

Auteur ou collectivité : Exposition universelle. 1900. Paris

Auteur : Congrès international des méthodes d'essai des matériaux de construction (1900 ; Paris)

Titre : Congrès international des méthodes d'essai des matériaux de construction tenu à Paris du 9 au 16 juillet 1900 : liste des membres de la Commission d'organisation, membres du Comité de patronage, dignitaires, donateurs et adhérents : procès-verbaux in extenso des séances du congrès

Adresse : Paris : Vve Ch. Dunod, 1901

Collation : 1 vol. (LXIV-203 p.) : ill. ; 34 cm

Cote : CNAM-BIB Fol Xae 26 (4) Res

Sujet(s) : Exposition internationale (1900) ; Paris ; Résistance des matériaux -- Actes de congrès ; Contraintes (mécanique) -- Actes de congrès ; Matériaux -- Comportement -- Actes de congrès ; Construction -- Matériaux -- Essais -- Actes de congrès

Langue : Français

Date de mise en ligne : 21/12/2017

Date de génération du document : 21/12/2017

Permalien : <http://cnum.cnam.fr/redir?FOLXAE26.4>

CONGRÈS INTERNATIONAL DES MÉTHODES D'ESSAI

DES

MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION

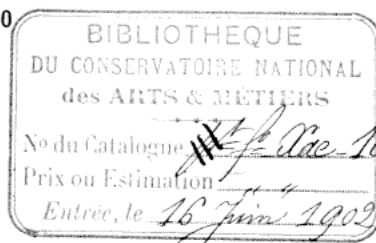
f^o Xae 10 *f^o 24 Fol Xae 26.*
EXPOSITION UNIVERSELLE INTERNATIONALE DE 1900

CONGRÈS INTERNATIONAL DES MÉTHODES D'ESSAI

DES

MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION

Tenu à Paris du 9 au 16 Juillet 1900



LISTES DES MEMBRES DE LA COMMISSION D'ORGANISATION, MEMBRES DU COMITÉ DE PATRONAGE,
DIGNITAIRES, DONATEURS ET ADHÉRENTS

PROCÈS-VERBAUX IN EXTENSO DES SÉANCES DU CONGRÈS

RECUEILLIS PAR LES SECRÉTAIRES

Sous la Direction de MM. P. DEBRAY et L. BACLÉ, Secrétaires généraux

Fol Xae 26-3

PARIS

V^{VE} CH. DUNOD, ÉDITEUR

49, QUAI DES GRANDS-AUGUSTINS

1901



INTRODUCTION

Ce volume, qui complète la série des publications du Congrès, renferme le compte rendu *in extenso* des séances, établi d'après la sténographie.

Une Annexe contient les communications qui ont été remises tardivement par leurs Auteurs, et n'ont pu être insérées dans les tomes précédents.

Nous avons tenu à les grouper à part, au lieu de les laisser figurer dans les comptes rendus des séances, afin de n'en pas ralentir l'exposé, et de permettre au lecteur désireux de consulter ces divers travaux de les retrouver avec plus de facilité.

D'autre part, pour compléter ce qui a trait à l'organisation du Congrès, nous donnons au début de ce volume les listes des Membres de la Commission d'organisation, des Dignitaires, Donateurs et Adhérents. Le lecteur les trouvera classées dans l'ordre suivant :

Commission d'Organisation constituée par arrêtés de M. le Commissaire général en date des 18 mars 1899 et 25 juin 1900 (Membres français et Membres Étrangers);

Comité de patronage (Membres français et Membres étrangers);

Bureau du Congrès;

Présidents d'honneur;

Vice-Présidents français;

Secrétaires français et Secrétaires étrangers;

Délégués officiels : Gouvernement français, Association internationale pour l'essai des matériaux, Gouvernements étrangers;

Délégués de collectivités (françaises et étrangères);

Donateurs;

Membres adhérents français et étrangers.

La Commission d'organisation a tenu sa première séance à la date du 4 mai 1899, pour procéder à la constitution de son Bureau. Depuis cette date jusqu'au mois de juillet 1900, elle n'a pas tenu moins de neuf séances plénières.

D'autre part, le Bureau qui avait pour mission de suivre dans tous leurs détails, dans l'intervalle des séances de la Commission, les questions si multiples et si délicates que soulève l'organisation d'un Congrès international aussi important, s'est réuni aussi souvent qu'il a été nécessaire, et au besoin plusieurs fois par mois.

La tâche qui s'imposait à la Commission d'organisation comprenait notamment les objets suivants :

- 1° Recruter les Membres adhérents;
- 2° Obtenir la collaboration des spécialistes les plus compétents en France et à l'étranger pour la rédaction de communications intéressantes;
- 3° S'assurer l'adhésion de personnages qualifiés en France et surtout à l'Étranger pour faire partie du Comité de patronage;
- 4° Obtenir des subventions aussi généreuses que possible de la part des Administrations et des grandes Sociétés industrielles en vue de faire face aux frais considérables qu'entraînerait nécessairement le Congrès, et particulièrement à l'impression de ses travaux;
- 5° Organiser quelques fêtes intéressantes, afin de recevoir d'une manière digne de la France les Congressistes étrangers.

Le recrutement des Membres adhérents s'est opéré avec facilité tant en France qu'au delà de nos frontières, malgré certaines difficultés résultant de la situation générale telle qu'elle se présentait alors. Disons notamment que, dans les pays particulièrement industriels, nous avons réuni 825 adhérents qui se répartissent ainsi :

France et Colonies françaises.	547	
Autriche	50	}
Hongrie.	14	
Russie	56	
Allemagne.	51	
Belgique.	36	
Italie	27	
États-Unis	26	
Grande-Bretagne	18	
	825	

Pour ce qui concerne les communications, la Commission s'est mise en relations avec les savants et les spécialistes les plus compétents. Elle a pu obtenir de la plupart d'entre eux des travaux considérables dont la discussion a imprimé au Congrès un intérêt tout particulier.

On a pu reconnaître d'après la lecture des volumes qui les renferment l'importance que présentent quelques-unes d'entre elles. On peut certainement prévoir qu'elles sont appelées à provoquer des modifications profondes dans la pratique des essais.

Pour le Comité de patronage, la Commission d'organisation a pu obtenir le concours d'illustres Personnages étrangers, ainsi qu'on le verra d'après les listes que nous publions plus loin. Elle est heureuse de leur exprimer ici ses remerciements pour leur bienveillant appui qui est entré certainement pour une large part dans le succès obtenu dans le recrutement des Adhérents des diverses nations.

La tenue d'un Congrès international entraînait nécessairement des frais considérables, auxquels devaient s'ajouter les importantes dépenses à prévoir pour les publications. Il aurait été absolument impossible d'y faire face avec les simples cotisations des Adhérents, à moins d'en élever le chiffre à un taux qui en aurait par contre éloigné la plupart des bonnes volontés. Aussi la Commission n'a-t-elle pas

hésité, pour un intérêt aussi élevé, à faire appel à la libéralité des grandes Administrations publiques, et des puissantes Sociétés industrielles intéressées dans l'Œuvre de l'unification des Méthodes d'essai des matériaux de construction.

Cet appel a été entendu, et, ainsi qu'on le verra ci-après par la liste des Donateurs, nous avons pu réaliser un chiffre inespéré de subventions, s'élevant en totalité à cinquante et un mille six cent cinquante-neuf francs cinq centimes (51 659 fr. 05).

Les deux Ministères des Travaux Publics et de la Marine, ont donné pour leur part une somme de 8980 francs, à laquelle s'est ajoutée une subvention de 300 francs fournie par le Conseil général de la Seine, et 100 francs par les Chemins de fer de l'État.

Toutes les grandes Sociétés industrielles intéressées, spécialement les principales Forges françaises, comme la Société des Forges de Châtillon-Commentry et Neuves-Maisons, MM. Marrel Frères, la Société des Aciéries et Forges de Firminy, MM. Schneider et C^{ie}, la Société des Hauts-Fourneaux, Forges et Aciéries de Denain et Anzin, la Compagnie des Hauts-Fourneaux, Forges et Aciéries de la Marine et des Chemins de fer, MM. de Wendel et C^{ie}, la Société des Hauts-Fourneaux, Forges et Aciéries de Pompey, la Société de Commentry-Fourchambault et Decazeville, ont donné des subventions très importantes, atteignant parfois jusqu'à 4000 francs. La Compagnie générale de traction, les grandes Sociétés de constructions telles que la Compagnie de Fives-Lille pour constructions mécaniques et entreprises, MM. Delaunay, Belleville et C^{ie}, la Société de construction des Batignolles, la Société des Forges et Chantiers de la Méditerranée, MM. Dujardin et C^{ie}, MM. Mathelin et Garnier, la Société industrielle des Téléphones, la Société des Ateliers et Chantiers de la Loire, la Société de constructions de Levallois-Perret, et la Société des Ponts et travaux en fer, ont donné également de généreuses subventions variant de 200 à 1000 francs.

Enfin les grandes Sociétés productrices de ciments comme la Société générale et unique des ciments de la Porte de France à Grenoble, la Société des ciments français de Boulogne-sur-Mer, MM. Vicat et C^{ie}, MM. Berthelot et C^{ie} et la Société des Ciments de Laitier de Donjeux ont donné des libéralités variant de 100 à 1500 francs. A ces donateurs généreux la Commission d'organisation tient à renouveler ici l'expression de ses vifs remerciements, ne doutant pas qu'elle ne soit en cela l'interprète de tous les praticiens qui s'intéressent aux questions des méthodes d'essai.

En dehors de tels concours provenant d'Établissements français, la Commission d'organisation a pu recueillir encore des allocations relativement importantes de certaines Sociétés étrangères, telles que la Compagnie Carnegie Steel de Londres, la Metallgesellschaft, et la Metallurgische Gesellschaft de Francfort-sur-le-Mein, la Compagnie nationale américaine des Tubes de Pittsburg et la Compagnie des cuivres d'Orford (États-Unis). Elle doit, à ce titre, exprimer à ces généreux Donateurs d'une façon toute particulière ses sentiments de gratitude.

Grâce à l'importance des sommes ainsi recueillies, la Commission a pu consacrer un chiffre relativement élevé aux fêtes préparées en vue d'offrir aux Membres étrangers une réception qui leur rappelât quelque peu celle qui nous avait été faite dans les brillants Congrès de Zurich et de Stockholm, et qui répondit en même temps au renom traditionnel de l'hospitalité française.

La Commission institua à cet effet sous la présidence de M. l'Inspecteur général des Ponts et Chaussées, Durand-Claye, une Sous-Commission spéciale des fêtes. On trouvera plus loin à la fin de ce volume le compte rendu détaillé des résultats obtenus sous ce rapport (voir page 171).

Au cours de la tenue du Congrès, l'organisation des différentes séances a été assurée par la Commission plénière réunissant à côté de ses Membres français tous ses Membres étrangers qui ont bien voulu apporter dans cette mission une collaboration active et particulièrement appréciée.

La Commission d'organisation tient également à exprimer ses remerciements aux éminentes personnalités étrangères qui ont bien voulu accepter les fonctions de Présidents d'honneur des diverses séances, ainsi qu'aux Secrétaires français et étrangers qui ont apporté leur collaboration utile et dévouée.

La Commission s'est attachée dans la mesure du possible à faire imprimer immédiatement les communications qui lui ont été remises, de manière à pouvoir, pendant la tenue du Congrès, en distribuer des exemplaires aux Adhérents afin de leur permettre d'en prendre connaissance avant la discussion. Pour quelques-unes d'entre elles, il en a même été établi des résumés en langues étrangères.

Toutefois, comme un bon nombre de ces communications nous ont été remises tardivement, et que la plupart ont été encore remaniées par leurs auteurs à la suite du Congrès, il nous a été impossible de terminer nos volumes aussitôt après la session. La publication en a été faite au bout de quelques mois seulement. La Commission d'organisation est ainsi restée en fonctions jusqu'à ce jour pour diriger ces publications, en même temps que pour apurer les comptes financiers du Congrès.

A ce dernier point de vue, la situation financière se présente dans les conditions suivantes :

RECETTES

Membres donateurs	51.659 05
Membres adhérents et Membres de famille	21.149 »
Souscriptions des Membres français pour les fêtes.	2.350 »
Total	<u>75.158 05</u>

DÉPENSES

Frais d'impression des publications (suivant prévisions)	35.000 »
Fêtes : Lunch au Conservatoire, Saint-Cloud, Fontainebleau, banquet final.	14.593 40
Session du Congrès : Frais de projections, traductions, Sténographes français et étrangers	4.056 35
Frais d'impression des circulaires, de confection des clichés, de correspondance, et expédition des publications aux Membres adhérents (suivant prévisions)	8.500 »
Frais d'Administration : Bureaux des Secrétaires généraux et du Trésorier (suivant prévisions)	7.000 »
Total	<u>69.149 75</u>

Récapitulation.	{	Montant des recettes.	75.158 05
	{	Montant des dépenses	69.149 75

Excédent des recettes.	<u>6.008 30</u>
--------------------------------	-----------------

On voit d'après ce bilan qu'il restera encore disponible une somme de 6 000 francs environ.

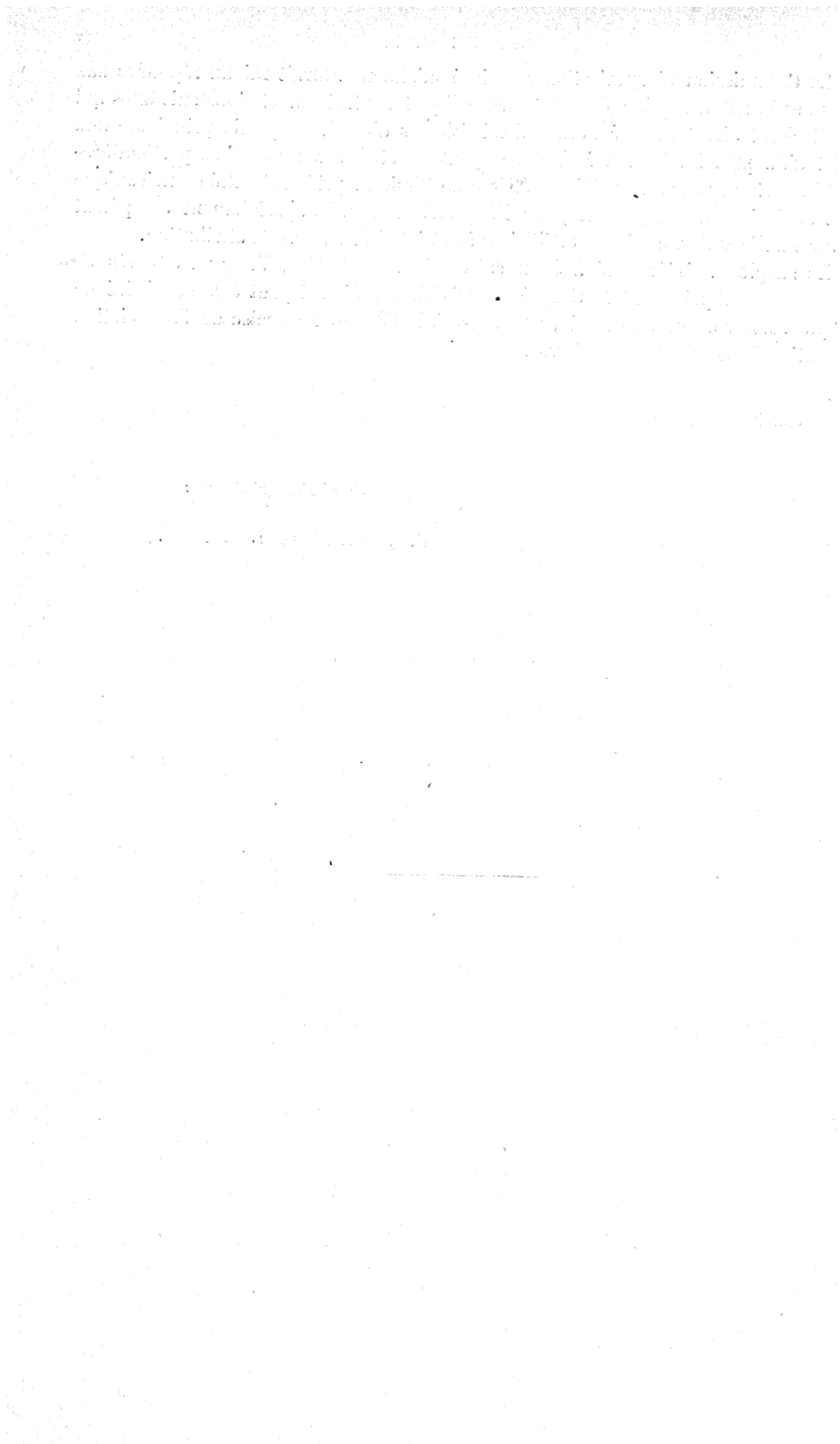
La Commission d'organisation a estimé qu'elle ne saurait mieux répondre aux désirs des Donateurs qu'en donnant à ce reliquat les trois affectations suivantes qui se rattachent directement à l'étude des Méthodes d'essai. La partie principale fera l'objet d'un prix à décerner à l'auteur ayant effectué des recherches particulièrement importantes sur ces questions, et la Commission a prié le Comité de mécanique de la Société d'encouragement pour l'Industrie nationale spécialement compétent sur ces matières de vouloir bien délibérer à cet égard et fixer cette attribution.

Le surplus a été affecté à deux subventions attribuées, l'une au Congrès de Mécanique appliquée dont le Congrès des Méthodes d'essai peut être considéré en quelque sorte comme une filiale, et l'autre à la Section Française de l'Association Internationale des Méthodes d'essai.

Janvier 1902.

Les Secrétaires généraux :

P. DEBRAY et L. BACLÉ.



EXPOSITION UNIVERSELLE DE 1900

CONGRÈS INTERNATIONAL DES MÉTHODES D'ESSAI

DES MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION

Tenu à Paris du 9 au 16 Juillet 1900

COMMISSION D'ORGANISATION

CONSTITUÉE

PAR ARRÊTÉS DE M. LE COMMISSAIRE GÉNÉRAL DE L'EXPOSITION

DES 18 MARS 1899 ET 25 JUIN 1900

MEMBRES FRANÇAIS

PRÉSIDENT

M. HATON DE LA GOUPILLIÈRE, Membre de l'Institut, Inspecteur général des Mines, Directeur de l'École nationale supérieure des Mines, Vice-Président de la Commission des méthodes d'essai, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.

VICE-PRÉSIDENTS

MM. BARBA, ancien Ingénieur du Génie maritime, ancien Ingénieur en chef des usines du Creusot, Membre de la Commission des méthodes d'essai et de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.

BRÜLL, ancien Président de la Société des Ingénieurs civils, Membre de la Commission des méthodes d'essai et de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.

HIRSCH, Inspecteur général honoraire des Ponts et Chaussées, Professeur au Conservatoire des Arts et Métiers, Membre de la Commission des méthodes d'essai et de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.

QUINETTE DE ROCHEMONT, Inspecteur général des Ponts et Chaussées, Directeur du service central des phares et balises, Membre de la Commission des méthodes d'essai et de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.

M. RICOUR, Inspecteur général des Ponts et Chaussées, Directeur de l'École nationale des Ponts et Chaussées, Vice-Président du Comité de l'exploitation technique des Chemins de fer au Ministère des Travaux publics, Vice-Président de la Section **A** de la Commission des méthodes d'essai des matériaux de construction.

SECRÉTAIRE GÉNÉRAL

M. DEBRAY, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, ancien Professeur du Cours de matériaux de construction et ancien Chef du Service des laboratoires à l'École nationale des Ponts et Chaussées, Secrétaire général de la Commission des méthodes d'essai, Vice-Président du Comité directeur de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Directeur de la Compagnie des Tramways de l'Est-Parisien.

SECRÉTAIRE GÉNÉRAL ADJOINT

M. BACLÉ, Ingénieur civil des Mines, Membre de la Commission des méthodes d'essai et de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.

TRÉSORIER

M. CANDLOT, Directeur de la Compagnie parisienne des Ciments portlands artificiels, Président de la Chambre syndicale des Chaux et Ciments, Membre de la Commission des méthodes d'essai et de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.

SECRÉTAIRES

MM. DREYFUS, Ingénieur des Ponts et Chaussées.

DE FRÉMINVILLE, Ingénieur des Arts et Manufactures, Sous-Directeur des Établissements Panhard et Levassor.

GUÉRARD, Ingénieur des Arts et Manufactures, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.

MESNAGER, Ingénieur des Ponts et Chaussées, Chef du service des Laboratoires à l'École des Ponts et Chaussées, Secrétaire général adjoint de la Commission des méthodes d'essai des matériaux de construction, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.

RATEAU, Ingénieur des Mines, Secrétaire de la Commission des méthodes d'essai des matériaux de construction.

MEMBRES FRANÇAIS

MM. ALEXANDRE, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Secrétaire du Conseil général des Ponts et Chaussées, Membre de la Commission des méthodes d'essai et de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.

BODIN, Ingénieur des Arts et Manufactures, Professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures, Membre de la Commission des méthodes d'essai et de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.

le général BORJUS, Président du Comité technique du Génie au Ministère de la Guerre, Vice-Président de la Commission des méthodes d'essai des matériaux de construction.

DURAND-CLAYE, Inspecteur général des Ponts et Chaussées en retraite, Vice-Président de la section **B** de la Commission des méthodes d'essai des matériaux de construction.

le général GRAS, Président du Comité technique de l'Artillerie, Inspecteur général permanent des Fabrications de l'artillerie, Président de la section **A** de la Commission des méthodes d'essai des matériaux de construction.

LECHIEN, Colonel d'artillerie de marine, Directeur du Laboratoire central de la Marine, Membre de la Commission des méthodes d'essai des matériaux de construction.

MM. LEMAIRE, Directeur des constructions navales, Vice-Président de la section **A** de la Commission des méthodes d'essai des matériaux de construction.

OSMOND, Ingénieur des Arts et Manufactures, Membre de la Commission des méthodes d'essai et de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.

PILLET, Professeur au Conservatoire des Arts et Métiers, à l'École des Beaux-Arts, à l'École nationale des Ponts et Chaussées, Membre de la Commission des méthodes d'essai et de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.

POURCEL, Ingénieur civil des Mines, Ingénieur métallurgiste, Membre de la Commission des méthodes d'essai et de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.

SAUVAGE, Ingénieur en chef des Mines, Professeur à l'École nationale supérieure des Mines, Membre de la Commission des méthodes d'essai et de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.

SCHNEIDER, Maître de forges au Creusot.

VÉTILLART, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Membre de la Commission des méthodes d'essai et de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.

VIALLET, Ingénieur civil, Membre de la Commission des méthodes d'essai et de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.

MEMBRES ÉTRANGERS

Autriche. — M. ARTHUR DE BOSCHAN, Ingénieur Principal au Chemin de fer du Nord Empereur Ferdinand d'Autriche, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.

Belgique. — M. E. ROUSSEL, Ingénieur, Chef du Laboratoire d'essais à l'arsenal de Malines (Chemins de fer de l'État belge), Mandataire de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.

Danemark. — M. H. J. HANNOVER, Professeur à l'École polytechnique, Directeur du Laboratoire d'essai des matériaux de l'État danois, Membre du Comité directeur de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.

M. F. A. OLLGAARD, Inspecteur du service des eaux de Copenhague, Chargé du cours relatif aux matériaux de construction à l'École polytechnique, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.

M. TORBEN GRUT, Capitaine du Génie, Professeur de mécanique et statique à l'École supérieure de la Guerre, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.

M. H. ULRICH, Capitaine du Génie, Membre de la Commission royale des brevets d'invention.

Hongrie. — M. CZEKELIUS, Conseiller ministériel au Ministère du Commerce à Budapest.

M. ALEXANDRE REJTÖ, Professeur à l'École polytechnique, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.

Norvège. — M. JOHN SKOUGAARD, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

Pays-Bas. — M. G. ALPHERTS, Chef du Bureau technique au Ministère des Colonies, Mandataire de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.

Roumanie. — M. TH. DRAGU, Ingénieur, Inspecteur général, Chef du service des ateliers et du matériel aux Chemins de fer roumains, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.

Russie. — M. V. HERZENSTEIN, Ingénieur des voies de communication, Directeur du Bureau technique international et du Laboratoire d'essai à la Compagnie des Chemins de fer Moscou-Vindau-Rybinsk, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.

Suède. — M. AXEL WAHLBERG, Ingénieur des Mines, Directeur du Laboratoire royal d'essai des matériaux à Stockholm, Commissaire suédois à l'Exposition de Paris en 1900 pour les usines et les mines, Membre du Comité directeur de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.

Suisse. — M. F. SCHULE, Ingénieur, Professeur à l'Université de Lausanne.

MEMBRES DU COMITÉ DE PATRONAGE

FRANCE

- MM. JOZON, Inspecteur général des Ponts et Chaussées, Conseiller d'État, Directeur des Routes, de la Navigation et des Mines au Ministère des Travaux publics.
- PÉROUSE, Inspecteur général des Ponts et Chaussées, Conseiller d'État, Directeur des Chemins de fer au Ministère des Travaux publics.
- KLEINE, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Directeur du Personnel et de la Comptabilité au Ministère des Travaux publics.
- BROSSELIN, Inspecteur général des Ponts et Chaussées, Vice-Président du Conseil général des Ponts et Chaussées.
- VICAIRE, Inspecteur général des Mines, Vice-Président du Conseil général des Mines et de la Commission centrale des machines à vapeur.
- le général DELOYE, Président du Comité technique de l'Artillerie, Membre de la Commission française des Méthodes d'essai.
- le général JAVOUHEY, Inspecteur général permanent des Établissements, Directions et Matériel des Services techniques de l'Artillerie Navale.
- THIBAUDIER, Directeur du Matériel au Ministère de la Marine.
- EYNAUD, Inspecteur général du Génie maritime.
- RENAUD, Inspecteur général des Ponts et Chaussées, Inspecteur général des Travaux hydrauliques au Ministère de la Marine.
- CHANDÈZE, Directeur du Commerce au Ministère du Commerce.
- NICOLAS, Directeur du Commerce intérieur au Ministère du Commerce.
- BOUTTEVILLE, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Inspecteur général des Travaux publics aux Colonies.
- GAUCKLER, Inspecteur général des Ponts et Chaussées en retraite, Président du Comité consultatif de la vicinalité au Ministère de l'Intérieur.
- PASCAL, Vice-Président du Conseil général des Bâtiments civils, Membre de l'Institut.
- le colonel LAUSSEDAT, Membre de l'Institut, Directeur du Conservatoire des Arts et Métiers.
- le général DEBATISSE, Commandant l'École polytechnique.
- BUQUET, Directeur de l'École centrale des Arts et Manufactures.
- METZGER, Inspecteur général des Ponts et Chaussées, Directeur des chemins de fer de l'État.
- NOBLEMAIRE, Directeur de la Compagnie des chemins de fer Paris-Lyon-Méditerranée.
- J. DE LARMINAT, Directeur de la Compagnie des chemins de fer de l'Ouest.
- BARABANT, Directeur de la Compagnie des chemins de fer de l'Est.
- HEURTEAU, Directeur de la Compagnie du chemin de fer de Paris à Orléans.
- BLAGÉ, Directeur de la Compagnie des chemins de fer du Midi.
- SARTIAUX (A.), Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Ingénieur en chef de l'exploitation du chemin de fer du Nord.

MM. LES PRÉSIDENTS des Chambres de commerce de Bordeaux; Boulogne-sur-Mer; Grenoble; Le Havre; Lille; Lyon; Marseille; Nancy; Nantes; Rouen; Paris; Saint-Étienne.

MM. ADOLPHE CARNOT, Président de la Société d'encouragement pour l'Industrie nationale.

CANET (GUSTAVE), Président de la Société des Ingénieurs civils de France.

GROSDIDIER, Vice-Président de la Société industrielle de l'Est.

NORMAND, Président de la Société centrale des architectes.

MESUREUR, Président de la Société des anciens élèves des Écoles d'Arts et Métiers.

OLRY, Ingénieur en chef des mines, Ingénieur en chef de l'Association des propriétaires d'appareils à vapeur du Nord, Ancien rapporteur de la Commission centrale des machines à vapeur, Directeur général de la Compagnie générale de traction.

LE DIRECTEUR DU BUREAU VÉRITAS.

DE WENDEL, Président du Comité des Forges de France.

DARCY, Président du Comité des Houillères de France.

LAVOCAT, Président du Syndicat des fabricants de ciment de Portland.

METZ (ARTHUR), Président de l'Union céramique et chaudronnière de France.

OUACHÉE, Président de l'Union syndicale des fournisseurs de bâtiments.

CHOLAT, Administrateur-Délégué de la Société des Aciéries de Saint-Étienne.

CLAUDINON, Maître de forges au Chambon-Feugerolles.

DE WARENGHIEN, Administrateur-Délégué de la Compagnie nouvelle des ciments Portland du Boulonnais.

FAYOL, Directeur général de la Société de Commentry-Fourchambault.

ALPHONSE FOULD, Président de la Société des hauts fourneaux, forges et aciéries de Pompey.

MARCEL HOLTZER, Maître de forges à Unieux.

HUGOT, Directeur de la Société des aciéries de Firminy.

LÉON LÉVY, Ingénieur en chef des mines, Directeur de la Compagnie des forges de Châtillon-Commentry et Neuves-Maisons.

MARREL, frères, Maîtres de forges à Rive-de-Gier.

A. DE MONTGOLFIER, Directeur général de la Société des aciéries de la marine et des chemins de fer.

J. PAVIN DE LAFARGE, fabricant de ciments au Teil (Ardèche).

PRALON, Délégué général du Conseil d'administration de la Société des forges de Denain et Anzin.

RATY (G.), Président du Conseil d'administration de la Société des aciéries de Longwy.

RÉSIMONT (ARMAND), Administrateur-Directeur de la Société des forges et aciéries du Nord et de l'Est, à Valenciennes.

DE SINGAY, Administrateur-Délégué de la Société des forges de Trignac.

TERRIER, Directeur de la Compagnie des Travaux publics et particuliers, Président du Conseil d'administration de la Société des ciments français.

LE DIRECTEUR de la Société générale et unique des ciments de la Porte de France.

MEMBRES ÉTRANGERS

Autriche. — WILHELM AST, Conseiller de régence, Directeur du chemin de fer du Nord autrichien Empereur Ferdinand, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.

M. FR. BERGER, Conseiller I. R. de construction au Ministère des Travaux publics, Directeur des travaux de la ville de Vienne, Membre du Comité directeur de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.

- M. JOH. E. BRIK, Conseiller aulique I. R., Professeur à l'École supérieure technique I. R., membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.
- M. E. LAUDA, Ingénieur diplômé, Conseiller I. R. de construction au Ministère des Travaux publics, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.
- Belgique.** — M. A. GREINER, Directeur général de la Société anonyme JOHN COCKERILL à Seraing, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.
- États-Unis.** — M. ALBERT LADD COLBY, chimiste et métallurgiste, Ingénieur métallurgiste, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.
- M. J. H. WALLACE, Président de la Société américaine des Ingénieurs civils.
- M. le capitaine R. W. HUNT, ancien Président de la Société américaine des Ingénieurs civils, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.
- Grande-Bretagne.** — M. le Professeur T. HUDSON BEARE, Ingénieur du Laboratoire University College, à Londres.
- Hongrie.** — M. CAJETAN DE BANOVITS, Conseiller ministériel, Directeur aux chemins de fer de l'État hongrois, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.
- Norvège.** — M. G. H. SMITH, Directeur des ports à Christiana.
- Roumanie.** — M. C. M. MIRONESCO, Inspecteur général des Ponts et Chaussées, Membre du Conseil des Travaux publics, Directeur de l'École des ponts et chaussées, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.
- Russie.** — Son Excellence M. A. SCHOULATCHENKO, Général Lieutenant du Génie militaire, Professeur, Président des spécialistes en ciment, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.
- Suède.** — M. CHRISTIAN ASPELIN, Directeur gérant des usines de Fagersta.
- M. E. J. LJUNGBERG, Directeur gérant de l'Association « Stora Kopparbergs Bergslags Aktiebolag ».
- Suisse.** — M. le colonel LOUIS PERRIER, à Neuchâtel.
- M. BUTTICAZ, Ingénieur, Directeur des forces motrices du Rhône, à Genève.

BUREAU DU CONGRÈS

PRÉSIDENT

M. HATON DE LA GOUPILLIÈRE

PRÉSIDENTS D'HONNEUR

FRANCE

MM. le MINISTRE DES TRAVAUX PUBLICS;
le MINISTRE DE LA GUERRE;
le MINISTRE DE LA MARINE;
le MINISTRE DU COMMERCE, DE L'INDUSTRIE, des Postes et Télégraphes;
PICARD, COMMISSAIRE GÉNÉRAL de l'Exposition;
le PRÉSIDENT DU CONSEIL MUNICIPAL de Paris;
le PRÉSIDENT DU CONSEIL GÉNÉRAL de la Seine.

PAYS ÉTRANGERS

Association internationale pour l'essai des matériaux de construction. — M. L. TETMAJER DE PRZERVA, Professeur à l'École polytechnique fédérale et Directeur du Laboratoire d'essai des matériaux à Zurich, Président de l'Association internationale pour l'essai des matériaux; Membre honoraire de la Société des fabricants suisses de ciment et de la Société suisse des fabricants de tuiles, etc.

M. FR. BERGER, membre du Comité directeur de l'Association, Directeur des travaux de la ville de Vienne.

Son Excellence M. BELELUBSKY, Professeur et Directeur du Laboratoire mécanique à l'Institut impérial des voies de communication de Saint-Petersbourg, Membre du Conseil du Ministère, membre du Comité directeur de l'Association.

Autriche. — M. G. EXNER, Docteur ès lettres, Ancien député, Chef de division au Ministère I. R. du Commerce, Directeur du musée technologique, Professeur à l'Institut agronomique, Commissaire général de l'empire d'Autriche à l'Exposition de 1900, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.

M. le chevalier MAXIME DE PICHLER, Chef de division au Ministère I. R. des chemins de fer.

- M. F. KICK, Conseiller d'État et Professeur, Prorecteur de l'École impériale supérieure technique de Vienne, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.
- M. CARL STÖCKL, Conseiller technique au Ministère des chemins de fer de Vienne.
- Belgique.** — Son Excellence M. LIEBAERT, Ministre des Chemins de fer, Postes, Télégraphes et Marine.
- M. A. GREINER, Directeur général de la Société anonyme JOHN COCKERILL à Seraing, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.
- M. E. ROUSSEL, Ingénieur, Chef du Laboratoire d'essais à l'arsenal de Malines (chemins de fer de l'État belge), Mandataire de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.
- Danemark.** — Son Excellence M. LUDVIG BRAMSEN, Ministre de l'Intérieur.
- M. H. J. HANNOVER, Professeur à l'École polytechnique, Directeur du Laboratoire d'essais des matériaux de l'État danois, Mandataire de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.
- Espagne.** — M. CANO Y DE LEON, Lieutenant-Colonel du Génie à Madrid, Mandataire de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.
- M. MARVA Y MAYER, Colonel du génie, Directeur du Laboratoire du génie militaire à Madrid, membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.
- États-Unis d'Amérique.** — M. HENRY M. HOWE, Professeur de métallurgie à Columbia University à New-York, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.
- M. WILLIAM R. WEBSTER, Membre de la Société américaine des Ingénieurs civils, de la Société américaine des Ingénieurs mécaniciens, membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.
- M. R. H. THURSTON, Ingénieur civil, Directeur du collège Sibley; Cornell University, Ithaca, New-York; Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.
- Grande-Bretagne.** — M. ALEXANDER SIEMENS, Membre de l'Institut des ingénieurs civils de Londres, membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.
- M. W. C. UNWIN, Professeur F. R. S., Membre de l'Institut des ingénieurs civils de Londres, membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.
- Hollande.** — M. G. ALPHERTS, Chef du bureau technique au Ministère hollandais des colonies, Mandataire de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.
- Hongrie.** — M. CHARLES DE HIERONYMI, Conseiller actuel secret, ancien Ministre de l'Intérieur, député, Président de la Société des ingénieurs à Budapest.
- M. ALEXANDRE REJTÖ, Professeur à l'École polytechnique à Budapest, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.
- Italie.** — M. SPREGA, Président de l'Association des propriétaires d'appareils à vapeur à Rome.
- M. S. CANEVAZZI, Professeur à l'École royale d'application pour les ingénieurs à l'Université de Bologne, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.
- Norvège.** — Son Excellence M. H. NYSOM, Ministre des Travaux publics.
- M. SMITH (GABRIEL), Directeur général des Travaux publics maritimes (Service des ports), à Christiana.
- M. JOHN SKOUGAARD, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées à Christiana.
- Portugal.** — M. MENDÈS GUERREIRO, Ingénieur, Membre du Conseil supérieur des travaux publics et des mines à Lisbonne, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.

