg par cm}^2$$

soit seulement 1,64 fois la pression  $p_i$  qui a servi de base au calcul.

III. — On s'impose de calculer l'épaisseur de la paroi par la condition que le quart de l'épaisseur sera en plasticité sous la pression  $p_i$  de 1.000 kg par  $\text{cm}^2$ .

Dans ce cas

$$r' - r_i = \frac{1}{4} (r_e - r_i) \quad \frac{r'}{r_e} = \frac{1}{4} + \frac{3}{4} \frac{r_i}{r_e}$$

$$\frac{r_i}{r'} = \frac{4}{\frac{r_e}{r_i} + 3}$$

d'où par la formule (3)

$$p_i = \frac{R_e}{2} \left[ 1 - \left( \frac{1}{4} + \frac{3}{4} \frac{r_i}{r_e} \right)^2 - 2 \log \frac{1}{\frac{1}{4} \frac{r_e}{r_i} + \frac{3}{4}} \right]$$

on fera  $p_i = 1.000 \text{ kg par cm}^2$  et  $\frac{R_e}{2} = 1.500 \text{ kg par cm}^2$ .

La résolution donne

$$\frac{r_e}{r_i} = 1,494 \quad \text{donc} \quad e = 0,494 \times 15 = 7,4 \text{ cm.}$$

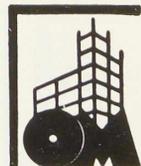
La formule (3), dans laquelle on fait  $r' = r_e$ , montre que pour que la totalité de l'épaisseur soit en plasticité, il faut que la pression intrados monte à :

$$p_i = \frac{3.000}{2} \times 2 \log 1,494 = 1.192 \text{ kg par cm}^2,$$

soit seulement 1,19 fois la pression  $p_i$  qui a servi de base au calcul.

Cet exemple montre (fig. 380) l'économie de matière que l'on peut réaliser si l'on peut admettre qu'une partie de la paroi peut être en plasticité.

Il montre (fig. 378) aussi combien la loi de distribution des tensions est profondément différente lorsque l'on fait intervenir la plasticité par rapport au cas où l'élasticité n'est pas franchie.



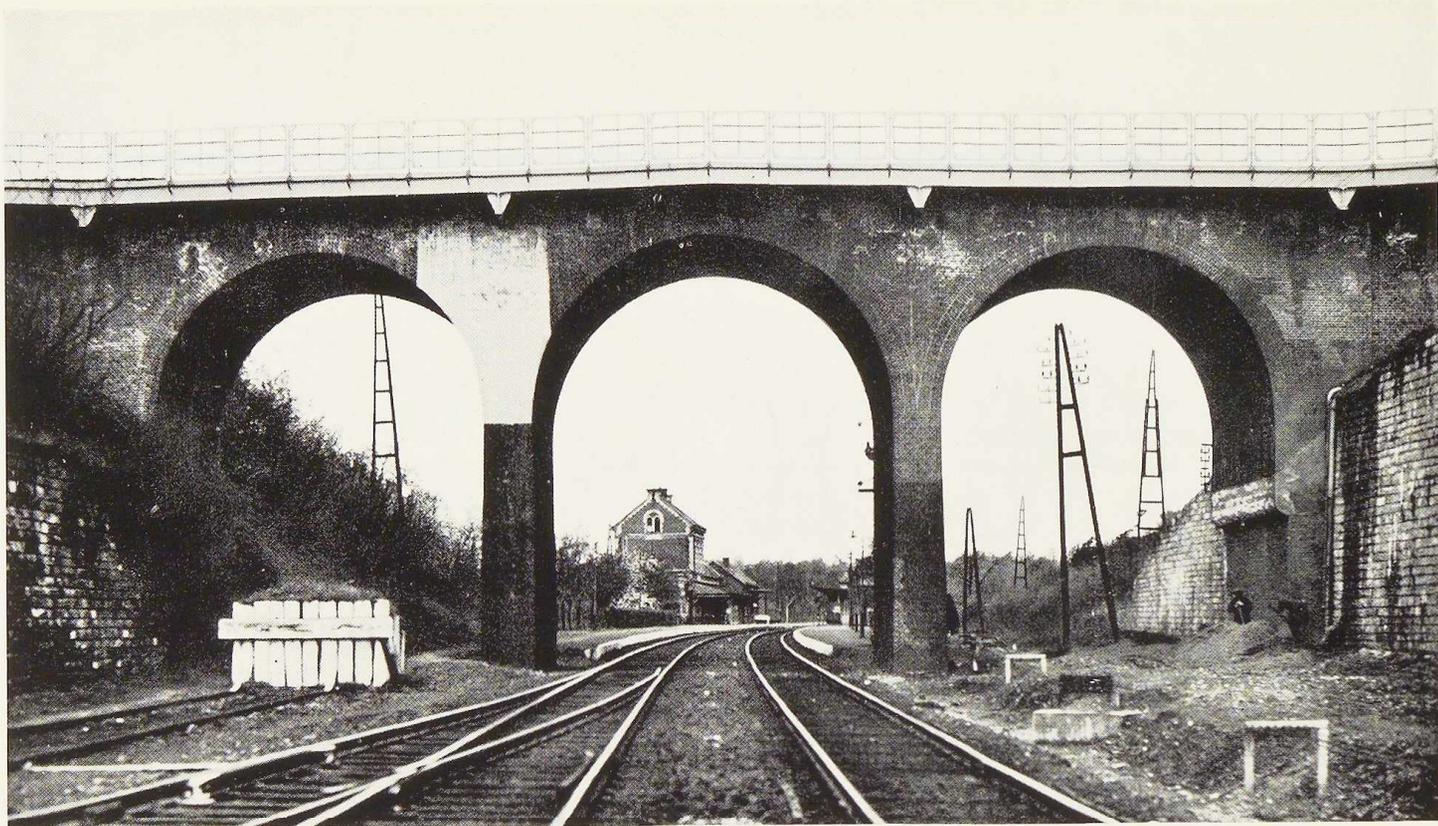


Fig. 381. Le pont de la chaussée de La Hulpe, vu de la voie du chemin de fer

## L'élargissement du pont de La Hulpe

Le pont en maçonnerie qui franchit la voie du chemin de fer Bruxelles-Namur, près de la gare de La Hulpe, comportait une chaussée étroite et deux trottoirs. Cet ouvrage, dont la largeur ne permettait pas le croisement de deux véhicules, constituait un obstacle fort gênant à la circulation, d'autant plus que la route de Mont-Saint-Jean à Louvain décrit un S à son passage sur le pont, en sorte que la vue des abords n'y est pas dégagée. Il résultait de cette situation de fréquents embouteillages et parfois même des accidents.

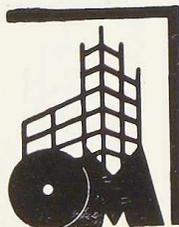
A la demande de l'Administration des Ponts et Chaussées, la Société Nationale des Chemins de Fer Belges a réalisé l'élargissement du tablier de ce pont de manière particulièrement simple et économique. Les trottoirs de 1 m 50 de largeur ayant été reportés, grâce à une construction en encorbellement, en dehors de l'aplomb des parements, la nouvelle chaussée élargie a pu être portée à 5 m 48 entre bordures. Les trottoirs sont supportés de manière fort simple par de grosses poutrelles métalliques — PN 50 — de 8 m 63 de

les 9 m 66 (voir coupe et vue en plan fig. 382).

Préalablement à leur mise en place, ces poutrelles PN 50 furent enrobées de béton sur toute la longueur à enfouir sous la chaussée. On assurait par le moyen de cet enrobage une parfaite protection de l'acier contre la rouille. Le béton d'enrobage fut coulé autour des poutrelles entre coffrages en bois avant leur mise en place dans les tranchées transversales. De légères ligatures de 3 mm de diamètre furent disposées autour des poutrelles pour garantir une bonne cohésion du béton d'enrobage (fig. 383).

Le travail a été exécuté dans un délai fort réduit, et l'on peut dire que s'il est parfait au point de vue technique, il est en même temps très réussi au point de vue esthétique.

Le Bureau d'Etude des Ponts de la S.N.C.F.B. n'excelle pas seulement dans les vastes projets comme ceux des ponts remarquables de 90 mètres de portée, du type Vierendeel, actuellement en cours de construction pour Malines et pour Herenthals, mais il se signale également par les solutions simples et économiques qu'il apporte aux constructions d'importances secondaire.



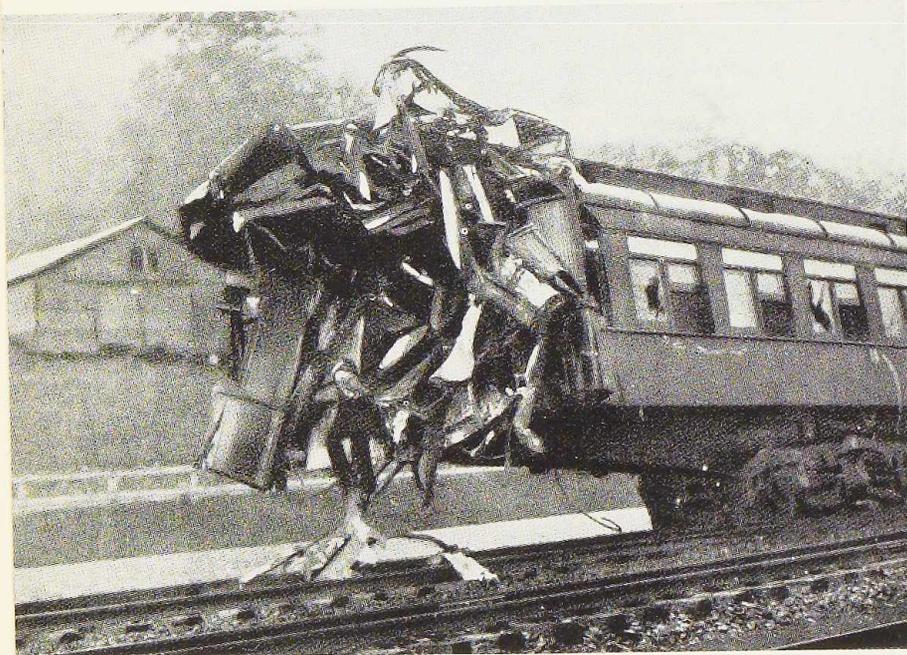




---

## Sécurité d'abord <sup>(1)</sup>

**Fig. 385.** Etat des voitures de chemin de fer construites en bois après une collision. Les voitures sont littéralement déchiquées.



**Fig. 386.** Vue d'une voiture métallique après une collision. Les dégâts sont limités à la plateforme.



**Fig. 387.** Collision de trains composés de voitures en bois. La voiture de dessous, en pénétrant dans celle de dessus, a écrasé tout ce qui se trouvait à l'intérieur de celle-ci.



**Fig. 388.** Déraillement de voitures métalliques. Les voitures se sont couchées sur le talus du remblai. Aucun dégât à l'intérieur.

<sup>(1)</sup> Ces photographies sont extraites du catalogue de l'American Car and Foundry Company, New-York.

## CHRONIQUE

### La réunion du Comité permanent de l'Association Internationale des Ponts et Charpentes à Stresa, 10 et 11 avril 1934.

Nous avons publié dans notre numéro 4, avril 1934, (pp. 213-215), un compte rendu des décisions prises, en ce qui concerne les constructions en acier, par le Comité Permanent de l'A.I.P.C. au cours de sa Sixième Session annuelle à Stresa.

Voici le procès-verbal officiel de cette réunion tel qu'il vient de nous être adressé par le Secrétariat de l'Association.

La Séance annuelle du Comité Permanent de l'Association Internationale des Ponts et Charpentes a eu lieu cette année à Stresa sous la présidence de M. le Prof. Dr. A. Rohn (Zurich), Président de l'Association. 40 délégués représentant 12 pays y ont pris part. Le Comité Permanent a constaté avec satisfaction que malgré les difficultés économiques générales le nombre des membres de l'Association est en progrès croissant. L'Association comprend actuellement environ 1500 membres individuels et collectifs, représentant 46 pays différents.

En outre des questions administratives intéressant l'Association, le Comité Permanent a discuté tout spécialement dans sa séance de Stresa la préparation et l'organisation du prochain Congrès des Ponts et Charpentes, qui aura lieu à Rome au printemps 1936. Il est prévu de consacrer trois demi-journées à la discussion des rapports préparés d'avance sur des problèmes concernant la construction en acier et trois demi-journées à la discussion des problèmes concernant la construction en béton armé, comme il en a été au Congrès de Paris en 1932. Une séance sera consacrée à une question concernant les deux modes de construction. Outre ces rapports préparés d'avance il a été prévu également des conférences libres pour lesquelles deux demi-journées seront réservées.