Roumanie. — M. ANGHEL SALIGNY, Inspecteur général des Ponts et Chaussées, Membre de l'Académie roumaine, Directeur du service hydraulique et des travaux du port de Constanza, Professeur à l'École des Ponts et Chaussées, Mandataire de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.

Russie. — Son Excellence M. N. PÉTROFF, Ingénieur général du génie militaire, Membre du Conseil de l'Empire de Russie, Président de la Société impériale technique russe, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.

Son Excellence M. D. TCHERNOFF, Conseiller d'État actuel, Professeur à l'Académie d'Artillerie.

M. GOLOVINE, Ingénieur, Directeur de l'Institut technologique à Saint-Petersbourg.

Suède. — M. RICHARD AKERMAN, Chef de l'Administration du commerce, ancien Directeur en chef et Professeur à l'École royale des mines, Président du Comité suédois royal pour l'Exposition de 1900, Membre de l'Académie royale des sciences, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.

M. AXEL WAHLBERG, Ingénieur des mines, Directeur du Laboratoire royal d'essai des matériaux à Stockholm, Commissaire suédois à l'Exposition de Paris en 1900 pour les usines et les mines, Membre du Comité directeur de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.

Suisse. — M. BUTTICAZ, Ingénieur, Directeur des forces motrices du Rhône à Genève.

VICE-PRÉSIDENTS FRANÇAIS

MM. AGUILLON, Inspecteur général des mines.

BARBA, ancien Ingénieur du génie maritime, ancien Ingénieur en chef des usines du Creusot, Membre de la Commission des méthodes d'essai et de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.

le général BORJUS, Président du Comité technique du Génie au Ministère de la Guerre, Vice-Président de la Commission des méthodes d'essai des matériaux de construction.

BRÜLL, ancien Président de la Société des Ingénieurs civils, Membre de la Commission des méthodes d'essai et de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.

DURAND-CLAYE, Inspecteur général des Ponts et Chaussées en retraite, Vice-Président de la section **B** de la Commission des méthodes d'essai des matériaux de construction.

EUVERTE, Ingénieur civil, Ancien Directeur des Usines de Terrenoire, Membre honoraire du Comité des Forges de France.

le général GRAS, Président du Comité technique de l'Artillerie, Inspecteur général permanent des fabrications de l'artillerie, Président de la Section **A** de la Commission des méthodes d'essai des matériaux de construction.

GUILLLOTIN, ancien Président du Tribunal de Commerce de la Seine et du Syndicat des entrepreneurs de travaux publics de France.

HIRSCH, Inspecteur général honoraire des Ponts et Chaussées, Professeur au Conservatoire des Arts et Métiers, Membre de la Commission des méthodes d'essai et de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.

LÉON LÉVY, Ingénieur en chef des Mines, Directeur de la Compagnie des Forges de Châtillon, Commentry et Neuves-Maisons, Membre de la Commission des méthodes d'essai et de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.

QUINETTE DE ROCHEMONT, Inspecteur général des Ponts et Chaussées, Directeur du Service central des Phares et Balises, Membre de la Commission des méthodes d'essai et de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.

RICOUR, Inspecteur général des Ponts et Chaussées, Directeur de l'École nationale des Ponts et Chaussées, Vice-Président du Comité de l'Exploitation technique des chemins de fer au Ministère des Travaux publics, Vice-Président de la Section **A** de la Commission des méthodes d'essai des matériaux de construction.

M. SALVA, Inspecteur général des Ponts et Chaussées, Président de la Commission des Routes nationales.

SECRÉTAIRE GÉNÉRAL

M. P. DEBRAY, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, ancien Professeur du cours de Matériaux de construction et ancien Chef du Service des Laboratoires à l'École nationale des Ponts et Chaussées, Secrétaire général de la Commission des méthodes d'essai, Vice-Président du Comité directeur de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Directeur de la Compagnie des Tramways de l'Est-Parisien.

SECRÉTAIRE GÉNÉRAL ADJOINT

M. BACLÉ, Ingénieur civil des Mines, Membre de la Commission des méthodes d'essai et de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.

SECRÉTAIRES FRANÇAIS

MM. BÉCARD, Ingénieur de la Compagnie de l'Ouest-Algérien, Chef des essais de matériaux à l'École centrale de Paris, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.

CANDLOT, Directeur de la Compagnie parisienne des Ciments portlands artificiels, Président de la Chambre syndicale des Chaux et Ciments, membre de la Commission des méthodes d'essai et de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.

DREYFUS, Ingénieur des Ponts et Chaussées.

FERET, Chef du Laboratoire des Ponts et Chaussées à Boulogne-sur-Mer, Membre de la Commission des méthodes d'essai et de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.

DE FRÉMINVILLE, Ingénieur des Arts et Manufactures, Sous-Directeur des Établissements Panhard et Levassor à Paris.

GALY-ACHÉ, Capitaine d'artillerie, faisant fonctions d'Ingénieur au Laboratoire central de l'artillerie de marine, Membre de la Commission des méthodes d'essai des matériaux de construction.

DE GENNES, Ingénieur civil des Mines, Conseil en matière de mines.

GUÉRARD, Ingénieur à la Compagnie des chemins de fer d'Orléans, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.

MARGOT, Ingénieur des Ponts et Chaussées, Adjoint à la Direction des chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée.

MESNAGER, Ingénieur des Ponts et Chaussées, Chef du Service des laboratoires à l'École Nationale des Ponts et Chaussées, Secrétaire général adjoint de la Commission des méthodes d'essai des matériaux de construction, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.

MUSSAT, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.

CHARLES PELLÉ, Ingénieur des Ponts et Chaussées.

RATEAU, Ingénieur des Mines, Secrétaire de la Commission des méthodes d'essai des matériaux de construction.

SOUBEIRAN, Ingénieur-conseil de la Société des Ciments français et des Portlands de Boulogne-sur-Mer, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.

VIALLET, Ingénieur civil, Membre de la Société générale et unique des ciments de la Porte de France à Grenoble, Membre de la Commission des méthodes d'essai et de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.

SECRÉTAIRES ÉTRANGERS

- Association internationale pour l'essai des matériaux de construction.** — M. B. ZSCHOKKE, Secrétaire de l'Association, Adjoint au Directeur du Laboratoire d'essai des matériaux à Zurich.
- Autriche.** — M. A. DE BOSCHAN, Ingénieur principal au chemin de fer du Nord Empereur Ferdinand d'Autriche, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.
- Belgique.** — M. E. CAMERMAN, Ingénieur-chimiste de l'Administration des chemins de fer de l'État belge, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.
- Danemark.** — M. TORBEN GRUT, Capitaine du Génie, Professeur de mécanique et statique à l'École supérieure de la Guerre, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.
- Espagne.** — DON JOSÉ EUGENIO RIBERA, Ingénieur des Ponts et Chaussées à Madrid, Représentant officiel du Ministère de l'Agriculture et des Travaux publics, Commandeur de l'Ordre royal de Charles III.
- États-Unis d'Amérique.** — M. ALBERT LADD COLBY, Chimiste et Métallurgiste, Ingénieur, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.
- Grande-Bretagne.** — M. H. BROUGH BENNET, Secrétaire général de l'« Iron and Steel Institute » à Londres, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.
- Hollande.** — M. L. BIENFAIT, Ingénieur au Laboratoire d'essai des matériaux à Amsterdam, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.
- Hongrie.** — M. FR. JUST, Ingénieur aux chemins de fer de l'État hongrois, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.
- Italie.** — M. C. SEGRÉ, Ingénieur, Chef de section des chemins de fer du réseau Adriatique à Ancona, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.
- Russie.** — M. V. HERZENSTEIN, Ingénieur des voies de communication, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.
-

DÉLÉGUÉS OFFICIELS

FRANCE

MINISTÈRE DES TRAVAUX PUBLICS

MM. KLEINE, Directeur du Personnel et de la Comptabilité.

JOZON, Conseiller d'État, Directeur des Routes, de la Navigation et des Mines.

PÉROUSE, Conseiller d'État, Directeur des Chemins de fer.

RICOUR, Inspecteur général des Ponts et Chaussées, Directeur de l'École nationale des Ponts et Chaussées.

AGUILLON, Inspecteur général des Mines.

SALVA, Inspecteur général des Ponts et Chaussées, Président de la Commission des Routes nationales.

MINISTÈRE DE LA GUERRE

MM. LEROSEY, Lieutenant-colonel du génie, Attaché à la Section technique du génie à Paris.

MENGIN, Chef d'escadron d'artillerie, Chef du Service de l'atelier de précision à la Section technique de l'artillerie.

JASSERON, Sous-Intendant militaire de 1^{re} classe, Directeur du Dépôt des modèles et de l'Usine d'essai de Billancourt.

RAFFAËLLI, Capitaine au 11^e régiment d'artillerie, Officier d'ordonnance du Ministre de la Guerre.

MINISTÈRE DE LA MARINE

MM. LEMAIRE, Directeur du Génie maritime, Directeur du Service de la surveillance des travaux confiés à l'industrie.

HUIN, Directeur du Génie maritime, Adjoint à l'Inspection générale du Génie maritime.

TERRÉ, Ingénieur de 1^{re} classe, attaché à la Section technique des constructions navales.

LECHIEN, Colonel d'artillerie de marine, Directeur du Laboratoire central et Inspecteur de fabrications d'artillerie.

CHANTAUME, Lieutenant-Colonel d'artillerie de marine, attaché à l'Inspection des fabrications.

CRAHAY DE FRANCHIMONT, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Adjoint à l'Inspection générale des Travaux maritimes.

PETITCOL, Chef d'escadron attaché au Laboratoire central de la Marine.

BROCARD, Ingénieur de 1^{re} classe, attaché au Service de la surveillance des travaux confiés à l'industrie.

BAFFERT, Ingénieur de 1^{re} classe, Secrétaire du Directeur du matériel.

MINISTÈRE DU COMMERCE, DE L'INDUSTRIE, DES POSTES ET TÉLÉGRAPHES

MM. le commandant HARTMANN, Membre du Conseil d'administration et Président de la Commission technique du Conservatoire national des Arts et Métiers.

FLEURENT, Professeur de chimie industrielle au Conservatoire National des Arts et Métiers et Membre de la Commission technique.

M. KOENIGS, Professeur de physique expérimentale à la Sorbonne et Membre de la Commission technique du Conservatoire des Arts et Métiers.

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE

MM. RINGELMAN, Professeur à l'Institut agronomique.
MAZEROLLE, Ingénieur des Ponts et Chaussées.

ASSOCIATION INTERNATIONALE POUR L'ESSAI DES MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION

M. TETMAJER DE PRZERVA, Président.
M. BELELUBSKY, Membre du Comité directeur.

PAYS ÉTRANGERS

Autriche. — *Ministère I. R. du Commerce.* — M. HENRI HILLINGER, Conseiller aulique, Président du Bureau hydrotechnique.

Administration I. R. des Postes et Télégraphes. — M. ÉMILE MULLER, Ingénieur en chef.

M. J. JOKISCH, Ingénieur.

Ministère de l'Intérieur. — M. le Conseiller CHARLES HABERKALT, Ingénieur.

Ministère I. R. des Chemins de fer. — M. le Conseiller d'État OSKAR MELTZER, au Ministère des Chemins de fer, à Vienne.

M. le Conseiller d'État CHARLES STÖCKL, au Ministère des Chemins de fer à Vienne.

M. le Conseiller Ingénieur FRANZ HAUDEK, au Ministère des Chemins de fer à Vienne.

Belgique. — *Ministère des Finances et des Travaux publics.* — M. F. ZANEN, Ingénieur de 1^{re} classe des Ponts et Chaussées.

M. O. A. DEHEM, Ingénieur de 1^{re} classe des Ponts et Chaussées.

Département de la Guerre. — M. DE MEY, Capitaine, chargé du Laboratoire de réception des ciments.

Danemark. — *Ministère de la Guerre.* — M. T. E. HEMMINGSEN, Capitaine du Génie, Chevalier du Dannebrog.

Équateur (République de l'). — M. J. BILLA, Architecte à Auteuil (France).

Espagne. — *Ministère de l'Agriculture et des Travaux publics.* — DON JOSÉ EUGENIO RIBERA, Ingénieur des Ponts et Chaussées, Commandeur de l'Ordre Royal de Charles III.

Ministère de la Guerre. — M. JOSÉ MARVA Y MAYER, Colonel, Directeur du Laboratoire du matériel du Génie.

Du Gouvernement royal. — M. URIOSTE Y VELADA.

États-Unis d'Amérique. — M. WILLIAM R. WEBSTER, Secrétaire de l'Institut américain des Ingénieurs des Mines.

M. ALBERT L. COLBY, Ingénieur métallurgiste.

M. J.-H. WALLACE, Président de la Société américaine des Ingénieurs civils.

M. R.-W. HUNT, ancien Président de la Société américaine des Ingénieurs mécaniciens.

M. HENRY HOWE, Professeur de métallurgie, Collège Columbia, à New-York.

Hongrie. — *Ministère Royal du Commerce.* — M. AURÉLIEN CZEKELIUS, Conseiller ministériel au Ministère du Commerce.

M. ALEXANDRE REJTÖ, Professeur à l'École polytechnique de Budapest.

Mexique. — M. ANTONIO M. ANZA, Ingénieur, Commissaire général adjoint du Mexique à l'Exposition de 1900, Architecte des pavillons du Mexique aux Expositions de 1889 et 1900, Professeur à l'École nationale d'Ingénieurs et à l'École militaire de Mexico.

M. LUIS SALAZAR, Ingénieur, Chef de section au Ministère des Communications et des Travaux publics du Mexique, Professeur à l'École nationale d'Ingénieurs de Mexico, Chef des groupes IV et VI de la Commission mexicaine à l'Exposition universelle de 1900.

M. MIGUEL A. DE QUEVEDO, Ingénieur des Ponts et Chaussées.

Perse. — M. PHILIPPE MÉRIAT, Architecte à Paris.

Portugal. — M. MENDÊS GUERREIRO, Ingénieur, Membre du Conseil supérieur des Travaux publics et des Mines à Lisbonne. Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.

Russie. — *Ministère des Voies de communication.* — Son Excellence M. BELELUBSKY, Professeur et Directeur du Laboratoire mécanique à l'Institut impérial des Voies de communication de Saint-Petersbourg, Membre du Conseil du Ministère, Membre du Comité directeur de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.

M. LEBEDKINE.

M. SABALNEEF.

Son Excellence M. N. PÉTROFF, Inspecteur général du Génie militaire, Membre du Conseil de l'Empire de Russie, Président de la Société Impériale technique russe, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.

M. GATZUCK.

M. KIRPITSCHIEFF.

Ministère de l'Intérieur. — M. GABRIEL DE BARANOWSKY, Ingénieur civil.

Suisse. — M. DE TETMAJER, Professeur et Directeur du Laboratoire d'essai pour les matériaux de construction à l'École polytechnique de Zurich.

DÉLÉGUÉS DE COLLECTIVITÉS

FRANCE

Chemins de fer de l'État. — M. MEUNIER, Ingénieur en chef de la Voie et des Bâtiments.

MM. HUGUET, Ingénieur en chef attaché à la Direction.

BOELL, Ingénieur adjoint à l'Ingénieur en chef du Matériel et de la Traction.

PERRIER, Ingénieur de la Voie.

LE BLANC, Ingénieur de la Voie.

ADAM, Ingénieur du Matériel et de la Traction.

Chemins de fer de l'Ouest. — M. MOÏSE, Ingénieur en chef de la construction.

MM. CLÉRAULT, Ingénieur en chef du matériel de la traction.

WIDMER, Ingénieur en chef, adjoint à l'Ingénieur en chef de la construction.

SAUVAGE, Ingénieur en chef des Mines, Professeur à l'École nationale supérieure des mines.

BAUCHAL, Ingénieur principal, sous-chef du service de la voie.

TOULON, Ingénieur principal du matériel fixe.

BONNET, Ingénieur de la 2^e circonscription de la construction.

GAUTHIER, Ingénieur chef du service central du matériel et de la traction.

MERKLEN, Ingénieur chargé des réceptions du matériel fixe.

PAYS ÉTRANGERS

Alsace. — *Société industrielle de Mulhouse.* — M. AUGUSTE HAENSLER, membre de la Société.

Argentine (République). — *Faculté des sciences de l'Université nationale de Buenos-Ayres.* — DON ANGHEL GALLARDO, Ingénieur.

Autriche. — *Ville de Vienne.* — M. ALFRED GREIL, Architecte inspecteur.

M. CHARLES STÖCKL, Ingénieur.

C^{ie} privilégiée des chemins de fer de l'État autrichien. — M. DE DORMUS, Ingénieur en chef.

M. ED. AST, Ingénieur.

M. FRANZ KESSLER, Inspecteur.

M. OTTOKAR KAZDA, Inspecteur.

M. DE LOEHR, Ingénieur principal.

M. FRANZ MUDRA, Inspecteur

M. OTTO SELIGMANN, Ingénieur.

Association des chemins de fer de l'État. — M. le Directeur des chemins de fer de l'État, Inspecteur en chef des chemins de fer de l'État autrichien, KARL WAGNER, Directeur des chemins de fer de l'État à Vienne.

M. l'Inspecteur en chef des chemins de fer de l'État autrichien MORITZ TISCHLER, Directeur des chemins de fer de l'État à Linz.

M. l'Inspecteur des chemins de fer de l'État VINCENZ POLLACK, Ministère des chemins de fer à Vienne.

M. le Conseiller VLADIMIR RITTER VON ZBOROWSKI, Directeur des ateliers impériaux à Neu-Sandez (Galicie).

M. l'Ingénieur à la traction des chemins de fer de l'État autrichien EMERICK VON KELER, à la Direction des chemins de fer de l'État à Stanislau (Galicie).

États-Unis d'Amérique. — *Société américaine des Ingénieurs civils, à New-York.* — M. J. H. WALLACE, Président.

Hollande. — *Institut royal des Ingénieurs néerlandais.* — M. BIENFAIT, Ingénieur.

Hongrie. — *École polytechnique de Budapest.* — M. AD. CZACO, Professeur.

Direction des chemins de fer hongrois. — M. GRITTNER, chimiste.

M. HENRI FOUQUAU, Inspecteur.

Association hongroise des méthodes d'essai à Budapest. — M. CZIGLER, Professeur, Président de l'Association.

M. JUST, Ingénieur des chemins de fer de l'État hongrois.

M. ZHUK, Ingénieur, secrétaire de l'Association.

Département technique de la ville de Prague. — M. WIL. WEINGÄRTNER, Ingénieur en chef.

Russie. — *Société des Ingénieurs civils Russes* M. SCMOËLLING, Ingénieur civil, à St-Petersbourg.

Pologne Russe. — *Ville de Varsovie.* — M. FELIKS RYCERSKY, Ingénieur civil, Ancien élève de l'École centrale des Arts et Manufactures, à Paris, Membre de la Société des Ingénieurs civils de France, membre de la Société technique de Varsovie et membre de la Société d'encouragement de l'Industrie et du Commerce russe, section de Varsovie, à Varsovie.

M. SZIZENIOWSKI, Ingénieur, chef du Laboratoire mécanique.

Suisse. — *Chemins de fer Jura-Simplon* M. ELSKES, Ingénieur principal à Lausanne.

Union des chemins de fer suisses. — M. MUNSTER, Ingénieur adjoint à l'Ingénieur en chef de la voie.

SUBVENTIONS ATTRIBUÉES

NOMS DES DONATEURS	SOMMES VERSÉES	
	FR	C
Ministère des Travaux Publics.	5.980	»
Ministère de la Marine	3.000	»
Conseil Général de la Seine.	300	»
Chemins de fer de l'État.	100	»
Association des Conducteurs de Travaux Publics du Portugal.	50	»
— des Propriétaires d'appareils à vapeur du Nord de la France.	500	»
— Parisienne des Propriétaires d'appareils à vapeur.	100	»
M. Bayliss à Belmont Nortified (Grande-Bretagne).	50	»
MM. Berthelot et Cie.	100	»
MM. Biétreix Leflaive et Cie.	270	»
M. le Général Borius	50	»
M. Brenier (Président de la Chambre de Commerce de Grenoble).	200	»
MM. Brunon et Vallette	139	40
M. Brustlein	50	»
Carnegie Steel Company à Londres.	500	»
Chambre de Commerce de Paris (M. le Président).	50	»
— Syndicale des Fabricants de ciment (M. le Président).	500	»
MM. Claudinon et Cie (Compagnie des Forges et Aciéries du Chambon Feugerolles).	100	»
M. Colby Albert Ladd.	50	»
Compagnie de Fives-Lille pour Constructions mécaniques et entreprises.	1.000	»
— des cuivres d'Orford (États-Unis).	1.000	»
— des Établissements Lazare Weiller	75	»
— des Forges de Châtillon-Commentry et Neuves-Maisons.	4.000	»
— des Hauts-Fourneaux, Forges et Aciéries de la Marine et des Chemins de fer.	1.300	45
— des Mines, Fonderies et Forges d'Alais.	200	»
— des Tramways de l'Est Parisien.	500	»
— Française de Matériel de Chemins de fer.	200	»
— Française des Métaux.	500	»
— Générale de Traction.	2.000	»
— Générale des Omnibus de Paris.	100	»
— Nationale des tubes à Pittsburg (États-Unis).	1.000	»
MM. Daydé et Pillé.	258	50
M. Debray	50	»
MM. Delaunay, Belleville et Cie.	1.000	»
M. Diar Ordener y Escandon, Général de brigade, à Madrid.	50	»
Direction des Ateliers de Construction des Chemins de fer à Budapest.	50	»
MM. Dujardin et Cie, à Lille.	500	»
MM. Elwell et Seyrig	68	50
M. Fayol.	50	»
MM. Gleize Hallier Bossière et Cie, au Havre.	85	»
M. Greiner, à Seraing (Belgique).	50	»
M. Grosdidier.	50	»
M. Guillotin.	50	»
M. Haton de la Goupillière.	100	»
MM. Jacob Holtzer et Cie	200	»
M. Howe, à New-York.	50	»
<i>A reporter.</i>	26.576	85

NOMS DES DONATEURS		SOMMES VERSÉES	
		FR	C
	<i>Report.</i>	26.576	85
MM. G. Larivière et Cie, Ch. Fouinat.		136	»
MM. Marrel frères, à Rive-de-Gier.		3.380	»
MM. Mathelin et Garnier.		500	»
Metallgesellschaft, à Francfort-sur-le-Mein.		250	»
Metallurgische Gesellschat, à Francfort-sur-le-Mein		250	»
M. Michaëlis, à Berlin.		100	»
MM. Moisant Laurent Savey et Cie.		200	»
M. Morel.		100	»
MM. J. et A. Niclausse.		500	»
MM. Augustin Normand et Cie.		112	50
M. Ernest Polonceau.		100	»
M. Rateau		45	»
M. Ricour.		100	»
MM. de Saintignon et Cie		200	»
MM. Sautter Harlé et Cie		33	75
MM. Schneider et Cie.		2.000	»
MM. Sellers et Cie, à Philadelphie.		50	»
M. Alexander Siemens, à Londres		50	»
Société Anonyme de Commentry, Fourchambault et Decazeville.		700	»
— — — de Constructions de Levallois-Perret.		200	»
— — — de Construction des Batignolles.		500	»
— — — de Travaux en Ciment.		56	25
— — — des Aciéries de France.		500	»
— — — des Aciéries de Longwy.		500	»
— — — des Aciéries et Forges de Firminy.		3.000	»
— — — des Aciéries, Hauts-Fourneaux et Forges de Trignac.		200	»
— — — des Ateliers et Chantiers de la Loire.		200	»
— — — des Chantiers et Ateliers de la Gironde.		99	30
— — — des Ciments de Laitier de Donjeux.		100	»
— — — des Ciments Français de Boulogne-sur-Mer.		1.200	»
— — — des Fonderies et Laminoirs de Biache-Saint-Vaast.		50	»
— — — des Forges de Vireux Molhain.		75	»
— — — des Forges et Aciéries de Commercy.		500	»
— — — des Forges et Aciéries du Nord et de l'Est.		500	»
— — — des Forges et Chantiers de la Méditerranée.		500	»
— — — des Hauts-Fourneaux, Forges et Aciéries de Denain et Anzin.		1.500	»
— — — des Hauts-Fourneaux, Forges et Aciéries de Pompey.		1.000	»
— — — des Mines et Fonderies de zinc de la Vieille-Montagne.		42	40
— — — des Ponts et Travaux en fer		200	»
— — — Industrielle des Téléphones.		500	»
— — — Industrielle des Établissements Arbel.		100	»
— — — Le Nickel.		402	»
— — — des Anciens Élèves des Écoles Nationales d'Arts et Métiers.		100	»
— — — Électro-métallurgique Française, usine à Froges (Isère).		500	»
— — — Française d'Électro-métallurgie, usine à Dives (Calvados).		500	»
— — — Générale et Unique des Ciments de la Porte de France, à Grenoble.		1.500	»
— — — Métallurgique du Périgord.		100	»
Union Syndicale des Fournisseurs du bâtiment.		100	»
M. le Professeur Unwin, à Londres.		50	»
M. Viallet.		100	»
MM. Vicat et Cie		400	»
MM. de Wendel et Cie, à Jœuf (Meurthe-et-Moselle).		1.000	»
TOTAL.		51.659	05

EXPOSITION UNIVERSELLE DE 1900

CONGRÈS INTERNATIONAL DES MÉTHODES D'ESSAI

DES MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION

Tenu à Paris du 9 au 16 Juillet 1900

LISTE NOMINATIVE DES MEMBRES ADHÉRENTS

FRANCE ET COLONIES FRANÇAISES

MM.

- ADAM, Ingénieur des Ponts et Chaussées, Ingénieur du Matériel et de la Traction à l'Administration des Chemins de fer de l'État, 42, rue de Châteaudun, Paris.
- ADENOT, Directeur des Aciéries d'Imphy (Nièvre).
- AGUILLON, Inspecteur général des Mines, Vice-Président du Congrès International des Méthodes d'essai, Délégué du Ministère des Travaux Publics au Congrès, 246, boulevard Saint-Germain, Paris.
- ALBY (AMÉDÉE), Ingénieur des Ponts et Chaussées, 22, place Malesherbes, Paris.
- ALEXANDRE, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Secrétaire du Conseil général des Ponts et Chaussées, Membre de la Commission Française des méthodes d'essai et de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, 18, rue Desbordes-Valmore, Paris.
- ANSTETT (F.), Chef du laboratoire d'essai de la Ville de Paris, 16, rue Ernest-Renan, Paris.
- ANTHONI (GUSTAVE), Ingénieur Conseil, 17, avenue Niel, Paris.
- ARBEL (PIERRE), Président du Conseil d'Administration de la Société Anonyme Industrielle des Établissements Arbel, 3, rue Vignon, Paris.
- ARQUEMBOURG, Ingénieur Délégué de l'Association des Industriels du Nord de la France, 33, boulevard Bigo-Danel, à Lille (Nord).
- ARTIGNAN, Ingénieur, 51, rue de la République, à Saint-Étienne (Loire).
- Association des Propriétaires d'Appareils à vapeur du Nord de la France*, 11, rue Faidherbe, à Lille (Nord).

Association Parisienne des Propriétaires d'Appareils à vapeur, 66, rue de Rome, Paris.

AUTISSIER (A.), Ingénieur, Directeur gérant des Ardoisières de Rochefort-sur-Terre (Morbihan).

BABINET (J.-A.), Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, 5, rue Washington, Paris.

BACLÉ (Louis), Ingénieur civil des Mines, Membre de la Commission Française des méthodes d'essai et de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Secrétaire général adjoint du Congrès international des méthodes d'essai, 57, rue de Châteaudun, Paris.

BAFFERT, Ingénieur de 1^{re} classe, Secrétaire du Directeur du matériel au Ministère de la Marine, Délégué du Ministère de la Marine au Congrès International des Méthodes d'essai, 2, rue Royale, Paris.

BAILLOUD (C.), 14, rue de Saint-Petersbourg, Paris.

BAIRE (G.), Ingénieur à la Société des ciments français, membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, 32, rue de Joinville, à Boulogne-sur-Mer (Pas-de-Calais).

BAR (JEAN), à Rantigny (Oise).

BARADE, Directeur de la Société Industrielle d'emboutissage à la Plaine Saint-Denis, 37, rue Circulaire, à Villemomble (Seine).

BARBA (JOSEPH), ancien Ingénieur du Génie maritime, ancien Ingénieur en chef des usines du Creusot, Membre de la Commission française des méthodes d'essai et de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Vice-Président du Congrès international des méthodes d'essai, 28, boulevard Gambetta, à Saint-Brieuc (Côtes-du-Nord).

BARON (MAURICE), Ingénieur des Arts et Manufactures, à Deville-lès-Rouen (Seine-Inférieure).

BARTAUMIEUX (CHARLES-VICTOR), Architecte Expert, Membre de la Société Centrale des Architectes, 66, rue de La Boétie, Paris.

BARTHE (ÉMILE), Administrateur-délégué de la Société métallurgique du Périgord, 43, rue de Clichy, Paris.

BATARD-RAZELIÈRE, Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

BAUCHAL, Ingénieur des Ponts et Chaussées, Ingénieur principal, Sous-chef du service de la voie à la Compagnie des Chemins de fer de l'Ouest, 14, rue La Bruyère, Paris.

BAUCHÈRE, Directeur technique de la Société des Ciments français, à Boulogne-sur-Mer.

BAUDRY (CHARLES), Ingénieur en Chef du matériel et de la traction de la Compagnie des Chemins de fer de Paris-Lyon-Méditerranée, 27, quai de la Tournelle, Paris.

BAUMANN (ADOLPHE), Ingénieur Civil, 12, cité Pelleport, Paris.

BAURET, Ingénieur à la Société des Hauts Fourneaux, Forges et Aciéries de Denain et Anzin, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, à Tenain (Nord).

BEAUCOUSIN, Ingénieur, représentant de MM. Niclausse, 24, rue des Ardennes, Paris.

BÉCARD (ANDRÉ), Ingénieur de la Compagnie de l'Ouest-Algérien, Chef des essais des matériaux à l'École centrale des Arts et Manufactures, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Secrétaire du Congrès international des méthodes d'essai, 2, rue de Miromesnil, Paris.

BECK (JOSEPH), Ingénieur, villa Mozart, 3, à Auteuil.

BEL (JEAN-MARC), Ingénieur-Conseil en matières de Mines, 4, place Denfert-Rochereau, Paris.

BELMÈRE (LUCIEN), Ingénieur de la Maison Dujardin et Cie de Lille (Moteurs à vapeur), 187, rue de Grenelle, Paris.

BENET (L.-V.), 21, rue Royale, Paris.

- BERGERON (P.-J.-JULES), Professeur à l'École Centrale, 157, boulevard Haussmann, Paris.
- BERRIER-FONTAINE, Directeur du Génie Maritime, Directeur de l'Établissement de la Marine Nationale, à Indret, par la Basse-Indre (Loire-Inférieure).
- BERTHELOT, Fabricant de ciment, à Grenoble (Isère).
- BERTHON (L.-A.), 51, rue de la Chaussée-d'Antin, Paris.
- BEUDIN (GUSTAVE), Ingénieur Civil, Directeur de la Société des Mines de Selenitza (Albanie), 8, rue Blanche, Paris.
- BIÉBERT (ALBERT-OTTO), 16 *bis*, rue Lauriston, Paris.
- BIED, Ingénieur à la Société Pavin de Lafarge, au Theil (Ardèche).
- BIÉTRIX, LEFLAIVE et C^{ie}, Forges et Ateliers de la Chaléassière, à Saint-Étienne (Loire).
- BIGILLION (MAURICE), Représentant de la Société « Le Nickel », 23, rue de la Chaussée-d'Antin, Paris.
- BIGOT (A.), 13, rue des Petites-Écuries, Paris.
- BILLA (J.-B.), Architecte, Délégué de la République de l'Équateur au Congrès International des Méthodes d'essai, 6, avenue des Sycomores, Paris-Auteuil.
- BILLAUD (PAUL), 11 *bis*, rue de Birague, Paris.
- BILLY (DE), Ingénieur au Corps National des Mines, 73, rue de Courcelles, Paris.
- BISEAU (CHARLES), 27, rue Vital, Paris.
- BOCQUET (JULES-ARMAND), Ingénieur en Chef de l'Association Normande pour prévenir les accidents du Travail, 3, route de Neufchâtel, à Boisguillaume-lès-Rouen (Seine-Inférieure).
- BODIN, Ingénieur des Arts et Manufactures, Professeur à l'École Centrale des Arts et Manufactures, Membre de la Commission Française des méthodes d'essai et de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, 47, rue Saint-Ferdinand, Paris.
- BOELL, Ingénieur au Corps National des Mines, Ingénieur adjoint à l'Ingénieur en chef du Matériel et de la Traction des Chemins de fer de l'État, 136, boulevard Raspail, Paris.
- BOËLLE (EMMANUEL), Ingénieur civil, à Jouet-sur-l'Aubois (Cher).
- BOGHOS PACHA NUBAR, 12, avenue du Trocadéro, Paris.
- BOISGROLIER (DE), Directeur des Usines de Mazières, à Bourges (Cher).
- BONET (PAUL), Ingénieur en Chef de l'Association des Propriétaires d'appareils à vapeur du Nord de la France, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, 248, rue de Solférino, à Lille (Nord).
- BONNAUD (ALBERT), Ingénieur des Arts et Manufactures, Représentant de la Société des Aciéries et Forges de Firminy, 16, cité d'Antin, Paris.
- BONNET, Ingénieur des Ponts et Chaussées, Ingénieur en Chef adjoint au Directeur de la Compagnie des Chemins de fer de l'Ouest, 106, boulevard de Courcelles, Paris.
- BONNET (EDOUARD), Ingénieur des Arts et Manufactures, 21, place Bellecour, à Lyon (Rhône).
- BOREL (CHARLES), rue Saint-Laurent, 42, à Grenoble (Isère).
- BORIUS (le général), Président du Comité technique du génie au Ministère de la Guerre, Vice-Président de la Commission française des méthodes d'essai des matériaux de construction et Vice-Président du Congrès international des méthodes d'essai, 92, boulevard Raspail, Paris.
- BORJA DE MOZOTA, Administrateur du Bureau Veritas, Membre du Conseil supérieur de la Marine Marchande, 8, place de la Bourse, Paris.
- BORSCHNECK (ÉMILE), Capitaine du génie, Établissement de Chalais-Meudon (Seine-et-Oise).
- BOULENGER, Directeur de la Faïencerie, à Choisy-le-Roi (Seine).
- BOURGNEUF, Général d'artillerie, Membre de la Commission Française des méthodes d'essai, 1, place Saint-Thomas-d'Aquin, Paris.