Une grande partie de la discussion à Stresa a été consacrée au choix des questions scientifiques et techniques, formant l'objet des discussions du Congrès de Rome. Pour la *construction en acier* on a choisi comme premier problème l'importance de la ductilité de l'acier dans le calcul et la conception des ouvrages en acier. La pratique

des constructions soudées, tout spécialement en ce qui concerne les dispositions constructives et l'exécution, sera traitée pendant une demi-journée. On y étudiera l'influence des charges dynamiques, le contrôle des cordons de soudure ainsi que les dispositions constructives servant à réduire les déformations théoriques. On a choisi comme troisième question la théorie et le résultat des essais en ce qui concerne l'étude des points singuliers des constructions métalliques rivées ou soudées.

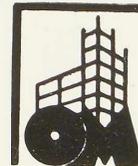
La liste des questions concernant la *construction en béton armé* prévoit tout d'abord le problème des sollicitations et du coefficient de sécurité dans les constructions en béton armé, en mettant le point de vue du constructeur en première ligne. Cette question comprendra l'étude de l'endurance c'est-à-dire de la résistance aux efforts prolongés statiques ou dynamiques, les moyens d'augmenter la résistance à la traction et de diminuer la formation des fissures dans le béton, l'utilisation des aciers à haute résistance, etc. Une seconde question comprendra l'étude des tendances actuelles dans le calcul et la construction des ouvrages en béton armé, en considérant spécialement les constructions à parois minces renforcées ou non par des raidisseurs (halles, coupoles, silos, etc.) ainsi que d'autres grands ouvrages comme des ponts à grande portée, etc. La question de l'application du béton et du béton armé aux travaux hydrauliques (barrages, conduites, galeries sous-pressions, réservoirs) fera l'objet de la troisième séance.

Enfin il est prévu de consacrer une séance commune à l'étude des terrains (résistance des sols de fondation, etc.), question qui devra être étudiée de manière approfondie au Congrès de Rome.

Le programme exact des différentes questions comprenant également les renseignements complémentaires sera publié dans le prochain numéro du *Bulletin* paraissant en juin prochain et qui sera adressé gratuitement aux membres de l'Association.

A l'occasion de la réunion de Stresa, les membres du Comité Permanent ont également pris connaissance du « Rapport Final » du Congrès de Paris ainsi que du deuxième volume des « Mémoires » de l'Association sortis de presse entretemps.

Sur proposition du Vice-Président italien de



l'Association, le Comité Permanent a rédigé également une requête adressée au Président du Conseil des Ministres d'Italie afin de pouvoir organiser le prochain Congrès de l'Association en 1936 à Rome, en collaboration avec le Syndicat National Italien Fasciste des Ingénieurs et la Fédération Européenne des Associations d'Ingénieurs à Rome.

La réunion de Stresa a été terminée par différentes réceptions, excursions et visites qui ont été organisées avec la plus grande amabilité par les autorités locales et les membres italiens de l'Association.

#### Planchers en tôles soudées dits « battledeck floors ».

On entend dire fréquemment que les méthodes employées dans la construction des bâtiments n'ont pas suivi les progrès, souvent considérables, qui ont favorisé les autres domaines de la science et de la technique. Il convient de signaler, à l'encontre de cette assertion, les efforts faits par l'*American Institute of Steel Construction* en vue de promouvoir un type de plancher particulier, connu sous le nom de *battledeck floor*, formé de tôles planes soudées au milieu des ailes supérieures de poutrelles I.

Des essais de mise en charge furent entrepris par le *Bureau of Standards* de Washington à l'intervention de l'*American Institute of Steel Construction*, en vue de mesurer la résistance d'un *battledeck floor* et de déterminer si les tôles et les poutrelles auxquelles elles sont soudées constituent bien un ensemble homogène résistant simultanément et non pas séparément aux charges appliquées.

Le plancher d'essai, dont la portée était de 6 m, comportait des poutrelles de 100 mm de hauteur, pesant 11,5 kg par mètre courant et écartées de 60 cm. Les tôles de 6,3 mm d'épaisseur et 60 cm de largeur étaient soudées à l'arc électrique le long de l'axe de l'aile supérieure des poutrelles.

Le plancher fut chargé à l'aide de gueuses de fonte ; les déformations et les flèches furent mesurées pour des surcharges allant jusqu'à 975 kg/m<sup>2</sup>. La surcharge fut portée ensuite jusqu'à 2 040 kg/m<sup>2</sup> sans qu'apparût aucun indice d'effondrement.

Les lectures aux tensomètres et fleximètres ne montrèrent à aucun moment que le plancher ne se comportait pas comme un tout homogène lorsqu'on le mettait en charge. On ne put déceler aucune rupture ou déformation permanente des soudures.

Pourvu que l'intervalle entre les poutrelles ne dépasse pas 100 fois l'épaisseur de la tôle, l'essai indique que, pour les portées ordinaires, la largeur totale de la tôle peut être considérée comme effective lorsqu'on calcule un plancher de ce type.

Une relation plus complète de ces essais a été publiée dans le numéro de mars 1934 du *Journal of Research* (1).

(*The Steel Constructor*, N. Y., n° 2, vol. 5, juin 1934.)

\*  
\*\*

Nous apprenons par une note qui vient de nous parvenir de l'*American Institute of Steel Construction*, que cet organisme a décidé de charger l'Université de Lehigh à Bethlehem, Pennsylvanie, de l'étude expérimentale des planchers dits *battledeck floors*, principalement sous l'effet des charges concentrées.

Ce travail, qui vise surtout les applications aux platelages des ponts, s'étendra sur une période de deux ans. Il prolonge les études antérieures effectuées par le *National Bureau of Standards*, pour le compte de l'*American Institute of Steel Construction*, qui ont fourni des résultats de grande valeur concernant la résistance au feu et le comportement sous des charges réparties de ce type de planchers.

#### La résistance au vent des ossatures de bâtiments.

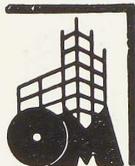
L'*American Institute of Steel Construction* s'est mis d'accord avec l'Université de l'Etat d'Ohio pour compléter la première série d'essais entrepris dans cette Université sur modèle métallique comportant un portique multiple contreventé à 3 panneaux.

Les travaux commenceront cet été au Laboratoire d'Essais Industriels de l'Université à Columbus et seront poursuivis l'année prochaine. Une analyse détaillée des essais sera jointe au rapport qui sera remis ensuite à l'Institut.

Les essais seront effectués sous la direction du Professeur Clyde T. Morris et de George E. Large.

Cette étude fait partie du vaste programme de recherches entrepris par l'*American Institute of Steel Construction* sur la question du contreventement des bâtiments élevés. En 1925, commencèrent les observations sur l'ossature métallique

(1) Ce document peut être consulté à la bibliothèque du Centre Belgo-Luxembourgeois d'Information de l'Acier.



de l'American Insurance Union Building à Columbus. Lors de la construction de l'Empire State Building à New-York, des appareils spéciaux furent installés en vue de la mesure des pressions et des vitesses du vent, ainsi que des tensions et des déformations sur les poutres et les poteaux de ce bâtiment.

Ces essais sur bâtiments et sur modèles réduits apporteront sans aucun doute des résultats fort utiles qui permettront d'effectuer plus économiquement les projets de bâtiments élevés.

Nous tiendrons nos lecteurs au courant des résultats de ces essais.

### **Le marché de l'acier pendant le mois de mai 1934.**

L'activité du marché de l'acier est restée assez limitée dans le courant du mois de mai. La demande de l'étranger a été plutôt faible, notamment en raison des difficultés de tous genres apportées au marché d'exportation. Le début du mois a été satisfaisant pour les barres marchandes et les tôles fortes et les commandes enregistrées dans ces compartiments ont été plus importantes pendant la première quinzaine de mai que pendant la même période du mois précédent. Le calme a régné dans tous les autres compartiments, néanmoins les tonnages rentrés par les comptoirs de vente n'ont guère été inférieurs à ceux de mars.

Les frets ont subi une baisse à deux reprises différentes, l'une de 4 Sh. 6, l'autre de 2 Sh. 6 papier, suivant les ports de destination. Les prix fob pour la Chine et les Straits Settlements ont été majorés en conséquence ; les prix cif n'ont pas été modifiés.

Les salaires en métallurgie ont été réajustés : le 15 mai, ils ont été réduits de 2,50 % et une nouvelle diminution de 2,50 % prendra cours à partir du 15 juillet prochain.

Une légère amélioration des marchés s'est fait sentir vers la fin du mois. Le Japon, la Palestine, la Syrie et l'Égypte ont prêté une meilleure attention au marché, les affaires avec la Chine sont cependant restées calmes par continuation.

« Cosibel » a enregistré un peu plus de 127.000 tonnes de commandes, dont environ 38.500 tonnes pour l'intérieur, ce qui correspondait à l'importance des commandes du mois d'avril.

Le Comité de Gérance des Comptoirs a majoré le prix des profilés de 1 Sh. 6 or : cette majoration de prix n'est cependant pas appliquée aux pays suivants : Angleterre, Suède, Égypte, États-Unis d'Amérique, Japon, Mandchourie, Indes an-

glaises, Canada, Porto-Rico et République Dominicaine. Les prix ont été relevés de 4 Sh. 6 pour le Mexique, la Chine, le Chili ; de 1 Sh. 6 pour le Vénézuéla ; de 1 Florin pour la Hollande. Le Comité de Gérance des Comptoirs a réduit à cette occasion l'écart existant entre le prix des poutrelles et celui des aciers marchands.

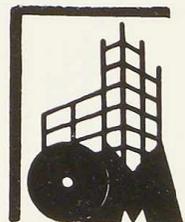
Le tonnage-programme a été maintenu pour le mois de juin et les délais de vente pour tous les produits ont été prolongés jusqu'à fin août.

En Angleterre le gouvernement a prolongé les droits de douane sur les produits métallurgiques, qui étaient de 33,50 % *ad valorem*, en même temps qu'il a poursuivi la réorganisation de l'industrie sidérurgique anglaise par la constitution de la *Fédération Britannique des Industries Sidérurgiques* dont les pouvoirs sont précisés de la façon suivante : « La Fédération devra effectuer le contrôle de toutes les importations au moyen de contingentements ; assurer la liaison entre tous les éléments de l'industrie sidérurgique en Grande-Bretagne et dans l'Empire tout entier ; réorganiser la production en éliminant une concurrence aux effets néfastes, en modernisant les entreprises et en encourageant la concentration par la fusion des entreprises ; prélever un droit d'exportation sur les ventes intérieures afin de retrouver les centres consommateurs qui ont été perdus ces dernières années ; fournir toutes sortes de renseignements concernant le commerce, les transports, les débouchés, les questions financières ou les recherches. »

Nous apprenons d'autre part que les décisions prises par la *Japan Steel Manufacturing Co*, qui représente plus de la moitié de la production japonaise, marquent une volonté nette de supprimer les importations d'aciers au Japon et au Mandchoukouo. Le programme comporte, en effet, une augmentation de la production de près de 300.000 tonnes par la construction de trois fours S. M. et de deux fours électriques, qui seront mis en marche en octobre 1935, aux usines de Yawata. L'usine de Kamaishi construira également un four Martin d'une capacité de production annuelle de 50.000 tonnes, qui sera mis en marche en janvier 1935. Les usines de Fuji mettront en marche, en janvier 1936, un laminoir à bandes à tubes pouvant produire, par an, 60.000 tonnes.

\*  
\*\*

Malgré l'abstention de l'Angleterre, la demande en *demi-produits* a été meilleure au début du mois à la suite d'une recrudescence d'activité des



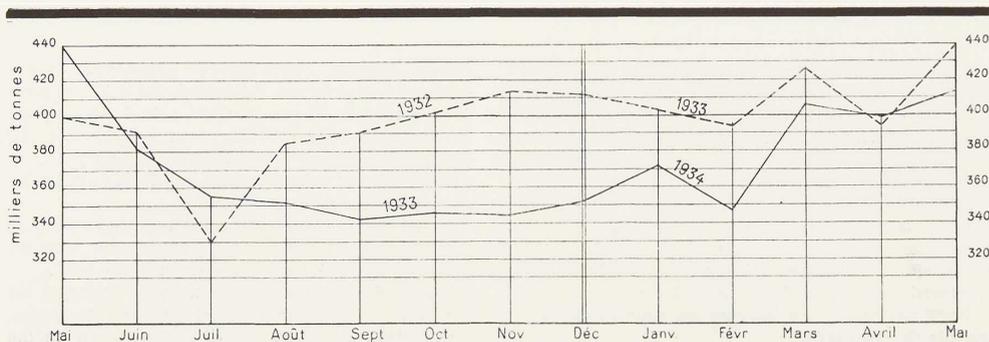


Fig. 389. Production mensuelle des aciéries belges et luxembourgeoises depuis mai 1932 jusqu'à mai 1934

pays de la Baltique ; les affaires se sont toutefois calmées dans le courant du mois.