- BOURRY (C.-E.), Ingénieur des Arts et Manufactures, Membre de la Commission Française des méthodes d'essai et de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, 82, rue du Rocher, Paris.
- BOUSQUET (DU), Ingénieur en chef du matériel et de la traction à la Compagnie des Chemins de fer du Nord, 96, rue de Maubeuge, Paris.
- BOUTAN, Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées, 53, rue de Prony, Paris.
- BOUTTEVILLE (HENRI), Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Inspecteur Général des Travaux Publics des Colonies, 87, boulevard Saint-Michel, Paris.
- BRENIER, Président de la Chambre de Commerce de Grenoble, 20, avenue de la Gare, à Grenoble (Isère).
- BRETON (LOUIS-ÉDOUARD), Aciéries de Marommes (Seine-Inférieure).
- BRIAUD (ALEXIS), 36, boulevard Saint-Germain, Paris.
- BROCARD, Ingénieur en Chef de la Marine, attaché au Service des Torpilles et de l'Électricité, Délégué du Ministère de la Marine au Congrès International des méthodes d'essai, 2, rue Royale, Paris.
- BROSSARD (J.), Ingénieur Civil, Entrepreneur de Travaux Publics, à Haïphong (Tonkin).
- BROSSELIN (PIERRE-GUSTAVE), Inspecteur général des Ponts et Chaussées, Vice-Président du Conseil Général des Ponts et Chaussées, 89, boulevard Malesherbes, Paris.
- BRÜLL (A.), ancien Président de la Société des Ingénieurs civils, Membre de la Commission Française des méthodes d'essai et de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Vice-président du Congrès international des méthodes d'essai, 117, boulevard Malesherbes, Paris.
- BRUNETON (GASTON), avenue Eugénie, à Saint-Cloud (Seine-et-Oise).
- BRUSSE (NICOLAS), Publiciste, 29, rue du Faubourg-Montmartre, Paris.
- BRUSTLEIN, Ingénieur-Directeur des Aciéries J. Holtzer et C^{ie}, Membre de la Commission Française des méthodes d'essai, à Unieux (Loire).
- BUQUET (PAUL), Directeur de l'École Centrale, rue Montgolfier, Paris.
- CAILLAUD (CHARLES), Ingénieur-constructeur, 4, boulevard Pont-Achard, à Poitiers (Vienne).
- CAILLIATTE (CHARLES), Ingénieur, Représentant de la Société Française de constructions mécaniques, 54, rue de Prony, Paris.
- CALLENS (EUGÈNE), Ingénieur civil des Mines, 2, rue de l'Intendance, à Toulon (Var).
- CALLIES, Ingénieur en chef de la Marine, 22, quai Claude-Bernard, à Lyon (Rhône).
- CAMBIER (ERNEST), Fabricant de ciment, à Pont-à-Vendin (Pas-de-Calais), Membre de l'Association Internationale pour l'essai des matériaux.
- CAMPION (E.), 21, rue Thiers, à Charleville (Ardennes).
- CANDLOT, Ingénieur civil, Directeur de la Compagnie parisienne des Ciments portland artificiels, Président de la Chambre syndicale des Chaux et Ciments, Membre de la Commission Française des méthodes d'essai et de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Secrétaire et Trésorier du Congrès international des méthodes d'essai, 18, rue d'Édimbourg, Paris.
- CARNOT (ADOLPHE), Inspecteur général des Mines, Membre de l'Institut, Directeur de l'École nationale supérieure des Mines, Membre de la Commission Française des méthodes d'essai et de l'Association Internationale pour l'essai des matériaux, 60, boulevard Saint-Michel, Paris.
- CARRA (ÉMILE-MARIUS), Ingénieur à la Faïencerie de Montereau (Seine-et-Marne).
- CAUVIN (ERNEST), 5, rue de Milan, Paris.
- CENTNER (A.), Ingénieur des Arts et Manufactures, 24, rue de Châteaudun, Paris.
- CHABERT (E.), 6, rue du Mont-Thabor, Paris.
- Chambre de Commerce de Paris*, 2, Place de la Bourse, Paris.
- Chambre syndicale des Fabricants de ciment de France*, à Neufchâtel (Pas-de-Calais).
- CHAMBRELENT (ALPHONSE), Ingénieur des Arts et Manufactures, 7, rue Gounod, Paris.

- CHANTAUME, Lieutenant-Colonel d'artillerie de marine, attaché à l'Inspection des fabrications, au Ministère de la Marine, Délégué du Ministère de la Marine au Congrès International des méthodes d'essai, 23, rue des Fossés-Saint-Jacques, Paris.
- CHAPOTEAUT (ÉMILE), à Plagny, près Nevers (Nièvre).
- CHARBONNIER, Capitaine au Laboratoire central de l'artillerie de marine, 11, boulevard Morland, Paris.
- CHARPY, Ingénieur principal aux usines Saint-Jacques, à Montluçon, Membre de la Commission Française des méthodes d'essai, et de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, à Montluçon (Allier).
- Chemins de fer de l'État* (Monsieur le Directeur), 42, rue de Châteaudun, Paris.
- CHORON (VICTOR-ALEXANDRE), Membre de la Commission française des Méthodes d'essai, 87, boulevard Saint-Michel, Paris.
- CHRIST (ÉMILE), Ingénieur, 15, rue de Milan, Paris.
- CLAMENS (JEAN-BAPTISTE), Ingénieur, 21, rue Godot-de-Mauroi, Paris.
- CLAUDINON et C^{ie} (Compagnie des Forges et Aciéries du Chambon-Feugerolles), au Chambon-Feugerolles (Loire).
- CLÉRAULT, Ingénieur en chef au Corps national des Mines, Ingénieur en chef du matériel de la traction, à la Compagnie des Chemins de fer de l'Ouest, Membre de la Commission française des Méthodes d'essai, 42, rue de Monceau, Paris.
- CLERCQ (comte LOUIS DE), Ingénieur-expert, 9, rue Charras, Paris.
- CLERMONT (MAURICE-ALBERT), Ingénieur des Arts et Manufactures, 84, rue de Longchamps, Paris.
- CLOT (M.), Contrôleur de Matériel à la Compagnie de Fives-Lille, 51, rue de Paris, à Valenciennes (Nord).
- CLUGNET (T.), Directeur de la Manufacture des tabacs, à Châteauroux (Indre), Membre de la Commission française des Méthodes d'essai.
- COBLENTZ (G.), Ingénieur des Ponts et Chaussées, à Honfleur (Calvados).
- COHADE (J.), Chef de Service des Aciéries et du Laboratoire de Chimie de MM. Schneider et C^{ie}, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Le Creusot (Saône-et-Loire).
- COIGNET (EDMOND), Ingénieur civil E. C. P., Membre de la Commission française des Méthodes d'essai, 20, rue de Londres, Paris.
- COLLET (ALBERT), Ingénieur civil, 41, rue Cardinet, Paris.
- Comité technique de l'Artillerie*, 1, Place Saint-Thomas-d'Aquin, Paris.
- COMPÈRE (CHARLES), Directeur de l'Association parisienne des propriétaires d'appareils à vapeur, 66, rue de Rome, Paris.
- Comité central des Houillères de France*, 55, rue de Châteaudun, Paris.
- Comité des Forges de France*, 32, boulevard Haussmann, Paris.
- Compagnie de Fives-Lille pour Constructions mécaniques et Entreprises*, 64, rue Caumartin, Paris.
- *des Établissements Lazare Weiller*, 29, rue de Londres, Paris.
 - *des Forges de Châtillon-Commentry et Neuves-Maisons*, 19, rue de la Rochefoucauld, Paris.
 - *des Hauts-fourneaux, Forges et Aciéries de la Marine et des Chemins de fer*, St-Chamond (Loire).
 - *des Mines, Fonderies et Forges d'Alais*, 7, rue Blanche, Paris.
 - *des Tramways de l'Est Parisien*, 12, rue Halévy, Paris.
 - *Française de Matériel de Chemins de fer*, 4, avenue du Coq, Paris.
 - *Française des Métaux*, 10, rue Volney, Paris.
 - *Française pour l'exploitation des procédés Thomson-Houston*, 10, rue de Londres, Paris.

Compagnie Générale de Traction, 20, rue de l'Arcade, Paris.

— *Générale des Omnibus de Paris*, 155, rue St-Honoré, Paris.

CONSIDÈRE (ARMAND), Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Correspondant de l'Institut de France, Membre de la Commission française des Méthodes d'essai et de l'Association internationale pour l'essai des matériaux à Quimper (Finistère).

CONTEVILLE (CHARLES), Ingénieur des Arts et Manufactures, « Villa-Fantaisie », Jurançon-Pau (Basses-Pyrénées).

CORCORAL (ARISTIDE), Ingénieur à Trouville-sur-Mer (Calvados).

COULBEUF (PAUL), Sous-chef de section à la Compagnie des Chemins de fer départementaux, à La Mastre (Ardèche).

CRAHAY DE FRANCHIMONT, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Adjoint à l'Inspection générale des travaux maritimes, au Ministère de la Marine, Délégué du Ministère de la Marine au Congrès international des Méthodes d'essai 2, rue Royale, Paris.

DAMOISEAU (GASTON-J.-B.), Ingénieur de la Société anonyme de locomotion électrique, 2 bis, rue du Bac, à Asnières (Seine).

DARDENNE (A.-E.), 141, rue de la Tour, Paris.

DARRACQ (PIERRE-ALEXANDRE), Ingénieur-constructeur, à Suresnes (Seine).

DARTEIN (FERNAND DE), 28, rue des Saints-Pères, Paris.

DAVIDSEN, Ingénieur-constructeur, 5, rue Fénélon, Paris.

DAYDÉ (HENRI), Ingénieur-constructeur, (Établissements Daydé et Pillé), 29, rue de Châteaudun, Paris.

DAYMARD (VICTOR), Ingénieur en chef de la Compagnie Générale Transatlantique, Membre de la Commission française des Méthodes d'essai, 47, rue de Courcelles, Paris.

DEBAUVE, Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées, à Beauvais (Oise).

DEBIZE (RENÉ), Directeur technique de l'usine de Montbard, Membre de la Commission française des Méthodes d'essai, à Montbard (Côte-d'Or).

DEBRAY (PAUL), Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, ancien Professeur du Cours de matériaux de construction et ancien Chef du Service des laboratoires à l'École Nationale des Ponts et Chaussées, Secrétaire général de la Commission française des méthodes d'essai, Secrétaire général du Congrès international des méthodes d'essai, 41, avenue Kléber, Paris.

DECAUVILLE (PAUL), Ingénieur civil, Ancien Sénateur, 15, avenue Matignon, Paris.

DEGUY, chez MM. Schneider et C^{ie}, 42, rue d'Anjou, Paris.

DELACHANAL (ÉLIE), Ingénieur en chef de la Chambre de commerce, 32, rue du Docteur Cousture, au Havre (Seine-Inférieure).

DELAMARCHE, Ingénieur civil des Mines, 5, boulevard Gambetta, à Grenoble (Isère).

DELAUNAY-BELLEVILLE et Cie, Chantiers de l'Ermitage, à Saint-Denis (Seine).

DELMAS, Ingénieur principal aux Usines du Creusot, au Creusot (Saône-et-Loire).

DEMENGÉ (ÉMILE), Ingénieur civil, 89, avenue de Villiers, Paris.

DEMMLER, Administrateur-Directeur de la Société française d'Électro-Métallurgie, 11, place de la Madeleine, Paris.

DENFER (JULES), Membre de la Commission française des Méthodes d'essai, à Champigny (Seine).

DESFONTAINES (MARIUS), Industriel, à Saint-Léger-sur-Dheune (Saône-et-Loire).

DESHAYES (VICTOR), Ingénieur civil des Mines, 79, rue Claude-Bernard, Paris.

DESJUZEUR (MICHEL), Ingénieur, 47, Cours du Midi, à Lyon (Rhône).

DESLANDRES (HENRI-JULES), Ingénieur des Ponts et Chaussées, Membre de la Commission française des Méthodes d'essai et de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, 34, rue Hamelin, Paris.

- DESOUCHES, DAVID et Cie, à Pantin (Seine).
- DESROZIERS, Ingénieur et Électricien, Expert près les Tribunaux, 10, avenue Frochot, Paris.
- DETROIS (ANDRÉ), Ingénieur des Arts et Manufactures, 28, rue Vital, Paris.
- DEVAL (LUCIEN), Directeur en retraite du Laboratoire municipal d'essais des matériaux de Paris, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, 5, rue Brézin, Paris.
- DIGEON et fils aîné, 15, rue du Terrage, Paris.
- DOUANE (MAURICE), 23, avenue Parmentier, Paris.
- DREUX (A.), Administrateur-directeur de la Société anonyme des Aciéries de Longwy, à Mont-Saint-Martin (Meurthe-et-Moselle).
- DREYFUS, Administrateur de la Société Électro-Métallurgique française, à Froges (Isère).
- DREYFUS, Ingénieur des Ponts et Chaussées, Secrétaire du Congrès international des méthodes d'essai, 15, boulevard Saint-Martin, Paris.
- DRU, 28, boulevard Malesherbes.
- DUCROCQ, Ingénieur des Ponts et Chaussées, quai Lamandé, au Havre (Seine-Inférieure).
- DUFILHOL (E.) et Fils, Négociants, Cours des Quais, à Lorient (Morbihan).
- DUJARDIN, Ingénieur-constructeur, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, rue Brûle-Maison, à Lille (Nord).
- DUMAS (LOUIS), Secrétaire général de la Société anonyme de Commentry-Fourchambault et Decazeville, 16, place Vendôme, Paris.
- DUMEZ (A.), Ingénieur-constructeur, 15, place de la Madeleine, Paris.
- DUMOLARD (FÉLIX), 6, rue Hector-Berlioz, à Grenoble (Isère).
- DUMON (MICHEL), Ingénieur, Directeur des Hauts Fourneaux de l'usine de la Société de Commentry-Fourchambault, à Montluçon (Allier).
- DUMONTANT (LOUIS), Ingénieur-constructeur, Administrateur de la succursale de la Banque de France, villa Dany-Saint-Maurice, à Nice (Alpes-Maritimes).
- DUMUR (ALFRED), Ingénieur des Ponts et Chaussées, à Forcalquier (Basses-Alpes).
- DUPUIS, Administrateur-Délégué de la Compagnie française de Matériel de Chemins de fer, 4, avenue du Coq, Paris.
- DURANT, Ingénieur civil, Membre de la Commission française des méthodes d'essai et de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, 4, rue des Carmes, Paris.
- DURAND-CLAYE, Inspecteur général des Ponts et Chaussées en retraite, Vice-Président de la section B de la Commission française des méthodes d'essai des matériaux de construction et Vice-Président du Congrès international des méthodes d'essai, 81, rue des Saints-Pères, Paris.
- DURAY, Architecte de la Compagnie générale de traction, 24, boulevard des Capucines, Paris.
- DURENNE (JEAN-FRANÇOIS), 4, rue Legendre, Paris.
- † DURŒUX (ADOLPHE), Ingénieur des Arts et Manufactures, à Aulnay-les-Bondy (Seine-et-Oise).
- DUSAC (LOUIS), à Aincourt, par Fontenay-Saints-Pères (Seine-et-Oise).
- DUTOCCQ, 45, avenue de Neuilly, Paris.
- DUTREUX (AUGUSTE), Ingénieur aux Forges de Châtillon-Commentry et Neuves-Maisons, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, 52, rue Jean-Lamour, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).
- DUTREUX (TONY), Ingénieur civil, Vice-Président du Conseil d'Administration des Chemins de fer Guillaume-Luxembourg, Administrateur des Aciéries de Dudelange, de Burbach, de la Banque internationale de Luxembourg, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, à la Celle-Saint-Cloud (Seine-et-Oise).
- DUVAL-PIHET (NICOLAS), constructeur, 68, rue Neuve-Popincourt, Paris.

École d'application du Génie maritime, 140, boulevard du Montparnasse, Paris.

ESCALLE, Directeur technique des Usines Isbergues (Société des Aciéries de France), 29, quai de Grenelle, Paris.

EUVERTE, Ingénieur civil, ancien Directeur des Usines de Terrenoire, Membre honoraire du Comité des Forges de France, Vice-Président du Congrès international des méthodes d'essai, 6, rue de Seine, Paris.

EYNAUD, Inspecteur général du Génie maritime au Ministère de la Marine, 2, rue Royale, Paris.

EYROLLES, Ingénieur, Directeur de l'École spéciale de Travaux publics, 12, rue Du Sommerard, Paris.

FAUCHEUR (EDMOND), Président de la Chambre de commerce de Lille, 13, square Rameau, à Lille (Nord).

FAYOL (HENRI), Administrateur, Directeur général de la Société de Commentry-Fourchambault et Decazeville, 16, place Vendôme, Paris.

FAYOLLE (E.-A.), Directeur du journal « Le Ciment », 20, rue Turgot, Paris.

FERET (LÉON-RENÉ), Chef du Laboratoire des Ponts et Chaussées, à Boulogne-sur-Mer, Membre de la Commission française des méthodes d'essai et de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Secrétaire du Congrès international des méthodes d'essai, à Boulogne-sur-Mer.

FILLARD (ANATALIS), Ingénieur-industriel, fours au coke pour la céramique, à Fresnes, par Annet (Seine-et-Marne).

FLAMANT (ALFRED), Inspecteur général des Ponts et Chaussées, Membre de la Commission française des méthodes d'essai, à Alger (Algérie).

FLEURENT, Professeur de Chimie industrielle au Conservatoire National des Arts et Métiers et Membre de la Commission technique, Délégué du Ministère du Commerce, de l'Industrie, des Postes et des Télégraphes, 292, rue Saint-Martin, Paris.

FOCQUÉ, Ingénieur au Corps des Mines, Sous-Directeur de la Compagnie générale de traction, 20, rue de l'Arcade, Paris.

FOCQUET (PAUL), Ingénieur, Directeur de la Société des Forges de Vireux-Molhain (Ardennes).

FONDS-LAMOTHE (DE), Ingénieur des Établissements Lazare-Weiller, 29, rue de Londres, Paris.

FONTBONNE (HENRI), 26, avenue de Tourville, Paris.

FONTÈS (JOSEPH), Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, 3, rue Romiguière, à Toulouse (Haute-Garonne).

FORGUE (GUSTAVE), Ingénieur civil, Professeur à l'École centrale, 54, avenue de la République, Paris.

FORQUENOT (LOUIS), 1, rue des Basserons, à Montmorency (Seine-et-Oise).

FORTIN-HERMANN (LOUIS-ADOLPHE), Ingénieur civil, 138, boulevard du Montparnasse, Paris.

FOULD (ALPHONSE), Président et Administrateur délégué de la Société anonyme des Hauts Fourneaux, Forges et Aciéries de Pompey (Meurthe-et-Moselle).

FOURNIÉ (VICTOR), Inspecteur général des Ponts et Chaussées, 9, rue du Val-de-Grâce, Paris.

FRANCHE (CH.), Ingénieur chimiste, 7, rue Corneille, Paris.

FRÉMINVILLE (DE), Ingénieur des Arts et Manufactures, Sous-Directeur des Établissements Panhard et Levassor, Secrétaire du Congrès international des méthodes d'essai, 90, rue d'Assas, Paris.

FRÉMONT (CHARLES), Ingénieur-constructeur, Membre de la Commission française des méthodes d'essai et de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, 124, rue de Clignancourt, Paris.

FROSSARD (DANIEL), à Orthez (Basses-Pyrénées).

- GALLAND (CHARLES), Ingénieur civil, 16, rue Saint-Jean, à Houilles (Seine-et-Oise).
- GALY-ACHÉ, Capitaine d'artillerie au Laboratoire* central de l'artillerie de marine, Membre de la Commission française des méthodes d'essai, Secrétaire du Congrès international des méthodes d'essai, 37, boulevard Henri IV, Paris.
- GANDILLOT, Ancien Capitaine d'artillerie, Secrétaire de la Commission Française des méthodes d'essai, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, 9, rue de Villersexel, Paris.
- GARNIER (HUBERT), Ingénieur civil, 26, rue Boursault, Paris.
- GATEAU (EDGARD), Ingénieur-constructeur, 30, rue des Alouettes, Paris.
- GAUTHIER (ÉMILE), Ingénieur chef du service central du matériel et de la traction, à la Compagnie des Chemins de fer de l'Ouest, 44, rue de Rome, Paris.
- GAUTHIER (PAUL), Conservateur du Musée Lecoq, attaché au Service de la carte géologique de France, à Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme).
- GAY, Inspecteur des Usines de la Société industrielle des téléphones, 25, rue du Quatre Septembre, Paris.
- GELDOVE, Secrétaire général de la Société des Mines et Fonderies de Pontgibaud, 3, rue des Mathurins, Paris.
- GENNES (ADOLPHE-ANDRÉ DE), Ingénieur civil des Mines, Conseil en matières de Mines, Secrétaire du Congrès international des méthodes d'essai, 80, rue Taitbout, Paris.
- GEORGE (LÉOPOLD), Architecte, 109, boulevard Beaumarchais, Paris.
- GIBERT (EUGÈNE-LOUIS), Chef d'escadron d'artillerie, Directeur de l'artillerie, 23, rue de Siam, à Brest (Finistère).
- GLEIZE, HALLIER, BOSSIÈRE et C^e, Constructeurs, au Havre (Seine-Inférieure).
- GOUGELET, 76, quai Jemmapes, Paris.
- GOUVY (ALEXANDRE), 15, avenue Matignon, Paris.
- † GRAS (le Général), Président du Comité technique de l'artillerie, Inspecteur général permanent des Fabrications de l'artillerie, Président de la section A de la Commission française des méthodes d'essai des matériaux de construction, Vice-Président du Congrès international des méthodes d'essai, 1, place Saint-Thomas-d'Aquin, Paris.
- GROBOT (GUSTAVE), Ingénieur civil des Mines, Directeur des Aciéries d'Assailly (Compagnie des Hauts Fourneaux, Forges et Aciéries de la Marine et des Chemins de fer), à Assailly, près Lorette (Loire).
- GROSDIDIER (RENÉ), Vice-Président de la Société industrielle de l'Est, à Commercy (Meuse).
- GUÉRARD (ADOLPHE), Inspecteur général des Ponts et Chaussées, Membre de la Commission Française des méthodes d'essai, et de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, 8, rue Picot, à Paris.
- GUÉRARD, Ingénieur à la Compagnie des Chemins de fer d'Orléans, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Secrétaire du Congrès international des méthodes d'essai, 260, rue Saint-Jacques, à Paris.
- GUIBERT, 15, rue Mansart, à Paris.
- GUILLAUME, Ingénieur au Bureau international des Poids et Mesures, pavillon de Breteuil, à Sèvres (Seine-et-Oise).
- GUILLEMIN (GEORGES), Ingénieur métallurgiste, Membre de la Commission Française des méthodes d'essai et de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, 16, rue Du Sommerard, à Paris.
- GUILLET, Ingénieur, 10 ou 17, rue Flahaut, à Boulogne-sur-Mer (Pas-de-Calais).
- GUILLOTIN, ancien Président du Tribunal de Commerce de la Seine et du Syndicat des entrepreneurs de travaux publics de France, Vice-Président du Congrès international des méthodes d'essai, 77, rue de Lourmel, à Paris.

- HARTMANN, Lieutenant-colonel d'artillerie, Membre du Conseil d'administration et Président de la Commission technique du Conservatoire National des Arts et Métiers, Membre de la Commission Française des méthodes d'essai, Délégué du Ministère du Commerce, de l'Industrie, des Postes et des Télégraphes au Congrès International des méthodes d'essai, Directeur de l'Atelier de construction de Puteaux, à Puteaux (Seine).
- HATON DE LA GOUPILLIÈRE, Membre de l'Institut, Inspecteur général des Mines, Vice-Président du Conseil général des Mines, Directeur honoraire de l'École Nationale supérieure des Mines, Vice-Président de la Commission Française des méthodes d'essai, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Président du Congrès international des méthodes d'essai, 56, rue de Vaugirard, à Paris.
- HEITZ (PAUL), 29, rue Saint-Guillaume, à Paris.
- HENRY (H.), Ingénieur civil des Mines, Membre de la Commission Française des méthodes d'essai et de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, 5, boulevard Magenta, à Paris.
- HENRY (EDMOND-CHARLES-LOUIS), Ingénieur civil, ancien élève de l'École Polytechnique, 6, rue Clauzel, à Paris.
- HÉROULT (PAUL), Administrateur de la Société Électro-Métallurgique française, à Froges (Isère).
- HEURTELOUP (A.), Ingénieur en chef à la Compagnie des Forges et Aciéries de Saint-Chamond, à Saint-Chamond (Loire).
- HILLAIRET (ANDRÉ), Ingénieur des Arts et Manufactures, 22, rue Vicq-d'Azir, à Paris.
- † HIRSCH, Inspecteur général honoraire des Ponts et Chaussées, Professeur au Conservatoire National des Arts et Métiers, Membre de la Commission Française des méthodes d'essai et de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Vice-Président du Congrès international des méthodes d'essai, 1, rue de Castiglione, à Paris.
- HOLLARD (Henri), Ingénieur à la Société des Forges et Chantiers de la Méditerranée, 1, rue Vignon, à Paris.
- HOLTZER (MARCEL), Maître de forges, à Unieux (Loire).
- HOUPPE, 9, rue du Dôme, à Paris.
- HUGOT (A.), Directeur général de la Société anonyme des Aciéries et Forges de Firminy, à Firminy (Loire).
- HUGOT (ADOLPHE, fils), ancien Élève de l'École Polytechnique, ex-capitaine du génie, Sous-Directeur des Aciéries et Forges de Firminy (Loire).
- HUGUET, Ingénieur en chef, Attaché à la Direction des Chemins de fer de l'État, 42, rue de Châteaudun, à Paris.
- HUILLIER (F.), Ingénieur principal des ateliers du matériel et de la traction à la Compagnie des Chemins de fer de l'Ouest, 44, rue de Rome, à Paris.
- HUIN (ERNEST), Directeur du Génie maritime, Adjoint à l'Inspection générale du Génie maritime, Délégué du Ministère de la Marine au Congrès international des méthodes d'essai, 94, rue de Rennes, à Paris.
- JACQUESSON (ALBERT-ÉDOUARD), Ingénieur associé de la maison Falcot frères, à Lyon-Vaise, 7, rue de Bonnel, à Lyon (Rhône).
- JACQUIN, Secrétaire général de la Société métallurgique du Périgord, 43, rue de Clichy, à Paris.
- JAECK (G.), Représentant de la Société générale meulière, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, à la Ferté-sous-Jouarre (Seine-et-Marne).
- JANET (ARMAND), ancien Ingénieur de la marine, 29, rue des Volontaires, à Paris.
- JARRY, Docteur ès sciences, Usines Lazare Weiller, au Havre (Seine-Inférieure).
- JASSERON, Sous-Intendant militaire de 1^{re} classe, Directeur du Dépôt des modèles et de l'Usine d'essai de Billancourt, Délégué du Ministère de la Guerre au Congrès international des méthodes d'essai, 8, boulevard des Invalides, à Paris.
- JOLY (P.-A.), Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, 11, rue du Printemps, à Paris.

- JOLY (G. DE), Ingénieur des Ponts et Chaussées, 3, rue de la Terrasse, à Paris.
- JOMIER, Ingénieur des Ponts et Chaussées, à Cherbourg (Manche).
- JONTE (ÉMILE), Ingénieur civil des Mines, 42, rue Sedaine, à Paris.
- JOUBERT, Ingénieur des Arts et Manufactures, 46, boulevard Magenta, à Paris.
- JOUGLET (A.), Ingénieur chargé des travaux de l'École Nationale d'Arts et Métiers, à Aix-en-Provence (Bouches-du-Rhône).
- JOZON, Conseiller d'État, Directeur des Routes, de la Navigation et des Mines, au Ministère des Travaux Publics, Délégué du Ministère des Travaux Publics au Congrès international des méthodes d'essai, 246, boulevard Saint-Germain, à Paris.
- JUNG, Directeur des Usines de la Société industrielle des Téléphones, 25, rue du Quatre-Septembre, Paris.
- KERN (ÉMILE), Ingénieur civil des Mines, 135, rue de Belleville, à Paris.
- KLEIN (L.), Chef du Dépôt des instruments et de l'atelier d'essais du Laboratoire de l'École Nationale des Ponts et Chaussées, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, 3, avenue d'Iéna, à Paris.
- KLEINE, Directeur du Personnel et de la Comptabilité, au Ministère des Travaux Publics, Délégué du Ministère des Travaux Publics au Congrès international des méthodes d'essai, 246, boulevard Saint-Germain, à Paris.
- KOENIGS, Professeur de mécanique expérimentale à la Sorbonne, Membre de la Commission technique du Conservatoire National des Arts et Métiers, Délégué du Ministère du Commerce, de l'Industrie, des Postes et des Télégraphes au Congrès international des méthodes d'essai, Laboratoire de mécanique à la Sorbonne, Paris.
- KORDA (DÉSIRÉ), Ingénieur en chef à la Compagnie de Fives-Lille, 68, rue Caumartin, à Paris.
- KREUTZBERGER (FRÉDÉRIC-GUILLAUME), Ingénieur mécanicien, 140, rue de Neuilly, à Puteaux (Seine).
- LABORBE, Ingénieur de la Société des ciments et chaux, à Blanzky-les-Mines (Saône-et-Loire), Fabricant de ciment à Jouet-sur-l'Aubois (Cher).
- LAFORGUE (GABRIEL), Ingénieur à la Société des Aciéries de France, 29, quai de Grenelle, à Paris.
- LAFRANCE (VICTOR-JEAN), Ingénieur à la Compagnie du canal de Suez, 20, cité des Fleurs, à Paris.
- LAMBERT aîné, Fabricant, à Cormeilles-en-Parisis (Seine-et-Oise).
- LAMBOI (JOSEPH-PIERRE-GASTON), 41, rue de Loos, à Lille (Nord).
- LANNA, Inspecteur du Matériel fixe à la Compagnie des Chemins de fer d'Orléans, 1, place Valhubert, à Paris.
- LA RIVIÈRE (G.), Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, 7, place Simon-Vollant, à Lille (Nord).
- LARIVIÈRE (JULES-LÉON-PIERRE), Ingénieur civil des Mines, Membre de la Commission Française des méthodes d'essai et de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, 170, quai Jemmapes, à Paris.
- LASSERRE, 8 bis, rue Martel, à Paris.
- LAUR (FRANCIS), Directeur de l'Écho des Mines et de la Métallurgie, 26, rue Brunel, à Paris.
- LAURENT, Directeur des Usines Lazare Weiller, au Havre (Seine-Inférieure).
- LAVAL, Ingénieur en chef, à la Compagnie générale de traction, 20, rue de l'Arcade, à Paris.
- LAVERNE, Ingénieur de la Société française d'Électro-Métallurgie, 11, place de la Madeleine, à Paris.
- LAVOCAT, Président de la Chambre syndicale des Fabricants de ciment Portland, Membre de la Commission Française des méthodes d'essai et de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, à Neufchâtel (Pas-de-Calais).

- LE BLANC, Ingénieur de la Voie, à la Compagnie des Chemins de fer de l'État, 42, rue de Châteaudun, à Paris.
- LEBLANC, Ingénieur en chef des services électriques à la Compagnie générale de traction, 20, rue de l'Arcade, à Paris.
- LE BLANT (E.), Inspecteur des chemins de fer de l'Est, Chef du Service des réceptions à la Compagnie des chemins de fer de l'Est, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, 168, rue Lafayette, à Paris.
- LE CHATELIER (ANDRÉ), Ingénieur en chef des Constructions Navales, Membre de la Commission Française des méthodes d'essai et de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, 331, rue Paradis, à Marseille (Bouches-du-Rhône).
- LE CHATELIER (HENRY), Ingénieur en chef des Mines, Professeur au Collège de France, et à l'École Nationale Supérieure des Mines, Membre de la Commission Française des méthodes d'essai et Membre du Comité Directeur de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, 73, rue Notre-Dame-des-Champs, à Paris.
- † LECHIEU, Colonel d'artillerie de marine, Directeur du Laboratoire central de la Marine, Membre de la Commission Française des méthodes d'essai des matériaux de construction, Délégué du Ministère de la Marine au Congrès international des méthodes d'essai, 10, avenue Alphand, à Saint-Mandé (Seine).
- LECLÈRE (A.), Ingénieur des Mines, 94, boulevard Raspail, à Paris.
- LEDERLIN (A.), à Thon-les-Vosges, par Épinal (Vosges).
- LEDUC (E.), Chimiste, chef du Laboratoire du Génie, 16, rue de Tivoli, à Boulogne-sur-Mer (Pas-de-Calais).
- LEFER (EUGÈNE), 66, boulevard de Strasbourg, à Paris.
- LEMAIRE, Directeur du Génie maritime, Vice-Président de la section A de la Commission Française des méthodes d'essai des matériaux de construction, Délégué du Ministère de la Marine au Congrès international des méthodes d'essai, 2, rue Royale, à Paris.
- LEMOINE (CHARLES-EDMOND), Ingénieur, Directeur des Forges de Paris (Société des Aciéries de France), 83, quai de Javel, à Paris.
- LEMONNIER (PAUL), Ingénieur civil des Mines, Représentant de la Société des Aciéries de Longwy, 80, rue Taitbout, à Paris.
- LEPRINCE-RINGUET (PAUL-ÉMILE), Ingénieur des Mines, 2, place Wagram, à Paris.
- LEROSEY (JULES), Colonel, Directeur du Génie à Marseille (Bouches-du-Rhône), Membre de la Commission Française des méthodes d'essai, Délégué du Ministère de la Guerre au Congrès international des méthodes d'essai.
- LESPINATS (VICTOR DE), Ingénieur civil des Mines, Administrateur des Forges de Châtillon, Commentry et Neuves-Maisons, 27, rue Victor-Hugo, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).
- LEUVRAIS (L.), Ingénieur des Arts et Manufactures, Directeur de l'usine de ciment Portland artificiel de Frangey, par Lézennes (Yonne).
- LEVAVASSEUR (ALPHONSE-FÉLIX), Ingénieur civil des Mines, 82, rue Brûle-Maison, à Lille (Nord).
- LÉVY (LÉON), Ingénieur en chef des Mines, Directeur général de la Compagnie des Forges de Châtillon, Commentry et Neuves-Maisons, Membre de la Commission Française des méthodes d'essai et de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Vice-Président du Congrès international des méthodes d'essai, 19, rue de la Rochefoucauld, à Paris.
- LHOMME (DELPHIN-ALBERT), Ingénieur en chef de 1^{re} classe des Constructions navales, au Ministère de la Marine, Membre du Conseil des travaux, Membre de la Commission Française des méthodes d'essai, 13, rue de l'Université, à Paris.
- LINDE (PAUL), Ingénieur, 60, rue de la Victoire, à Paris.
- LIOTIER (PIERRE-ERNEST), Administrateur de la Société de l'usine du François, au François (Martinique). Colonies françaises.
- LOCHERER, Ingénieur des Ponts et Chaussées, 45, rue Ampère, à Paris.