Le Japon a été acheteur de largets spéciaux.

A l'intérieur du pays, les transformateurs ont réduit leurs achats ; les Aciéries disposaient néanmoins de tonnages encore suffisants qui avaient été notés pendant les dernières semaines. La situation ne s'est guère modifiée jusqu'à la fin du mois de mai.

Le marché des *poutrelles* a été particulièrement ferme.

A l'exportation, l'activité en *feuillards à chaud* est restée importante. L'Entente Internationale des Feuillards et Bandes à Tubes a exporté 23.949 tonnes pendant le mois.

L'allure du marché des *tôles* a été irrégulière au début de mai. La demande s'est principalement faite en tôles fortes. Très peu d'ordres ont été passés en tôles navires. La concurrence en tôles fines a toujours été très vive, sans qu'il se produise d'amélioration.

Le marché d'exportation en  *fils et treillis* n'a pas été favorable, bien au contraire ; la concu-

rence japonaise s'est fait sentir à de nombreuses occasions en même temps qu'une recrudescence de la concurrence américaine. Le marché intérieur n'a pas été meilleur et on a pu remarquer une très grande réserve de la part de la clientèle

#### Production d'acier brut en tonnes

La production totale belgo-luxembourgeoise, qui a été en progression constante depuis septembre 1933, marque en mai le record des deux derniers mois. La production du mois de mai 1934 s'est élevée à 413.695 tonnes, dont 252.814 tonnes pour la Belgique et 160.881 tonnes pour le Luxembourg.

#### Une nouvelle commande de voitures métalliques pour la S.N.C.F.B.

La Société Nationale des Chemins de Fer Belges mettra prochainement un *second millier de voitures métalliques* en adjudication, ainsi que la fourniture de 12 rames automotrices, comportant chacune trois voitures métalliques jumelées.

## Ouvrages récemment parus

dans le domaine des applications de l'acier

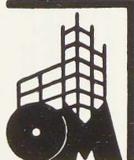
**Examples of steel design under the new Code of Practice** (Exemples de calcul de charpentes métalliques d'après le nouveau Code de pratique)

par O. FABER

Un volume de 152 pages de 22 × 14 cm avec 40 figures dans le texte.

Editeur : Oxford University Press, H. Milford, Londres. 1934. Prix 7 Sh. 6.

338



L'auteur s'est attaché à familiariser les constructeurs avec ce nouveau code qui est fort différent du précédent. Il a d'abord indiqué d'une façon générale les changements introduits et montré comment les nouvelles prescriptions permettent de réduire considérablement le poids des charpentes métalliques. Le nouveau code prévoit une diminution de l'ordre de 50 % des surcharges, une diminution plus importante encore des efforts dus au vent, une augmentation générale des taux de travail, notamment pour les poutrelles enrobées, les poutrelles des grillages de fondation, et les piliers. Les taux de travail dans les maçonneries, ont été également relevés. Par contre, les nouvelles prescriptions sont quelque peu plus sévères pour l'enrobage des poteaux et poutrelles.

L'auteur effectue en détail à titre exemplatif une série de calculs basés sur les nouvelles prescriptions : calcul de poutrelles et de poutres, calcul de poteaux, détermination des efforts dus au vent, étude des assemblages, réalisation du contreventement, étude détaillée de hangars et calcul des fermes, etc.

Dans un dernier chapitre l'auteur montre les résultats de l'application du nouveau code aux constructions.

En appendice on trouvera le nouveau code de pratique adopté par le London County Council.

#### **Publication de l'Association Belge de Standardisation. Standardisation des tubes en acier.**

L'Association Belge de Standardisation vient de faire paraître dans la série de ses publications le Rapport n° 70 — 1934 « Cahiers des charges pour la fourniture des Tubes en acier » et le Rapport n° 71 — 1934 « Tubes en acier ».

Ces deux fascicules constituent le résultat d'une des études entreprises par la Commission des Tuyauteries sur la base des projets élaborés par le Sous-Comité 5a — Tuyauteries — de l'Association Internationale de Standardisation (ISA).

Le Rapport n° 71 contient les tableaux de dimensions des tubes en acier sans soudure et des tubes soudés au gaz à l'eau dont le Rapport n° 70 fixe les prescriptions de qualité.

Le travail actuel est limité à ces deux types de tubes mais il est prévu de le compléter ultérieurement par les prescriptions et les tableaux relatifs aux tubes soudés par différents procédés, notamment par la soudure autogène par fusion au gaz et celle à l'arc lorsque les travaux correspondants entrepris par le Sous-Comité ISA 5a seront suffisamment avancés.

Les fascicules ci-dessus peuvent être obtenus, franco de port en Belgique, aux prix de 10 francs l'exemplaire pour le Rapport n° 70 et de 12 francs l'exemplaire pour le Rapport n° 71, en s'adressant à l'Association Belge de Standardisation, 33, rue Ducale à Bruxelles.

Pour l'étranger ajouter 1 franc par exemplaire.

Le paiement est à faire *au moment de la commande*, au crédit du compte postal n° 218.55 de M. Gustave-L. Gérard, à Bruxelles. Afin d'éviter tout retard dans l'expédition, les souscripteurs sont priés d'indiquer leur adresse complète sur le talon du bulletin de versement ou du mandat de virement.

#### **Cours de stabilité des constructions (Complément du tome IV). — Calcul des Poutres Vierendeel**

par A. VIERENDEEL

Une brochure de 6 pages de 27 × 20 cm avec 8 figures et 4 planches hors texte.

Éditée par la Librairie Universelle Uystpruyt, prix : 10 francs belges.

Le professeur Vierendeel expose dans cette brochure sa méthode par laquelle un pont Vierendeel de n'importe quelle portée se calcule en quelques jours sans crainte d'erreur. Au moyen des planches annexées l'auteur signale qu'il a calculé une soixantaine de ponts-route et rail de 30 à 140 m de portée.

L'auteur donne également quelques notions générales relatives à la soudure et à son emploi dans la construction des ponts.

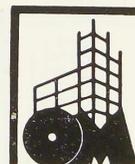
#### **Deuxième volume de mémoires de l'Association internationale des ponts et charpentes, 1933-1934.**

Un volume de 495 pages de 24 × 17 cm avec 367 figures dans le texte, édité par A. G. Gebr. Leemann et Cie, Zurich, 1934. Prix 34,80 fr suisses.

L'Association Internationale des Ponts et Charpentes vient de publier son deuxième volume de mémoires. Les 29 mémoires qu'il contient sont relatifs à des problèmes que pose actuellement la construction en acier et en béton armé. Etudes théoriques, relations d'essais ou calcul d'ouvrages intéressants, ces mémoires étudient les derniers progrès de la technique. Le volume contient notamment les mémoires suivants relatifs aux constructions en acier :

*Calcul et dimensionnement des poteaux métalliques enrobés de béton*, par L. BERGER (All.).

*Résistance des soudures latérales au cisaillement*, par St. BRYLA (Franç.).



*La relation entre la direction d'une force et certaines fonctions mécaniques telles que les réactions, les efforts longitudinaux, les moments fléchissants, etc., par ST. BRYLA (Angl.).*

*Le taux de fatigue à admettre dans les ponts métalliques, par A. CUMILOWIEC (Franç.).*

*Le problème de la stabilité des barres composées soumises à la compression, par E. CHWALLA (All.).*

*Trois contributions à la question de la résistance des charpentes métalliques hyperstatiques, par E. CHWALLA (All.).*

*Contraintes secondaires dans les treillis, par A. EFSEN (Angl.).*

*La collaboration de la soudure et de la rivure et la répartition des contraintes dans le cordon de soudure, par GABER (All.).*

*Raidissement par enrobage en béton armé des tabliers de ponts-routes en Hongrie, par J. HARKÁNYI (All.).*

*Les calculs des poutres de plancher métalliques en I, partiellement encastrées, en tenant compte des déformations plastiques, par G. v. KAZINCZY (All.).*

*Action du vent sur les bâtiments. Recherches sur l'influence de la grandeur des modèles, par CHR. NØKKENTVED (All.).*

*Théorie générale de la poutre encastrée élastiquement, par M. RITTER (All.).*

*La durabilité des assemblages rivés et soudés, et le dimensionnement des éléments sollicités dynamiquement, basé sur les résultats d'essais à la durabilité, par K. SCHAECHTERLE (All.).*

*La durabilité des assemblages rivés et soudés en acier St. 52, par E. H. SCHULTZ et H. BUCHHOLTZ (All.).*

*Théorie des déformations pour les ponts suspendus continus, par D. B. STEINMAN (Angl.).*

*Ponts suspendus avec poutre en treillis de raidissement continue, par S. TIMOSHENKO (Angl.).*

*Le cisaillement dans les poteaux métalliques, par D. E. YOUNG (Angl.).*

Les mémoires sont publiés dans l'une des trois langues, allemand, anglais ou français. Un résumé dans les 3 langues est imprimé à la fin de chaque étude. Les légendes des figures ainsi que les textes des tableaux et diagrammes sont également traduits dans les trois langues.

Le choix des sujets et la personnalité des auteurs font de ce volume de mémoires un ouvrage du plus grand intérêt pour les constructeurs.

**Steel Construction** (La construction en acier).

*Un manuel pour Architectes, Ingénieurs et*

*Constructeurs de bâtiments et autres ouvrages métalliques.* 2<sup>e</sup> édition, janvier 1934.

Un ouvrage relié de 352 pages, de 16 × 23 cm, édité par l'American Institute of Steel Construction, New-York. Prix 2 \$.

Une première édition de l'aide-mémoire « Steel Construction » avait paru en janvier 1932. Profitant de la refonte des programmes de fabrication des laminaires de poutrelles à larges ailes, l'American Institute of Steel Construction, a entrepris la révision de son manuel et en présente une seconde édition complètement mise à jour.

L'ouvrage comporte cinq parties.

La première partie contient les renseignements les plus fréquemment utilisés par les ingénieurs constructeurs :

*Caractéristiques des profilés en acier*, classés en 2 catégories « ordinaires » et « spéciaux ». Dans la première catégorie, se trouvent classés les profils à larges ailes, les poutrelles standard, des profils divers pour poteaux et poutres, les fers U standard et légers, les cornières à ailes égales et inégales.

Dans la seconde catégorie se trouvent rangés les fers U pour construction de wagons et de navires, les poteaux pour chemins de fer métropolitains, les fers T et Z, les cornières spéciales.

*Caractéristiques des barres, plats et plaques d'assises.*

*Tolérances de laminage.*

*Sections et poids des fers ronds, carrés et rectangulaires.*

*Tableau des profils à larges ailes classés d'après les modules d'inertie et les hauteurs.*

*Moments d'inertie des différentes parties des poutres composées.*

*Réductions de section dues à la présence des trous de rivets.*

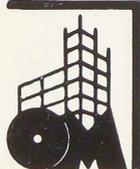
*Caractéristiques des profils à larges ailes renforcés par des semelles et cornières, pour poteaux.*

*Caractéristiques des rails de ponts-roulants, éclisses, tuyaux, raccords, tôles ondulées, tôles embouties.*

La seconde partie de l'ouvrage contient les renseignements relatifs aux moyens d'assemblage : assemblages des poutres, rampes d'escaliers tubulaires, rivets, boulons.

La troisième partie donne les sollicitations à prévoir d'après les Prescriptions de l'American Institute of Steel Construction.

*Charges admissibles* sur les poutrelles à larges ailes, sur les poutrelles normales, légères, sur les fers U standard, sur les cornières.



*Charges admissibles* sur les poteaux de section simple et composée, sur les poteaux tubulaires, sur les plaques d'assise, sur les assemblages des poutres, sur les axes d'articulations.

La quatrième partie renferme les prescriptions et codes standard émis par divers organismes :

« Prescriptions pour le calcul, la mise en œuvre et le montage de l'acier de construction pour le bâtiment »,

« Code de pratique standard »,

« Prescription pour la mise à l'abri de l'incendie des bâtiments à ossature en acier », qui émanent de l'American Institute of Steel Construction ;

Les « Prescriptions pour l'acier pour les ponts »,

Les « Prescriptions pour l'acier pour les bâtiments » et les « Prescriptions pour l'acier à rivets », qui émanent de l'American Society for Testing Materials ;

Le « Code pour la soudure par fusion et le découpage au chalumeau dans la construction des bâtiments », émanant de l'American Welding Society ;

Les « Surcharges vives à utiliser dans les projets de bâtiments », émanant du Département du Commerce des Etats-Unis.

La cinquième partie de l'ouvrage renferme de nombreux renseignements généraux : tables de constantes physiques, propriétés géométriques des sections, diagrammes des moments dans des cas de charge simple, tables des carrés, cubes, logarithmes, etc...

Ce manuel conçu pour donner à l'architecte, à l'ingénieur et à l'entrepreneur, sous une forme très condensée les renseignements qui leur sont de la plus grande utilité dans leurs travaux quotidiens, possède une présentation parfaite sous un format particulièrement pratique.

Les Bureaux d'études qui désireraient se procurer cet ouvrage peuvent s'adresser au Centre belgo-luxembourgeois d'Information de l'Acier qui le leur fera parvenir franco moyennant versement de 50 francs à son compte chèques postaux n° 34.017.

#### **Le Container** (Bulletin du Bureau international des Containers).

Bulletin de 90 pages de 21 × 28 cm., avec 181 figures dans le texte, édité par le Bureau International des Containers, Paris, n° 1, janvier 1934.

Prix de l'exemplaire, fr. b. 35, payable par versement au compte postal n° 1310.00 de M. Gustave L. Gérard à Bruxelles.

Le Bureau International des Containers, fondé sous les auspices de la Chambre de Commerce internationale, vient de publier le premier numéro d'un bulletin consacré à l'étude des containers.

Ce premier numéro est d'un intérêt tout particulier. Différentes personnalités spécialement qualifiées y développent leur opinion sur l'intérêt du transport par containers.

Dans une longue étude, abondamment illustrée, S. E. Crespi étudie la situation actuelle des containers dans les différents pays. Parmi les pages plus particulièrement intéressantes de cette étude, signalons : l'importance du trafic par container en Angleterre — un tout dernier recensement y signale 9.400 containers en service) ; le développement de ce mode de transport notamment pour le transport des petits colis aux Etats-Unis ; les dispositifs de manutention rapide employés en Italie, la mise en service dans ce pays de containers réfrigérants alimentant en glace au cours d'un voyage un train de containers isothermes ; les containers allemands munis de roues amovibles permettant même les déplacements sur route ; les modèles très nombreux utilisés en France, etc.

Le bulletin donne également différents renseignements sur le Bureau International des Containers, et donne les conditions techniques régissant l'admission des containers en trafic international.

Nous avons reçu un petit ouvrage très intéressant :

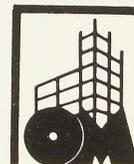
#### **Dix secrets de calcul rapide à l'usage de l'Industrie, du Commerce et de l'Enseignement** M. Jacob.

Un volume de 52 pages de 16 × 24 cm.

Édité par A. Bieleveld, Bruxelles. Prix : 10 fr.

L'auteur, par l'utilisation rationnelle de différentes propriétés et formules de calcul algébrique bien connues, rend rapides et aisés des calculs considérés généralement comme longs et difficilement réalisables mentalement.

Quelques-unes des dix règles qu'il expose peuvent être d'un usage courant et rendront des services journaliers à ceux qui se les seront assimilées. Signalons particulièrement l'extraction rapide de racines carrées et cubiques, l'établissement de tables, les calculs de pourcentage, etc... D'autres règles sont plus curieuses et théoriques que pratiques comme par exemple l'extraction immédiate des racines cinquièmes exactes.



ENTREPRISES GÉNÉRALES  
DE TRAVAUX PUBLICS ET PRIVÉS

---

---

L. VAN RYMENANT  
BRUXELLES



Bureaux : 159, avenue de la Couronne  
Téléphone 48.03.13

# Documentation Bibliographique

## Résumé des articles relatifs aux applications de l'acier parus dans la presse technique

L'OSSATURE MÉTALLIQUE a publié dans son n° 1-1934, pp. 51-54, le tableau d'indexation des matières qui a été adopté pour la présente rubrique

### Généralités

11.2/11. — Règlement du bureau Véritas sur la soudure électrique dans la construction des navires. — *Soudeur Coupeur*, n° 4, avril 1934, pp. 1-8, 4 tabl.

Dispositions générales. Courant électrique, réglage, contrôle, métal de base, personnel, essais, types des assemblages, liaisons étanches, etc.

12.1/5. — Evaluation du coût de la soudure dans le prix des charpentes. — G. ROBERTS, *Electric Welding*, n° 16, avril 1934, pp. 121-124.

L'auteur donne quelques principes permettant d'évaluer le prix des soudures à exécuter dans une charpente. Il examine la consommation des électrodes, leur nombre, le temps, la puissance consommée, etc.

12.1/6. — Le marché de l'acier pendant le mois d'avril 1934. — *Oss. Mét.*, n° 5, mai 1934, pp. 267-268, 1 fig.

Allure du marché de l'acier en Belgique et au Luxembourg. Graphique de la production mensuelle belgo-luxembourgeoise au cours des deux dernières années.

14.1/4. — Étude des poteaux d'une construction à ossature métallique. — Difficultés rencontrées dans le choix des dispositions destinées à assurer le contreventement. — M. BLEVOT, *Entreprise française*, n° 40, 25 avril 1934, pp. 30-32, 3 fig.

Compte rendu d'une conférence du centre d'études supérieures de l'Institut technique du bâtiment et des travaux publics. L'auteur étudie la dégression des surcharges dans le calcul des poteaux, la résistance au vent et la détermination des efforts.

14.2/5. — La ductilité de l'acier. — MASI, *Oss. Mét.*, n° 5, mai 1934, pp. 262-264, 3 fig.

L'auteur, comme suite à l'article du professeur Bleich paru dans le n° 2, 1934 de l'*Ossature Métallique*, examine les résistances aux efforts tranchants des constructions en acier sollicitées au delà de la limite élastique, en tenant compte de la ductilité de l'acier.

14.3/10. — Une théorie générale pour les ponts suspendus. — D. B. STEINMAN, *Proc. Amer. Soc. of civil Engineers*, n° 3, mars 1934, pp. 323-360, 5 fig.

L'auteur généralise et rend applicable aux ponts suspendus à poutres de rigidité continues et à travées multiples la théorie des déformations. Avantage de cette méthode sur la méthode classique ; application numérique à un pont de 243 mètres de portée.

14.3/11. — Méthode de calcul des systèmes en treillis. — ELLIS, *Eng. News-Rec.*, n° 17, 26 avril 1934, pp. 534-539, 7 fig., 3 tableaux.

L'auteur présente une intéressante méthode de calcul des systèmes en treillis statiquement indéterminés ; cette méthode est basée sur le tracé de Williot. L'auteur étudie deux exemples, une poutre à 4 panneaux à doubles diagonales et un portique du genre de celui du pont George Washington. Il montre également comment cette méthode peut être appliquée au calcul des moments extrêmes dans les éléments des treillis.

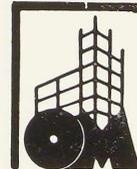
15.30/10. — L'exécution examinée au point de vue technique et économique des charpentes métalliques soudées. — E. H. SCHMUCKLER, *Electric Welding*, n° 16, avril 1934, pp. 104-107, 7 fig.

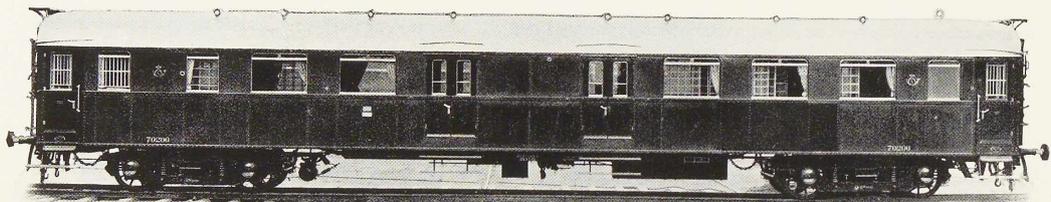
L'auteur étudie les avantages économiques, les dispositifs d'assemblage et la réalisation des charpentes soudées.

15.34/2. — Charpentes soudées de forme nouvelle. — *Eng. News-Rec.*, n° 18, 3 mai 1934, p. 557, 3 fig.

Courte description d'une charpente de hall d'exposition de forme spéciale. Les fermes du type « Monitor » sont constituées de poutrelles à larges ailes, pliées alternativement suivant des angles de 135°, de manière à affecter une forme semblable à la section d'un fer Zorès. Au droit des angles, le découpage au chalumeau et la soudure bout-à-bout des tronçons se fait en conservant la continuité de la semelle extérieure.

17.1/4. — Étude des batardeaux en palplanches

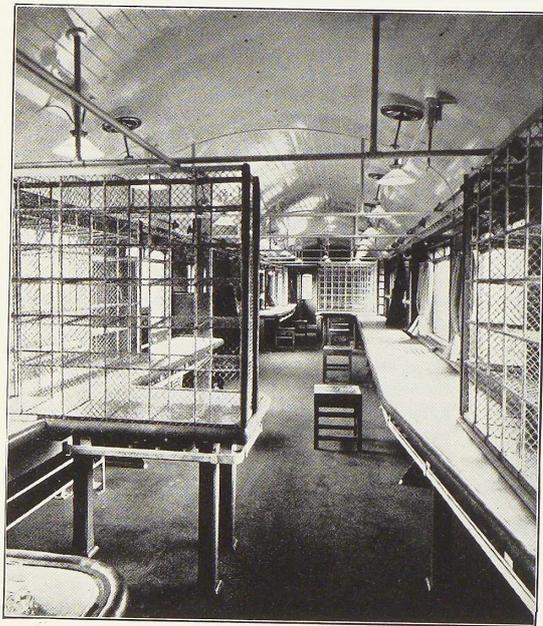




Voiture postale de la S. N. C. F. B.

# Société Métallurgique D'ENGHIEN SAINT-ELOI

Siège Social : ENGHEN (Belgique).



Vue intérieure de la voiture postale

22

CHAUDRONNERIE

PONTS = CHARPENTES

BOULONS ET RIVETS

MATERIEL POUR CHEMINS DE FER

PONTS ROULANTS = MANUTENTION

**métalliques.** — P. BAUMAN, *Proc. Amer. Soc. of Civil Engineers*, n° 3, mars 1934, pp. 289-322, 15 figures.

L'auteur examine les résultats d'essais à échelle grandeur, effectués sur des palplanches métalliques. Il étudie la poussée des terres, et propose une équation pour la surface de rupture des terres et une méthode de calcul plus compliquée mais plus exacte des palplanches.

### Ponts

20.12 b/2. — **Le renforcement du pont rail sur le Danube à Budapest.** — KORÁNYI, *Bautech.*, n° 18, 27 avril 1934, pp. 235-238 ; n° 19, 4 mai 1934, pp. 248-251, 19 fig.

Un pont à poutres en treillis a été renforcé en ajoutant des diagonales au treillis et en augmentant le nombre des poutres transversales. Disposition intéressante de ces nouvelles poutres. Calculs des tensions avant et après renforcement.

20.12 c/7. — **Construction par soudure autogène de passerelles pour signaux lumineux.** — J. RIDER, *Soudure Autogène*, n° 242, avril 1934, p. 24, 4 fig.

Les chemins de fer français de l'Est ont fait construire deux passerelles à signaux selon le type Vierendeel soudées en ateliers, rivées sur chantier. Description de la méthode intéressante adoptée pour le lancement.

20.13 c/1. — **Pont suspendu de San Raphaël.** — *Construction Methods*, n° 4, avril 1934, pp. 28-30, 14 fig.

Remarquable pont suspendu construit sans aucun échafaudage. Disposition spéciale des câbles permettant un entretien et une fixation des suspentes aisés. Fixation particulière des câbles au sommet des tours. Le tablier est formé de profilés en U, soudés à l'avance par groupe de 8.

20.13 c/2. — **L'avancement des travaux du Pont de la Porte d'Or à San-Francisco.** — *Eng. News-Rec.*, n° 17, 26 avril 1934, pp. 541-543, 4 fig.

Etat actuel des travaux du grand pont suspendu dont la travée centrale franchit 1.260 mètres. On donne quelques détails sur l'ouvrage en général et sur les travaux déjà effectués.

20.22 a/4. — **Le nouveau pont-route de Duffel sur la Nèthe inférieure.** — MILLEGAM, *Ann. des Trav. Publ.*, n° 2, avril 1934, pp. 295-304.

Situation, nécessité et description générale d'un nouveau pont à travée levante de 16 m. de portée et de 3 m. 50 de course. Détails de l'appareillage et des manœuvres.

20.22 a/5. — **Le pont levant sur la Tees à Middleborough, Angleterre.** — *Oss. Mét.*, n° 5, mai 1934, pp. 251-254, 4 fig.

Description d'un pont levant de 36 m de portée. Rampe d'accès comportant un pont à 5 travées entièrement soudé. Montage.

### Charpentes

30.0/6. — **L'exécution examinée au point de vue technique et économique des charpentes métalliques soudées.** — E. H. SCHMUCKLER, *Electric Welding*, n° 16, avril 1934, pp. 104-107, 7 fig.