- LODIN, Ingénieur en chef des Mines, 16, rue Desbordes-Valmore, à Paris.
- LONQUÉTY (MAURICE), Ingénieur civil des Mines, 58, rue de Londres, à Paris.
- LOREAU (ALFRED-ISIDORE), ancien Président de la Société des Ingénieurs civils de France, 243, boulevard Saint-Germain, à Paris.
- LYON (MAX), Ingénieur civil des Mines, 83, avenue du Bois-de-Boulogne, à Paris.
- MAGNARD (PIERRE-ÉMILE), Maître de forges, à Fourchambault (Nièvre).
- MAHLER (P.), Ingénieur, Fondé de pouvoirs de la Société des Aciéries, Hauts Fourneaux et Forges de Trignac, 13, boulevard Haussmann, à Paris.
- MAIRE (ÉTIENNE), Ingénieur-Directeur de l'Association des propriétaires d'appareils à vapeur du Nord-Est, 11, rue de Talleyrand. 36, rue Buirette (bureaux), à Reims (Marne).
- MALISSART (CONRAD), Directeur de la Société anonyme d'Escaut et Meuse, à Anzin (Nord).
- MALLARD (PIERRE-PASCAL), Constructeur de grues à vapeur et électriques, grosse chaudronnerie, 33, quai de France, à Rouen (Seine-Inférieure).
- MANHÈS (PIERRE), Ingénieur, 3, rue Sala, à Lyon (Rhône).
- MARGAINE, Ingénieur des Ponts et Chaussées, 1, quai de la Joliette, à Marseille (Bouches-du-Rhône).
- MARGOT (M.), Ingénieur des Ponts et Chaussées, Adjoint à la Direction des chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée, Secrétaire du Congrès international des méthodes d'essai, 10, rue de la Pépinière, à Paris.
- MARIE (LÉON), Entrepreneur de Travaux publics, 15, passage Lathuille, à Paris.
- MARIÉ (GEORGES), Ingénieur chef de division des chemins de fer P.-L.-M. en retraite, lauréat de l'Académie des Sciences, 4, boulevard des Sablons, à Neuilly-sur-Seine (Seine).
- MARREL frères, Maîtres de forges, à Rive-de-Gier (Loire).
- MARSAUX (ANATOLE-VICTOR), Administrateur-directeur de la Société des Ponts et Travaux en fer, 93, rue Taitbout, à Paris.
- MARTENOT (AUGUSTE), ancien Administrateur de la Compagnie des Forges de Châtillon et Commentry, Château des Forges, à Commentry (Allier).
- MASSON (LÉON-NOEL), Ingénieur des Arts et Manufactures, Directeur du Laboratoire d'essais du Conservatoire National des Arts et Métiers, 292, rue Saint-Martin, à Paris.
- MATHELIN et GARNIER, Ingénieurs civils, Entrepreneurs de la distribution des eaux de la Ville de Paris, 26, rue Boursault, à Paris.
- MAUPEOU D'ABLEIGES (LE COMTE DE), Directeur des Constructions navales, à Lorient (Morbihan).
- MAZEROLLE, Ingénieur des Ponts et Chaussées, au Ministère de l'Agriculture, Délégué du Ministère de l'Agriculture au Congrès international des méthodes d'essai, 78, rue de Varenne, à Paris.
- MENGIN, Chef d'escadron d'artillerie, Directeur de l'Atelier de précision à la Section technique de l'artillerie, Membre de la Commission Française des méthodes d'essai, Délégué du Ministère de la Guerre au Congrès international des méthodes d'essai, 1, place Saint-Thomas-d'Aquin, à Paris.
- MENGIN-LECREULX, Inspecteur général des Ponts et Chaussées, Membre de la Commission Française des méthodes d'essai, 148, rue de Rennes à Paris.
- MERCERON-VICAT, Ancien Ingénieur des Ponts et Chaussées, Directeur de la Société Vicat et C^{ie}, à Grenoble (Isère), Président de la Chambre Syndicale des Fabricants de chaux et ciments du Sud-Est de la France, Membre de la Commission Française des méthodes d'essai et de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.
- MÉRIAT (PHILIPPE), Architecte, Délégué de la Perse au Congrès international des méthodes d'essai, 10, avenue Bugeaud, à Paris.
- MERKLEN (MARIE-JOSEPH-JULES), Ingénieur chargé des réceptions aux usines, à la Compagnie des chemins de fer de l'Ouest, 49, rue de Londres, à Paris.

- MESNAGER (A.), Ingénieur des Ponts et Chaussées, Professeur et Chef du service des Laboratoires à l'École Nationale des Ponts et Chaussées, Secrétaire général adjoint de la Commission Française des méthodes d'essai des matériaux de construction, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Secrétaire du Congrès international des méthodes d'essai, 182, rue de Rivoli, à Paris.
- MESUREUR (JULES), Président de la Société des anciens élèves des Écoles Nationales d'Arts et Métiers, 6, rue Chauchat, à Paris.
- MÉTAYER, Ingénieur, Chargé de cours à l'École centrale des Arts et Manufactures, 2, rue Rembrandt, Paris.
- MEUNIER, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Ingénieur en chef de la Voie et des Bâtiments, à la Compagnie des chemins de fer de l'État, 146, boulevard Raspail, à Paris.
- MEYER (JEAN), Directeur de la Société anonyme des Hauts Fourneaux, Forges et Aciéries de Pompey, à Pompey (Meurthe-et-Moselle).
- MICHAU, 47, rue Denfert-Rochereau, à Paris.
- MICHON (MATHIEU), Concessionnaire constructeur des chemins de fer d'intérêt local du Nord de la France, Membre de la Société des Ingénieurs Civils, 14, avenue de l'Observatoire, à Paris.
- MIGNOT (JOSEPH), chemin de Sainte-Yrénée, à Sainte-Foy-les-Lyon (Rhône).
- MIGNOT (ANDRÉ), Ingénieur civil des Mines, villa Montmorency, 4, avenue des Tilleuls, à Paris.
- MILLOT, Membre de la Commission Française des méthodes d'essai, et de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, place Descamps, à Fontainebleau (Seine-et-Marne).
- MILLOT (L.-A.), Industriel, Fabricant de ciment de Vassy et de Portland, 14 bis, boulevard Morland, à Paris.
- MIX (EDGAR W.), Ingénieur en chef de la Société des Établissements Postel-Vinay, 219, rue de Vaugirard, à Paris.
- MODELSKI, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, à La Rochelle (Charente-Inférieure).
- MOISANT, LAURENT, SAVEY et C^{ie}, Constructeurs de travaux métalliques, 20, boulevard de Vaugirard, à Paris.
- MOÏSE, Ingénieur en chef de la construction, à la Compagnie des chemins de fer de l'Ouest, 49, rue de Londres, à Paris.
- MONMERQUÉ (A.), Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, ancien Secrétaire de la Commission Française des méthodes d'essai, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, 71, rue de Monceau, à Paris.
- MONTARIOL (MARIE-JOSEPH-ESTIENNE DE), rue Claude-Bernard, à Puteaux (Seine).
- MONTGOLFIER (ADRIEN DE), Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Directeur général de la Compagnie des Hauts Fourneaux, Forges et Aciéries de la Marine et des Chemins de fer, à Saint-Chamond (Loire).
- MONGOLFIER (HENRI DE), Ingénieur principal à la Compagnie des Hauts Fourneaux, Forges et Aciéries de la Marine et des chemins de fer, à Saint-Chamond (Loire).
- MOREL, Architecte, 104, rue Saint-Dominique, à Paris.
- MOREL (AUGUSTE-JEAN-NICOLAS), Fabricant de plâtres et briques, Membre de la Commission Française des méthodes d'essai, 111, rue de Paris, à Montreuil-sous-Bois (Seine).
- MULLER, Fondeur en cuivre, Maison Muller et Roger, 108, avenue Philippe-Auguste, à Paris.
- MUNIER, Ingénieur-Constructeur, 28, quai Claude-le-Lorrain, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).
- MUNIER (JULES), à Frouard (Meurthe-et-Moselle).
- NICLAUSSE (JULES-PIERRE-ÉLIE), Constructeur de générateurs multitubulaires (J. et A. Niclausse, Société des générateurs inexplosibles, « brevets Niclausse »), 24, rue des Ardennes, à Paris.

- NICLAUSSE (ALBERT-GEORGES-LOUIS), Constructeur de générateurs (J. et A. Niclausse, Société des générateurs inéxplosibles, brevets Niclausse), 24, rue des Ardennes, à Paris.
- NIVET (J.-A.-B.), à Luxé (Charente).
- NOACK (H.), Ingénieur des Arts et Manufactures, 17 bis, rue de Pomereu, à Paris.
- NORMAND (AUGUSTIN et Cie), Constructeurs, 67, rue du Perrey, au Havre (Seine-Inférieure).
- NOUAILHAC-PIOCH, Ingénieur en chef du département de l'Ariège, à Foix (Ariège).
- OLIVIER (MARIUS-LOUIS), Ingénieur des Arts et Manufactures, 20, rue Saint-Ambroise, à Paris.
- OLLIVIER (A.), Ingénieur-Expert, 2, rue Manuel, à Paris.
- OLLIVIER (FLORENT-CASIMIR), Ingénieur civil des Mines, Constructeur-Mécanicien, 42, rue de Châlons, à Paris.
- OLRY, Ingénieur en chef des Mines, Directeur de l'Association des propriétaires d'appareils à vapeur du Nord, Ancien rapporteur de la Commission centrale des machines à vapeur, Membre de la Commission Française des méthodes d'essai et de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, 20, rue de l'Arcade, à Paris.
- OSMOND (FLORIS), Ingénieur civil, Membre de la Commission Française des méthodes d'essai et de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, 83, boulevard de Courcelles, à Paris.
- OUACHÉE, Président de l'Union syndicale des fournisseurs de bâtiments, 19, rue de l'Arbre-Sec, à Paris.
- PANASSIÉ (LOUIS-MARIE-ANTOINE), Ingénieur civil des Mines, 15, rue de la Chaussée-d'Antin, à Paris.
- PARAF (ÉMILE), Ingénieur attaché à la Compagnie des Forges de Châtillon, Commentry et Neuves-Maisons, 19, rue de la Rochefoucauld, à Paris.
- PARSY (PAUL), Administrateur-Directeur de la Société des ciments de Pernes, à Pernes-en-Artois (Pas-de-Calais).
- PASCAUD (Raymond), Ingénieur, Entrepreneur de Travaux publics, 36, rue d'Arzew, à Oran (Algérie).
- PAUL-DUBOS (ANTOINE), Ingénieur des Arts et Manufactures, 67, rue de Clichy, à Paris.
- PAVIE (GEORGES), Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, 72, Faubourg-Saint-Honoré, à Paris.
- PELLÉ (CHARLES), Ingénieur des Ponts et Chaussées, Secrétaire du Congrès international des méthodes d'essai, 8, place d'Iéna, à Paris.
- PELLETIER, Ingénieur de la Marine, Ingénieur attaché au Service du Matériel et de la Traction à la Compagnie des chemins de fer de l'Est, 62, rue du Rocher, à Paris.
- PERDU (GEORGES), Ingénieur à Valence (Drôme).
- PÉRISSE (JEAN-SYLVAIN), Expert près les Tribunaux de la Seine, Membre de la Commission centrale des appareils à vapeur, Inspecteur régional de l'Enseignement technique, Président de l'Association des Industriels de France contre les accidents du travail, Membre de la Commission Française des méthodes d'essai, 67, rue d'Amsterdam, à Paris.
- PÉROUSE, Inspecteur général des Ponts et Chaussées, Conseiller d'État, Directeur des Chemins de fer, au Ministère des Travaux Publics, Délégué du Ministère des Travaux Publics au Congrès International des méthodes d'essai, 246, boulevard Saint-Germain, à Paris.
- PERRIER, Ingénieur des Ponts et Chaussées, à Dunkerque (Nord).
- PERRIER, Ingénieur de la Voie, aux Chemins de fer de l'État, 76, rue d'Assas, à Paris.
- PETIT (GERMAIN), Administrateur délégué de la Société des Ponts et Travaux en fer, Président du Conseil d'Administration de la Compagnie de Chemin de fer d'intérêt local de l'Hérault, 180, boulevard Haussmann, à Paris.
- PETITCOL, Chef d'escadron attaché au Laboratoire central de la Marine, Délégué du Ministère de la Marine au Congrès International des méthodes d'essai, 11, boulevard Morland, à Paris.

- PIAUD (PIERRE-LÉON), Ingénieur de la Société des Générateurs Belleville, ancien Membre du Conseil supérieur de la Marine marchande, Membre de la Commission Française des méthodes d'essai, 8, boulevard de la République, à Chatou (Seine-et-Oise).
- PICARD, Ingénieur-Conseil, Directeur de l'Office Picard, 97, rue Saint-Lazare, à Paris.
- PICQ (HENRI), Architecte, Membre de la Société Centrale des Architectes, 3, rue Fresnel, à Paris.
- PILE (LOUIS-FLORIAN), ancien Chef des Ateliers de la Compagnie de Fives-Lille, Lauréat de la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale, de la Société Industrielle du Nord de la France, et de l'Académie Nationale, agricole, manufacturière et commerciale, Membre de la Société des Inventeurs, 11, boulevard Barbès, à Paris.
- PILLÉ (AUGUSTE), Ingénieur-Constructeur (Établissements Daydé et Pillé), 29, rue de Châteaudun, à Paris.
- PILLET, Professeur au Conservatoire National des Arts et Métiers, à l'École des Beaux-Arts, à l'École Nationale des Ponts et Chaussées, Membre de la Commission Française des méthodes d'essai et de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, 18, rue Saint-Sulpice, à Paris.
- PINAT (CHARLES), à Alleverd (Isère).
- PINOT (ROBERT), Secrétaire général de la Chambre syndicale des fabricants et constructeurs de matériel pour Chemins de fer et tramways, 6, rue Mogador prolongée, à Paris.
- PONTHUS et THERRODE, Constructeurs d'instruments de précision, 6, rue Victor-Considérant, à Paris.
- POUPINEL (J.-M.), Architecte, Secrétaire principal de la Société des Architectes français, 45, rue Boissy-d'Anglas, à Paris.
- POURCEL (ALEXANDRE), Ingénieur civil des Mines, Membre de la Commission Française des méthodes d'essai et de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, 2, square du Roule, à Paris.
- PRALON, Chef d'escadron d'artillerie, Membre de la Section technique de l'artillerie, Membre de la Commission Française des méthodes d'essai et de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, 1, place Saint-Thomas-d'Aquin, à Paris.
- PRALON (LÉOPOLD-ALEXANDRE), Délégué général du Conseil d'administration de la Société des Hauts Fourneaux, Forges et Aciéries de Denain et Anzin, Secrétaire général de la Société Franco-Belge des mines de Somorrostro, 11 bis, rue de Milan, à Paris.
- PRÉAUDEAU (DE), Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, 21, rue Saint-Guillaume, à Paris.
- PROGNEAUX (EUDORE), Directeur général de la Société des Aciéries, Hauts Fourneaux et Forges de Trignac (Loire-Inférieure).
- QUILLOT (CAMILLE), Directeur-Propriétaire de l'usine à ciment de Frangey, Membre de la Commission Française des méthodes d'essai et de l'Association internationale pour l'essai des matériaux à Frangey, par Lézennes (Yonne).
- QUINETTE DE ROCHEMONT, Inspecteur général des Ponts et Chaussées, Directeur des phares et balises, Membre de la Commission Française des méthodes d'essai et de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Vice-Président du Congrès international des méthodes d'essai, 18, rue de Marignan, à Paris.
- RAFFAELLI, Capitaine au 11^e régiment d'artillerie, Officier d'ordonnance du Ministre de la Guerre, Délégué du Ministère de la Guerre au Congrès international des méthodes d'essai, 234, boulevard Saint-Germain, à Paris.
- RAMU (HENRI), à Raon-l'Étape (Vosges).
- RATEAU, Ingénieur des Mines, Secrétaire de la Commission Française des méthodes d'essai des matériaux de construction et Secrétaire du Congrès international des méthodes d'essai, 105, quai d'Orsay, à Paris.
- RAVIER (SYLVAIN-LOUIS), Ingénieur de la Marine française.
- RENARD (PIERRE), Ingénieur des Ponts et Chaussées, Le Havre (Seine-Inférieure).

- RENAUD (GEORGES), Inspecteur général des Ponts et Chaussées, membre de la Commission Française des méthodes d'essai et de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, 29, rue Scheffer, à Paris.
- REUMAUX (ÉLIE), Agent général de la Société des Mines de Lens, à Lens (Pas-de-Calais).
- REY (PIERRE), Ingénieur à Nanteuil-le-Haudoin (Oise).
- RICH (VICTOR), Architecte, 73, rue du Cardinal-Lemoine, à Paris.
- RICHARD (GUSTAVE), Ingénieur civil des Mines, Membre honoraire du Conseil et Agent général de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale, 44, rue de Rennes, à Paris.
- RICHARD (JULES), 25, rue Mélingue (ancienne impasse Fessard), à Paris.
- RICHEMONT (NICOLAS DE), Ingénieur civil, 86, boulevard Rochechouart, à Paris.
- RICHOU (FERDINAND), Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, 46, boulevard de la Gare, à Châteauroux (Indre).
- RICOUR, Inspecteur général des Ponts et Chaussées, Directeur de l'École Nationale des Ponts et Chaussées, Vice-Président du Comité de l'exploitation technique des Chemins de fer au Ministère des Travaux publics, Vice-Président de la Section A de la Commission Française des méthodes d'essai des matériaux de construction, Vice-Président du Congrès international des méthodes d'essai, Délégué du Ministère des Travaux Publics au Congrès, 28, rue des Saints-Pères, à Paris.
- RIGO (Eugène), Ingénieur-Directeur de l'usine Saint-Marcel (Société de Vezin-Aulnoye), à Hautmont (Nord).
- RINGELMANN (MAX), Membre de la Société Nationale d'Agriculture, Professeur à l'Institut National Agronomique, Directeur de la Station d'essais de machines, Délégué du Ministère de l'Agriculture au Congrès international des méthodes d'essai, 47, rue Jenner, à Paris.
- ROGER, Fondateur de cuivre (maison Muller et Roger), 108, avenue Philippe-Auguste, à Paris.
- ROOS, Capitaine d'artillerie, 1, place Saint-Thomas-d'Aquin, à Paris.
- ROUSSELET, 19, rue Chevert, à Paris.
- ROUSTAN, à la Société Générale et unique des ciments de la Porte de France à Grenoble (Isère).
- ROUVILLE (R. DE), Directeur de la Compagnie du Canal de Suez, 9, rue Charras, Paris.
- ROUZÉ (HENRI), Ingénieur, 9, rue Énard, à Paris.
- ROUZET (ANTOINE-AUGUSTIN), Fabricant de ciment Portland, 36, rue Gay-Lussac, à Paris.
- RUBIN (ARTHUR), ancien Ingénieur de la maison Schneider et C^{ie}, du Creusot, 3, rue de Douai, à Paris.
- RUFFIEUX, Ingénieur des Ponts et Chaussées à Montluçon (Allier).
- SAGLIO (CAMILLE), Directeur de la Compagnie des Forges d'Audincourt, à Audincourt (Doubs).
- SAINTIGNON (FERNAND-ADRIEN, comte DE), Maître de forges à Longwy-Bas (Meurthe-et-Moselle).
- SALADIN, Ingénieur principal aux usines du Creusot, Le Creusot (Saône-et-Loire).
- SALLENAVE (VICTOR), ancien Ingénieur, Directeur des Travaux publics au Tonkin et au Sénégal, et Ingénieur du Contrôle du chemin de fer de Dakar à Saint-Louis, actuellement Entrepreneur de Travaux publics à Dakar (Sénégal).
- SALOMON (LOUIS-ANTOINE-MARIE), Ingénieur en chef du matériel et de la traction à la Compagnie des chemins de fer de l'Est, Membre de la Commission Française des méthodes d'essai, 175, Faubourg-Poissonnière, à Paris.
- SALVA, Inspecteur général des Ponts et Chaussées, Président de la Commission des routes nationales, Vice-Président du Congrès international des méthodes d'essai, Délégué du Ministère des Travaux Publics au Congrès. Au Ministère des Travaux publics, 246, boulevard Saint-Germain, à Paris.

- SAUTTER (ERNEST), Ingénieur civil, Administrateur délégué de la Société dijonnaise d'électricité, de la Société d'éclairage électrique de la ville de Cannes, et de la Société des carbures métalliques, 50, boulevard Haussmann, à Paris.
- SAUTTER HARLÉ et C^{ie}, Société de construction de phares, d'appareils électriques et de mécanique générale, 26, avenue de Suffren, à Paris.
- SAUVAGE (ED.), Ingénieur en chef des Mines, Professeur à l'École Nationale supérieure des Mines, Membre de la Commission Française des méthodes d'essai et de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, 14, rue Eugène-Flachat, à Paris.
- SAVIOZ (ERNEST), Ingénieur aux Usines de Frouard, à Frouard (Meurthe-et-Moselle).
- SCHIL (ALBERT), Ingénieur des Arts et Manufactures, Ingénieur du bureau Véritas, chargé des essais de matériaux dans la région de l'Est, 19, rue Montesquieu, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).
- SCHMIDT (FRÉDÉRIC-ERNEST-A.), Ingénieur en chef de l'Association des Propriétaires d'appareils à vapeur de la Somme, de l'Aisne et de l'Oise, 29, rue de Noyon, à Amiens (Somme).
- SCHNAEBELÉ, Ingénieur civil, 4, place Victor-Hugo, à Grenoble (Isère).
- SCHNEIDER (EUGÈNE), Maître de forges au Creusot (Saône-et-Loire).
- SCHNEIDER (PAUL), Ingénieur civil des Mines, Membre de l'*American Institute of Mining Engineers*, Président de la Compagnie des Mines de Douchy et de la Société Lyonnaise des Schistes bitumeux, 32, rue de la Ville-l'Évêque, à Paris.
- SCHRYVER (ISIDORE DE), Directeur général de la Société Franco-Belge de matériel de chemins de fer à Raismes (Nord).
- SCHVING (P.), Ancien élève de l'École Polytechnique, Capitaine d'artillerie en retraite, 7, rue Le Peletier, à Paris.
- SEBERT, Général, Administrateur de la Compagnie des Forges et Chantiers de la Méditerranée, Membre de la Commission Française des méthodes d'essai, 14, rue Brémontier, à Paris.
- SEGUIN (AUGUSTIN), Ingénieur civil, 26, rue du Luxembourg, à Paris.
- SÉPULCHRE (FÉLIX), à Homecourt (Meurthe-et-Moselle).
- SERRIN (HENRI-GEORGES-CHARLES), Ingénieur électricien, Administrateur du chemin de fer de Hermes à Beaumont, 13, boulevard du Temple, à Paris.
- SEYRIG (HENRI-ROGER), Ingénieur des Arts et Manufactures, Associé de la maison Elwell et Seyrig, 3, rue Verniquet, à Paris.
- SEYRIG (THÉOPHILE), Ingénieur-Constructeur, 43, rue de Rome, à Paris.
- SILVESTRE (HENRI), Inspecteur principal de l'Exploitation à la Compagnie des chemins de fer de Paris-Lyon-Méditerranée, 64, rue Montgrand, à Marseille (Bouches-du-Rhône).
- SIMÉON (PAUL), Ingénieur civil des Mines, Représentant de la Société J. et A. Pavin de Lafarge, Membre de la Commission Française des méthodes d'essai et de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, 16, place Vendôme, à Paris.
- SIMON (ÉDOUARD), Ingénieur-Expert près les Tribunaux, 89, boulevard du Montparnasse, à Paris.
- SINÇAY (DE), Administrateur délégué de la Société des Forges de Trignac, 13, boulevard Haussmann, à Paris.
- Société Anonyme de Commentry, Fourchambault et Decazeville*, 16, place Vendôme, à Paris.
- — *de Constructions de Levallois-Perret*, 42, rue Fouquet, à Levallois-Perret (Seine).
- — *de Construction des Batignolles*, 176, avenue de Clichy, à Paris.
- — *de travail en Ciment*, 151, avenue de Paris, à la Plaine Saint-Denis (Seine).
- — *des Aciéries de France*, 83, quai de Javel, à Paris.
- — *des Aciéries de Longwy*, à Mont-Saint-Martin (Meurthe-et-Moselle).

Société Anonyme des Aciéries et Forges de Firminy, à Firminy (Loire).

- — *des Aciéries, Hauts-Fourneaux et Forges de Trignac*, 13, boulevard Haussmann, à Paris.
- — *des Ateliers de Constructions, Forges et Fonderies d'Hautmont*, à Hautmont (Nord).
- — *des Ateliers et Chantiers de la Loire*, 11 bis, boulevard Haussmann, à Paris.
- — *des Chantiers et Ateliers de la Gironde*, à La Bastide-Bordeaux (Gironde).
- — *des Ciments de Laitier de Donjeux*, 5, boulevard Magenta, à Paris.
- — *des Ciments d'Indo-Chine*, 65, rue de la Victoire, à Paris.
- — *des Ciments français de Boulogne-sur-Mer*, à Boulogne-sur-Mer (Pas-de-Calais).
- — *des Fonderies et Laminoirs de Biache-Saint-Vaast*, 28, rue Saint-Paul, à Paris.
- — *des Forges de Champagne*, à Saint-Dizier (Haute-Marne).
- — *des Forges de Vireux-Molhain*, à Vireux-Molhain (Ardennes).
- — *des Forges et Aciéries de Commercy*, à Commercy (Meuse).
- — *des Forges et Aciéries du Nord et de l'Est*, à Valenciennes (Nord).
- — *des Forges et Chantiers de la Méditerranée*, 1, rue Vignon, à Paris.
- — *des Hauts-Fourneaux, Forges et Aciéries de Denain et Anzin*, 4, rue Mogador prolongée, à Paris.
- — *des Hauts-Fourneaux, Forges et Aciéries de Pompey*, à Pompey (Meurthe-et-Moselle).
- — *des Mines et Fonderies de zinc de la Vieille-Montagne*, 19, rue Richer, à Paris.
- — *des Ponts et Travaux en fer*, 93, rue Taitbout, à Paris.
- — *Franco-Russe des ciments Portland de Tchoudowo*, 45, boulevard Haussmann, à Paris.
- — *Industrielle des Établissements Arbel*, à Rive-de-Gier (Loire).
- — *Industrielle des Téléphones*, 25, rue du Quatre-Septembre, à Paris.
- — *le Nickel*, 13, rue Lafayette, à Paris.

Société des anciens élèves des Écoles Nationales d'Arts et Métiers, 6, rue Chauchat, à Paris.

- *des Conducteurs du service Municipal de Paris*, 38, rue du Mail, à Paris.
- *Électro-Métallurgique française*, usine à Froges (Isère).
- *française de Constructions mécaniques* (anciens établissements Cail), 28, rue de Lille, à Douai (Nord).
- *française d'Électro-Métallurgie*, usine à Dives (Calvados), 11, place de la Madeleine, à Paris.
- *Générale et unique des Ciments de la Porte de France*, à Grenoble (Isère).
- *métallurgique du Périgord*, 43, rue de Clichy, à Paris.
- *Nouvelle du Comptoir des tôles et larges plats*, 80, rue Taitbout, à Paris.
- *J. et A. Pavin de Lafarge*, au Theil (Ardèche).

SOKOŁOWSKI (LÉON), Ingénieur civil, 21, rue Gambetta, à Saint-Étienne (Loire).

SOUBEIRAN, Ingénieur en chef au Corps des Mines, Ingénieur-conseil de la Société des Ciments français et des Portlands de Boulogne-sur-Mer, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Secrétaire du Congrès international des méthodes d'essai, 3, square Labruyère, à Paris.

SPONVILLE JAUNEZ (ANATOLE), 17, rue du Colisée, à Paris.

STOCLET (ARTHUR), Agent-voyer en chef du Département du Nord, 21, rue Jacquemart Gielée, à Lille (Nord).

Syndicat des Entrepreneurs de Travaux Publics de France, 10, faubourg Montmartre, à Paris.

TARAGONET (EDMOND), Ingénieur civil, Directeur Général de la Société des Aciéries de France, 83, quai de Javel, à Paris.

TAVERNIER (HENRI), Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, 21, Cours du Midi, à Lyon (Rhône).

TAVERNIER (DE), Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Membre de la Commission Française des méthodes d'essai, 67, rue de Prony, à Paris.

TÉDESCO (DE), Ingénieur, 20, rue Turgot, à Paris.

TERRÉ (MAURICE), Ingénieur en chef de 1^{re} classe, Attaché à la Section technique des constructions navales, Membre de la Commission Française des méthodes d'essai, Délégué du Ministère de la Marine au Congrès international des méthodes d'essai, 139, boulevard Haussmann, à Paris.

TERRIER (PAUL-JACQUES-VICTOR), Administrateur-Directeur de la Compagnie Générale de Travaux publics, 56, rue de Provence, à Paris.

THIL (ANDRÉ), Inspecteur des Eaux et Forêts, Membre de la Commission Française des méthodes d'essai, 27, rue de Fleurus, à Paris.

TONDU (CHARLES), Ingénieur des Constructions civiles, Directeur des travaux communaux d'Oran, à Tizi-Ouzou (Algérie).

TORT (MARCEL), à Champagnole (Jura).

TOULON (PAUL), Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Ingénieur principal à la Compagnie des chemins de fer de l'Ouest, 75, rue Madame, à Paris.

TRÉLAT (ÉMILE), Directeur de l'École spéciale d'Architecture, Membre de la Commission Française des méthodes d'essai, 17, rue Denfert-Rochereau, à Paris.

TROUBAT (ANTONIN), Membre du Conseil Supérieur du Travail, Vice-Président de l'Association Nationale de la Meunerie française, maire de Plombières-lès-Dijon (Côte-d'Or).

Union syndicale des Fournisseurs du Bâtiment, 19, rue de l'Arbre-Sec, à Paris.

VAILLANT (A), Architecte, 108, avenue de Villiers, à Paris.

VALAT (AMÉDÉE), Ingénieur principal des Constructions métalliques à la Compagnie des Chemins de fer de l'Est, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, 64, boulevard Magenta, à Paris.

VALDELIÈVRE (GEORGES), 185, rue Solférino, à Lille (Nord).

VALLA (LOUIS), Ingénieur civil des Mines, 89, boulevard Longchamps, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

VALLETTE, Maître de Forges, à Rive-de-Gier (Loire).

VALLOT (ÉMILE-HENRI), Ingénieur civil, 114, avenue des Champs-Élysées, à Paris.

VALLOT (HENRI-GUILLAUME-MARIE), Ingénieur civil, 2, place des Perchamps, à Paris.

VALTON (FERDINAND), Ingénieur civil, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, 19, parc de Montretout, à Saint-Cloud (Seine-et-Oise).

VALTON (HENRI), Ingénieur de la Marine, 10, rue de la Trémoille, à Paris.

VAUDIAU (JEAN-LOUIS), à Gueugnon (Saône-et-Loire).

VERDIÉ (JEAN-EUGÈNE), Ingénieur civil, Administrateur des Aciéries et Forges de Firminy, 7, rue Logelbach, à Paris.

VERDIER (RIGOBERT-ÉMILE), Ingénieur, Directeur des Ateliers Saint-Éloi, constructions métalliques, 8, boulevard de la Gare, à Toulouse (Haute-Garonne).

VERNIER (AUGUSTE-JULIEN), Capitaine de la Section technique du Génie, 39, rue de Bellechasse, à Paris.

VÉSIER, Président du Conseil d'Administration de la Compagnie française des Métaux, 10, rue Volney, à Paris.

VÉTILLART, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Membre de la Commission Française des méthodes d'essai et de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, 14, rue Brémontier, à Paris.

- VIALLET, Ingénieur civil, Membre de la Société générale et unique des ciments de la Porte de France à Grenoble, Membre de la Commission Française des méthodes d'essai et de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Secrétaire du Congrès international des méthodes d'essai, 28, cours Saint-André, à Grenoble (Isère).
- VIDAL, 2, rue Jean-Jacques-Bel, à Bordeaux (Gironde).
- VIEILHOMME (ÉMILE), Administrateur de la Société métallurgique de Froges (Isère).
- VIENNOT (ERNEST-LUCIEN), Ingénieur civil, Ciment armé. Système brev. s. g. d. g. Briques Falconnier en verre soufflé, 146, rue Lafayette, à Paris.
- VIEUSSA, Chef des Travaux de la Compagnie du canal de Suez, 9, rue Charras, à Paris.
- VILLEVIELLE (PAUL), 72, rue de la Tour, à Paris.
- VIRAT (FERDINAND), Entrepreneur de Travaux publics (Chemins de fer), 38, avenue Daumesnil, à Paris.
- VOISIN (JEAN), Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, à Bordeaux (Gironde).
- VOLET (ÉMILE-HENRI), 114, avenue des Champs-Élysées, à Paris.
- VOULLEMIER (CAMILLE), 19, rue Bréa, à Paris.
- VUITTON, Chef des Travaux à la Maison Delaunay, Belleville et C^{ie}, à Saint-Denis (Seine).
- WAUTHY (CHARLES), Fondateur en fer, à Sin-le-Noble, près Douai (Nord).
- WENDEL (ROBERT DE), Président du Comité des Forges de France, Maître de Forges, à Jœuf (Meurthe-et-Moselle) et à Hayange (Lorraine).
- WENDEL (HENRI DE), Maître de Forges, à Jœuf (Meurthe-et-Moselle).
- WENDEL (FRANÇOIS DE), Ingénieur civil des Mines, 10, rue de Clichy, à Paris.
- WHALEY (GEORGES), Vice-Président de la Compagnie du Chemin de fer de Panama, 4, rue Léo-Delibes, à Paris.
- WIDMANN (DANIEL-ÉDOUARD), Directeur général de la Société des Forges et Chantiers de la Méditerranée, 1, rue Vignon, à Paris.
- WIDMER (J.-E.), Ingénieur en chef, adjoint à l'Ingénieur en chef de la construction à la Compagnie des Chemins de fer de l'Ouest, 22, rue Desbordes-Valmore, à Paris.

PAYS ÉTRANGERS

ALLEMAGNE

- ALWIN (VICTOR), Dr Phil. Technischer Auswalt Taunusstrasse, 18, Wiesbaden (Allemagne).
- BOCH (DE), Directeur Gérant de la Société Villeroy et Boch, Mettlach (Prusse Rhénane).
- BÖCKING (RUD.), Commerzienrat, Halbergerhütte, Poste Brebach, Saar (Allemagne),
Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.
- BUCHHEISTER, Wasserbaudirektor, Dalmannstrasse, Hambourg (Allemagne).
- COLLIN (FRANÇOIS-JOSEPH), Constructeur de fours à coke à Dortmund (Allemagne).
- Deutsch, Oesterreichische mannesmannndiren Werke, Dusseldorf (Allemagne).*
- DURR (GUSTAVE), Grafenberger Chaussée, 81, Dusseldorf (Allemagne).

- DYCKERHOFF (EUGÈNE), Cementwaaren-Fabrik und Unternehmung für Betonbauten, Vorsitzender des Deutschen Beton-Vereins, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Biebrich-am-Rhein (Allemagne).
- DYCKERHOFF (RUDOLPH), Portland Cement Fabrick, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Biebrich-am-Rhein (Allemagne).
- EBERT (ERNST) Kgl. Oberingenieur für Brückenmessen, Generaldirektion der Kgl. Bayerischen Staatseisenbahnen, München (Allemagne).
- ECKERMANN (G.), Ingénieur en chef, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Alexanderstrasse, 25, à Hambourg (Allemagne).
- FELTEN et GUILLEAUME, Carlswerk Actien-Gesellschaft, Mülheim-am-Rhein (Allemagne).
- FORELL (CARL VON), Hamburg Uhlenhoost-Hofburg.
- FUNK (D.), Kalkwerk und Portland Cementwerk, Walhalla, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Regensburg (Bavière).
- GISSLER (H.), Professeur, Directeur de la Revue *Baumaterialienkunde*, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, 105, Alexanderstrasse, à Stuttgart (Allemagne).
- GRAUER (ÉMILE), Direktor der Württembergischen, Portland Cement Werks Zu Lauffen-am-Neckar, Lauffen (Wurtemberg).
- GROSS (A.), Generaldirektor der **Maschinen**-Fabrik, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Esslingen (Wurtemberg).
- HAENSLER (AUGUSTE), Membre de la Société industrielle de Mulhouse, à Mulhouse (Alsace).
- HAUENSCHILD (H.), Professor, a. D. Geologe u. Chemiker, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Reinickendorferstrasse, 2 b, Berlin N.
- HEINRICH (HERAEUS), Hanau (Allemagne).
- HERFELD (G.), Trassgrubenbesitzer, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Andernach-am-Rhein.
- HILGENSTOCK (GUSTAVE), Dahlhausen-am-Rhein (Westphalie).
- HILLIGER (GEORGES), Oberingenieur der Damp Kessel Rev. ver, Thurmstrasse, 28 II, à Berlin (Allemagne).
- KROHN (R.), Professor, Direktor der Brückenbau-Abteilung der Gutehoffnungshütte, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Sterkrade (Allemagne).
- LÄGERDORFER, Portland Cement Fabrik, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Bleichenbrücke, 12ⁿ, Hambourg (Allemagne).
- LAUE (W.), Directeur général Lutzow-Platz, 3, Berlin W.
- LENDER (R.), Capitain a D. u. Fabrikbesitzer, Propriétaire de la Maison Dr Graf et C^{ie} Berlin, Vienne, Bruxelles, Membre de la Société des Ingénieurs allemands, de la Société Polytechnique, de la Société des naturalistes et Médecins allemands, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Geirtelstrasse 25, Berlin O, 34.
- LEUBE (G.), Dr. Cementfabrikant, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Ulm-am-Donau (Allemagne).
- LIPMANN, Ingénieur, Thiergartenstr. 18, Berlin W. 10.
- LUTZ (K.), Generaldirektionsrat. der K. B. Staatseisenbahnen, München (Allemagne). *Metallgesellschaft*, à Francfort-sur-le-Mein (Allemagne).
- Metallurgische Gesellschaft*, à Francfort-sur-le-Mein (Allemagne).
- MEYER (ANDRÉ), Oberingenieur, der freien und Hansestadt Hamburg, Bleichenbrücke, 17, Hambourg (Allemagne).
- MEYER (R.), Eisenbahndirektor, Elberfeld (Allemagne).
- MICHAELIS (W.), Cement-Techniker, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Friedenstrasse, 19, Berlin NO 18 (Allemagne).
- MOHR (FÉLIX), Ingénieur, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Mannheim (Allemagne).