L'auteur étudie les avantages économiques, les dispositifs d'assemblage, et la réalisation des charpentes soudées.

30.0/7. — **Concours de l'O.T.U.A. pour un nouveau palais des Expositions.** — D. BIRON, *Le Bâtiment Illustré*, avril 1934, pp. 38-43 et p. 46, nombreuses illustrations et dessins schématiques.

L'auteur donne une analyse technique des solutions générales apportées à la construction des ossatures en acier des projets primés au concours de l'O.T.U.A. Il s'étend particulièrement sur la description du système de fermes à béquilles sur appuis retroussés, formant l'élément constructif du projet présenté par les architectes Molinié, Nicod et Boulanger en collaboration avec les Ateliers Schwartz-Hautmont et les Etablissements Schmid, Bruneton et Morin, Constructeurs. Ce projet à l'étude technique duquel l'auteur a participé, a obtenu un troisième prix au concours de l'O.T.U.A.

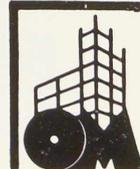
30.3/5. — **La construction d'un nouveau marché.** — V. HEEMSKERK-V. BEEST, *De Ing.*, n° 17, 1934, p. B 68.

Au nouveau marché couvert d'Amsterdam, les fermes sont à âme pleine, à 3 articulations, hauteur à la clé 28 m, distance entre fermes 7 m, portée 50 m.

30.3/6. — **Charpentes soudées de forme nouvelle.** — *Eng. News-Rec.*, n° 18, 3 mai 1934, p. 557, 3 fig.

Courte description d'une charpente de hall d'exposition de forme spéciale. Les fermes du type « Monitor » sont constituées de poutrelles à larges ailes, pliées alternativement suivant des angles de 135°, de façon à affecter une forme semblable à la section d'un fer Zorès. Au droit des angles, le découpage au chalumeau et la soudure bout-à-bout des tronçons se fait en conservant la continuité de la semelle extérieure.

30.3/7. — **Etude et réalisation d'une charpente construite par soudage oxy-acétylénique.** — *Tech-*





**L'OEIL  
OBSERVATEUR  
DU CLIENT  
VOUS JUGERA  
PAR**

..... l'aspect de votre installation.  
"Montre-moi tes outils, je te dirai qui tu es".  
Il vous faut donc des meubles modernes. Ren-  
seignez-vous sur les multiples avantages que  
vous procureront dans vos bureaux ou maga-  
sins, les meubles et rayons "ACIOR".  
Projets et devis d'installation gratuits.  
Demandez dépliant explicatif n° 6.

**dorge**  
PHOTO  
PIRON

**MEUBLES  
ACIOR**

**FABRIQUÉ EN BELGIQUE PAR LA  
MAISON DESOER**

BRUXELLES, 16, rue des Boiteux - Tél. 17.28.40  
LIEGE, 17, rue Sainte-Véronique - Tél. 149.00

*nique, soudure et découpe.*, n° 15, janv.-févr. 1934, pp. 269-276, 7 fig.

Description d'une charpente pour hangar où les éléments comprimés sont en tubes. Détails et croquis des assemblages, exécution et montage.

30.3/8. — **Les concours de l'Office Technique pour l'Utilisation de l'Acier.** — *Oss. Mét.*, n° 5, mai 1934, pp. 247-250, 10 fig.

Concours d'architecture de l'O.T.U.A.: photographies des constructions primées. Concours du nouveau palais des expositions: présentation des principaux projets.

30.3/9. — **Hangars d'aviation mobiles et démontables.** — *Tubes et tuyaux*, n° 4, mai 1934, pp. 3-8, 6 fig.

Description d'un type de hangar mobile dont la couverture est en toile, l'ossature est une charpente tubulaire dont les éléments sont légers et facilement démontables. Détails sur le montage.

30.4/2. — **Sièges en acier pour un stade.** — B. J. LAMBERT, *Eng. News-Rec.*, n° 15, 12 avril 1934, pp. 481-582, 3 fig.

En 1922 le stade de Iowa avait été équipé avec des gradins métalliques pour 10.000 personnes. Ces sièges viennent d'être réemployés dans leur totalité pour le nouveau stade couvert de l'Université de Iowa. Détails sur ce travail.

30.4/3. — **Bassin de natation.** — E. A. HOBART, *Welding*, n° 4, avril 1934, pp. 172-173, 7 fig.

La charpente en arc supportant la couverture entièrement vitrée d'un bassin de natation est métallique et tous les assemblages sont réalisés par soudure. Les dépendances sont également en acier avec toiture en tôle.

31.0/3. — **Les centrales électriques étudiées au point de vue de leurs bâtiments.** — A. C. DEAN, *Struct. Eng.*, n° 2, févr. 1934, pp. 63-87, 20 fig.

Longue étude très complète sur les bâtiments de centrale. L'auteur étudie systématiquement différentes phases de la construction d'une centrale. Il examine l'ossature métallique, les fermes métalliques supportant le toit, les ponts roulants, la protection contre la corrosion, etc.

31.0/4. — **Un nouvel ordre de grandeur des éléments urbains. — Une nouvelle unité d'habitation.** — LE CORBUSIER, *Oss. Mét.*, n° 5, mai 1934, pp. 223-242, 23 fig.

Dans une longue étude abondamment illustrée, l'architecte Le Corbusier montre combien le bâtiment utilise mal les ressources de la grande industrie. Considérant le logis comme

un élément vital de première importance, Le Corbusier adresse à l'industrie sidérurgique un appel pour l'amélioration des habitations, pour l'augmentation du bien-être et la diminution du prix de revient des bâtiments, grâce à la fabrication en usine des éléments de la construction et de l'équipement des maisons.

31.1/6. — **Le développement de la construction métallique en Suisse: quelques applications.** — B. STURZENEGGER, *Techn. Rundsch.*, n° 17, 27 avril 1934, pp. 1-2; n° 18, pp. 1-2, 30 figures.

L'auteur examine le développement de la construction à ossature métallique en Suisse. Il montre différents exemples de travaux et étudie des détails constructifs (assemblages, murs, hourdis, etc.).

31.2/8. — **Les concours de l'Office Technique pour l'Utilisation de l'Acier.** — *Oss. Mét.*, n° 5, mai 1934, pp. 247-250, 10 fig.

Concours d'architecture de l'O.T.U.A.: photographies des constructions primées. Concours du nouveau palais des expositions, présentation des principaux projets.

31.2/9. — **Immeuble commercial, 6, rue Daru.** — ROSEY, *Techn. des Trav.*, n° 5, mai 1934, pp. 285-289, 11 fig.

Vaste immeuble à bureau à ossature métallique. Signalons les hourdis en béton coulé sur du métal déployé. Décoration et menuiserie entièrement métallique. Les hourdis permettent de disposer les cloisons au gré de l'occupant.

31.2/10. — **Immeuble à appartements au Boulevard d'Avroy à Liège.** — *Oss. Mét.*, n° 5, mai 1934, pp. 243-246, 5 fig.

Description d'un immeuble de 7 étages à ossature métallique. Remplissage en briques, menuiserie métallique.

32.0/3. — **Maisons usinées américaines.** — *Chant.*, n° 1, mars-avril 1934, pp. 20-24, 12 fig.

Description de différents modèles de maisons métalliques à éléments standardisés et à montage rapide.

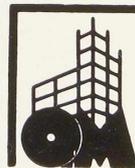
32.1/4. — **Construction métallique, système Fil-lod.** — *Chant.*, n° 1, mars-avril 1934, p. 45, 5 fig.

Maison métallique à mur portant à deux épaisseurs de tôles, principe et croquis.

32.1/5. — **Maison métallique Grames.** — A. HERMANT, *Chant.*, n° 1, mars-avril 1934, pp. 8-9, 2 fig.

Maison à parois d'acier constituées par des panneaux standard supportés par une ossature en tubes carrés.

32.2/3. — **Maison à ossature métallique aux Etats-Unis.** — *Architectural Forum*, n° 4, avril 1934, pp. 277-282, 11 fig.



# LOUIS DEWAELE

S. A. BUREAUX ET USINE : BOULEVARD LEOPOLD II, 44-46, BRUXELLES



## **DIVISION ENTREPRISES GENERALES**

Rabattement de la nappe aquifère

Fondations spéciales par compression mécanique  
du sol

Béton armé

Assèchement rapide et mécanique des bâtiments

## **DIVISION MENUISERIE**

Menuiserie de bâtiments

Menuiserie de luxe bois et métal

## **DIVISION PARQUETERIE**

Parquets ordinaires

Parquets de luxe en bois exotiques

Exportation

Description d'une maison étudiée et réalisée par une firme américaine. Elle est construite en éléments strictement standardisés qui permettent cependant une grande liberté dans le dessin du plan de la maison.

32.2/4. — **Maison calorifugée française.** — *Chant.*, n° 1, mars-avril 1934, pp. 6-7, 3 fig.

Maison à ossature en profilés : murs en tôle emboutie, paroi intérieure en panneaux isolants

32.2/5. — **La construction isotherme.** — *Rode, Chant.*, n° 1, mars-avril 1934, pp. 25-27, 12 fig.

Description d'une construction à ossature métallique. Le remplissage des parois est en béton coulé sur un treillage céramique la paroi intérieure entièrement indépendante est calorifuge. Excellente tenue isothermique et pour l'amortissement des vibrations.

32.2/6. — **Maison en acier système Atholl.** — *Chant.*, n° 1, mars-avril 1934, pp. 7-8, 2 fig.

Maison à ossature en profilé en T contreventée par la tôle servant de paroi extérieure, paroi intérieure en célotex cloué sur châssis en bois.

32.2/7. — **La construction usinée en Amérique.** — Richard NEUTRA, *Chant.*, n° 1, mars-avril 1934, pp. 11-19, 18 fig.

Considérations générales sur le développement de la construction usinée. Exemples. Maison de santé à Los Angeles. Habitation à Hollyridge. Maison pour une société de culture (à appui central et à construction suspendue), etc.

32.2/1. — **Les profils dans la fabrication des châssis métalliques.** — *Oss. Mét.*, n° 5, mai 1934, pp. 260-261, 10 fig.

Conditions auxquelles doivent satisfaire les profils en acier servant à la fabrication des châssis de fenêtres.

34.4/2. — **Toitures en tôles.** — *Welding*, n° 4, avril 1934, p. 144, 1 fig.

Une toiture comportant 15 tonnes de tôle ondulée a été assemblée entièrement par soudure à l'usine de la Republic Carbon Company, à Niagara-Falls, Etat de New-York.

34.5/3. — **Le tube d'acier dans le bâtiment.** — *Tubes et tuyaux*, n° 4, mai 1934, pp. 21-23, 2 fig.

L'article donne deux belles photographies d'une porte monumentale et d'un escalier décorés au moyen de tubes d'acier, dans l'immeuble de la rue Daru, 6, à Paris.

34.7/4. — **Les conduites d'eau silencieuses.** — M. MENGERINGHAUSEN, *Ass. Intern. de l'habitat.*, n° 1, 1934, pp. 11-16, 3 fig.

Etude publiée en allemand, anglais et français sur les bruits, leur formation, la façon de les éviter et de les amortir dans les canalisations des habitations.

35.0/1. — **L'acier au service de la santé.** — MOKEMÖLLER, *Stahl Uberall*, n° 1, 1934, brochure de 49 pages, 100 fig.

Cette brochure est consacrée au mobilier métallique envisagé notamment au point de vue de l'hygiène. On y trouve de nombreux exemples de meubles métalliques (meubles d'intérieur, d'hôpitaux, de magasins, de bureaux, etc.). L'auteur montre également la propreté et la clarté des immeubles dont la menuiserie est métallique.

35.1/2. — **Les échelles en tubes d'acier.** — *Oss. Mét.*, n° 5, mai 1934, pp. 254-259, 19 fig.

Construction et avantages des échelles en tubes d'acier ; exemples d'application.

36.2/1. — **Construction d'un gazomètre entièrement soudé.** — T. F. BRUGHT, *Welding Engineer*, n° 4, avril 1934, pp. 20-34, 15 fig.

L'auteur décrit l'exécution d'un gazomètre à sec à Biddeford, Maine. Il étudie spécialement en détail l'exécution des assemblages soudés de l'enveloppe. Nombreux diagrammes.

37.4/3. — **Excavateurs allemands à godets pour les exploitations de lignite.** — KLITZING, *Engineering*, 30 mars 1934, pp. 369-371 ; 4 mai 1934, pp. 508-509, 20 fig.

Description des installations d'extraction de lignite. Les excavateurs, transporteurs et portiques employés présentent des dimensions et des possibilités de travail remarquables.

## Transports

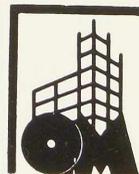
40.11/5. — **Défectuosités des rails.** — GENNET, *Civil Engineering*, n° 5, mai 1934, pp. 233-237.