- MULLER, Dr Phil. Kalkberge, Rüdersdorf (Allemagne).
- OLSCHEWSKY (W.), Hütteningenieur, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Kesselstrasse, 31, à Berlin N (Allemagne).
- PRUSSING (PAUL), Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Kaiserstrasse, 41, à Magdebourg (Allemagne).
- RASCH, Regierungs- und Baurath Wiesbaden Königliche Regierung.
- RIEPEL (A.), Direktor der Maschinenbau-Aktiengesellschaft, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Aeuss. Cramer Klettstrasse, 12, Nürnberg (Allemagne).
- SCHIFFNER (F.), Cementfabrik, Obercassel-bei-Bonn (Allemagne).
- SCHOTT (F.), Direktor der Portland Cement-Fabrik, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Muhlstrasse, 8, Heidelberg (Allemagne).
- SCHRODER (HERMANN), Nievernerhutte, Ems (Allemagne).
- SIMON (EDMOND), Chemiker, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Dresde IV (Allemagne).
- Société Industrielle de Mulhouse*, à Mulhouse (Alsace).
- Stahl und Eisen*, Jacobistrasse, 5, Dusseldorf (Allemagne).
- THOMSON (EUGÈNE), Ostwal, 36, à Dortmund (Allemagne).
- WAGNER (P.), Ingénieur, Teilhaber der Firma D. Zerwas Söhne G. m. b. H., Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Mechtildstrasse, 6, Köln (Allemagne).
- WEINLIG (OTTO FRÉDÉRIC), Directeur des Forges de Dillingen-sur-Saare, Dillingen-sur-Saare (Allemagne).

RÉPUBLIQUE ARGENTINE

- DUCLOUT (GEORGES), Ingénieur en chef du port de Buenos-Ayres.
- GALLARDO (ANGEL), Ingénieur, 966, Santa-Fé, à Buenos-Ayres.
- MORETEAU (JOANNY), Ingénieur de la Commission des Limites du Chili, à Buenos-Ayres (République Argentine).
- PEHR DE REHAUSEN (LUDOVIC), 344, Casilla, à Buenos-Ayres (République Argentine).

AUSTRALIE

- WARREN (CHARLES), Professor of Engineering, University of Sydney, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, à Sydney (Australie).

AUTRICHE-HONGRIE*(a) AUTRICHE*

- AST (WILHEM), Conseiller de Régence, Directeur du Chemin de fer du Nord Empereur Ferdinand d'Autriche, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Nordbahnstrasse, 50, à Vienne II (Autriche).
- BERGER (FRANTZ), Membre du Comité Directeur de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Directeur des travaux de la ville de Vienne, Président d'honneur du Congrès international des méthodes d'essai, à Vienne I (Autriche).
- BIRO (LOUIS), Ingénieur, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Reisnerstrasse, 61, Wien III (Autriche).
- BLASCHEK (AUG.), Bau Commissär der K. K., Staatsbahndirektion Wien (Autriche).
- BOSCHAN (ARTHUR DE), Ingénieur principal au Chemin de fer du Nord Empereur Ferdinand d'Autriche, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Membre de la Commission d'organisation et Secrétaire du Congrès international des méthodes d'essai, I Kantgasse, 3, à Vienne (Autriche).
- BURÈS (ALOIS STOVITEL), Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Kral Vinohrady, 181, à Prague (Autriche).
- DERLEIN (Comte CHARLES DE), à Milotitz (Moravie).
- Direktion der priv. öster. ung. Staatseisenbahngesellschaft*, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Wien I (Autriche).
- DORMUS (CHEVALIER ANTOINE DE), Ingénieur principal au Chemin de fer du Nord Empereur Ferdinand d'Autriche, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Nordbahnstrasse, 50, à Vienne II (Autriche).
- EXNER (GUILLAUME), Docteur ès lettres, ancien Député, Chef de division au Ministère I. R. du Commerce, Directeur du Musée technologique, Professeur à l'Institut agronomique, Commissaire général de l'Empire d'Autriche à l'Exposition de 1900, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Président d'honneur du Congrès international des méthodes d'essai, Währingerstrasse, 59, à Vienne IX (Autriche).
- FIEDLER (THAD.), Imp. roy. Professeur à l'École polytechnique supérieure, Directeur du Laboratoire galicien pour l'essai des matériaux de construction, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Lemberg (Galicie, Autriche).
- GREIL (ALFRED), Architecte, Inspecteur délégué de la ville de Vienne au Congrès international des méthodes d'essai, à Vienne I, Rathaus (Autriche), Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.
- HABERKALT (CHARLES), Conseiller, Ingénieur au Ministère de l'Intérieur, Délégué du Ministère de l'Intérieur au Congrès international des méthodes d'essai, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, I Salvatorgasse, 12, à Vienne (Autriche).
- HARDY (J.-G.), Ingénieur, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Riemergasse, 13, à Vienne I (Autriche).
- HAUDEK (FRANÇOIS), Conseiller, Ingénieur supérieur au Ministère des chemins de fer, Délégué du Ministère I. R. des Chemins de fer au Congrès international des méthodes d'essai, Gauermannngasse, 4, à Vienne I (Autriche).
- HAUSSNER (ALFRED), Ingénieur, Professeur à l'École Polytechnique, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, à Brünn (Autriche).
- HILLINGER (HENRI), Conseiller aulique, Président du Bureau hydrotechnique au Ministère I. R. du Commerce, Délégué du Ministère I. R. du Commerce au Congrès international des méthodes d'essai, à Vienne (Autriche).

- JOKISCH (J.), Ingénieur à l'Administration I. R. des Postes et Télégraphes, Délégué de l'Administration I. R. des Postes et Télégraphes au Congrès international des méthodes d'essai, à Vienne (Autriche), Börseplatz, 1.
- KAZDA (OTTO KAR), Inspecteur de la Compagnie privilégiée des Chemins de fer de l'État autrichien, Schwarzenbergplatz, 3, à Vienne I (Autriche).
- KELER (EMERICH DE), Ingénieur du matériel et de la traction à la Direction des chemins de fer de l'État autrichien, à Stanislau (Galicie).
- KESSLER (FRANZ), Inspecteur de la Compagnie privilégiée des Chemins de fer de l'État autrichien, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Schwarzenbergplatz, 3, à Vienne I (Autriche).
- KICK (FRÉDÉRIC), Conseiller d'État et Professeur, Prorecteur de l'École Impériale supérieure technique de Vienne, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Président d'honneur du Congrès international des méthodes d'essai, 5, Schellinggasse, à Vienne I (Autriche).
- KIRSCH (B.), K. K. Professor und Vorsteher der Versuchsanstalt am K. K. technologischen Gewerbemuseum; Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Währingerstrasse, 59, Wien IX (Autriche).
- LANDAUER (ROBERT), Regierungsrath, Central Inspector der Oest. Nordwesbahn, Wien (Autriche).
- LENZ (A. von, jun.), Ingenieur und Eisen- und Stahlwerksbesitzer, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Traisen N. Öe. (Autriche).
- LENZ (EDG. von), Ingenieur und Eisen- und Stahlwerkesbesitzer, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Traisen, N. Öe. (Autriche).
- LOEHR (de), Ingénieur principal à la Compagnie privilégiée des Chemins de fer de l'État autrichien, Nordbahnstrasse, 50, à Vienne II (Autriche).
- LUDWIK (C.), b. a. Maschinenbauingenieur, leitender Direktor der Prager Maschinenbau-Aktiengesellschaft (vorm. Ruston et Cie), Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Lieben-Prag (Autriche).
- MELTZER (OSCAR), K. K. Baurath im Eisenbahn-Ministerium, Délégué du Ministère I. R. des Chemins de fer au Congrès international des méthodes d'essai, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Mariahilferstrasse, 126, Wien VI (Autriche).
- MUDRA (FRANZ), Inspecteur de la Compagnie privilégiée des Chemins de fer de l'État autrichien, Schwarzenbergplatz, 3, à Vienne I (Autriche).
- MULLER (ÉMILE), Ingénieur en chef de l'Administration I. R. des Postes et Télégraphes, Délégué de l'Administration I. R. des Postes et Télégraphes au Congrès international des méthodes d'essai, Borseplatz, 1, à Vienne (Autriche).
- PETRIN (V.), K. K. Major, Vertreter des Reichskriegs-Ministeriums, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Getreidemarkt, Wien VI (Autriche).
- PICHLER (Le Chevalier MAXIME DE), Chef de division au Ministère I. R. des chemins de fer de l'État autrichien, Président d'honneur du Congrès international des méthodes d'essai, à Vienne (Autriche).
- POLLACK (VINCENT), Inspecteur des chemins de fer de l'État autrichien, à Vienne (Autriche).
- PROKOPEK (JEAN), Maschinenfabrik, Prague K. G. L., Weinberge (Autriche).
- RABAS (HENRI), Bauunternehmer, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Altgasse, 14, Wien XIII (Autriche).
- RINGHOFER (F.), Maschinenfabrik, Eisengiesserei und Kesselschmiede, Kupfer- und Metallwarenfabrik, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Smichow bei Prag. (Autriche).
- SCHNIRCH (JAROSLAV), Directeur Král, Vinohrady, Búdècska, ulice, 9, à Prague (Royaume Bohême Autriche).
- SCHOSTAL (FÉLIX), Salvatorgasse, à Vienne I (Autriche).

- SCHUSTER (R.), Ingénieur, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Schwarzenbergerstrasse, 3, à Vienne I (Autriche).
- SELIGMANN (O.), Behörd. autor. Bauingenieur, Ober-Ingenieur der priv. österr.-ung Staats-eisenbahn-Gesellschaft, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Schwindgasse, 3, Wien IV (Autriche).
- STEINER (Fr.), Prof. der Ingenieurwissenschaften, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Brückeng, 26, Smichow-Prag. (Autriche).
- STIGLER (A.), Ingénieur, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Bernardgasse, 22, Wien VII (Autriche).
- STÖCKL (CHARLES), Conseiller technique au Ministère des chemins de fer, à Vienne, Président d'honneur et Délégué du Ministère I. R. des Chemins de fer au Congrès international des méthodes d'essai, à Vienne (Autriche).
- SUESS (A.), Fabrikbesitzer, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Witkowitz (Mähren) (Autriche).
- TISCHLER (MAURICE), Ingénieur, Inspecteur supérieur des chemins de fer de l'État autrichien, Vice-Directeur à la Direction Impériale Royale à Linz (Autriche), Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.
- Trifailer Kohlenwerks-Gesellschaft*, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, III. Rennweg, 5, Wien.
- WAGNER (CHARLES), Directeur des chemins de fer de l'État, Inspecteur en chef des Chemins de fer de l'État autrichien, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, à Vienne. — Westbahnhof.
- WEINGÄRTNER (G.), Ingénieur en chef, Smichow, 602, à Prague.
- ZBOROWSKI (WLADIMIR RITTER VON), Directeur des Ateliers impériaux à Neu-Sandez (Galicie).

(b) HONGRIE

- ABEL (JULES), Ingénieur à Ozd.
- CAJETAN DE BANOVITS, Conseiller ministériel, Directeur aux Chemins de fer de l'État hongrois 73/75, rue Andrassy, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, à Budapest.
- CZAKO (Ad.), Professeur à l'École Polytechnique à Budapest.
- CZEKELIUS (AURÉLIEN), Conseiller ministériel au Ministère royal du Commerce, Membre de la Commission d'organisation du Congrès international des méthodes d'essai, Délégué du Ministère Royal du Commerce, Albrecht ut, 1, à Budapest.
- CZIGLER, Professeur, Président de l'Association hongroise des méthodes d'essai à Budapest, Muegyetem.
- FOUQUAU, Inspecteur à la Direction des Chemins de fer de l'État hongrois, Sgazatosag Andrassy, à Budapest.
- GRITTNER, Chimiste à la Direction des Chemins de fer de l'État hongrois, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Köbányaiút, 30, à Budapest.
- HIERONYMI (CHARLES DE), Conseiller actuel secret, ancien Ministre de l'Intérieur, Député, Président de la Société des Ingénieurs à Budapest, Président d'honneur du Congrès international des méthodes d'essai, à Budapest.
- JUST (FRANÇOIS), Ingénieur des Chemins de fer de l'État hongrois, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Trésorier de la Société hongroise d'essai des matériaux, Secrétaire du Congrès international des méthodes d'essai, VIII Józsefkörút, 17, à Budapest.

- RETJÖ (ALEXANDRE), Professeur à l'École Polytechnique, à Budapest, Muegyetem, Manda-taire de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Membre de la Com-mission d'organisation du Congrès international des méthodes d'essai, Président d'hon-neur du Congrès international des méthodes d'essai, Délégué du Ministère Royal du Commerce.
- RIEDL (CHARLES), Inspecteur à la Direction des Chemins de fer de l'État hongrois, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Damjanich utca, 45 II 73, à Budapest.
- SEEFELNER (JULES), Conseiller Royal, Gérant des ateliers de construction de machines des chemins de fer de l'État hongrois, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Steinbrucherstrasse à Budapest X.
- SZLABEY (E.), Inspecteur en chef des Chemins de fer de l'État hongrois, Directeur des Chemins de fer, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, à Budapest.
- ZHUK, Ingénieur, Secrétaire de l'Association hongroise des méthodes d'essai, à Budapest.

BELGIQUE

- BOEL (POL), Ingénieur, Directeur Général des aciéries de Gustave Boël, à La Louvière (Belgique), 43, boulevard du Régent, à Bruxelles.
- BOGAERT (CLÉMENT VAN), Ingénieur principal aux chemins de fer de l'État belge, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, 109, avenue Plantin-Est, à Anvers.
- BORGERS (CAMILLE), Directeur de la Société Hammer, 4, quai Dumon, à Tournai.
- CAMERMAN (ÉMILE), Ingénieur-Chimiste de l'Administration des Chemins de fer de l'État belge, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Secrétaire du Congrès international des méthodes d'essai, 34, square Gutenberg, à Bruxelles.
- CARTON (LÉONARD), Ingénieur, Installations d'usines à ciment, Vieux-Marché-au-Beurre, 3, à Tournai.
- COISEAU (JEAN-COUSIN), à Heyst-sur-Mer.
- COLLIN (JUSTIN), Ingénieur, 2, rue de Waroux, à Liège (Belgique).
- DAVID (LOUIS), Ingénieur, 4, rue Lacaille, à Anvers.
- DEBONNE (JULES), Administrateur de la Compagnie générale des Ciments Portland de l'Escaut, à Tournai.
- DEHEM (O.-A.), Ingénieur de 1^{re} classe des Ponts et Chaussées, Délégué du Ministère des Finances et des Travaux publics au Congrès international des méthodes d'essai, 157, chaussée de Ninove, à Bruxelles.
- DEMOULIN (JEAN), Directeur général de la Société métallurgique de Sambre-et-Moselle, à Montigny-sur-Sambre.
- DEROOVER (GUSTAVE), Directeur-Gérant de la Société de Niel on Rupell, à Niel-lez-Boom.
- DULAIT (JULIEN), Administrateur-Gérant de la Société anonyme d'Électricité et d'Hydrau-lique à Charleroi.
- GOMEZ (A.), Ingénieur, Chef de service à la Société anonyme John Cockerill, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, à Seraing.
- GREINER (ADOLPHE), Directeur général de la Société anonyme John Cockerill, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Président d'honneur du Congrès international des méthodes d'essai, à Seraing.
- GROODT (CAMILLE DE), Ingénieur-Directeur de la Société Anonyme des Ateliers de Construc-tion, Forges et Aciéries de Bruges, à Bruges.

- JOTTRAND (FÉLIX), Ingénieur, Directeur technique de l'Association des industriels de Belgique, 1, impasse du Parc, à Bruxelles.
- LEVÊQUE (JOSEPH), 153, rue Jourdan, à Bruxelles.
- LEVIE (FERNAND), à Binche.
- LEVOZ (TOUSSAINT), Industriel à Namèche-sur-Mer.
- LIEBAERT (S. Exc.), Ministre des Chemins de fer, Postes, Télégraphes et Marine, Président d'honneur du Congrès international des méthodes d'essai, à Bruxelles.
- MEY (DE), Capitaine du génie, Délégué du Département de la Guerre au Congrès international des méthodes d'essai, 29, rue Guillaume-Stock, Ixelles-Bruxelles.
- MOYLAUX (LÉON), Ingénieur Honoraire des Mines, Directeur-Gérant de la Société anonyme de Baume et Marpent, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, à Morlanwelz.
- RAMLOT, Librairie Scientifique, 17, rue Grétry, à Bruxelles.
- REGNIER-OURY (HENRI), Directeur de la Société de Saint-Léonard, 1, rue Saint-Léonard, à Liège.
- ROUSSEL (ERNEST), Ingénieur, Chef du Laboratoire d'essais à l'Arsenal de Malines (chemins de fer de l'État belge), Mandataire de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Membre de la Commission d'organisation et Président d'honneur du Congrès international des méthodes d'essai, 23, boulevard des Arbalétriers, à Malines.
- SAVAGE (HUGUES), Ingénieur de la Société Cockerill, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, à Seraing.
- Société anonyme des Carrières et Fours à chaux du Coucou*, à Antoing-les-Tournai.
- Société anonyme d'Ougrée-Marihaye*, à Ougrée.
- SOUFFLET-LEBLOND, Directeur de la Société anonyme Union Fraternelle, à Calonne.
- SQUILBIN (HENRI), Ingénieur, 8, avenue des Arts, à Anvers.
- VALÈRE-MABILLE, Maître de forges à Mariemont, Président de la Chambre de commerce Française de Charleroi.
- VERTONGEN-GOENS (ALBERT), Industriel à Termonde.
- VINÇOTTE (ROBERT), Ingénieur-Directeur de l'Association belge pour la surveillance des chaudières à vapeur, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, 77, rue du Commerce, à Bruxelles.
- VOLKAERTS (LOUIS), Président de la Société anonyme des Ciments Portland de Burght, 11, rue Hoboken, à Anvers.
- ZANEN (F.), Ingénieur des Ponts et Chaussées à Anvers, Service spécial de l'Escaut maritime, Délégué du Ministère des Finances et des Travaux publics au Congrès international des méthodes d'essai.

BRÉSIL

- CAVALCANTI (VITAL BRANDAO), Ingénieur de la Marine brésilienne, rua Bambina, N° 66, Casa IV, à Rio de Janeiro.
- DA SILVA FREIRE, Ingénieur à Sao Paulo (Brésil).
-

CANADA

VANIER (JOSEPH-ÉMILE), 107, rue Saint-Jacques, à Montréal.

CHILI

KONING (CHARLES), Ingénieur et Professeur à l'Université de Santiago de Chili, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, à Santiago de Chili, Casilla 1120.

DANEMARK

BRAMSEN (S. EXC. LUDVIG), Ministre de l'Intérieur, Président d'honneur du Congrès international des méthodes d'essai, à Copenhague.

FOSS (ALEXANDER), Ingénieur, 29, Vestergade, à Copenhague K.

GRUT (TORBEN), Capitaine du génie, Professeur de mécanique et statique à l'École supérieure de la Guerre, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Membre de la Commission d'organisation et Secrétaire du Congrès international des méthodes d'essai, Sct Anna Plads, 11, à Copenhague.

HANNOVER (H.-I.), Professeur à l'École Polytechnique, Directeur du Laboratoire d'essai des matériaux de l'État danois, Mandataire de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Membre de la Commission d'organisation et Président d'honneur du Congrès international des méthodes d'essai, Bredgade, 63, à Copenhague.

HEMMINGSSEN (T.-E.), Capitaine du génie, Chevalier de l'Ordre du Danebrog, Délégué du Ministère de la Guerre au Congrès international des méthodes d'essai, Fælledvej, 14-4, à Copenhague.

JENSEN (EMANUEL), Architecte, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Aagade 14, à Copenhague N.

Laboratoire d'essai de l'État Danois, à Copenhague.

MOLLER (H.-C.-V.), Ingénieur en chef du port de Copenhague, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Nordre Foldbod, à Copenhague K.

MOLLER (J.-P.-A.), Direktor der Cementfabrik, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, *Dania*, Hobro.

OLLGAARD (F.-A.), Inspecteur du Service des Eaux de Copenhague, chargé du Cours relatif aux matériaux de construction à l'École Polytechnique, Membre de la Commission d'organisation du Congrès international des méthodes d'essai, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, à Copenhague V.

ULRICH (H.), Capitaine du génie, Membre de la Commission royale des brevets d'invention, Membre de la Commission d'organisation du Congrès international des méthodes d'essai, à Copenhague P.

Vacuum Oil Company, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Skoubogade 1, à Copenhague K.

ÉGYPTE

GELÉ (EDMOND), Ingénieur des Domaines de l'État, à Sakha.

QUELLENNEC (ÉDOUARD), Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Ingénieur en chef de la Compagnie du Canal de Suez, à Ismaïlia.

SOUTER (A.), Ingénieur des Domaines, Le Caire.

ESPAGNE

CANO Y DE LEON, Lieutenant-colonel du Génie en retraite, Mandataire de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Président d'honneur du Congrès international des méthodes d'essai, 20, rue Ayala, à Madrid.

DIARD ORDENER Y ESCANDON (SALVADOR), Général de brigade au Ministère de la Guerre, à Madrid.

FREART (SERAFIN), Professor de la Escuela de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos, à Madrid.

GARCIA ARENAL (F.), Ingénieur, Directeur des travaux du port, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, à Vigo.

GORRIA (HERMENEGILDO), Ingénieur agronome et industriel, Docteur ès sciences, Licencié en pharmacie, Maître de bâtiments, etc., Directeur de la Ferme expérimentale et de l'École départementale d'agriculture de Barcelone, Balmes, — 23, à Barcelone.

GOUIN (FRÉDÉRIC), à Valdelamusa, province de Huelva.

MALBAY (RAPHAEL), Ingénieur, Directeur de la Compagnie « Lojena de Electricidad » et de la Compagnie « La Energia Electrica », Président du Conseil d'Administration de la Société minière « Minas de hierro de Andalucía », Granada.

MARVA Y MAYER, Colonel du Génie, Directeur du Laboratoire du Génie militaire, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Président d'honneur du Congrès international des méthodes d'essai, Délégué du Ministère de la Guerre d'Espagne, 8, Campomanes, à Madrid.

REDER (GUSTAVE), 23, rue de Zorilla, à Madrid.

RIBÉRA (DON JOSÉ EUGENIO), Ingénieur des Ponts et Chaussées, Représentant officiel du Ministère de l'Agriculture et des Travaux publics d'Espagne, Commandeur de l'Ordre royal de Charles III, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Secrétaire du Congrès international des méthodes d'essai, Délégué du Ministère de l'Agriculture et des Travaux publics d'Espagne, à Oviedo.

SCHNEIDER (JACOB), Ingénieur civil, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, 2, calle Felipe IV, à Madrid.

SERRAT Y BONASTRÉ (JOSÉ), Ingénieur aux ateliers de la Société « La Maquinista Jenestre y Maritima » de Barcelone, Vice-Directeur et Professeur de construction des Machines à l'École des Ingénieurs industriels de Bilbao (Espagne), Membre de la Société des Ingénieurs civils de France.

TEJERA (LORENZO DE LA), Chef de bataillon du Génie, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, 22, San Bernard, à Madrid.

TORRES Y DE IRRIBARREN (N.), Capitaine du Génie, Professeur à l'École spéciale du Génie, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Guadalajara.

URIOSTE Y VELADA (José), Architecte général, Délégué par le Gouvernement royal d'Espagne au Congrès international des méthodes d'essai des matériaux de construction, Carrera de San Geronimo, 37, 3^{re}, à Madrid.

VILLALOBAR (le marquis de), Délégué par le Gouvernement Royal d'Espagne à l'Exposition universelle de 1900, 10 *bis*, rue Paul-Baudry, à Paris (France).

ÉTATS-UNIS

BOUSCAREN (G.), Consulting Engineer, City Hall Cincinnati Ohio.

BROWN (DAVID), Chief Chemist of the Canadian Copper Co Cleveland Ohio.

COLBY (ALBERT LADD), Chimiste et Métallurgiste, Ingénieur métallurgiste, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Secrétaire du Congrès international des méthodes d'essai, Délégué des États-Unis au Congrès international des méthodes d'essai, Bethlehem Steel Co South Bethlehem Pa.

Compagnie des cuivres d'Orford. — Compagnie Nationale des Tubes, à Pittsburg.

CORTHELL, 27, Pine Street, New-York.

FERNOW (B.-E.), L.L.D. (Docteur en loi), Directeur du Collège forestier, à Cornell University, Ithaca, New-York.

GRAVES (EDWIN), Ingénieur, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, 650, Main street, à Hartford Connecticut.

HATT (WILLIAM KENDRICK), Civil Engineer, Associate Professor Applied Mechanics; Purdue University, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Lafayette, Indiana.

HENNING (GUSTAVUS C.), Mechanical Engineer, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, 220, Broadway, à New-York.

HIBBARD, 253, Broadway, à New-York.

HOWE (HENRY M.), Métallurgiste, Professeur de Métallurgie, Columbia University, Membre du Conseil et Président de la Section américaine de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Président d'honneur du Congrès international des méthodes d'essai, Délégué des États-Unis au Congrès international des méthodes d'essai, 27 West 73rd, Street, New-York.

HUMPHREY (RICHARD L.), Member Committee « Proper Manipulation of Cement Tests », American Society of Civil Engineers, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, City Hall, Philadelphia, Pa.

HUNT (le capitaine ROBERT WILLIAM), ancien Président de la Société américaine des Ingénieurs civils, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Délégué des États-Unis au Congrès international des méthodes d'essai, 1121, the Rookery, Chicago Ill.

HUTTON (WILLIAM RICH.), Ingénieur conseil, 35, Broadway, à New-York.

LANZA (GAETANO), Mechanical Engineer, Professor Theoretic and applied Mechanics, in Charge Mechanical Engineering Department; Massachusetts Institute of Technology, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Boston, Mass.

MARBURG (EDGAR), Civil Engineer, Professor Civil Engineering, University of Pennsylvania, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Philadelphia, Penna.

MERRIMAN (MANSFIELD), Civil Engineer, Professor Civil Engineering, Lehigh University, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, South Bethlehem, Penna.

MOISSEIFF (LÉON S.), Département of Bridges, City of New-York, Commissioner's Office, Park Row Building, Manhattan, New-York City.

- NAILLEN (ALBERT VAN DER), Civil Engineer, School of Engineering, 113, Fulton Street, San Francisco, California.
- OLSEN (TINIUS), Mechanical Engineer, Tinius Olsen et Co, Testing Machines, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, 500 N. 12th Street, Philadelphia, Penna.
- REYNDERS (J.-V.-W.), Harrisburg, Pa.
- SELLERS (WILLIAM), 1600, Hamilton-s-Station, Philadelphia.
- SWAIN (GEORGE F.), Civil Engineer, Professor of Civil Engineering, Massachusetts Institute of technology, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Boston, Mass.
- THURSTON (ROBERT-H.), Civil and Mechanical Engineer, Director of Sibley College, Cornell University, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Président d'honneur du Congrès international des méthodes d'essai, Ithaca, New-York.
- WALLACE, Président de la Société américaine des Ingénieurs civils, Délégué des États-Unis au Congrès international des méthodes d'essai, à New-York.
- WEBSTER (WILLIAM), Ingénieur civil, Membre de la Société américaine des Ingénieurs civils, de la Société américaine des Ingénieurs mécaniciens, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Président d'honneur du Congrès international des méthodes d'essai, Délégué des États-Unis au Congrès international des méthodes d'essai, 413, Walnut street, Philadelphia, Penna.
- WILLARD (SMITH), Directeur du Génie civil, à New-York.

GRANDE-BRETAGNE

- BAYLISS (THOMAS-RICHARD), Belmont Nortfield, près Birmingham.
- BEARE (HUDSON), Ingénieur du Laboratoire University Collège, Gower street, à Londres.
- BROUGH (BENNETT), Ingénieur des Mines, Secrétaire de l'Institut du fer et de l'acier, à Londres, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Secrétaire du Congrès international des méthodes d'essai, 28, Victoria Street, à Londres SW.
- The Carnegie steel Company*, 71 et 72, King William Street, à Londres.
- GIBBINS (WILLIAM) Eagle Works Neath.
- GRAVES (H. G.), 5, Robert Street Adelphi, à Londres, W. C.
- Institution of Mechanical Engineers* (the President of the) Storey's Gate, Londres SW.
- KIRKALDY, Testing works, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, 99, Southwark Street, London SE.
- KITSON (J.), Bart. M. P. (Past President, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux), Gledhow Hall, Leeds.
- MARTIN (ED.-P.), President of the Iron and Steel Institute, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Dowlais, Steelworks, South Wales.
- MEYJES (ANTHONY C.), Rédacteur en chef « The Ironmonger », 42, Cannon street, London E. C.
- SANDBERG, Palace Chambers, 9, Bridge street Westminster, London SW.
- SIEMENS (ALEXANDER), Membre de l'Institut des Ingénieurs civils de Londres, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Président d'honneur du Congrès international des méthodes d'essai, 12, Queen Anne's Gate Westminster, London SW.
- TUDSBERY, Secretary Institution of Civil Engineers, Great George Street, Westminster, London, SW.

UNWIN (W. C.), Professeur F. R. S., Membre de l'Institut des Ingénieurs civils de Londres, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Président d'honneur du Congrès international des méthodes d'essai, 7, Palace Gate Mansions, Kensington, London.

WESTERN (J.-H.), Broadway Chambers, Westminster London SW.

WOODS (ÉDOUARD), Past President of the Institution of Civil Engineer, Onslow Gardens, 45, à Londres.

ITALIE

BARZANO (C.), Ingénieur, 1, Foro Bonaparte, à Milan.

BENETTI (JACQUES), Ingénieur, Professeur et Directeur de l'École Royale d'application pour les Ingénieurs, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Mandataire pour l'Italie, à Bologne.

BIADEGO (B.-G.), Ingegnere, Capo Servizio delle costruzioni delle Ferrovie Mediterranee, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, 9, Via Mercede, à Rome.

BRUNELLI (ANTONIO), Ingegnere Direttore dell' Acciaieria V. Cobianchi, à Omegna.

CANDELLERO, Ingénieur en chef du Bureau des Chemins de fer, Gare centrale, à Turin.

CANEVAZZI (SILVIO), Professeur à l'École Royale d'application pour les Ingénieurs annexée à l'Université de Bologne, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Président d'honneur du Congrès international des méthodes d'essai, 6, Via Farini, à Bologne.

CATTANEO (UGO), Ingegnere addetto al Laboratorio per le prove dei materiali da costruzione della Rete Adriatica, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, à Ancona.

Chemins de fer de l'Adriatique, service du matériel roulant à Firenze.

CIOTTI (GUISEPPE), Ingénieur en chef de la Société anonyme « Officine Meccaniche » (ci-devant Miani Silvestri et C.-A. Grondona, Comi et C.), Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, 21, Via Vincenzo Monti, à Milan.

DELMATI, Directeur de la Société anonyme de chaux et ciments de Casale, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, à Casale-Montferrato.

FADDA (STANISLAS), Ingénieur, Directeur des Ateliers principaux des chemins de fer, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, 12, Via Soperga, à Turin.

FORTI (ANGELO), Ingénieur, 27, Via Principe Umberto, à Milan.

GONDOLO (GUIDO), 1, Via St-Lucia, à Savona.

GUIDI (CAMILLO), Ingegnere-Professore della R. Scuola d'applicazione per gli ingegneri di Torino, e Direttore dell' annesso Laboratorio per esperienze sui materiali da costruzione, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Castello del Valentino, Torino.

PANETTI (MODESTO), Dott Ingegnere, 6, Piazza Savoia, à Turin.

PERELLI (GUIDO), Ingénieur en chef de l'Association des Propriétaires de chaudières à vapeur, Milan, via Giulini, 6.

POZZI (LAURO), Ingénieur au Chemin de fer de Salita Muses, à Naples.

REBUFFAT (ORAZIO), Professeur de chimie à l'École Royale des Ingénieurs, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, à Naples.

ROZE (HENRI), à Barletta.

SALEMI-PACE (GIOVANNI), Professeur à l'École d'application pour les Ingénieurs, 90, Via Lincoln, à Palerme.

- SEGRÉ (CLAUDIO), Ingénieur, Chef de Division aux Chemins de fer du Réseau adriatique, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Secrétaire du Congrès international des méthodes d'essai, à Ancona.
- SPRÉGA (ANNIBALE), Ingénieur, Président dell' Associazione fragli Utenti di Caldaie a Vapore, à Rome, Membre du Conseil d'Administration della Società degli Ingegneri e degli Architetti Italiani, Président d'honneur du Congrès international des méthodes d'essai, via Panisperna, 193, à Rome.
- SZILANSKI (G.-W.), 69, Corso Venezia, à Milan.
- TURCHI (CHARLES), Ingénieur industriel, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, 89, Via Giovecca, à Ferrara.
- VEROLE (PIERRE), Chevalier de la Couronne d'Italie, Ingénieur, Chef de section principal des Chemins de fer de la Méditerranée, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Via Cernaja, 46, à Turin.
- ZAMBONI (CESARE), Chimico Direttore Tecnico delle Fabbriche di cemento della Ditta Fratelli Pesenti fu Antonio di Alzano Maggiore Bergamo.
- ZANOTTA, Chef de section principal aux Chemins de fer de la Méditerranée, Palais de la Direction générale, à Milan.

JAPON

- OBATA (BUNZABURO), Kansei-Honbu III, Kaigun-sho, Tokio.
- OHDATCHI, Mécanicien en chef de la Marine japonaise, Suiko-sha IV, Tsuki-ji, Tokio.
- SHIN (TSRINETA), chez MM. Okura et Cie, 84, Bishopsgate street Wilhin, Londres E.C.
- SHIBA (CHUZABURO), Prof. Assist^t du College technique, à Tokio, et Ingénieur-mécanicien du port d'Osaka (Japon), 19, Motzstrasse, à Berlin W (Allemagne).
- YOKAYAMA, Ingénieur du Creusot, à l'Arsenal d'Osaka.

JAVA (ILE DE)

(POSSESSION HOLLANDAISE)

- SASSIN, Représentant de la Compagnie de Fives-Lille, à Samarang.

LUXEMBOURG (GRAND-DUCHÉ)

- MULLER (H), Ingénieur Administrateur, Délégué de la Société anonyme des Mines du Luxembourg et des Forges de Saarbrück, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, à Esch-sur-Alzette.

MEXIQUE

- ANZA (ANTONIO), Ingénieur, Commissaire-Général adjoint du Mexique à l'Exposition de 1900, Architecte des pavillons du Mexique aux Expositions de 1889 et 1900, Professeur à l'École Nationale d'Ingénieurs et à l'École militaire, Délégué du Mexique au Congrès international des méthodes d'essai, à Mexico.
- PLOWES (MATÉO), Ingénieur civil, Ciudad de Mexico, Santa-Javeta, 4, Mexico.
- QUEVEDO (MIGUEL A. DE), Ingénieur civil, Délégué du Mexique au Congrès international des méthodes d'essai, Calle de Eliseo (sur 14), num. 29, à Mexico.
- RENAUD (EUGÈNE-JULES), Ingénieur E. C. P., Directeur de la Quintera Mining Company Limited Alamos Sonora.

SALAZAR (Luis), Ingénieur, Chef de Section au Ministère des Communications et des Travaux publics du Mexique, Professeur à l'École Nationale d'Ingénieurs à Mexico, Délégué du Mexique au Congrès international des méthodes d'essai.

NORWÈGE

HIORTH (F.), Ingénieur-Directeur, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Karl Johansgade, 5, à Christiania.

JONASSEN (Émile), Ingénieur, Techn. Schule; Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Christiania.

NYSOM (S. Exc. H.), Ministre des Travaux publics, Président d'honneur du Congrès international des méthodes d'essai, à Christiania.

SKOUGAARD (Jon.), Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Membre de la Commission d'organisation et Président d'honneur du Congrès international des méthodes d'essai, à Christiania.

PAYS-BAS

ALPHERTS (G.), Chef du Bureau technique au Ministère des Colonies, Mandataire de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Membre de la Commission d'organisation, et Président d'honneur du Congrès international des méthodes d'essai, Koninginnegracht, 66, à La Haye.

BIENFAIT (L.), Ingénieur au Laboratoire d'essai des matériaux, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Secrétaire du Congrès international des méthodes d'essai, da Costakade 104, à Amsterdam.

BURGDORFFER, Directeur-adjoint des Travaux communaux de la Ville de Rotterdam, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, à Rotterdam.

JAKOB (J.), Ingénieur en chef du Chemin de fer hollandais, Bureau central des Chemins de fer Hollandais, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, van Eeghenstraat 9, à Amsterdam.

SCHROEDER VAN DER KOLK (J.), Ryksingenieur voorde Spoorwegen, Laan van Meerdervoort, 175, La Haye, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.

WENCKEBACH, Directeur des Chemins de fer du Nord-Est, à Zwolle. Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.

PORTUGAL

BAERLEIN (F.), Ingénieur, General Direktor der *Empreza industrial Portuguesa*, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, R. D. Pedro V, 80, à Lisbonne.

† BAPTISTA (JOAQUIM-RENATO), Capitaine du Génie portugais, Professeur à la Section des Constructions de l'École do Exército, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, ruo do Jardim do Regardo, 43-3°, à Lisbonne.

CASTANHEIRA DAS NEVES (J. da P.), Ingénieur, Directeur des études et essais des matériaux de construction, Mandataire de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, rua do Salitre, 405, à Lisbonne.

D'AVILA (DON PEDRO), Architecte Honoraire du roi de Portugal, Membre Honoraire et correspondant de l'Institut Royal des Architectes Britanniques, Membre correspondant de la Société pour la propagation de l'Architecture dans les Pays-Bas (Amsterdam), 41, rue Vasco de Gama, à Lisbonne.

Direction des études et essais des matériaux de construction, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Terreiro do Trigo-Ala sul, à Lisbonne.

GALHARDO (HERCULANO), à Alhandra.

GARCIA (FREDERICO RESSANO), Commissaire Royal du Portugal à l'Exposition universelle de 1900, 154, avenue de Wagram, à Paris.

GUEDES DE GUEIROZ, Ingénieur civil, Ingénieur au Corps d'Ingénieurs des Travaux publics et des Mines, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Praça dos Restauradores, 28, à Lisbonne.

MENDÈS GUERREIRO, Ingénieur en chef, Membre du Conseil supérieur des Travaux publics et des Mines, à Lisbonne, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Président d'honneur du Congrès international des méthodes d'essai, Délégué du Portugal au Congrès international des méthodes d'essai, 14, Calçada do Sacramento, à Lisbonne.

MOREIRA DE MOTA DINIR, Ingénieur des Travaux du port de Ponta Delgada, à l'île Saint-Michel (Açores).

Société des Conducteurs de Travaux publics du Portugal, rue de Formose, 23-2°, à Lisbonne.

Société des Ingénieurs civils Portugais, Terreiro do Paço, à Lisbonne.

TORRÈS (ESTEVÃO), Ingénieur, Chef des Magasins Généraux des Chemins de fer du Minho et Douro, 38, Campo da Regeneração, à Porto.

ROUMANIE

ANASTASESES (JONETI-MICHEL), Ingénieur des Mines, Stirbey Voda, 95, à Bucarest.

CATACUZÈNE (J.-B.), Inspecteur général, Directeur des services hydrauliques, Professeur à l'École des Ponts et Chaussées, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Strada Polona 93, à Bucarest.

COSNOVISCI (GEORGES), Gare du Nord, à Bucarest.

DRAGU (TH.), Ingénieur, Inspecteur général, Chef du service des ateliers et du matériel aux Chemins de fer roumains, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Membre de la Commission d'organisation du Congrès international des méthodes d'essai, Strada Barba Catarg, 5, à Bucarest.

Ministère des Travaux publics de Roumanie, Service des Études et Constructions, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Strada Mihai Vodă, à Bucarest.

SALIGNY (ANGHEL), Inspecteur général des Ponts et Chaussées, Membre de l'Académie roumaine, Directeur du service hydraulique et des travaux du port de Constanza, Professeur à l'École des Ponts et Chaussées, Mandataire de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Président d'honneur du Congrès international des méthodes d'essai, Strada Occident, à Bucarest.

RUSSIE

ABEL (E.), Ingénieur-Architecte, Koblewskaia, 35, à Odessa.

ABRAHAMSON, Ingénieur, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, à Kuopio (Grand-Duché de Finlande).

ALPHÉRAKY (M.), Conseiller d'État, Chambellan de S. M. l'Empereur de Russie, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, à Taganrog.

ANDRIEUX (J.), Directeur de la Compagnie Franco-Russe des ciments Portland, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Guélandjik, près Novorossisk.

- BARANOWSKY (GABRIEL DE), Ingénieur civil, Directeur du journal « Stroitel » (l'Architecte), Délégué du Ministère de l'Intérieur de Russie aux Congrès internationaux des Architectes, d'enseignement technique et d'essai des matériaux, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, 66, Fontanka, à Saint-Petersbourg.
- BELELUBSKY (ALEXANDRE), Ingénieur en chef du Service des voies, Administration des Chemins de fer de la Vistule, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, à Varsovie.
- BELELUBSKY (NICOLAS), Professeur et Directeur du Laboratoire mécanique à l'Institut Impérial des voies de communication de Saint-Petersbourg, Membre du Conseil du Ministère, Membre du Comité Directeur de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Président d'honneur du Congrès international des méthodes d'essai, Délégué de l'Association internationale au Congrès international des méthodes d'essai et Délégué du Ministère des voies de communication de Russie, 4, rue Serpouchowskaya, à Saint-Petersbourg.
- BERTHOD (C.), Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Coin Twerskaya et Sadowaya, maison Khomiakoff, à Moscou.
- BILBASSOFF (DE), Chef de bureau au Ministère des Finances, à Saint-Petersbourg.
- BORZOFF (JEAN), Ingénieur au Ministère des voies de communication, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, à Saint-Petersbourg.
- Chantiers navals, Ateliers et Fonderies de Nicolaïeff*, à Nicolaïeff.
- CICHOUSKY (HENRI), Directeur des Forges de Huta Bankova, à Dombrova.
- Comité Géologique de Russie*, à Saint-Petersbourg.
- DUBOIS (JULES), Ingénieur aux Aciéries de Huta Bankova, à Dombrova.
- EGGER (GABRIEL), Ingénieur, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Ekaterinoslaw (Russie).
- GAGARINE (Prince A.), Directeur de l'Institut polytechnique de Saint-Petersbourg, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Fourstadtskaïa, 1, à Saint-Petersbourg.
- GALENZOWSKI (SEW.), Ingénieur, Chef du Laboratoire pour les essais des matériaux des Chemins de fer du Sud-Ouest, Direction des Chemins de fer du Sud-Ouest, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, à Kieff.
- GATZUCK, Délégué du Ministère des voies de communication de Russie au Congrès international des méthodes d'essai, à Saint-Petersbourg.
- GIRAUD (LÉON), Mines de Zyrianowik, Gouvernement de Tomsk.
- GOLOVINE, Ingénieur, Directeur de l'Institut Technologique, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Président d'honneur du Congrès international des méthodes d'essai, à Saint-Petersbourg.
- GRANFELT (A.), Ingénieur, Bahndirektor der finnländischen Staatseisenbahnen, Mandataire de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Hagasundsgatan 6, à Helsingfors (Grand-Duché de Finlande).
- GUÉDÉONOFF (MICHEL), Capitaine de l'artillerie de la Garde, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Arsenal impérial, à Saint-Petersbourg.
- HERBERTS (B.), Directeur général de la Société Métallurgique de Jurjevsk, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Selenina, 6, à Saint-Petersbourg.
- HERZENSTEIN (VLADIMIR), Ingénieur des voies de communication, Directeur du Laboratoire d'essai à la Compagnie des Chemins de fer Moscou-Vindau-Rybinsk et du Bureau technique international, Ingénieur attaché à l'Administration centrale de la Compagnie des chemins de fer Moscou-Vindau-Rybinsk, Vice-Président de la Commission pour la conservation des bois à la Société impériale de Russie, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Membre de la Commission d'organisation et Secrétaire du Congrès international des méthodes d'essai, Vosnessensky, 31, à Saint-Petersbourg.

- JASSUKOWITSCH (S.), Major général du Génie militaire russe, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Wass. Ostr. 11, ligne 24, à Saint-Petersbourg.
- JEGOROFF (PAUL), Station Tosno, à Saint-Petersbourg.
- KABLUKOV (JEAN), Docteur ès sciences chimiques, Professeur à l'Université de Moscou, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, à Moscou.
- KANNEGIESSER (JOACHIM DE), Ingénieur Attaché au Ministère des voies de communication, Directeur-gérant des Chantiers navals, Ateliers et Fonderies de Nicolaïeff, à Nicolaïeff, Gouvernement de Cherson (Russie), Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.
- KIRPITSCHIEFF (VICTOR), Directeur de l'Institut Polytechnique à Kiew, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Délégué du Ministère des Voies de communication de Russie au Congrès international des méthodes d'essai, à Kiew.
- KORSAKEVITCH (N.), Colonel du Génie Impérial Russe, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Port de l'Empereur Alexandre III, près de Libau.
- KOURNAKOFF (N.), Professeur, Ingénieur des Mines, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Institut des Ingénieurs des Mines, à Saint-Petersbourg.
- LANDAU (J.), Ingénieur de la Société des Batignolles, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Aptekarsky Peréoulouk, 4, à Saint-Petersbourg.
- LANGER (R.), Usines Franco-Russes, 17, Quai de la Priajka, à Saint-Petersbourg.
- LEBEDKINE (J.), Département des Mines, Délégué du Ministère des Voies de communication de Russie au Congrès international des méthodes d'essai, à Moscou.
- LIEVEN (O), Directeur technique de l'Usine de ciment, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Noworossisk.
- LIPINE (V. DE), Professeur, Membre de l'Association Internationale pour l'essai des matériaux, 25, Magilewskaia, à Saint-Petersbourg.
- LOUTREUIL (AUGUSTE), 17, rue Pretchistenka, à Moscou.
- OSUCHOWSKY (STEFAN), Assistant en chef du Laboratoire mécanique de la Ville de Varsovie, 45, rue Dobra, à Varsovie.
- PAUTINSKY (STANISLAS), Directeur de la Fabrique de ciment M. A. O. à Podolk (Gouvernement de Moscou).
- PERZOFF (ALEXANDRE), Natpousskii Zavod (Russie Lougansk).
- PETROFF (S. Exc. NICOLAS), Membre du Conseil de l'Empire de Russie, Président de la Société Impériale Technique Russe, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Président d'honneur du Congrès international des méthodes d'essai, Délégué du Ministère des voies de communication de Russie, Zagorodny, 70, logement 6, à Saint-Petersbourg.
- PRÉCY, Directeur de l'usine à ciment de Kiew.
- RYCERSKY (FELIKS), Ingénieur civil, Ancien élève de l'École centrale des Arts et Manufactures, à Paris, Membre de la Société des Ingénieurs civils de France, Membre de la Société technique de Varsovie, et Membre de la Société d'Encouragement de l'Industrie et du Commerce russe, section de Varsovie, 36, rue Hoza, à Varsovie (Pologne russe).
- SALBANEFF, Délégué du Ministère des voies de communication de Russie au Congrès international des méthodes d'essai, à Saint-Petersbourg.
- SCHMOELLING, Ingénieur civil, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, 3, rue Theatralny, à Saint-Petersbourg.
- SCHOULATCHENKO (S. Exc. ALEXIS), Général-Lieutenant du Génie militaire, Professeur à l'Académie du Génie militaire, à Saint-Petersbourg, Vice-Président de la Société Impériale Technique Russe, Président des spécialistes en ciment, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, 7, rue Ingervernaia, à Saint-Petersbourg.
- Société anonyme des Établissements de chaudronnerie et de constructions mécaniques, à Sosnowice.*

- Société anonyme des Usines Franco-Russes*, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, 17, Quai de la Priajka, à Saint-Petersbourg.
- Société des Ingénieurs civils Russes*, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, 3, rue Theatralny, à Saint-Petersbourg.
- SZCZENIEWSKI (S.), Ingénieur mécanicien, Chef du Laboratoire mécanique de la Ville de Varsovie, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, rue Dobra, 42, à Varsovie (Pologne russe).
- TCHARNOMSKY, Ingénieur, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Zabalkanski Prospekt, 30, Logement 34, à Saint-Petersbourg.
- TCHEREPACHINSKI, Professeur de mécanique des constructions, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Dokoutchayew-Pereoulki, maison Nikitine à Moscou.
- TCHERNOFF (S. Exc. D.), Conseiller d'État actuel, Professeur à l'Académie d'artillerie, Président d'honneur du Congrès international des méthodes d'essai, 25, Pessotchnaja, à Saint-Petersbourg.
- VOLOSSATOFF (EUGÈNE), Capitaine d'artillerie, à l'Arsenal de Saint-Petersbourg.
- WOURGAFT (D.), Ingénieur des Arts et Manufactures, E. C. P., Ingénieur métallurgiste des Chantiers et Usines mécaniques Nevsky, Perspective Liteïni, 41, à Saint-Petersbourg.
- ZALESKY (BASILE), Ingénieur, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, 12, Malaia Dmitroffka, à Moscou.

SERBIE

- MILASINOVIC, Inspecteur aux Chemins de fer de l'État, Mandataire de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, à Belgrade.

SUÈDE

- AKERMAN (RICHARD), Chef de l'Administration Royale du Commerce et de l'Industrie, ancien Directeur et Professeur à l'École Royale des Mines, Président du Comité Royal Suédois pour l'Exposition de 1900, Membre de l'Académie Royale des Sciences, Membre d'honneur de l'Iron and Steel Institute et de l'American Institute of Mining Engineers, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Président d'honneur du Congrès international des méthodes d'essai, à Stockholm.
- ANDERSON (E.), Maschineningenieur, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Kopparberg.
- ASPELIN (CHRISTIAN), Directeur-Gérant des Usines de Fagersta, à Fagersta.
- BRAUNE (HJALMAR), Ingénieur métallurgiste à l'École des Mines, à Filipstadt.
- BRINELL (J.-A.), Ingénieur en chef, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, à Fagersta.
- HOFFSTEDT (W.), Professeur à l'École Polytechnique Royale de Stockholm, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, à Stockholm.
- LARS UNO LINDBERG, à Kohlswa.
- SJOHOLM, Ingénieur, à Surahammar.
- WAHLBERG (AXEL), Ingénieur des Mines, Directeur du Laboratoire Royal d'essai des matériaux, à Stockholm, Commissaire Suédois à l'Exposition de Paris en 1900, pour les usines et les mines, Membre du Comité Directeur de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Membre de la Commission d'organisation et Président d'honneur du Congrès international des méthodes d'essai.
- WARD (A.), Ingénieur, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux à Avesta.

WIDEL (AXEL), Ingénieur en chef de l'Association des Propriétaires d'appareils à vapeur du milieu et du nord de la Suède, à Stockholm.

WIJKANDER (AUGUSTE), Professeur et Directeur de l'École Polytechnique de Chalmers, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, à Göteborg.

SUISSE

ABT (ROMAN), Ingénieur, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, à Lucerne.

AMSLER (ALFRED), Directeur de la fabrique de machines, Membre de l'Association internationale, à Schaffouse.

BUTTICAZ, Ingénieur, Directeur des forces motrices du Rhône, Président d'honneur du Congrès international des méthodes d'essai, 2, Quai de la Poste, à Genève.

Compagnie des Chemins de fer de l'Union Suisse, à Saint-Gall.

ELSKES, Ingénieur principal à la Compagnie des Chemins de fer du Jura-Simplon, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, boulevard de Grancy, 37, à Lausanne.

GREMAUD, Ingénieur cantonal, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, à Fribourg.

GUGLER (CHARLES), Direktor der L. v. Roll'schen Eisenwerke, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Choindez, Kt. Bern.

MUNSTER, Ingénieur, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, à Saint-Gall.

PASQUIER (LOUIS DU), Ingénieur à Veytaux, canton de Vaud.

PERRIER (Le Colonel LOUIS), Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, à Neuchâtel.

SCHULE, Ingénieur, Professeur à l'Université de Lausanne, Membre de la Commission d'Organisation du Congrès international des méthodes d'essai, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, à Lausanne.

Société anonyme des Forges et Usines de Moos, à Lucerne.

STEINBRUNNER (A.), Direktor der Kalk-und Cementfabrik, Beckenried A.-G., Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Rieterstrasse, 48, Zurich.

SULZER-GROSSMANN (A.), Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, à Winterthur.

TETMAJER DE PRZERVA, Professeur à l'École Polytechnique Fédérale et Directeur du Laboratoire d'essai des matériaux, à Zurich, Président de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Membre Honoraire de la Société des Fabricants Suisses de ciment, et de la Société Suisse des fabricants de tuiles, etc., Président d'honneur du Congrès international des méthodes d'essai, Délégué de l'Association internationale et Délégué de la Suisse au Congrès international des méthodes d'essai, 37, Leonhardsstrasse, à Zurich.

ZSCHOKKE (B.), Secrétaire de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Adjoint au Directeur du Laboratoire d'essai des matériaux, à Zurich, Secrétaire du Congrès international des méthodes d'essai, 37, Leonhardstrasse, à Zurich.

ZUBLIN (E.), Oberingenieur für den Bau der Schweiz Nordostbahn, Membre de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, Glärnischstrasse, 35, Zurich.

CONGRÈS INTERNATIONAL DES MÉTHODES D'ESSAI DES MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION

SÉANCE D'OUVERTURE : Lundi 9 Juillet 1900

La séance est ouverte à dix heures sous la présidence de M. Haton de La Goupillière, président de la Commission d'organisation du Congrès, assisté de M. M. Bebelubsky, Membre du Comité directeur de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, et de M. le Professeur Howe, Délégué du Gouvernement des Etats-Unis.

M. HATON DE LA GOUPILLIÈRE s'exprime en ces termes :

MESSIEURS,

Au nom de la Commission d'organisation, j'ai l'honneur d'ouvrir la session du Congrès international des méthodes d'essai des matériaux de construction de 1900.

Nous souhaitons à tous ceux qui composent cette brillante assemblée la plus cordiale bienvenue. Votre présence en aussi grand nombre témoigne de l'intérêt, toujours croissant, que ces sujets, si arides en apparence, inspirent aux esprits attentifs, appréciateurs judicieux de la nécessité qui s'impose pour l'industrie d'éclairer de plus en plus ses méthodes d'essai à la lumière de l'expérience en tendant progressivement vers leur unification future, si désirable à tous les points de vue.

Vous savez, Messieurs, que, désireux d'assurer à l'Exposition internationale tous les genres d'éclat, le Gouvernement de la République française a, dès l'origine, confié à une Commission spéciale, la Commission supérieure des Congrès, le soin de coordonner les diverses propositions relatives à la tenue des réunions internationales qui seraient appelées à bénéficier de son patronage, et en particulier de l'hospitalité du palais qui nous abrite en ce moment.

La Commission supérieure ne pouvait manquer de distinguer d'une manière spéciale la question des méthodes d'essai qui avait déjà fait l'objet des délibérations de deux des Congrès internationaux rattachés à l'Exposition de 1889.

Chez toutes les nations, aujourd'hui, de savants théoriciens, d'habiles expérimentateurs, de grands industriels, concentrent sur ce sujet leurs efforts, agissant isolément ou par groupes, dans des Sociétés nationales, ou dans l'Association internationale pour l'essai des matériaux de construction.

Nous sommes particulièrement heureux de voir cette savante Association représentée au Congrès de 1900 par ceux de ses dignitaires qu'elle a accrédités dans ce but, à savoir : M. le Conseiller d'Etat, professeur Belebubsky et ses autres mandataires, auxquels nous offrons nos meilleures félicitations. (*Applaudissements.*)

Grâce à une telle émulation, ces problèmes ont réalisé de grands progrès. La France y a apporté sa part, dont elle ne se défend pas de concevoir quelque fierté; toutefois, loyale admiratrice de tous les mérites, elle les cherche attentivement de toutes parts, et sait les reconnaître au delà de ses frontières, si toutefois on peut parler de frontières quand il s'agit de questions scientifiques. (*Applaudissements.*)

Pour réaliser avec l'ampleur nécessaire une aussi grande œuvre qu'un Congrès de cette importance, l'intention du Gouvernement français et celle de M. le Commissaire général de l'Exposition ont été d'imprimer aussi tôt que possible, le caractère international à la constitution de la Commission d'organisation. On ne pouvait cependant, au premier moment, que la composer d'une section française, afin d'aller au plus pressé dans une création matérielle qui comporte tant de mesures de longue haleine, et d'innombrables détails à suivre avec sollicitude.

Pour compléter cette composition par des membres choisis parmi les nations étrangères, de longues, très longues négociations nous restaient indispensables avec les divers Gouvernements, par l'intermédiaire de leurs Commissaires généraux, en même temps qu'avec les savants et les industriels directement, dans ces pays éloignés. Ce n'était que de cette manière qu'il était possible d'arriver à un concours de bonnes volontés, et à une convenable sélection de personnages désignés *a priori* par leur savoir, en même temps que par leurs hautes situations.

Tout au moins avons-nous réussi à compter effectivement parmi nous, pendant la fin de nos travaux, les membres étrangers qui complètent la Commission active d'organisation. Progressivement, d'ailleurs, s'était constituée d'autre part une liste de Présidents d'honneur et de Comité de patronage telle que l'on en a, je crois, bien rarement rencontré une semblable. Son influence nous a valu de nombreuses adhésions. Le tableau qui vous en a été distribué n'est encore que provisoire, car nous attendons un certain nombre de réponses attendues, et il nous en arrive chaque jour. Du reste, nous allons vous communiquer dans quelques instants un supplément à cette liste imprimée.

Ce caractère provisoire achèvera promptement de disparaître, et un tableau définitif sera reproduit dans les actes du Congrès. Le monde savant et industriel pourra juger alors en connaissance de cause quelle large assiette notre œuvre a su trouver dans la sympathie générale. (*Applaudissements.*)

Je tiens à dire que nous nous sommes attachés avec un soin particulier à rechercher, dans le sein de l'Association internationale pour l'essai des matériaux de construction, les sommités qu'elle présente en grand nombre, en vue de les rattacher à notre liste d'honneur, après avoir obtenu leur agrément personnel. Ces dignitaires retrouveront ici, heureuse de les y recevoir, toute la section française de l'Association, à laquelle je me fais moi-même honneur d'appartenir. Ils reconnaîtront dans cette enceinte la plupart de leurs compagnons des anciens Congrès de Zurich et de Stockholm.

Nous sommes heureux également de compter parmi nous MM. les Délégués officiels qui ont été désignés, pour suivre nos études, par un grand nombre de Gouvernements, en même temps que par celui de la France, et par de puissantes Collectivités ou Compagnies industrielles. Je

prie MM. les Délégués de recevoir notre meilleur accueil. Le Congrès se sent honoré de leur participation à ses travaux. (*Applaudissements.*)

Je dois à la justice que vous tenez à rendre à qui de droit, de vous signaler le talent et la persévérance avec lesquels nos deux Secrétaires généraux ont poursuivi une tâche d'un labeur et d'une complexité difficiles à imaginer. M. le Secrétaire général Debray a particulièrement assumé le poids écrasant de cette correspondance et de ces négociations que l'on pourrait appeler diplomatiques. M. Baclé, Secrétaire général adjoint, a gardé pour lui-même une partie extrêmement délicate du fardeau, en faisant connaître, avec le tact nécessaire, à de puissantes Compagnies industrielles, ainsi qu'à certaines individualités, le caractère de notre œuvre, ce qui a suscité de libérales et parfois magnifiques contributions destinées à nous permettre de recevoir dignement, nous le désirons du moins, les hôtes de la France. Nous avons eu soin de vous faire connaître la liste de ces généreux donateurs, comme expression de notre gratitude. Je suis sûr, en outre, Messieurs, d'être votre interprète envers nos distingués Secrétaires généraux, en exprimant ici à ces deux habiles et infatigables collaborateurs tous nos remerciements. (*Applaudissements prolongés.*)

Arrivons à parler des œuvres qui ont été préparées en vue de nos études. La liste en est longue, et vous a été remise. Leur valeur est considérable. Déjà (quoique pour une faible partie, malheureusement), vous avez pu en juger sur les épreuves d'imprimerie qui vous ont été distribuées. Mais nos délibérations vont s'ouvrir, et la collection va se compléter, vous permettant d'apprécier à leur valeur les efforts qui ont été accomplis par tant de laborieux travailleurs, en vue de fournir une base à vos discussions. Constatons en particulier, avec une grande satisfaction, l'apport de travaux remarquables par lequel les ingénieurs étrangers nous ont manifesté leur sympathie.

Pour faciliter nos opérations, nous avons réparti les rapports en trois groupes auxquels correspondra, à certains jours, un sectionnement de notre personnel, absolument libre, bien entendu, pour chacun d'entre vous, car les salles resteront ouvertes en permanence à tous, selon les préférences de chaque congressiste, en ce qui concerne les questions traitées.

La première section se rapporte aux sujets d'ordre général relatifs à la constitution des corps, la seconde aux métaux, la troisième aux matériaux de construction autres que les métaux.

Telle sera, Messieurs, l'assiette de nos études. Mais n'avions-nous, dans la Commission d'organisation, à pourvoir qu'à des travaux d'un ordre aussi sévère ? Quelques-uns de nos collègues, les plus aimables assurément, ne l'ont pas pensé. Il leur a semblé difficile d'admettre qu'un peu de distraction prise en commun ne vint pas jeter une note plus agréable sur un fond aussi sérieux.

Ils ont notamment regardé comme impossible que des dames, de jolies jeunes filles, vinssent sur la terre de France pour n'y rencontrer que des états moléculaires ou les lois de l'élasticité.

Bref, ces collègues bien inspirés nous ont portés à constituer ce que nous avons appelé un peu ambitieusement notre Comité des fêtes. Disons plus modestement que nous avons essayé de ressaisir, pour les reproduire de notre mieux, les souvenirs brillants des Congrès qui nous ont reçus à diverses reprises en Suède, en Suisse, etc. Nous avons donc combiné quelques distractions, que le Congrès de 1900 tient à offrir tout spécialement à ses hôtes étrangers.

Vous me permettrez, je l'espère, de remercier pour ses soins le Comité des fêtes, et particulièrement son président, mon vieil ami, toujours jeune, l'Inspecteur général des Ponts et Chaussées Durand-Claye. (*Applaudissements.*)

Messieurs ou plutôt Mesdames, ces occasions de nous voir pendant cette semaine, sans x et sans y , sans micromètres ni lois expérimentales, seront au nombre de quatre, et, si vous le voulez bien, je vous les indiquerai brièvement.

Aujourd'hui même, lundi, à deux heures et demie, nous nous réunirons au Conservatoire

des Arts et Métiers, 292, rue Saint-Martin. Ce bel établissement national, notre premier musée industriel, nous est ouvert par la gracieuseté de son savant et excellent directeur, M. le colonel Laussedat, membre de l'Institut. (*Applaudissements.*) En votre nom, Mesdames, je lui exprime des remerciements qui, venant de vous, lui seront beaucoup plus sensibles que ceux que nous pourrions nous-mêmes lui offrir. A quatre heures, après la visite des galeries, un lunch sera offert par le Congrès dans la belle bibliothèque du Conservatoire, ainsi mise à notre disposition.

Judi, après la séance du travail du matin, nous nous embarquerons, à quatre heures, au Pont-Royal, sur un bateau à vapeur exclusivement réservé au Congrès. Nous traverserons l'Exposition entre ses deux rangées de palais, et nous suivrons jusqu'à Saint-Cloud le cours de la Seine. Après une promenade à volonté dans le parc et un diner par petites tables, notre navire reprendra le large pour ramener le Congrès à Paris, à travers les illuminations de l'Exposition.

Dimanche, de bon matin, le chemin de fer de Lyon jusqu'à Melun, et au delà les voitures nécessaires emmèneront les volontaires que tentera l'exploration de la belle forêt et du château historique de Fontainebleau, avec déjeuner en forêt et diner à Melun au retour.

Lundi, enfin, aura lieu la séance de clôture. Nos travaux étant terminés, un banquet final nous réunira encore une fois, pour que nous puissions dire à nos hôtes, me permettez-vous de dire à nos amis, non pas adieu, mais au revoir.

Messieurs, après ces indications qui m'ont paru nécessaires et que je me suis efforcé de ne pas allonger outre mesure, nous avons maintenant à constituer définitivement le Congrès par l'élection de son Bureau, auquel la Commission d'organisation n'aura plus qu'à remettre ses pouvoirs.

Avant tout, vous avez à procéder à la désignation du Président du Congrès. Je donnerai la parole aux personnes qui désireront la prendre sur cette question. (*Applaudissements prolongés.*)

M. le Professeur HOWE. — Messieurs, je propose pour la Présidence de notre Congrès le nom bien-aimé et noble de Haton de La Goupillière. Ce n'est pas nécessaire que ses qualités de tête et de cœur vous soient signalées; ce n'est pas nécessaire de dire que le soleil est brillant, ni que le lion est fort. (*Applaudissements.*)

M. RICOUR, Vice-Président du Comité d'organisation, intervient pour appuyer cette proposition, et M. Haton de La Goupillière est élu Président par acclamations unanimes. (*Nouveaux Applaudissements.*)

M. HATON DE LA GOUPILLIÈRE. — Je vous suis reconnaissant, Messieurs, de ce témoignage de sympathie dont je conserverai le profond souvenir jusqu'à la fin de ma carrière déjà longue. Je remercie le Congrès d'avoir voulu choisir l'un des moins dignes dont il pouvait s'assurer le concours, quand je vois ici une telle pléiade d'illustres savants. J'y trouve un encouragement de plus à donner tous mes soins à la bonne marche de cette œuvre, pour laquelle la Commission d'organisation m'a si puissamment secondé jusqu'ici. (*Applaudissements.*)

La constitution du bureau d'un Congrès aussi considérable est très complexe, et votre sanction y est indispensable sur tous les points. Vous avez reçu une liste imprimée qui vous présente le projet d'un tableau des présidents d'honneur. Sauf un très petit nombre de sommités françaises, il compte à peu près exclusivement des étrangers de grande distinction appartenant aux diverses nationalités. Cette liste provisoire, qui date d'un mois environ, s'est complétée depuis lors. Je prie M. le Secrétaire général de la Commission d'organisation de vous lire le tableau définitif auquel cette dernière s'est arrêtée dans les réunions multipliées qu'elle a tenues ces jours derniers, et encore ce matin même. Nous proposons à votre élection, sans exception, tous les Présidents d'honneur qui figurent sur ce tableau imprimé, qu'il est bien important de ne pas confondre avec celui du Comité de patronage.

M. DEBRAY. — Messieurs, la Commission d'organisation a l'honneur de vous proposer, comme Présidents d'honneur, les membres dont les noms figurent sur la liste reproduite plus haut (Voir p. XIII).

M. LE PRÉSIDENT. — Je sou mets cette liste à l'approbation du Congrès.

Quelqu'un demande-t-il la division du vote? (*Dénégations.*)

Que ceux des congressistes qui sont d'avis de sanctionner cette liste de Présidents d'honneur veuillent bien lever la main.

Avis contraire?

La liste est adoptée à l'unanimité.

Nous avons, en second lieu, à vous soumettre le tableau des vice-présidents français. Sous ce titre, mes compatriotes désirent s'effacer devant les présidents d'honneur étrangers, sans toutefois renoncer à servir avec eux l'œuvre commune. Nous avons, en effet, l'intention de prier MM. les Présidents d'honneur de vouloir bien successivement prendre place au fauteuil, dans nos diverses séances. Chacune d'elles sera donc présidée par un président d'honneur, sans que, bien entendu, j'y renonce cependant pour ma part; mais j'aurai beaucoup de soins à prendre de divers côtés. A sa droite s'assoira un autre président d'honneur, car nous aurons sans doute moins de séances que de présidents. Mais il sera en même temps nécessaire qu'à la gauche du président se place un vice-président français, plus au courant des détails, des personnes et des circonstances qui pourront se présenter. Nous vous proposons, d'après cela, un tableau de noms aussi nombreux que nous l'avons cru nécessaire pour les besoins du service; cette liste est composée d'hommes considérables, bien connus de la plupart d'entre vous, et qui veulent bien nous seconder avec ce titre de vice-présidents du Congrès.

M. DEBRAY. — J'ai l'honneur de donner lecture de la liste des noms proposés comme vice-présidents français.

Cette liste est reproduite page xv.

Cette liste est mise aux voix par le Président et adoptée à l'unanimité.

M. LE PRÉSIDENT. — La présidence est actuellement constituée. Avant d'aller plus loin, je prie ceux de MM. les Présidents d'honneur ou Vice-Présidents qui ne sont pas déjà sur l'estrade, et se trouvent au milieu de vous, de vouloir bien monter au bureau, pour y prendre place parmi nous.

Messieurs, il ne suffit pas d'assurer la présidence pour un organisme aussi complexe. Un autre rouage tout aussi fondamental est le secrétariat. Nous avons pensé à le composer de deux secrétaires généraux et d'un certain nombre de secrétaires tenant la plume. Je pense que le choix des premiers sortira spontanément de votre assentiment unanime : vous savez quels ont été le dévouement, la capacité et l'extraordinaire activité des secrétaires généraux de la Commission d'organisation. Je vous propose, par suite, de nommer par acclamation, secrétaire général du Congrès, M. Debray, et secrétaire général adjoint M. Baclé. (*Applaudissements prolongés.*)

Pour les secrétaires, nous avons dressé deux listes parallèles. Nous désirons, Messieurs, prévoir pour chacune de nos séances un secrétaire français, bien au courant de nos usages et de notre langue, et, d'autre part, un secrétaire étranger, d'abord afin de faire honneur à nos collègues, mais aussi très certainement pour en attendre de fort utiles services.

Je prie M. le Secrétaire général de nous lire cette double liste.

M. Debray donne lecture de la liste reproduite pages xvi et xvii.

Cette double liste, mise aux voix par le Président, est adoptée à l'unanimité.

M. LE PRÉSIDENT. — Je vous demande, Messieurs, pour votre bureau ainsi constitué, l'autorisation de pouvoir, au besoin, ajouter à ces listes, soit comme présidents, soit comme secrétaires, les quelques nominations que certaines circonstances viendraient à rendre nécessaires, en raison de l'arrivée successive de collègues sur lesquels nous n'avions pas compté, ou d'après la constatation de nécessités imprévues du service.