L'auteur recherche les causes probables de ruptures de rails. Il étudie d'une part l'augmentation des sollicitations extérieures et d'autre part les tensions internes créées lors du laminage.

40.14/2. — **Le funiculaire Schwyz-Stoos.** — HUNZIKER, *Schweiz. Bauz.*, n° 18, 5 mai 1934, pp. 205-208, 9 fig.

Description d'un chemin de fer funiculaire ratchetant une différence de niveau de 709 m : la pente atteint à certains endroits 78 %. L'auteur décrit la voie, le matériel, les dispositifs de sécurité : quelques mots sur les ouvrages d'art comprenant notamment un pont en arc en acier de 44 m.

40.22/9. — **L'automotrice rapide jumelée Diesel**



# SIDAM

Société Industrielle d'Ameublement

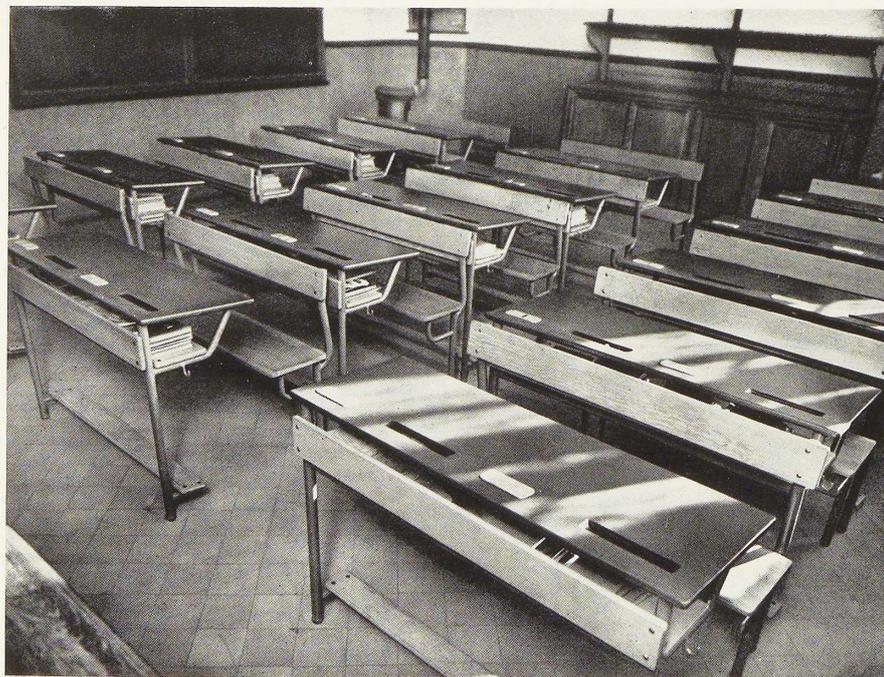
Société Anonyme

46, RUE DE STASSART, BRUXELLES. Tél. 12.92.46

Une nouvelle utilisation de l'acier  
Les meubles en tubes d'acier à l'ÉCOLE

Pour toutes applications  
industrielles des meubles  
en tubes d'acier

Consultez-nous



INSTALLATION DE L'ÉCOLE DE WOLUWÉ-SAINT-LAMBERT

électrique de 410 Ch. — *Bull. Congr. des Chem. de fer*, n° 5, mai 1934, pp. 539-544, 4 fig.

Automotrice à deux voitures jumelées à carrosserie métallique portante. Description des bogies, de l'appareil moteur, des aménagements.

40.22/10. **Automotrices légères à trois voitures accouplées.** — *Eng. News-Rec.*, n° 8, 3 mai 1934, p. 580, 2 fig.

Description sommaire d'un train léger construit en aciers spéciaux. Carrosserie à forme aérodynamique donnant une diminution de 50 % de la résistance à l'avancement pour une vitesse de 150 km/heure.

42.2/3. — **Le navire à moteur Prince Baudouin.** — O. QUÉANT, *Gén. Civ.*, n° 21, 26 mai 1934, pp. 461-465, 16 fig.

Description générale du navire Prince Baudouin. Description détaillée de l'appareil moteur : deux Diesel-Sulzer donnant chacun 8.500 CV.

42.3/2. — **Ponton-derrick entièrement métallique.** — *Welding journal*, n° 4, avril 1934, p. 111, 2 fig.

Courte description d'un ponton métallique en grande partie soudé. Le derrick est fixé à un tripode formé de tubes de 68 cm de diamètre.

### Divers

50.2/1. — **Les bâtis de moteurs Diesel soudés à l'arc.** — *Soud. Coup.*, n° 5, mai 1934, pp. 6-9, 9 fig.

Evolution des bâtis de moteur Diesel. Description de bâtis soudés exécutés notamment pour des machines marines.

50.2/2. — **Bâti de support de moteur entièrement soudé.** — *Welding*, avril 1934, pp. 141-142, 3 fig.

Description d'un bâti supportant le moteur Diesel de 600 CV actionnant une automotrice rapide américaine. Le bloc moteur est également en acier à haute résistance soudé. Le poids par CV est réduit à 10 kg.

52.4/7. — **Canalisations pour hydrocarbures et gaz.** — *Tubes et Tuyaux*, n° 4, mai 1934, pp. 16-21, 4 fig.

Description de quelques pipe-lines en service dans différentes régions de la France. Toutes ces conduites en service depuis de nombreuses années sont en tubes d'acier.

52.4/8. — **Construction des conduites du barrage Hoover.** — *Weld.*, n° 4, avril 1934, pp. 158-162, 22 fig.

Description détaillée des installations de fabrication des conduites du barrage. Un at-

lier a été construit sur place. Toutes les conduites (notamment 1400 m de conduites de 9 m de diamètre) ont été assemblées par soudure et examinées aux rayons X.

54.11/3. — **Un nouveau revêtement pour les conduites enterrées.** — *Metall. Ital.*, n° 4, avril 1934, pp. 353-356, 6 fig.

Description d'un revêtement composé de plusieurs couches (jute, bitume, gomme spécialement traitée...) et qui a donné de remarquables résultats. Essais et résultats.

54.2/1. — **Protection de l'acier contre la corrosion sous l'eau.** — Ir. PIETERS, J. MANNERS, *Polytechn. Weekbl.*, n° 18, 1934, p. 278.

Des essais ont été exécutés pour protéger l'acier immergé dans de l'eau. Les auteurs estiment qu'il suffit de protéger l'acier au moyen d'huile.

60/1. — **La tenue des matériaux de construction et de la charpente lors de l'incendie du palais du Reichstag.** — *V. D. I.*, n° 19, 12 mai 1934, pp. 581-583, 9 fig.

Ni les poutres enrobées de plâtre, ni la charpente de la coupole n'ont été endommagées. Les poutres à nu ont beaucoup souffert.

61/7. — **L'architecture du fer.** — *Opbouwen*, n° 9, mai 1934, pp. 131-136, 8 fig.

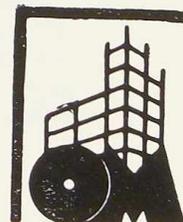
L'auteur montre les beautés propres au matériau acier. Cet article est bien illustré par des exemples typiques que l'*Ossature Métallique* a déjà décrits.

61/8. — **Le pavillon suisse dans la Cité Universitaire.** — P. COURTHION, *Oeuvres*, mai 1934, pp. 7-11, 7 fig.

L'auteur examine au point de vue architectural la réalisation de cette œuvre de l'architecture Le Corbusier à la Cité Universitaire de Paris, dont l'ossature est en acier.

61/9. — **Un nouvel ordre de grandeur des éléments urbains. Une nouvelle unité d'habitation.** — LE CORBUSIER, *Oss. Mét.*, n° 5, mai 1934, pp. 223-242, 23 fig.

Dans une longue étude abondamment illustrée, l'architecte Le Corbusier montre combien le bâtiment utilise mal les ressources de la grande industrie. Considérant le logis comme un élément vital de première importance, Le Corbusier adresse à l'industrie sidérurgique un appel pour l'amélioration des habitations, pour l'augmentation du bien-être et la diminution du prix de revient des bâtiments grâce à la fabrication en usine des éléments de la construction et de l'équipement des maisons.



# CLICHES

POUR TOUTES IMPRESSIONS

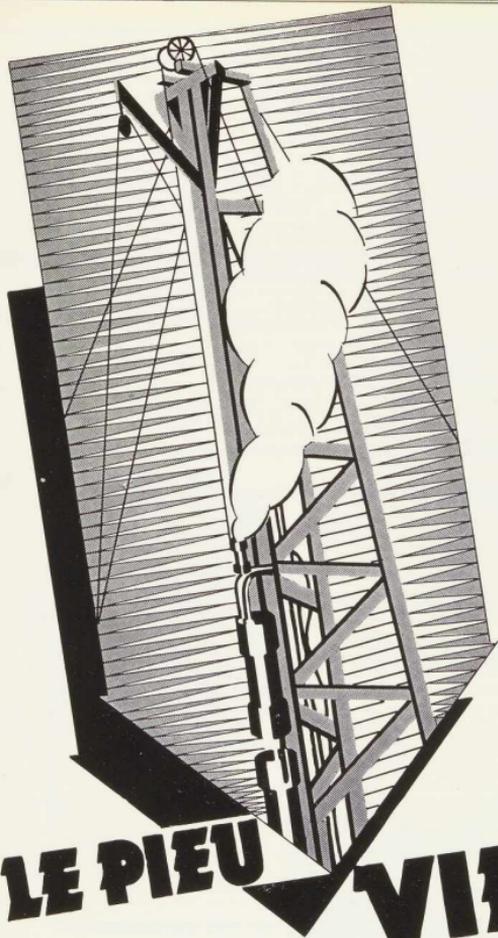
ETABLISSEMENTS DE PHOTOGRAVURE

**TALLON & C<sup>o</sup>S.A**

22-26, RUE SAINT-PIERRE, BRUXELLES

TÉL.: 17.08.82. CH. POST.: 251. R. C. BRUXELLES 560

L O N D R E S. L I L L E



**LE PIEU**

**VIBRO**

S.A. 2 RUE STEPHENSON 2  
BRUXELLES • TEL. 15.47.55.

# FARCOMETAL

BREVETÉ EN TOUS PAYS

Armature coffrage métallique pour béton armé — Supprime le bois de coffrage avec tous ses inconvénients — Lattis métallique léger pour murs, cloisons et plafonds — Adhérence parfaite des enduits — Suppression des fissures — Système le plus rapide, le plus scientifique, le plus facile et le plus économique — Coffrage amovible métallique pour hourdis nervurés — Hourdis isolants en béton de ponce à haute résistance armé de

## FARCOMETAL (BREVET TIRIFAHY)

50.000 m<sup>2</sup> de terrasses et planchers en construction aux Grands Palais de l'Exposition de Bruxelles.

Planchers de voitures métalliques pour chemins de fer. Ponce de Halanzky pour isolation

## LEON TIRIFAHY, INGENIEUR

BUREAU TECHNIQUE ET COMMERCIAL :

57, RUE GACHARD, A BRUXELLES. TÉLÉPHONE 48.69.54

Catalogues, Tarifs, Echantillons, tous renseignements sur demande

### CONSTRUISEZ

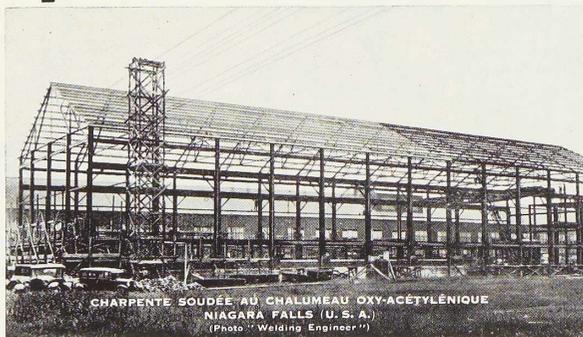
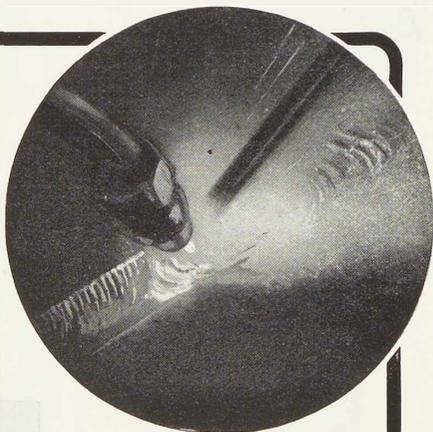
PAR SOUDURE AUTOGÈNE ET OXY-COUPAGE

### OXY-ACÉTYLÉNIQUE

CHARPENTES EN PROFILÉS ET TUBULAIRES

BATIS EN TOLE D'ACIER

RÉSERVOIRS, TUYAUTERIES, ETC., ETC.