(Cette proposition, mise aux voix, est adoptée, sans aucune opposition dans la contre-épreuve.)

M. LE PRÉSIDENT. — Nous avons désiré, Messieurs, pouvoir offrir à chaque congressiste un insigne spécial, comme cela se fait dans beaucoup de réunions analogues. Cette rosette qui se porte à la boutonnière vous permettra de vous reconnaître mutuellement dans les foules, au milieu de l'Exposition, pendant nos visites.

Je dois signaler à toute votre attention un détail important. Nous avons en vue, pour le banquet de lundi, le restaurant du *Village suisse*, que vous trouverez indiqué sur un certain nombre de circulaires, car malheureusement plusieurs se sont échappées trop tôt. Or, par suite d'un changement de la dernière heure, ce n'est plus au Village suisse qu'aura lieu le banquet. Nous répandrons à profusion l'indication contraire, mais je vous prie de bien graver dans votre mémoire que cette réunion aura lieu, non loin d'ailleurs du Village suisse, à la *Salle du Saint-Gothard*, 40 *ter*, avenue de Suffren.

Avant de lever la séance, je demanderai si quelqu'un désire prendre la parole?...

M. le conseiller d'État, professeur BELELUBSKY. — En l'absence de M. de Tetmajer, l'honorable président de l'Association internationale, et au nom de cette Association, je prends la liberté d'exprimer tous nos vœux pour le bon succès du Congrès. Je fais le même vœu au nom de Son Excellence le Ministre des voies de communication de Russie, de qui j'ai reçu officiellement la mission de suivre les travaux du Congrès.

M. LE PRÉSIDENT. — Je remercie, en la personne de Votre Excellence, le Gouvernement de Sa Majesté l'Empereur de Russie. Je remercie également la vaste Association internationale, si puissamment organisée pour l'avancement des questions qui nous intéressent.

Maintenant, Messieurs, je n'ai plus qu'à vous donner rendez-vous à deux heures et demie au Conservatoire des Arts et Métiers, dans lequel vous serez reçus par son aimable directeur, M. le colonel Laussedat. A quatre heures sera servi un lunch, pour lequel nous espérons la gracieuse présence des nombreuses dames ou demoiselles que nous sommes heureux de voir figurer sur la liste des congressistes. Très certainement elles trouveront dans ces belles galeries des objets qui peuvent les intéresser, parfois plus que nous-mêmes, pour des sujets dans lesquels elles se connaissent beaucoup mieux que nous.

Demain matin à neuf heures, ici même, première séance de travail. Nous ferons d'urgence imprimer l'ordre du jour projeté des réunions successives. Il sera affiché avec les quelques modifications qui pourront devenir nécessaires. Dès à présent, nous pouvons vous faire connaître sommairement celui des plus prochaines séances.

M. DEBRAY. — Demain matin j'aurai l'honneur de vous faire une courte conférence sur le mémoire présenté par notre collègue, M. Frémont; M. Bacle présentera également un rapport sur la question du poinçonnage. Nous pensons que ces deux communications, auxquelles pourra s'ajouter l'examen des nombreux échantillons que M. Frémont voudra bien apporter, suffiront pour occuper votre matinée. Nous nous proposons, en effet, d'accompagner ces explications de projections, ce qui produit quelquefois des temps d'arrêt, au grand détriment des auditeurs comme des conférenciers.

A deux heures, M. Retjö fera une communication sur la conduite rationnelle des essais, et M. Hartmann parlera sur les phénomènes qui accompagnent les déformations permanentes. Ces deux conférences comportent également des projections. MM. Galy-Aché et Charbonnier traiteront des propriétés physiques et mécaniques des métaux, et M. Feret nous entretiendra de ses recherches sur la résistance à la rupture des matériaux isotropes non ductiles.

M. LE PRÉSIDENT. — En résumé, nous aurons séance chaque jour à neuf heures et à deux heures, sauf l'après-midi de jeudi, qui sera consacré à l'excursion de Saint-Cloud. C'est dimanche qu'aura lieu celle de Fontainebleau.

La séance est levée à onze heures et demie.

SÉANCE DU MARDI MATIN 10 JUILLET 1900

(DEUXIÈME SÉANCE)

PRÉSIDENCE DE M. HOWE

Assisté de MM. BELELUBSKY et GÉNÉRAL GRAS comme Vice-Présidents

Et de MM. DE BOSCHAN et GUÉRARD comme Secrétaires

La séance est ouverte à neuf heures et quart.

M. LE PRÉSIDENT. — Messieurs, permettez-moi, en ouvrant cette séance, de vous dire un mot très bref de la dette de reconnaissance de toute l'industrie des métaux et de toutes les méthodes de précision envers la France. De même que la France est le pays de l'art, le pays par excellence de la beauté, de même elle a été, on peut le dire, pendant des siècles, le pays de la précision. En regardant les méthodes d'essai d'un certain côté, comme métallurgiste, il me semble que celles des métaux sont souvent peu rationnelles. Pour ne citer qu'un seul exemple, les rails, en service, ont à résister au frottement et au choc des roues; il semble donc peu rationnel de les essayer, c'est-à-dire de déterminer leur résistance à ces chocs et à ces frottements par des essais de traction, de leur demander un allongement de 15 0/0 alors qu'en service ils n'auront pas à subir le moindre allongement permanent.

Je connais très bien les excuses; mais qui s'excuse s'accuse.

En un mot, les conditions des essais de réception doivent se rapprocher autant que possible des conditions les plus sévères du service, ce qui n'est pas le cas pour le moment. A vous, Messieurs, de préparer la réalisation de cet objectif. (*Applaudissements.*)

M. LE GÉNÉRAL GRAS, *vice-président*. — Messieurs, j'ai à vous donner communication d'une dépêche que M. le Président du Congrès a reçue de Christiania. Elle est ainsi conçue :

« Au nom des Techniciens de Norvège, je vous prie de transmettre au Congrès nos saluts confraternels et nos meilleurs souhaits pour le succès de vos travaux. Puissent les conquêtes techniques s'étendre de plus en plus dans le monde.

(*Vifs applaudissements.*)

Signé : « LUND,

« Ingénieur à la Direction générale des chemins de fer
« de l'État norvégien, à Christiania. »

Messieurs, ce télégramme comporte une réponse. Nous adresserons celle-ci en témoignage de nos remerciements :

INGÉNIEUR LUND JERNBANEVASEULT
CHRISTIANIA, NORVÈGE

« Le Congrès des Méthodes d'essai, très sensible à votre cordiale dépêche, vous exprime ses meilleurs remerciements.

« H. DE LA GOUPILLIÈRE. »

M. LE PRÉSIDENT. — La parole est à M. Debray pour la communication de M. Frémont, relative à l'évolution des méthodes d'essai.

M. DEBRAY. — Messieurs, notre collègue M. Frémont a bien voulu présenter au Congrès des Méthodes d'essai un travail considérable sur l'évolution des méthodes et des appareils d'essai. Pour établir ce travail sur des bases à peu près incontestables, M. Frémont a cherché dans les bibliothèques publiques et a recueilli nombre de documents d'où il a pu extraire la genèse de la science qui fait l'objet de notre Congrès.

Le rapport de M. Frémont comporte un grand nombre de figures extraites des ouvrages qu'il a consultés. La difficulté de faire les clichés et d'obtenir l'impression de ces figures, en ce moment où tous les imprimeurs français sont surchargés de travaux, a retardé la publication et la distribution du rapport de M. Frémont. Le Comité d'organisation du Congrès vous en exprime tous ses regrets et vous présente ses excuses les plus vives.

Il a cependant semblé convenable de profiter du concours si considérable de savants, d'industriels, venus de divers pays, pour exposer sommairement les principales idées comprises dans le rapport de M. Frémont, de façon à vous engager à prendre une connaissance plus approfondie de ce rapport, lorsqu'il vous sera distribué.

Avec une rare modestie, M. Frémont a assumé la tâche ingrate de diriger les projections des figures que nous allons faire apparaître sur ce mur. Se souvenant que j'ai été son parrain à la Commission française des Méthodes d'essai et à l'Association internationale, il a bien voulu me demander de remplir le rôle de démonstrateur; j'ai accepté, sachant que je pouvais compter sur toute votre bienveillance.

Il n'est pas inutile de rappeler, au début de cette conférence, ce que M. Frémont rapporte au début de son rapport. C'est que l'emploi judicieux des matériaux dans les constructions exige trois conditions : d'abord *la connaissance des diverses qualités de ces matériaux (chimiques, physiques et mécaniques)*; ensuite *la détermination d'un coefficient de sécurité à appliquer dans les calculs pratiques*; enfin *la vérification par des procédés rapides et économiques des qualités qu'exigent les matériaux de construction*.

M. Frémont rappelle, et nous rappelons avec lui, que nous devons laisser aux constructeurs, ingénieurs ou architectes, le soin de déterminer les coefficients de sécurité qu'il leur convient d'appliquer dans leurs travaux. Nous devons faire cette déclaration pour calmer certaines susceptibilités qui se sont éveillées à diverses reprises, et aussi pour empêcher qu'on nous adresse le reproche de vouloir empiéter sur un terrain qui n'est pas le nôtre. Quant à nous, nous devons nous borner, purement et simplement, à l'étude des matériaux de construction et à la vérification des qualités de ces matériaux de construction. D'ailleurs, l'industrie nous fournit, chaque jour, de nouveaux matériaux de construction; elle met également à notre disposition de nouvelles méthodes pour étudier les matériaux nouveaux et anciens. Nous ne pouvons donc avoir d'autre prétention que de déterminer les règles qu'il peut convenir d'appliquer *à un moment donné* pour étudier les matériaux et en vérifier la qualité. Nous devons être aussi libéraux que possible, laisser la route du progrès largement ouverte à nos successeurs, nous contentant de débayer les abords, de faire quelques travaux d'aménagement à l'origine de cette route; heureux si ces travaux ne produisent pas quelques fondrières.

Dans l'analyse du rapport de M. Frémont, je dois passer rapidement sur les considérations qu'il rapporte, d'après Rondelet et autres auteurs, sur l'art de bâtir chez les Grecs et les Romains.

Nous arriverons aussitôt à un point plus intéressant pour nous et nous parcourrons l'histoire de l'étude de la résistance des matériaux.

C'est Galilée qui paraît avoir, le premier, essayé d'appliquer aux matériaux de construction les lois de la mécanique. Après avoir étudié ce qui se passait dans un fil cylindrique suspendu verticalement et chargé d'un poids, Galilée étudia ce qui pouvait se passer dans un cylindre horizontal encastré à ses extrémités et soumis à son propre poids, puis à des charges verticales. Il établit alors sa théorie des solides d'égale résistance.

Nous ferons apparaître sur le mur la figure de Galilée.

Il ne semble pas que Galilée ni ses disciples italiens se soient préoccupés de faire des expériences sur la résistance des solides; Galilée aurait laissé cet honneur à un Suédois, Wurtz, ainsi que cela semble résulter d'une lettre écrite à Wurtz par un architecte français, François Blondel.

Cet architecte serait le premier Français qui se serait occupé de la résistance des matériaux. Il aurait composé dès 1649, en latin, un opuscule sur la résistance des solides, intitulé *Galilæus promotus*. Il aurait d'ailleurs mis une certaine lenteur à publier ses propositions, donnant ainsi un exemple qui n'est que trop souvent suivi.

M. Frémont rapporte qu'à ce moment il s'éleva en Italie quelques querelles au sujet d'une question de priorité entre différents savants, Alexandre Marchetti, Vincent Viviani et Grandi. Nous n'insisterons pas sur ce point, qui, malheureusement, nous permet de constater que, dès cette époque, les savants avaient une tendance fâcheuse à dépenser une grande partie de leur activité dans des questions de forme au lieu de travailler à faire progresser la science. Nous espérons que cet exemple n'est plus suivi de nos jours. (*Sourires.*)

De l'Italie, nous passons à l'Angleterre, où nous voyons les travaux de Robert Hooke, qui, en 1678, donnait son fameux principe : *Ut tensio, sic vis*, où est annoncée comme base de la théorie de l'élasticité la proportion de l'extension ou de la contraction aux efforts qui les amènent ou les développent.

En même temps, en France, Mariotte complète les travaux de Galilée, introduit la considération de la compression du côté de la concavité de la courbure et de l'extension vers la convexité, ajoutant que les parties étendues se rompent, parce que leur extension veut dépasser une certaine proportion qu'elles ne peuvent plus souffrir. Il en résulte un équilibre en un point où les fibres ne sont ni étendues ni comprimées, sur une ligne que Charles Dupin a appelée la ligne des *fibres invariables* et que Trégold a baptisée *ligne neutre*.

Mariotte aurait donc quelque droit au mérite qu'on attribue généralement à Jacques Bernouilli.

M. Frémont cite encore les travaux de Leibnitz, Varignon, Parent; il arrive ensuite à Thomas Young et à Navier; il indique très sommairement l'influence de Navier, rapporte à Young l'introduction du module d'élasticité.

Notre collègue annonce par ailleurs qu'il a l'intention de reprendre les premières indications contenues dans son mémoire pour les développer et en faire un ouvrage plus complet. Il m'a chargé de prier les membres du Congrès d'excuser les lacunes qui peuvent exister dans ce résumé et de vouloir bien l'aider à les combler. Il m'a prié de m'adresser spécialement à nos collègues étrangers, parce qu'il n'a pas pu trouver en France tous les renseignements utiles pour suivre l'étude historique de la résistance des matériaux à l'Étranger.

Nous passons maintenant à l'évolution des appareils employés pour les essais des matériaux de construction. M. Frémont a reporté à Réaumur l'honneur d'en avoir été l'initiateur. Ce savant semble le premier qui ait introduit des mesures dans l'art d'essayer des matériaux; il nous a laissé une description complète de ses méthodes d'essai dans un livre publié en 1722 : *l'Art de convertir le fer forgé en acier*. Son dixième mémoire donne « les manières de connaître les défauts et les bonnes qualités de l'acier et plusieurs vues pour comparer et essayer des aciers de différents degrés de perfection ». Il remarque que, de son temps, les ouvriers n'avaient pas de procédés pour reconnaître la qualité des aciers : ils s'en rapportaient généralement aux apparences extérieures, aux pailles, à l'apparition de la *rose*, sorte de tache qui se trouve sur la cassure, à des essais à *chaud*, etc., et que leur plus grande préoccupation consistait à se renseigner sur la provenance des aciers.

Réaumur se proposa de trouver des méthodes pratiques pour déterminer le *grain*, la *dureté* et le *corps* d'un acier supposé sans pailles, sans gerçures, sans boursoufflures, sans veines et facile à travailler.

Pour étudier le grain, il préparait à la fois une éprouvette *entaillée* dans *toute la longueur* et qu'il trempait.

Vous voyez que l'idée d'entailler les éprouvettes est déjà fort ancienne.

Pour étudier la dureté, il se servait de matières de dureté différente, verre, cristal de roche, silex, jaspé, diamant. Au moyen de limes de différente dureté, il cherchait quelles étaient celles qui rayaient l'acier étudié. Il faisait aussi des essais de pliage au moyen d'une machine dont vous avez la projection devant les yeux. Cet essai consistait à prendre une tige, un fil d'acier, à l'enserrer dans un étau, puis à presser cette tige de façon à la courber jusqu'à rupture. A gauche de la planche et au-dessous de la clé de l'appareil, vous voyez l'indication d'un essai à la traction.

On peut donc reporter à Réaumur l'idée de faire des essais à la traction comme des essais à la compression.

Réaumur proposait encore de faire des essais de cintrage, comme vous l'indique la planche suivante, sur des anneaux ou cylindres de différents diamètres; il déclarait que l'acier qui se laisserait tourner sur l'anneau de moindre diamètre serait celui qui aurait le plus de corps.

Il avait proposé également des essais de choc, non pour constater la fragilité du métal, mais pour rendre comparable le travail dépensé pour entailler une barre d'acier au moyen d'un ciseau fait avec l'acier à étudier.

Réaumur s'est occupé surtout *de pratique*, il n'a pas cherché à déterminer des coefficients de résistance.

Un point important, c'est qu'il s'était préoccupé de constater l'homogénéité des aciers, et il avait proposé dès ce moment de vérifier la qualité des aciers au moyen du microscope. Vous avez sous les yeux une figure extraite du mémoire de Réaumur. A l'extrémité supérieure à gauche, figure un grain d'acier qui est représenté par la lettre G; puis un morceau de grain d'acier dans lequel sont indiqués par des M les grains d'acier et par des V les vides entre ces molécules d'acier.

Il paraît, d'ailleurs, que les ingénieuses méthodes et les appareils de Réaumur furent peu connus de son temps, car on n'en trouve pas trace dans les auteurs de l'époque.

Nous passons à Pierre Van Musschenbroek, qui, en 1729, publia une dissertation sur la cohérence des corps. Il avait fait toute une série d'essais sur la résistance des matériaux. La planche vous indique de quelles éprouvettes il se servait pour déterminer la résistance des fers et des aciers.

(A ce moment, l'appareil de projection cesse de fonctionner.)

Messieurs, je vous fais toutes mes excuses pour cet incident. Il démontre que j'ai eu raison de prendre le premier la parole: je préfère que cet incident arrive à moi-même plutôt qu'aux rapporteurs qui me succéderont.

Les essais de Van Musschenbroek furent faits dans des conditions très intéressantes, ainsi que vous pourrez en juger en regardant les planches du rapport. Van Musschenbroek avait étudié non seulement la résistance des bois et des fers, mais aussi celle des parchemins, des étoffes.

Comme pour Réaumur, il semble aussi que ses essais n'aient pas été appréciés de son temps comme ils le méritaient.

En même temps, en France, divers expérimentateurs s'occupaient d'essai de matériaux, spécialement d'essais de bois. Nous pouvons citer Buffon, Duhamel, Bélidor, Perronet. Les machines des premiers tendaient surtout à soumettre les corps à la flexion, en les chargeant soit en leur milieu, soit aux extrémités. On doit remarquer dans l'appareil de Duhamel un système qui vise à augmenter progressivement la charge à laquelle est soumis le corps en expérience; c'est le système appliqué maintenant, notamment dans les machines à essayer les ciments: il consiste en une caisse dans laquelle on verse de la grenaille de plomb qui s'écoule peu à peu et vient charger le corps soumis à l'expérience.

Dans certains de ces essais, on remarque une grande analogie entre la disposition adoptée pour les essais de pièces encastrées à l'une de leurs extrémités, avec la méthode connue généralement sous le nom d'appareil de Monge. Du reste, Monge n'a jamais prétendu être l'auteur de cet appareil, qui aurait été imaginé au Creusot par le directeur de l'époque, Ramus.

Perronet s'était servi des machines de Duhamel et autres pour faire des essais de flexion. Il avait fait des essais non seulement sur le bois, mais sur le fer. Il paraît être le premier à avoir imaginé un appareil spécial pour les essais de traction. Cet appareil pouvait, d'ailleurs, servir également à la compression et à la flexion. Cet appareil ou un autre analogue a été employé par Soufflot et par Rondelet, sous ses ordres, pour étudier les matériaux employés à la construction du Panthéon. Il s'est établi encore à cette époque certaines compétitions sur des questions de priorité entre les différents expérimentateurs, entre Perronet et Gauthey. M. Frémont relève que Rondelet, qui avait assisté à une partie des expériences, désireux probablement de ménager les uns et les autres, a, dans son ouvrage, attribué, en un endroit, la paternité de la machine à Perronet et, dans un autre, à Gauthey, en sorte qu'il a satisfait l'un et l'autre.

M. Frémont propose de mettre tout le monde d'accord en faisant remarquer que cette machine n'est, en somme, qu'une modification de la machine de Van Musschenbroek.

Il est intéressant de constater que les constructeurs de l'époque attribuaient une très grande importance aux essais de matériaux de construction, si bien que Lamblardie, chargé de faire des travaux considérables au port du Havre, imagina de faire construire une machine spéciale

sur le type de la machine de Rondelet, mais en augmentant ses dimensions pour produire des efforts allant jusqu'à 100 tonnes. On voit, en transformant les toises en mètres, que la machine de Lamblardie avait environ 12 mètres de hauteur : c'était une machine monumentale. Il est intéressant de constater que le collaborateur de Lamblardie dans ses essais, Girard, avait imaginé, lui aussi, un élasticimètre, de façon à pouvoir apprécier, au moyen d'augmentation des dimensions, les modifications que les charges produisaient dans les corps. On trouve encore un dessin de l'élasticimètre dans l'*Encyclopédie* de Diderot et d'Alembert. Beaucoup d'inventeurs de nos jours peuvent donc s'effacer devant des précédents assez anciens.

Au commencement de ce siècle, c'est l'Angleterre qui a pris le premier rang au point de vue des essais, en raison du grand développement des constructions et spécialement de sa fabrication des chaînes et câbles dans les ponts suspendus. On trouve des dessins de deux machines établies l'une par Brunton, l'autre par le capitaine Sam. Brown, pour essayer les chaînes et câbles. Ce sont des machines très intéressantes. Dans la première, la chaîne à essayer est attachée d'un côté à un point fixe, de l'autre à la tige d'un piston hydraulique. L'eau, pénétrant dans le corps de la presse, refoule le piston, et celui-ci exerce une traction mesurée au moyen d'un poids qu'on pose sur une soupape dont est muni le corps de pompe.

Dans la machine du capitaine Sam. Brown, la chaîne à essayer est attachée d'une part à un treuil d'engrenage, de l'autre à un levier coudé avec balance et plateau; le poids placé sur cette balance indique l'effort auquel le corps est soumis.

Mais, peu après l'établissement de ces machines, Thomas Telford eut l'idée de comparer les résultats obtenus avec ces deux machines. Comme on devait s'y attendre, ils ont été très différents. La cause de cette différence est indiquée par Telford; c'est que la machine de Brunton est une presse hydraulique dans laquelle les grandes pressions donnent lieu à un frottement considérable entre le cuir du piston et le cylindre. La puissance de la machine surmonte à la fois la résistance de l'éprouvette et le frottement. Si donc l'on estime le tout comme répondant à la résistance, l'effort est évalué trop haut.

Dans la machine du capitaine Brown, le frottement et l'inertie de la machine tendent à faire l'estimation de l'effort trop petite.

Vous voyez que les considérations sur la nécessité de vérifier les machines d'essai qui ont été présentées en ces dernières années par différents auteurs, notamment par l'un de nos collègues de la Commission française des Méthodes d'essai, M. Lebasteur, avaient déjà été envisagées au début de ce siècle.

Quelques années plus tard, nous voyons apparaître une machine plus perfectionnée.

De Montaignac, directeur de Guérigny, établit une machine qui s'inspire des principes des deux machines anglaises précitées. Dans cette machine, on distingue nettement les deux parties, celle qui produit l'effort sur le corps soumis à l'essai et celle qui mesure l'effort exercé.

Nous remarquons qu'en Suède, où avaient eu lieu les premières expériences, connues de M. Frémont tout au moins, sur la résistance des matériaux, un ingénieur des Mines, M. Lagerhjelm, fit des expériences comparatives sur la résistance de barres d'acier obtenues les unes par le laminage, les autres par le marteau. Ces expériences ont été faites en 1826 et publiées dans les *Annales du Comptoir de fer de Suède*. Pour ses expériences, M. Lagerhjelm se servait d'une machine à essayer à la traction inventée par Hammarschiöld, et dont vous trouverez le dessin dans le travail de M. Frémont. Toutes ces machines, sauf celle de Brunton, sont fondées sur le principe de la machine de Rondelet : d'une part, le moteur produisant l'effort de traction au fur et à mesure que se produit l'allongement et, d'autre part, une balance constituée par un plateau adapté à l'extrémité d'un bras de levier permettant de connaître, suivant les poids, l'effort supporté par la pièce à essayer.

Navier imagina pour les expériences qu'il fit à l'occasion de la construction du pont des Invalides, un troisième genre de machine constituée par une série de leviers, de façon à compenser l'effet produit par l'allongement des corps soumis à la traction et à maintenir l'horizontalité des bras de levier. Cette machine est intéressante comme étant le type d'une nouvelle série de machines. Comme, à ce moment-là, on faisait beaucoup de ponts suspendus, l'ingénieur des Ponts et Chaussées Leblanc, qui a laissé des souvenirs inoubliables, fut amené à faire, à propos du pont de la Roche-Bernard, de nombreux essais de fils de fer. Il reprit, en somme, la disposition de Musschenbroek en attachant des fils à essayer au crochet d'une romaine suspendue. Il exerçait dans cet appareil la traction nécessaire au moyen d'une vis placée à la partie inférieure.

Les machines construites depuis ce moment reproduisent toutes plus ou moins les mêmes principes. Vous trouverez dans l'ouvrage de M. Frémont quelques types de ces machines nouvelles. M. Frémont a, d'ailleurs, soin de renvoyer les lecteurs à des travaux publiés, d'une part, dans le *Recueil de la Commission des Méthodes d'essai*, par MM. Lebasteur et Arnould, d'autre part par M. Charpy dans la *Revue de mécanique*.

Nous passons alors à la partie la plus nouvelle du travail de M. Frémont : l'évolution des méthodes employées pour les essais. On s'est préoccupé, pour ainsi dire de tout temps, d'essayer les métaux qu'on allait employer à construire. On trouve dans le traité publié par Swedenborg, en 1734, des procédés de recettes utilisés par les marchands qui allaient acheter de grandes quantités de fer en Suède et en Angleterre : il y a, par exemple, l'essai de cintrage, dont on peut avoir idée en lisant l'ouvrage de Swedenborg : « Les marchands choisissent une certaine quantité de barres, deux pour cent, par exemple, qu'ils passent dans une encoche pratiquée dans un gros pieu fixé fortement dans la terre : d'abord, ils font décrire à la barre un léger arc de cercle, puis la ramènent à la ligne droite. Si elle subit la courbure et se redresse bien, c'est l'indice d'une certaine ténacité. Ils recommencent à plier la barre et lui font faire un ou plusieurs tours en la ramenant à la ligne droite. Si la barre subit l'épreuve, c'est assez : le fer est aussi tenace qu'on peut le désirer. »

On faisait également des essais de choc en jetant les barres de toute la force de l'expérimentateur sur un coin de fer arrêté dans un morceau de bois ; ou bien on posait la barre sur un coin et on frappait avec des masses. Si les coups marquaient sur le fer sans qu'aucune partie de la barre ne cassât, c'était l'indice de ténacité.

Dans un ouvrage sur l'artillerie publiée en 1775, M. Grignon donne les mêmes procédés de recette que nous trouvons encore en 1838 dans les instructions de l'artillerie française. En ce qui concerne la cassure, les auteurs disent que les indications tirées de l'aspect du métal peuvent être trompeuses, et qu'il peut être indispensable d'avoir recours à des épreuves pour vérifier et compléter ces premières indications. Ces épreuves se font à froid, en faisant tomber la barre avec violence sur une enclume. C'est l'épreuve déjà décrite par Swedenborg. On a eu ensuite l'idée de percer les barres, de les plier, de les couder et contre-couder en zigzag à angle droit, de les contourner en plusieurs sens, de les tordre en spirale. Si les barres ne périssent pas par le choc, si elles subissent ces tortures auxquelles on les soumet, c'est qu'elles sont de bonne qualité.

En résumé, les essais qu'on faisait subir au fer, au commencement du siècle, étaient des essais de pliage et de choc. On essayait les pièces fabriquées au moyen d'essais analogues : ainsi, pour les essieux, on essayait le corps de l'essieu en faisant tomber un poids déterminé sur la barre reposant sur ses deux extrémités ; on essayait aussi les fusées des essieux par l'épreuve au choc dite de l'escarpolette. On trouve également des prescriptions d'essai de choc pour les flasques en fonte des mortiers.

Vers 1858, des constructeurs anglais, Robert Napier et fils, ayant pris une importante commande de chaudières à haute pression pour la Marine, eurent le désir de faire étudier soigneusement les qualités des divers échantillons de fer et d'acier qu'ils avaient à employer. Dans ce but, ils obtinrent le concours de David Kirkaldy qui se livra sur les échantillons mis à sa disposition à de nombreux essais à la traction. Il publia sur ces essais un ouvrage qui est resté classique et qui jouit de la plus haute réputation. On doit signaler particulièrement dans ces essais l'idée qu'eut Kirkaldy de tracer sur les éprouvettes à essayer des lignes droites ou des cercles, de façon à étudier les déformations qui interviennent. Les éprouvettes de Kirkaldy furent exposées à Vienne en 1873 et attirèrent beaucoup l'attention des ingénieurs et savants qui visitèrent la belle Exposition autrichienne. Kirkaldy fit aussi une étude macrographique des fers laminés, puddlés et martelés. (Il convient de rappeler que cette étude avait été déjà indiquée par Monge dans des instructions données par la Convention pour la recette des fers et aciers.) M. Frémont attribue à la haute valeur des travaux de Kirkaldy le développement que prirent dès cette époque les essais de traction. Il pense que les ingénieurs furent en grand nombre frappés des avantages que pouvait avoir pour eux le procédé d'essai à la traction, qui leur permettait de déterminer les chiffres indiquant les résultats des essais. Cependant, depuis cette époque, les essais à la traction ont eu à subir de nombreuses critiques, et tout à l'heure encore M. le professeur Howe ajoutait une critique des plus autorisées à celles déjà présentées si souvent. M. Frémont considère que, dans l'essai à la traction, on désire chercher la limite d'élasticité apparente, la résistance

maximum supportée par l'éprouvette essayée et l'allongement total subi par cette éprouvette au moment de la rupture. Il fait remarquer qu'il est assez difficile, dans nombre de cas, de déterminer la limite d'élasticité apparente des métaux essayés et que, si l'on fait ces essais avec des machines différentes, on obtient des résultats fort peu concordants. Il en est de même pour la résistance maximum trouvée par l'éprouvette soumise aux essais.

C'est ce qui a été relevé, comme je l'ai dit, il y a nombre d'années et ce qui a appelé en ces derniers temps l'attention d'un grand nombre de savants.

Quant à l'allongement total subi par les éprouvettes au moment des essais, vous savez combien de conditions diverses agissent sur cet allongement total ; je n'ai pas besoin de vous rappeler les propositions faites à maintes reprises, notamment par M. Considère, pour substituer à la considération de l'allongement total celle de l'allongement de striction. Il importe d'ailleurs de noter que les essais de traction ont l'inconvénient d'exiger des quantités importantes de métal, que la confection et l'essai des éprouvettes sont chose assez coûteuse et que ces essais de traction ne peuvent se développer indéfiniment, quel que soit le désir des constructeurs de faire le plus d'essai possible, par suite de la résistance légitime des fabricants contre toute nouvelle augmentation de leurs frais de fabrication. Il est à remarquer d'ailleurs que, dans les essais de traction, on détermine une certaine ductilité, celle des métaux à la traction ; mais on ne détermine nullement une propriété, qualité ou défaut, la fragilité. D'après les travaux récents de différents auteurs, notamment de M. Considère, on doit cependant reconnaître que la détermination de la fragilité des corps au choc offre le plus grand intérêt pour les constructeurs.

Je ne m'attarderai pas plus que M. Frémont à parler des essais de cintrage, de courbure et de pliage, qui se sont trouvés très effacés par les essais de traction. Cependant, notre collègue M. Bebelubsky a eu l'amabilité d'appeler notre attention sur les recherches faites par M. Korobkoff, chef de l'arsenal de Saint-Petersbourg, à l'effet de déterminer la qualité des matériaux par l'adoption de la résistance à la traction comme valeur de la *ténacité*, et l'allongement au pliage comme mesure de la *ductilité*. Nous voyons donc qu'en Russie on attache, et justement, une grande importance aux essais de pliage au point de vue de la ductilité des matériaux.

Je ne parlerai pas non plus longuement des essais de poinçonnage et de cisaillement qui ont été entrepris dans différents pays, notamment en France par M. Frémont, parce que, tout à l'heure, mon collègue et ami M. Baclé traitera particulièrement de cette question. J'arrive immédiatement aux méthodes préconisées par M. Frémont.

M. Frémont est d'avis qu'il serait très intéressant pour les constructeurs, comme pour les fabricants, de développer les essais de pliage en prenant de très petites éprouvettes ayant seulement 25 millimètres de long, 10 millimètres de large et 8 millimètres d'épaisseur ; ces éprouvettes ne pèsent que 15 grammes environ et ont un volume de 2 centimètres cubes seulement. On peut donc prendre ces éprouvettes très facilement et en grand nombre dans les pièces soumises aux essais, ou même déjà essayées, par exemple dans des débouchures de poinçonnage.

Nous allons parer à l'absence des projections en vous montrant un tableau d'éprouvettes d'essais à la traction ; vous pouvez apercevoir, à la partie supérieure, les petites éprouvettes d'essais de pliage que préconise M. Frémont. Rien que ce tableau vous montre combien il y a de différence entre ces nouveaux essais et les anciens. Sur les planches que je fais circuler dans la salle, vous verrez comment on peut prélever des éprouvettes dans un petit morceau d'acier, une éprouvette, même dans une débouchure de poinçonnage.

Afin de pouvoir classer les métaux et déterminer leur fragilité lorsqu'on opère sur des échantillons de cette sorte et par le pliage, il importe de prendre des dispositions spéciales, de façon que toutes les éprouvettes ne viennent pas se plier en bloc sans montrer de différences sensibles. A cet effet, M. Frémont, reprenant des idées anciennes, et reprises également, en ces derniers temps, par d'autres savants français et étrangers (je citerai, parmi les Français, MM. André Le Chatelier et Barba), M. Frémont a eu l'idée d'entailler ces éprouvettes de façon que les épreuves soumises aux essais de pliage puissent se rompre avant d'avoir supporté le pliage à bloc.

D'ailleurs, au lieu de faire le pliage, comme on l'a fait jusqu'à présent, sans en prendre la mesure, M. Frémont a imaginé une machine qui permet de déterminer à chaque instant l'effort exercé sur l'éprouvette qu'on plie et le mouvement de cette éprouvette. La machine de M. Frémont est donnée en dessin dans son mémoire ; mais il sera très intéressant pour beau-

coup d'entre vous d'aller l'examiner en nature à l'Exposition, classe 21, Galerie des Machines, près de l'avenue de La Bourdonnais.

J'aurais voulu vous faire apparaître des diagrammes de pliage obtenus à l'aide de cette machine et qui sont très curieux en ce qu'ils montrent notamment la différence entre le fer et l'acier essayés dans le sens du laminage et dans le sens perpendiculaire. On voit que la résistance est beaucoup plus grande dans un sens que dans l'autre, et on peut déterminer cette différence.

Quelques éprouvettes se rompent brusquement sous l'effort de la pression statique, mais beaucoup subissent un allongement assez considérable, parce que l'effort qu'on exerce sur ces éprouvettes, étant progressif, permet à la matière de développer toute sa capacité de résistance.

Afin de mesurer la fragilité, M. Frémont soumet ces éprouvettes à des essais de pliage, non pas par pression statique, mais par choc. Là aussi, il y a innovation complète dans la méthode et les appareils de M. Frémont : en effet, notre ingénieux collègue est parvenu à trouver un appareil de choc qui, après rupture de l'éprouvette, enregistre la quantité de force vive qui reste dans le mouton, en sorte que, par différence entre la quantité de force vive totale et la quantité de force vive que le mouton a encore après le choc, on détermine la quantité de force vive absorbée dans le choc. Si l'on fait la comparaison de la force vive nécessaire pour casser une éprouvette par choc et de la quantité de force vive nécessaire pour la casser par pression statique on arrive à ce résultat que, dans certains cas, lorsque les métaux sont parfaitement ductiles et très doux, les éprouvettes rompues par pression statique comme celles rompues par choc présentent à peu près les mêmes caractères et la quantité de force vive absorbée dans les deux cas est sensiblement la même. Si, au contraire, l'éprouvette est très fragile, on voit qu'il y a une grande différence entre la quantité de travail nécessaire pour casser l'éprouvette par pression statique et la quantité nécessaire pour la rompre par choc. Du reste, les éprouvettes se présentent dans des conditions très différentes.