CHARPENTE SOUDÉE AU CHALUMEAU OXY-ACÉTYLÉNIQUE  
NIAGARA FALLS (U. S. A.)  
(Photo "Welding Engineer")

NOTRE DOCUMENTATION  
EST A VOTRE DISPOSITION

### L'OXHYDRIQUE INTERNATIONALE S.A

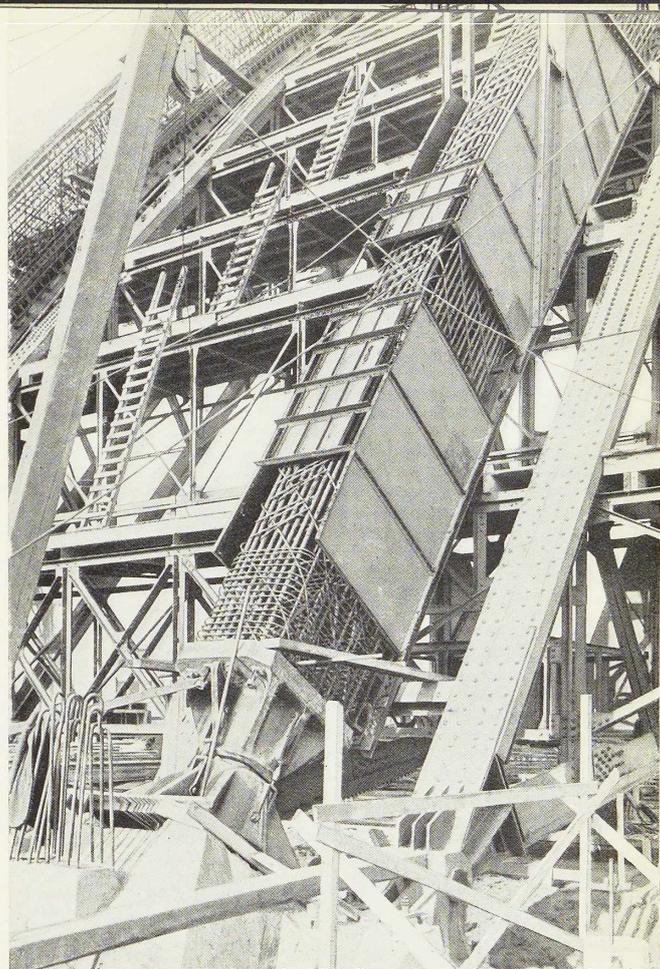
31, RUE PIERRE VAN HUMBEEK  
BRUXELLES (OUEST)

DANS LA CONSTRUCTION  
MODERNE :

LE SOUDAGE DES BARRES  
A BÉTON EST UNE NÉCESSITÉ,

**MAIS...**

TOUTE LA SÉCURITÉ  
DÉPEND DE LA QUALITÉ  
DES SOUDURES



**ARCOS = SÉCURITÉ 100 %**

POUR LE SOUDAGE DES BARRES :

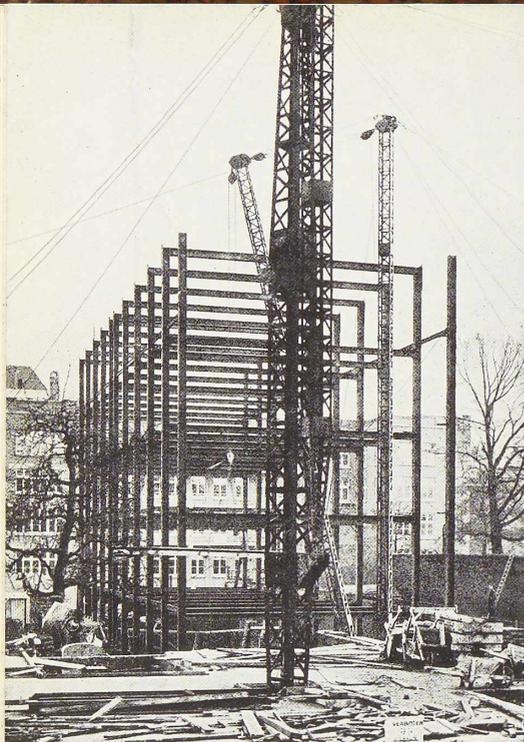
DES ARCS DE L'EXPOSITION DE BRUXELLES  
DU PONT DE TERMONDE

DU PONT DE LA PLACE SAINCTELETTE, A BRUXELLES

DU PONT DU PETIT CHATEAU, A BRUXELLES

DU PONT DE LA PORTE DE FLANDRE, A BRUXELLES

LES ÉLECTRODES **ARCOS** ONT ETÉ DESIGNÉES



## ENTREPRISES GENERALES DE MONTAGE

F. FAILLET & A. LECLERCQ

SOCIÉTÉ EN NOM COLLECTIF  
19, avenue des Azalées

**BRUXELLES (3)**

TÉLÉPHONE: 15.81.01  
Nombreuses références

MONTAGES MÉTALLIQUES  
DÉMONTAGES  
DÉMOLITIONS. MANUTENTIONS

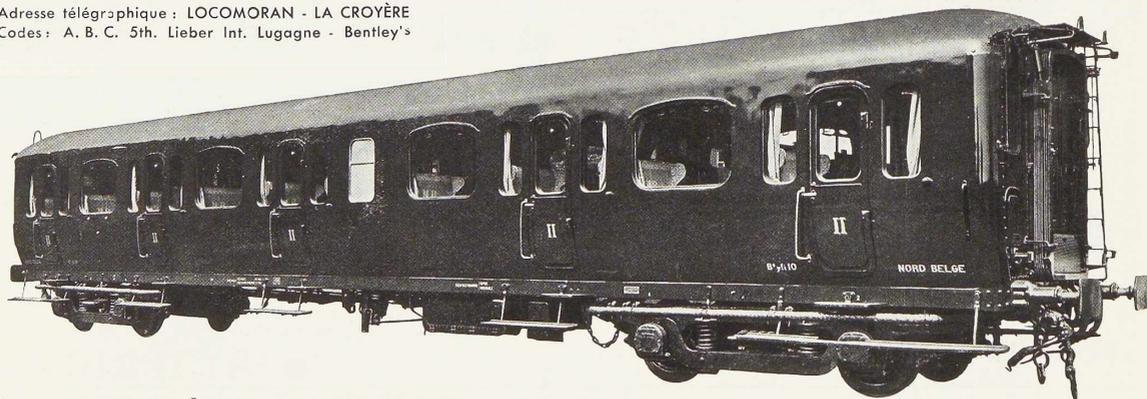
**Travaux récents effectués:** Ponts de Luttre. — Agence Maritime, place de Meir, Anvers. — Institut Saint-Raphaël à Louvain. — Magasin Priba, Anvers. — Pont du Muide à Gand, etc., etc.

**Travaux en cours:** Montage des Ponts d'Hérenthals y compris le pont Cockerill de 3.500 Tonnes.

## Soc. Anglo-Franco-Belge de Matériel de Chemins de Fer

STÉ A ME, LA CROYÈRE (BELGIQUE)

Adresse télégraphique: LOCOMORAN - LA CROYÈRE  
Codes: A. B. C. 5th. Lieber Int. Lugagne - Bentley's



### TOUS MATÉRIELS DE CHEMINS DE FER ET TRAMWAYS

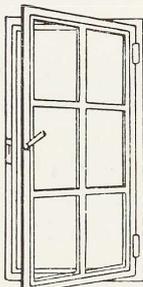
Locomotives et Tenders de tous systèmes. - Voitures et Automotrices pour Chemins de fer et Tramways. - Wagons ordinaires et spéciaux. - Appareils de voie. - Ponts coloniaux démontables. - Châssis tri-bissels pour voitures et wagons

**SOCIÉTÉ COMMERCIALE  
DE BELGIQUE**

SOCIÉTÉ ANONYME A OUGRÉE  
MONOPOLE DE VENTE DES PRODUITS :  
LAMINOIRS D'ANVERS A SCHOOTEN  
USINES DE MONCHERET A ACOZ

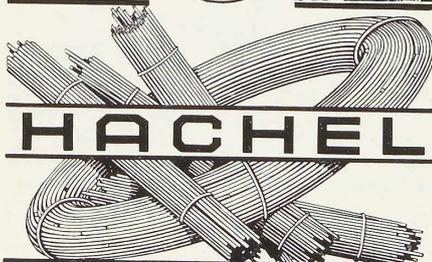
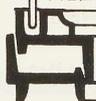
SECTIONS  
P O U R  
FENÊTRES

L T U  
A ANGLES  
VIFS



SECTIONS  
SPÉCIALES  
POUR LA  
MENUISERIE  
MÉTALLIQUE

MOULURES,  
MAINS-COURANTES,  
NEZ-DE-MARCHES, ETC.



**HACHEL**

ELECTRODES POUR SOUDURE  
ELECTRIQUE ET AUTOGENE

**ETABLISSEMENTS HACHEL**  
81, RUE DE L'YSER . A ANS

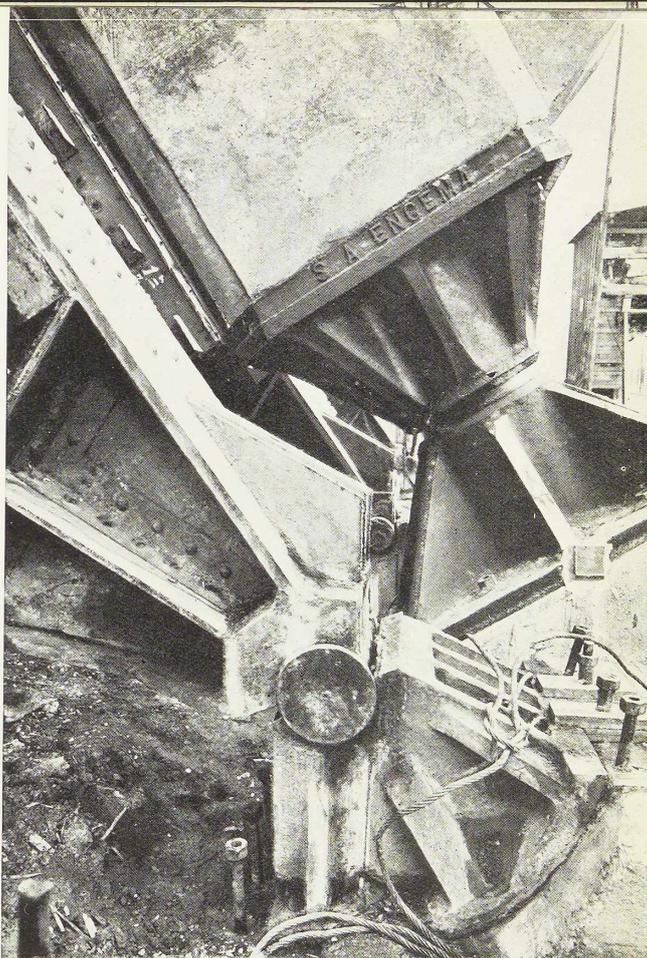


Photo Kessels.

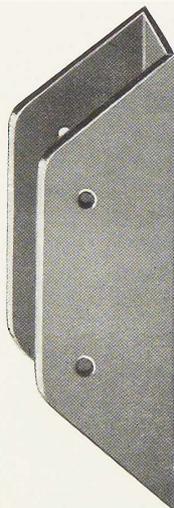
Vue de la rotule d'appui à grain sphérique  
d'un arc en béton armé. La poussée transmise  
par le grain peut atteindre 900 tonnes.

Toutes pièces moulées  
en aciers ordinaires et en aciers spéciaux  
pour toutes industries et chemins de fer.

Moulage à la machine, de den-  
tures d'engrenages, pignons.

Acier à grande perméabilité magnétique  
pour moteurs électriques et dynamos.

**ACIERIES**  
**DE HAINE-SAINT-PIERRE**  
A HAINE-ST-PIERRE & LESQUIN



Les GLISSIÈRES de boîtes à huile et  
Les PLAQUES D'USURE des voitures  
de TRAMWAY et de CHEMIN DE FER

exécutées en

acier **MANAX** laminé

ont une DURÉE jusqu'à **DIX fois**  
supérieure à celle des mêmes pièces  
exécutées en d'autres matériaux.

Aciéries Électriques des

**A R B E D**

USINES DE DOMMELDANGE  
GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG

Monopole de vente

**LA BELGO-LUXEMBOURGEOISE**

11, quai du Commerce  
BRUXELLES

LES DIVISIONS SPECIALISEES DE LA S.A. DES  
**ATELIERS DE CONSTRUCTION ET CHAUDRONNERIE DE**

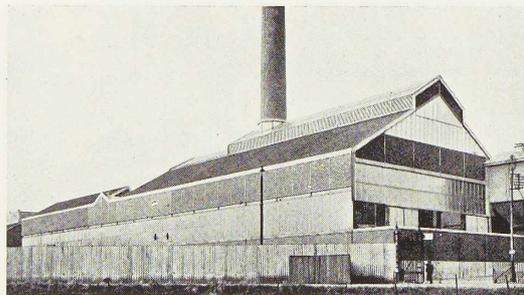
**L'EST**

A MARCHIENNE-AU-PONT

(BELGIQUE)

TÉLÉPHONE: 122.44 Charleroi (2 lignes)

TÉLÉGRAMMES: ESTRHEO Marchienne-au-Pont



Bâtiment métallique pour chaufferies installé aux A. C. E. C. Charleroi

**S'OCCUPENT DES PROJETS, EXÉCUTIONS, MONTAGES DE :**

1. **Charpentes et Travaux métalliques** de toutes sortes, rivés ou soudés, galvanisés ou métallisés ;
2. Ouvrages de chaudronn., réservoirs, pylônes, etc. ;
3. Pièces mécaniques et transmissions ;
4. Appareils de levage et de manutention ;
5. Matériel pour mines et carrières (cribles, trommels, norias, vis, transporteurs, etc.)
6. Installations complètes de triage, lavage de charbons et minerais, séchage, agglomération, dépeussierage.

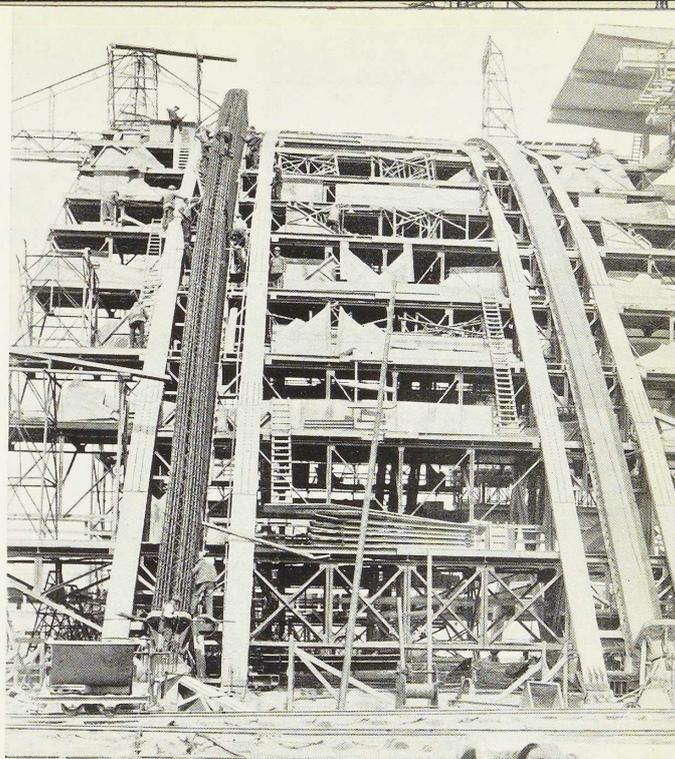
# ENTREPRISE GENERALE DES MATERIAUX ENGEMA

BRUXELLES, 109-111, AVENUE EMILE BECO

TELEPHONE: 48.44.51 - 48.08.15  
ADR. TELEGRAPHIQUE: ENGEMA - BRUXELLES

**ENTREPRISES  
DE TRAVAUX  
PUBLICS ET PRIVES**

DEVIS ET ETUDES SUR DEMANDE



(Photo Peeters)

## **Le grand palais de l'Exposition de Bruxelles 1935**

Vue du cintre métallique supportant les coffrages servant à la construction des arcs en béton armé.  
On effectue le placement des armatures d'un de ces arcs.

---

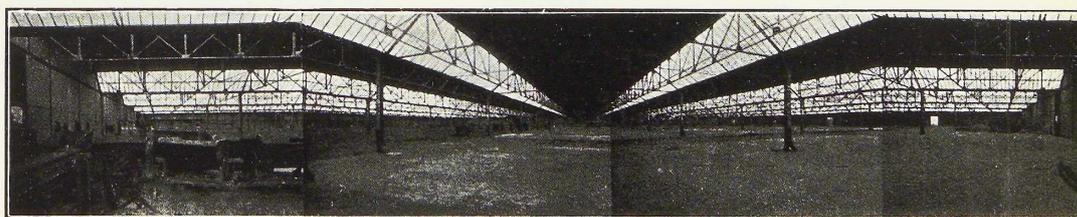
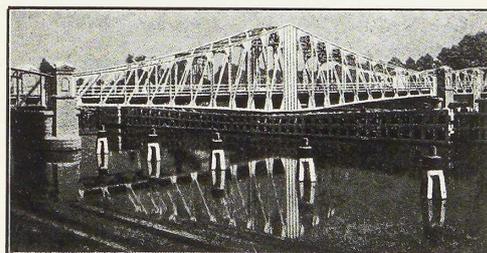
## **S. A. DES ATELIERS DE CONSTRUCTION DE JAMBES-NAMUR**

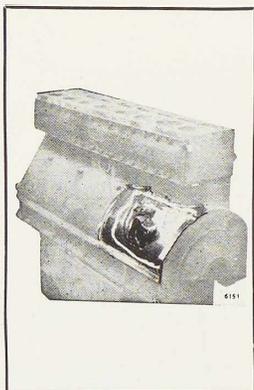
ANCIENS ÉTABLISSEMENTS TH. FINET - TÉLÉPHONE : NAMUR 284-2138 - ADRESSE TÉLÉGR. ATELIERS FINET-JAMBES

Exposition Bruxelles 1910 : Diplôme d'Honneur  
Exposition Liège 1930 : Grand Prix  
Exposition Paris 1931 : Grana Prix



Ponts fixes et mobiles, Charpentes, Bâtiments à ossature métallique, Maisons démontables, Portes métalliques, Châssis métalliques, Pylônes, Chevalements de mines, Gazomètres, Tanks, Réservoirs, Tuyauteries, Caissons, Chaland à clapets. Appareils de lavage, Matériel fixe de chemin de fer, Soudure électrique, Entreprises générales

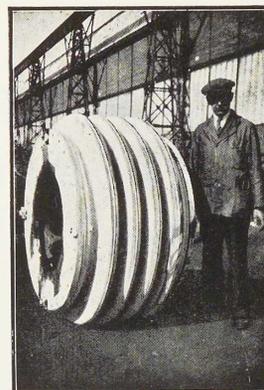




Bloc moteur Buick 8 cylindres reconstitué par soudure à l'arc

Pour la CONSTRUCTION

ou la RÉPARATION



Joint de dilatation soudé et éprouvé à 35 atmosphères à 550°

les Electrodes

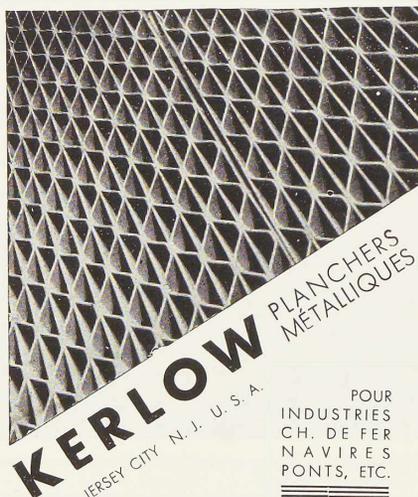


vous assurent  
le **maximum** de

Résistance  
Etanchéité  
Elasticité  
Aspect  
Economie

**ELECTRICITE & ELECTROMECHANIQUE**

19-21, Rue Lambert Crickx, BRUXELLES



**A. FABER-CLERBOIS**

220, RUE FERDINAND - NICOLAY  
ST-NICOLAS - LEZ - LIÈGE

POUR  
INDUSTRIES  
CH. DE FER  
NAVIRES  
PONTS, ETC.

AGENT :

**SOCIÉTÉ ANONYME MÉTALLURGIQUE  
DE SAMBRE ET MOSELLE**

**Siège social :**  
MONTIGNY-SUR-SAMBRE (près Charleroi-Belgique)  
**Registre du commerce :** Charleroi n° 4814

**Fours à coke avec récupération de sous-produits, Hauts fourneaux, Aciéries Thomas, Laminoirs, Fonderie de fonte et d'acier Bessemer, Carrières et Fours à chaux.**

**Aciers Thomas :** de toutes qualités, extra-doux, demi-dur, dur.

**Demi-produits :** lingots, blooms, billettes et targets.

**Rails :** de 10 kg. et plus par m. (vignole à double bourrelet, à gorge) avec accessoires.

**Poutrelles et U :** Profils normaux, anglais et autres, de toutes sections.

**Aciers marchands :** Ronds et carrés à partir de 5 mm., plats de toutes sections, spatés, feuillets, demi-ronds, etc.

**Aciers profilés :** tels que cornières et tés à angles vifs et à angles arrondis, varillas, etc.

**Tôles :** moyennes et minces jusque 1 1/4 mm

Adresse du bureau de ventes des aciers laminés :  
**UCOMÉTAL : 24, rue Royale à Bruxelles**

## ATELIERS DE CONSTRUCTION

### P. BRACKE

30-40, rue de l'Abondance  
BRUXELLES (3)



Charpentes et ossatures  
métalliques - Ponts - Pylones -  
Ponts roulants - Monorails -  
Transporteurs - Mats d'éclairage,  
de ligne, de traction -  
Appareils de levage.

ANCIENS ÉTABLISSEMENTS

## PAUL DEVIS

Société Anonyme

43, rue Masui  
BRUXELLES

Tous les fers et Aciers

Tous les Profilés

Ronds pour Béton

**Poutrelles de toutes natures**

Aciers étirés, ronds,  
carrés et hexagonaux

Aciers Siemens-Martin

Fers et Aciers de Suède

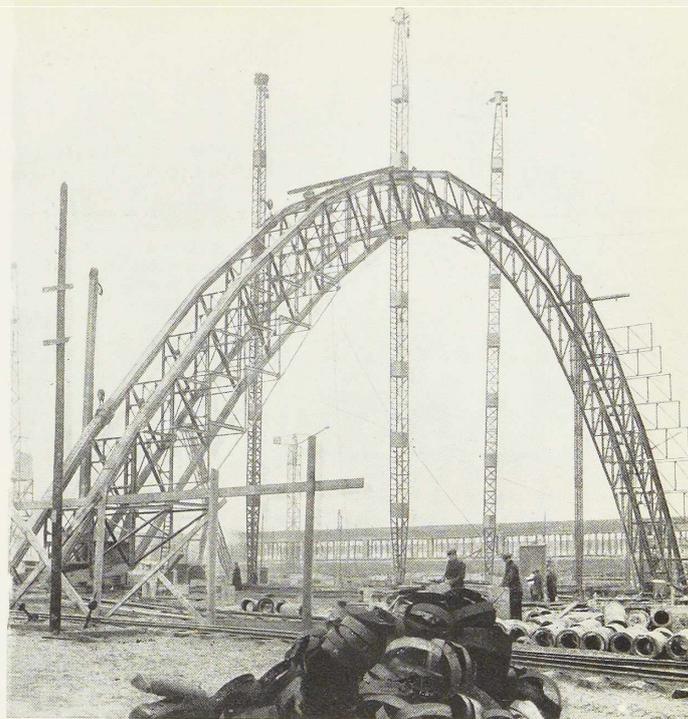
Profilés pour

Châssis Métalliques

**Tôles de toutes qualités**

Fontes de Bâtiment

Boulons - Vis - Rivets



A l'Exposition de Bruxelles 1935

(Photo Peeters)

Les opérations de montage du cintre métallique des grands arcs, les opérations de montage et de démontage des coffrages métalliques, l'exécution de l'opération du décintrement des arcs en béton armé et de l'opération importante du ripage du grand cintre dans ses six positions successives ont été confiées à la firme

## François CORNET

ENTREPRISES GÉNÉRALES  
DE MONTAGE À

# A M P S I N

LEZ-HUY

LES REVÊTEMENTS DÉCORATIFS  
ÉMAILLÉ-LUXE  
BLANC ET NOIR UNI

*Eternit*

ONT ÉTÉ EMPLOYÉS POUR L'AMÉNAGEMENT  
DE LA NOUVELLE  
**AUTOMOTRICE**

Demandez renseignements et documentation à la  
S. A. ETERNIT ÉMAILLÉ, CAPELLE-AU-BOIS

*Cette revue est tirée  
par l'Imprimerie*

**GEORGES  
T H O N E  
A L I E G E**

DANS CE NUMERO

PROJET D'UN

**NOUVEAU PALAIS**

**DES EXPOSITIONS**

**A P A R I S**

PRESENTE PAR

**MM. BEAUDOUIN & LODS**

Architectes