Le mémoire de M. Frémont se termine par une application des plus intéressantes de ces méthodes.

Un cas particulier qui touche beaucoup d'entre nous, c'est l'essai de rails. On croirait vraiment que M. Frémont a eu communication préalable de l'allocution de M. le président-professeur Howe. Voici, en effet, comment M. Frémont a eu l'idée d'étudier des rails. Vous savez que, dans ces dernières années, notamment en Allemagne et en Autriche, on a repris l'idée de l'étude macrographique des rails. On fait l'attaque des rails par divers procédés, notamment au moyen d'acides, et, suivant les différences qu'on constate sur les zones diverses des rails, on se fait une idée plus ou moins théorique de la valeur des rails, des différences de résistance, de ténacité, de ductilité qu'on trouve en plusieurs points. Eh bien ! prenant un rail, M. Frémont l'a divisé d'abord, au moyen de traits, en 37 échantillons ; il en a soumis un certain nombre à des essais de flexion statique en entaillant les barreaux. Il a obtenu des résultats très différents suivant les points auxquels il s'était adressé. Par exemple, les efforts maxima qui ont provoqué les ruptures ont varié de 1.550 à 2.550 kilogrammes. Il est facile, et vous en trouverez la figure dans le rapport de M. Frémont, d'indiquer sur l'emplacement de chaque éprouvette le résultat de l'essai.

A la suite de ces essais sur éprouvettes entaillées, M. Frémont a pensé qu'il était inutile d'entailler les autres éprouvettes qui restaient à sa disposition, et il les a soumises à des essais de choc. Il a obtenu également des résultats assez différents ; je trouve, par exemple, sur un tableau, des chiffres variant de 6 et 7 kilogrammètres à 27, 29 et 30 kilogrammètres. On a donc pu étudier ainsi la différence de l'acier en différents points. Il a été possible de replacer ensuite les éprouvettes à la place qu'elles occupaient dans la section du rail, ce qui constitue un tableau très suggestif et bien plus facile à se passer de main en main qu'un tableau d'éprouvettes d'essai à la traction.

Les considérations historiques et scientifiques, les propositions techniques comprises dans le rapport de M. Frémont dont je viens de donner une analyse sommaire, peut être sur certains points infidèle et pour lesquelles a manqué le principal attrait des figures ; ces considérations, dis-je, peuvent donner lieu à discussion. Nous souhaitons même que cette discussion se produise, puisque, dit-on, c'est de la discussion que jaillit la lumière. Quoi qu'il en puisse advenir, il est incontestable que le travail de M. Frémont constitue une œuvre considérable et nous devons tous

le remercier d'avoir bien voulu nous communiquer les résultats de ses travaux et de ses études avec un parfait désintéressement.

Je suis assuré que M. le Président du Congrès se fera bien volontiers l'interprète des sentiments unanimes de l'Assemblée en appelant l'attention du Commissariat général et du Gouvernement sur les titres tout particuliers que M. Frémont s'est acquis à obtenir une haute récompense et un témoignage particulier d'estime. (*Applaudissements.*)

Quant à moi, je vous remercie Messieurs, de toute votre bienveillance. (*Applaudissements.*)

M. LE PRÉSIDENT. — Nous sommes très reconnaissants à M. Frémont de ses admirables recherches et de ses brillants résultats.

Nous remercierons aussi M. Debray pour la clarté avec laquelle il en a fait l'exposé. (*Applaudissements.*)

La parole est à M. Belebubsky.

M. BELEBUBSKY. — Je m'intéresse déjà depuis longtemps de cette question. J'ai eu occasion de la suivre à Paris, où j'ai eu souvent occasion de venir, notamment lors des séances du Comité directeur de l'Association internationale, ou encore pour le cinquantenaire de la Société des Ingénieurs civils. A chaque fois, j'ai eu l'avantage d'aller voir l'atelier de M. Frémont et de voir où il en est de ses travaux qu'il veut bien de temps en temps publier.

M. Frémont vient d'exécuter un travail important, ajoutant à ses publications partielles, qui contiennent les résultats obtenus avec les méthodes d'essai qu'il expérimente, une partie historique qui intéressera vivement tous les techniciens. Nous serons tous reconnaissants à M. Frémont de ce beau travail introductif de l'histoire de la résistance des matériaux.

Prenant connaissance de ses travaux, j'ai eu le grand plaisir de recevoir de M. Frémont le second exemplaire de sa machine pour étudier le travail du poinçonnage. Cette machine est actuellement à Tomsk, en Sibérie. C'est le second exemplaire de la machine qu'il a inventée pour étudier un travail consommé.

Grâce aux procédés de M. Frémont, nous obtenons d'excellents résultats dans l'étude des qualités d'acier et des méthodes pour le rechercher. Mais ces procédés ont aussi une grande importance au point de vue purement théorique; il serait très désirable qu'ils trouvent leur place dans les laboratoires des écoles, qui possèdent des moteurs, et où on étudie la qualité des matériaux comme base des recherches de leur résistance. En conclusion de la conférence de M. Debray, il serait désirable que le Congrès émette un vœu en faveur de l'admission des procédés de M. Frémont dans les laboratoires d'études scientifiques comme jetant une vive lumière sur la science de la résistance des matériaux. (*Applaudissements.*)

M. LE PRÉSIDENT. — La parole est à M. Baclé.

M. BACLÉ. — Messieurs, nous pensions pouvoir vous distribuer ce matin les ordres du jour que nous faisons imprimer. L'imprimeur me promet que nous les aurons ce soir. Je vous donnerai toutefois lecture des prochains ordres du jour pour que ceux d'entre vous qui voudront prendre part aux discussions prennent leurs dispositions en conséquence.

Cet après-midi, M. Rejtö parlera de la *Conduite rationnelle des essais*. M. Hartmann doit parler des phénomènes qui accompagnent la déformation permanente. Si l'appareil à projections n'est pas réparé, peut-être serons-nous amenés à ajourner cette communication.

M. BACLÉ. — MM. Galy-Aché et Charbonnier traiteront des propriétés physiques et mécaniques des métaux.

Enfin, M. Feret fera une communication sur les résistances à la rupture des matériaux isotropes non ductiles.

Demain matin mercredi, à neuf heures, M. Howe présentera sa communication *sur les Résistances comparatives à la corrosion*. M. Rateau parlera des *Essais de torsion*.

M. André Le Chatelier traitera de *l'influence de la température et de la durée dans les essais*.

Mercredi après midi, il y aura deux séances : l'une, qui aura lieu dans cette salle, sera surtout consacrée aux matériaux autres que les métaux. En voici l'ordre du jour :

M. Marva y Mayer, *Épreuves de gélivité des pierres* ;

M. le général Schoulatchenko, *De l'action de l'eau de mer sur les mortiers hydrauliques* ;

M. H. Le Chatelier, *Sur la décomposition des ciments à la mer* ;

M. Deval, *Essais de ciment à l'eau chaude* ;

M. Feret, *Expériences sur les pouzzolanes* ;

M. Feret, *Essais par voie humide* ;

M. Forti, *Désagrégation des ciments* ;

M. Autissier, *Essais des ardoises*.

Voici l'ordre du jour de la séance qui aura lieu en même temps, l'après-midi, dans la salle 1 :

M. Henning, *Enregistreur portatif pour l'essai des matériaux* ;

M. Lanna, *Etudes expérimentales sur les ponts métalliques* ;

M. Seefehlner, *les Chaines du pont suspendu sur le Danube de l'Esküter à Budapest* ;

M. Herzenstein, *Laboratoires d'essai dans les chemins de fer* ;

M. Masson, *le Service des essais au Conservatoire national des Arts et Métiers* ;

M. Debray, *les Laboratoires de l'École nationale des Ponts et Chaussées*.

Jeudi matin, nous aurons une séance dans cette salle ; mais il n'y aura pas séance dans la soirée. L'après-midi sera consacrée, en effet, à une excursion à Saint-Cloud.

Vendredi matin, nous aurons séance ici ; l'après-midi, nous aurons deux séances, l'une ici et l'autre dans la salle n° 1. Aussitôt imprimé, l'ordre du jour vous sera distribué. Le lundi 16, dans la matinée, nous aurons la séance de clôture, dans laquelle seront reportées les communications qui n'auraient pas trouvé place au cours des séances de la semaine.

M. HATON DE LA GOUPILLIÈRE. — J'intercalerai ici les communications extra-scientifiques du Comité des Fêtes.

Nous avons dit hier que le banquet final aurait lieu lundi soir. Mais nous avons besoin de connaître le plus tôt possible les intentions de chacun.

Je prie donc ceux d'entre vous qui se proposent d'assister au banquet, et qui ne se sont pas encore fait inscrire, de vouloir bien le faire au plus tôt, afin que nous puissions passer le traité nécessaire. (*Très bien !*)

M. LE PRÉSIDENT. — La parole est à M. Baclé pour sa communication *sur les Essais de poinçonnage*.

M. BACLÉ. — Messieurs, dans l'éloquente communication que vous venez d'entendre, M. Debray vous a fait assister à l'évolution des méthodes d'essai. Il a évoqué devant vous la figure des savants illustres des siècles passés qui se sont attachés à apporter un peu d'ordre et de méthode dans les essais ayant pour but d'apprécier la résistance des matériaux, lesquels, autrefois, étaient conduits de façon fort arbitraire.

Les efforts de ces praticiens ont consisté surtout à remplacer ces méthodes arbitraires par d'autres méthodes susceptibles de donner des résultats précis et bien définis, capables de se traduire par un chiffre, lequel devait être considéré en quelque sorte comme représentant exactement, numériquement, la propriété qu'on voulait étudier.

Nous voyons ainsi comment les méthodes susceptibles de donner un chiffre indépendant d'une appréciation nécessairement arbitraire et toujours intéressée se sont imposées peu à peu et se sont substituées aux méthodes antérieures, lesquelles, cependant, dans les mains d'un expérimentateur consciencieux et désintéressé, restaient susceptibles de fournir des indications utiles pour l'estimation de la qualité des matériaux.

C'est là surtout la raison fondamentale qui a fait que l'essai de traction a pris peu à peu, parmi les méthodes d'essai, une place prépondérante ; il a été considéré en effet, et maintenant il l'est encore, comme étant la méthode d'épreuve par excellence, impeccable, pourrait-on dire.

Nous voyons les essais de traction appliqués maintenant dans tous les cahiers des charges, même pour la réception de produits soumis à des usages qu'on pourrait presque qualifier de secondaires.

Les expérimentateurs et les théoriciens de toute nature se sont préoccupés surtout de l'essai de traction et en ont fait ressortir les qualités et les défauts ; ils l'ont enfin soumis à une analyse minutieuse, au double point de vue théorique et pratique, c'est-à-dire en combinant à la fois les ressources de la théorie la plus savante avec celles des ateliers les mieux outillés, comme nous l'avons vu faire par notre collègue français M. Barba.

Cette étude approfondie, cette analyse minutieuse ont eu pour conséquence, comme il arrive souvent en pareil cas, d'ébranler une autorité restée jusque-là incontestée ; on a dû reconnaître en effet, lorsqu'on a abordé l'examen des phénomènes de plus près, que les essais à la

traction n'apportent pas des résultats proportionnels aux dépenses de temps et d'argent qu'ils exigent.

Les deux principales données qu'on en déduit, la charge de rupture et surtout l'allongement, ne donnent pas une caractéristique fondamentale du métal, car on observe continuellement des irrégularités manifestes aux divers points d'une même pièce, surtout avec les produits commerciaux. Les différences constatées sont trop considérables pour qu'il reste possible de conserver à l'essai de traction cette supériorité incontestable qu'on lui attribuait. Cet essai nous renseigne, en effet, et dans une certaine mesure, sur la seule propriété de ductilité, et il laisse de côté une propriété capitale, la résistance à la fragilité. Il faut observer, en effet, que c'est plutôt par fragilité que par défaut de résistance que les pièces périssent le plus souvent.

Du moment où l'on ne peut pas espérer trouver dans l'essai de traction le résultat absolu que l'on recherche, on en revient forcément à l'idée de reprendre les procédés plus simples, susceptibles de s'appliquer dans des conditions plus modestes aux opérations d'atelier, pour leur demander de nous révéler justement ces qualités des métaux. C'est ainsi que l'attention s'est trouvée ramenée sur le poinçonnage.

C'est une des opérations d'atelier les plus fréquentes; à chaque instant, on se trouve amené à poinçonner des tôles et autres pièces de toute nature. Si on exerce à la main l'effort nécessaire, on peut se rendre compte dans une certaine mesure de la résistance de la pièce, et apprécier la qualité du métal à ce point de vue. Mais ce n'est là encore qu'une évaluation arbitraire, soumise à l'appréciation plus ou moins intéressée de l'expérimentateur. Il faut donc trouver un moyen de dégager une donnée absolue, en quelque sorte, et tout à fait indépendante du point de vue de l'expérimentateur.

C'est précisément le but que nous nous sommes proposé dans les expériences que j'ai faites en collaboration avec M. Frémont, dont on vous a déjà exposé les remarquables travaux sur les méthodes d'essai. L'application du poinçonnage comme méthode d'essai présente un intérêt évident, et depuis longtemps on avait songé à y recourir.

Dès 1875 nous voyons un ingénieur anglais, M. Josiah Smith, de Barrow-in-Furness, annoncer devant un Congrès réuni en Angleterre qu'il essayait les rails par ce procédé, c'est-à-dire qu'il déterminait l'effort que le poinçonnage avait développé lorsqu'il perçait les trous d'éclisses dans des rails. Avec ce procédé, disait-il, il avait obtenu des résultats satisfaisants, lui permettant d'écarter les pièces mauvaises, ce qui est le but nécessaire de toute méthode d'essai. M. Smith insistait, lui aussi, sur les inconvénients de l'essai de traction, qui oblige, disait-il, dans le cas des rails, à sacrifier la pièce entière, tandis que le poinçonnage des trous d'éclisses laisse la pièce intacte, toujours bonne pour l'emploi. On a, de plus, une garantie de la qualité de la pièce même et non pas simplement de la qualité de pièces sœurs fabriquées en même temps, ce qui ne veut pas dire qu'elles soient identiques.

Mais la difficulté était toujours de trouver le moyen de déduire de l'expérience de poinçonnage un chiffre précis, quelque chose qui pût être considéré comme représentatif de la qualité du métal à ce point de vue. Aussi, malgré les avantages que l'essai de poinçonnage présentait, la méthode restait inappliquée.

En France, l'éminent ingénieur des constructions navales, M. Berrier-Fontaine, avait fait des essais dans lesquels il s'attachait à mesurer les efforts développés dans le poinçonnage. Opérant avec une presse hydraulique, il avait eu l'idée d'appliquer un manomètre sur le cylindre de la poinçonneuse de façon à observer la pression supportée par l'eau agissant sur le piston de la poinçonneuse. M. Berrier-Fontaine était arrivé ainsi à obtenir des diagrammes représentatifs de l'effort et qui, en général, présentaient la forme ci-contre (*fig. 1*). Il faut reconnaître, toutefois, que cette forme ne répond pas à la réalité des faits; car, en pratique, lorsqu'on essaie de poinçonner à la main, on reconnaît que cet effort maximum accusé par le sommet de la courbe, n'est pas instantané, il dure un temps très appréciable. Il faut admettre dès lors que, dans l'expérience de M. Berrier-Fontaine, il se produisait un effet de lancé du ressort du manomètre, lequel avait pour

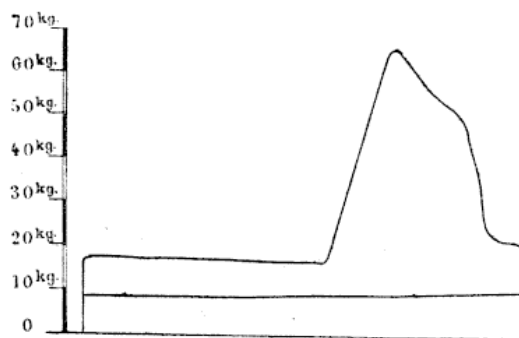


FIG. 1.

conséquence de relever outre mesure l'index du crayon indicateur. En Amérique, M. Hunt avait effectué des expériences analogues et obtenu un diagramme du même genre. Si l'appareil de projections avait fonctionné, nous vous aurions montré cet appareil.

En France, un ingénieur de la Compagnie des Chemins de fer de l'Est, M. Tolmer, avait eu l'idée, lui aussi, de chercher à mesurer l'effort ou le travail développé dans le poinçonnage. Il se servait à cet effet de la presse hydraulique utilisée dans l'atelier de la Compagnie pour le calage des roues. Il effectuait le poinçonnage sous l'action du piston de cette presse. Comme, d'autre part, celle-ci était munie d'un manomètre dont il observait continuellement les indications au cours de l'expérience, il arrivait à noter ainsi l'effort développé à chaque instant dans la course du poinçon à travers la tôle. Le procédé était toutefois bien compliqué, car il exigeait l'intervention de plusieurs opérateurs, l'un notant l'état d'avancement du poinçon, l'autre relevant les indications du manomètre, et chacun portant sur un tableau spécial les résultats observés. On obtenait ainsi une série de points qu'on devait relier ensuite par une courbe.

Le procédé était évidemment imparfait, en raison des temps perdus, d'abord au moment même de l'observation, ensuite avant l'inscription. Du reste, M. Tolmer reconnaissait qu'il y avait mieux à faire.

C'est alors que M. Frémont a entrepris ces expériences de poinçonnage qui ont été le début des admirables recherches dont on vous a entretenus. M. Frémont a eu cette idée, tout à fait ingénieuse, on pourrait presque dire géniale dans sa simplicité, d'utiliser les déformations élastiques que subit le bâti de la machine pour en tirer une indication sur la valeur de l'effort développé.

Si nous considérons une poinçonneuse avec son bâti en forme de C dont la mâchoire inférieure est rendue complètement immobile, étant fixée sur le sol, la réaction nécessaire qui se développe dans le bâti au moment où le poinçon exerce son action sur le rail où il va percer un trou, se transmet sur la mâchoire supérieure du C et tend à l'écarter de la mâchoire inférieure fixe, de sorte que l'écartement de ces deux mâchoires ne reste pas absolument constant.

Si l'on pouvait enregistrer ces déformations élastiques du bâti, on aurait la représentation de l'effort développé dans la machine.

M. Frémont a donc inventé à cet effet cet appareil d'enregistrement particulièrement ingénieux qu'il a appelé élasticimètre. C'est une sorte de compas dont une branche reste fixe, tandis que l'autre est rattachée à la mâchoire supérieure mobile du bâti de la poinçonneuse, et se déplace avec elle. A l'extrémité de cette branche se trouve le crayon enregistreur qui inscrit les déformations sur un tableau également mobile. La combinaison des deux mouvements donne le diagramme du poinçonnage. L'ouverture du compas est proportionnelle à celle du bâti.

Le déplacement de la mâchoire mobile est limité sans doute à quelques millimètres, surtout avec les poinçonneuses qui n'ont pas été construites spécialement en vue de donner des déformations amplifiées. Mais, en donnant au compas des branches de grandes longueurs, on peut amplifier cinquante et même cent fois les déformations élastiques. On a donc ainsi la représentation de l'effort développé par l'ouverture de la branche mobile du compas, qui fournit l'ordonnée verticale du diagramme, et on complète celui-ci par la représentation de la course du piston portée en abscisse. Il suffit à cet effet de solidariser le tableau lui-même avec le poinçon, en l'y rattachant directement par un fil, de façon à l'obliger à se déplacer avec lui.

On inscrit ainsi automatiquement les diverses positions du poinçon correspondant aux valeurs respectives de la pression développée pendant le cours de l'opération de poinçonnage.

On voit par là que l'élasticimètre enregistre les flexions provoquées dans le bâti pour des valeurs correspondantes de l'effort exercé, et nous avons pu d'ailleurs constater que ces flexions sont rigoureusement proportionnelles à ces efforts. Il en résulte donc que les indications inscrites sur le tableau enregistreur sont proportionnelles aux efforts développés, et, dès lors, nous pouvons à chaque instant déduire la valeur de cet effort de la mesure de l'ordonnée du diagramme. Dès le début de l'opération, au moment où le poinçon commence à pénétrer, on voit le crayon de l'enregistreur s'élever verticalement d'un mouvement rapide et rester ensuite à peu près stationnaire pendant quelques instants. La pression développée dans le cylindre de la poinçonneuse dont nous suivons ainsi les variations conserve donc sa valeur maximum pendant un certain temps. Cette période est celle qui correspond au travail de déchirure du métal sous l'influence de l'effort du poinçon. Quand la déchirure est complètement opérée, l'ordonnée verticale de la courbe s'abaisse alors, et on arrive à une phase nouvelle de l'opération, qui est le travail d'expulsion de

la débouchure; celle-ci, en effet, n'est pas cylindrique, mais elle présente la forme d'un double tronc de cône, évasé à partir de la petite base commune, située au milieu de l'épaisseur, et il faut un effort appréciable pour obliger la base supérieure élargie à traverser la section étranglée du milieu.

L'élasticimètre ainsi constitué est applicable à toutes les machines-outils comportant un bâti à branches déformables, et, en nous attachant aux poinçonneuses en particulier, nous avons pensé immédiatement que l'emploi de cet appareil nous fournirait le moyen cherché de les utiliser comme des machines d'essai. Je vais donc vous résumer les recherches que nous avons effectuées pour y parvenir.

Il convient d'abord d'élucider la théorie du poinçonnage, et je reviens à cet effet à l'étude de la forme de la débouchure comportant ces deux troncs de cône réunis par leur petite base commune, mais sur laquelle vous remarquerez ces déchirures constamment dirigées vers le bas (*fig. 2*). C'est là un phénomène que les expérimentateurs antérieurs avaient été impuissants à expliquer. M. Tresca, par exemple, avait fait des expériences très connues sur le poinçonnage; il avait superposé un certain nombre de tôles minces en plomb et il les avait poinçonnées en enfonçant le poinçon à des degrés divers. Il avait ensuite essayé d'observer les déformations qui se produisaient sur ces couches superposées. En coupant la partie poinçonnée, il arrivait à constater que toutes les couches étaient déformées parallèlement: on obtient alors, en effet, une série de cuvettes concentriques emboîtées l'une dans l'autre. Si donc le phénomène se reproduisait dans les mêmes conditions lors du poinçonnage d'une tôle un peu épaisse en fer ou en acier, on devrait obtenir des débouchures portant leurs déchirures dirigées vers le haut; or, c'est là une prévision absolument contredite par l'observation courante des faits; il restait donc à s'expliquer le mécanisme de la déformation des débouchures et à analyser le phénomène dans une étude minutieuse.



FIG. 2.

Disons d'abord que M. Frémont a commencé ses expériences sur la tôle de fer en y faisant pénétrer le poinçon successivement à des profondeurs variables. M. Frémont coupa ensuite la

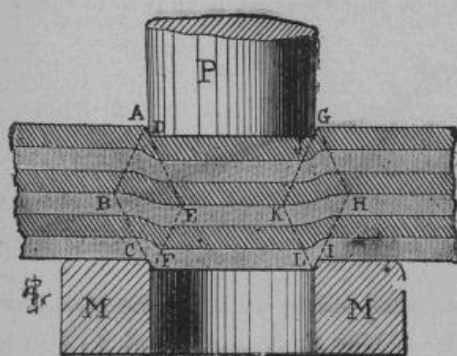


FIG. 3.

tôle suivant un diamètre des divers trous ainsi amorcés, et il put étudier ainsi les déformations correspondantes aux diverses étapes d'avancement du poinçon. Il arriva ainsi à reconnaître que la mise supérieure et la mise inférieure de la tôle épaisse subissent peu de déformations et se trouvent tranchées aussitôt que le poinçon commence à pénétrer. Au contraire, l'allongement se produit dans les mises du milieu: celles-ci doivent être considérées comme constituées par un cercle intérieur resté indemne, rattaché par une partie déformée à la partie indemne de la couche horizontale dont elle dépend, laquelle se limite également par un cercle extérieur concentrique au premier; la partie affectée

par le poinçonnage constitue, en un mot, dans chaque couche, un anneau circulaire reliant les parties intérieures et extérieures indemnes.

Voici, en un mot, ce qui se produit: la partie supérieure de la tôle est tranchée tout d'abord; puis, au fur et à mesure qu'on pénètre à l'intérieur, on constate que les parties comprises à l'intérieur du volume engendré par la rotation du losange ABCDEF (*fig. 3*) subissent des allongements d'autant plus considérables qu'elles sont plus rapprochées du milieu de l'épaisseur.

La partie qui travaille est celle qui est comprise dans ce losange. Vous voyez donc que les mises du milieu s'allongent beaucoup, tandis que celles des extrémités du losange ne s'allongent pour ainsi dire pas à l'intérieur de la figure D E F G K L, le métal n'éprouve presque aucune déformation. Pour chaque mise horizontale, le cercle de déformation se trouve délimité par le point d'intersection du côté du losange avec cette mise, et on voit immédiatement que les zones déformées constituent dans chaque mise une région annulaire qui va continuellement en s'élargissant depuis les bords jusqu'au milieu de l'épaisseur. La fatigue supportée par le métal se concentre dans le double losange ainsi constitué, elle produit sur chaque mise des allongements qui vont en augmentant depuis les bords jusqu'au milieu de l'épaisseur. Toutes ces fibres, que

nous voyons se déformer, ont leur section minimum sur le cercle intérieur de la débouchure, ainsi que nous le voyons sur la figure 4, et, dans le trapèze TKSH, c'est la partie intérieure TK, qui fatigue le plus, puisque c'est elle qui a le moindre contour. Il résulte de là que la déchirure se produit forcément sur le cercle intérieur.

Nous avons là la raison théorique pour laquelle la débouchure se présente toujours suivant une forme en double tronc de cône.

Il faut observer, toutefois, que la forme effective de la débouchure diffère sensiblement de celle du double tronc de cône considéré, car l'inclinaison de la paroi de la débouchure sur la verticale est toujours moins prononcée dans la partie supérieure que dans la partie inférieure,

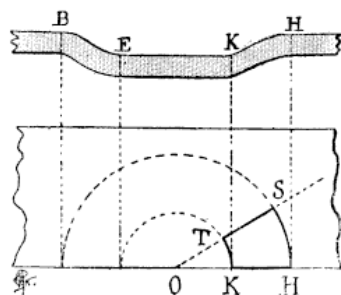


Fig. 4.

et nous avons, d'autre part, à expliquer la formation et la direction des déchirures.

Pendant qu'il s'enfonce dans l'épaisseur de la tôle, le poinçon appuie forcément sur les mises des régions supérieures, et de ce chef il contribue à la résistance de celle-ci par l'effort de frottement qu'il développe. Il en résulte que, pour ces mises, la séparation ne s'opère plus exactement sur le contour des petits cercles délimités par le côté intérieur du losange, elle va tendre à se rapprocher de la verticale comme si le poinçon cisaillait effectivement la tôle suivant son propre contour.

Il en résulte donc que, dans cette région, la déchirure s'opère suivant une direction oblique intermédiaire entre la verticale et la direction théorique représentée par l'arête du losange.

Cette explication, valable pour la partie supérieure de la section pressée par le poinçon, ne s'applique plus, toutefois, à la partie inférieure. Là, en effet, rien ne s'oppose plus à ce que la déchirure se produise suivant une ligne théorique. En fait, la séparation va s'établir suivant une ligne inclinée; mais, comme le poinçon continue sa marche à travers la tôle et tend à la cisailer suivant la verticale et que la séparation dans le haut s'est produite suivant une ligne intermédiaire plus rapprochée de la verticale que la ligne théorique de poinçonnage, il en résulte que la ligne intermédiaire venant du haut se prolonge, au delà du milieu de l'épaisseur, jusqu'à ce qu'elle rencontre la ligne théorique de rupture qui s'est déclarée en partant de la mise inférieure et s'est propagée déjà jusqu'au milieu de l'épaisseur.

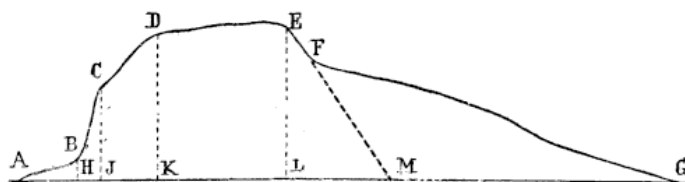


Fig. 5.

La rencontre se produit au-dessous du milieu, ce qui donne ainsi autour de la section étranglée du milieu ces déchirures formant collerette caractéristique, comme je le disais tout à l'heure, et nous trouvons en même temps l'explication, toujours cherchée jusqu'à présent, de cette forme de ces déchirures constamment dirigées vers le bas sur les débouchures de poinçonnage.

Nous avons là une explication qui, jusqu'à plus ample informé, peut être considérée comme satisfaisante, comme suivant bien le phénomène dans toutes ses modalités. Nous pouvons dire, en effet, qu'elle a été adoptée par tous les ingénieurs compétents et je ne vois pas qu'elle ait soulevé aucune objection.

Maintenant que nous possédons l'explication théorique de l'action du poinçonnage, nous pouvons revenir au diagramme type que nous obtenons avec l'élasticimètre (fig. 5) et voir le parti que nous pouvons en tirer pour l'appréciation de la qualité des métaux. C'est le sujet des recherches que nous avons poursuivies avec M. Frémont, recherches qui, malheureusement, sont encore loin d'être bien avancées, car nous avons dû opérer tout d'abord sur des poinçonneuses d'atelier que des directeurs d'usines et des ingénieurs de chemins de fer ont bien voulu gracieusement mettre à notre disposition. Comme ces appareils n'avaient pas été faits en vue de ces recherches, que, d'autre part, on en avait besoin pour le travail des ateliers, il nous était impossible de prolonger longtemps ces expériences. Dans cette situation, M. Frémont s'est décidé à faire construire une poinçonneuse disposée spécialement à ce point de vue. Cet appareil n'a pu être terminé que peu de temps avant l'Exposition, en sorte que nous n'avons pas pu nous

en servir encore de façon un peu suivie, et nous ne sommes pas en mesure de vous apporter des résultats bien définis. Permettez-moi de mentionner en passant que cette machine figure à la classe 22, dans l'exposition de M. Frémont.

Si nous revenons maintenant à l'interprétation des diagrammes obtenus au moyen de l'élasticimètre, les ordonnées représentent l'effort développé sur le poinçon ; l'abscisse représente la course en vraie grandeur.

Vous voyez, d'après le diagramme, que l'effort développé atteint très rapidement sa valeur maximum et s'y maintient ensuite un certain temps ; c'est la période d'étirage des diverses mises du métal dans la partie située à l'intérieur des losanges que nous venons de considérer. Pendant tout ce temps, l'effort se maintient sinon à sa valeur maximum, du moins à une valeur sensiblement peu différente. Nous avons donc une traduction du diagramme explicatif présenté plus haut, et nous pouvons retenir que nous avons pu enregistrer l'effort développé. Antérieurement, les premiers expérimentateurs avaient cru pouvoir prendre en bloc la surface des diagrammes de poinçonnage obtenus par eux comme représentant le travail développé dans cette opération ; vous voyez par l'examen du diagramme fourni par l'élasticimètre qu'il est préférable de considérer individuellement les diverses parties du diagramme et d'en faire l'analyse pour essayer de déterminer la valeur à attribuer à tous les éléments de ce diagramme. J'ajouterai d'ailleurs que la partie inclinée FGM du diagramme ne doit pas entrer en ligne de compte dans l'appréciation du travail de poinçonnage, car elle correspond simplement à la période d'expulsion de la débouchure. Pour le moment, nous retiendrons seulement que l'ordonnée est proportionnelle à l'effort développé, et nous ajouterons, d'ailleurs, qu'il y a généralement une correspondance bien marquée entre l'effort de poinçonnage ainsi obtenu et l'effort de traction rapporté également à l'unité de section. Si on effectue ce calcul, on reconnaît que l'effet de poinçonnage représente en général les 7 à 8 dixièmes de l'effort de traction, et il y a donc parallélisme certain entre les deux modes d'effort.

D'autre part, nous avons pu vérifier le parallélisme de l'accroissement de l'effort de poinçonnage avec l'épaisseur traversée, en opérant sur des tôles d'épaisseurs croissantes.

Nous avons pris à cet effet des barres de 25 centimètres que nous avons rabotées en différents points de leur longueur aux épaisseurs de 5, 10, 15 et 20 centimètres et, en les poinçonnant sur chacune de ces épaisseurs, nous avons toujours constaté, d'après l'examen des diagrammes correspondants, que les ordonnées et, par suite, les efforts développés dont elles sont la représentation varient proportionnellement à l'épaisseur. Si on a une ordonnée déterminée pour l'épaisseur de 5 centimètres, on obtient une ordonnée double pour celle de 10 centimètres et triple pour 15 centimètres. Nous avons donc bien là la représentation de l'effort qu'il a fallu développer pour traverser la tôle. Un acier dur donnera au poinçonnage une ordonnée beaucoup plus élevée, de même qu'il donne à la traction une résistance plus considérable ; le rapport est en général de 70 à 80 0/0 et, si vous vous étonnez qu'il ne soit pas toujours constant et uniforme, je vous demanderai de vouloir bien considérer que les divergences doivent être attribuées plutôt à la traction qu'au poinçonnage. Si, en effet, l'essai de traction est appliqué lui-même sur différentes éprouvettes d'une même tôle, il donne des écarts considérables, supérieurs toujours même à ceux que nous obtenons avec ce diagramme de poinçonnage. C'est même là une expérience intéressante, que nous avons reproduite souvent, que de poinçonner une tôle en différents points et de relever les diagrammes correspondants, en ayant soin de replacer toujours le crayon au même point de départ, sur le papier qui reçoit l'inscription. Nous constatons toujours, dans ce cas, que ces diagrammes successifs se recouvrent avec une fidélité que jamais les diagrammes de traction n'ont pu atteindre. Par conséquent, à supposer que les essais de poinçonnage ne donnent pas de résultats aussi concluants que ceux de traction, ils ont l'avantage de donner quelque chose qui représente mieux la texture générale de la tôle, ce qui peut être considéré comme un meilleur indice de la qualité du métal, sauf à être interprété de façon plus précise lorsque nous aurons l'explication complète et détaillée du rôle des divers éléments du diagramme. A ce point de vue, le poinçonnage est supérieur à la traction : celle-ci renseigne bien sur la résistance en un point tout particulier, mais non sur la résistance générale de la pièce.

Avec les notions nouvelles que nous avons maintenant sur la constitution hétérogène du métal, nous sommes bien forcés de reconnaître que le résultat obtenu dans l'épreuve à la traction dépend surtout des rapports respectifs des divers éléments constitutifs du métal, des cellules

carburées et des noyaux en fer dans la section éprouvée; comme on opère généralement les essais de traction sur des sections assez petites, les variations de rapport entre ces deux éléments constitutifs du fer deviennent des facteurs essentiels et cependant tout à fait arbitraires dans la détermination de la résistance. Si, en effet, l'expérience est reprise en un point différent, le résultat peut se trouver profondément modifié si la répartition des éléments constitutifs est elle-même différente. Le poinçonnage qui opère sur des sections plus étendues donne peut-être en résultat un peu moins précis que la traction, mais qui a l'avantage d'être plus général. Pour en revenir au diagramme de poinçonnage, vous voyez, d'après ces explications, que la mesure de l'effort développé d'après la valeur de l'ordonnée ne soulève aucune objection, la question est bien élucidée à ce point de vue.

Un autre élément que donne l'essai à la traction, c'est l'allongement, et on peut se proposer de le retrouver dans le diagramme de poinçonnage. Il est certain que l'abscisse qui sépare les deux ordonnées maxima extrêmes DK et EL augmente avec les métaux ductiles, susceptibles d'un grand allongement, et qu'elle est, au contraire, très réduite avec les métaux durs. D'une façon générale, il y a corrélation entre la ductilité du métal et l'abscisse de ce diagramme; et, par conséquent, cette abscisse peut être considérée comme une mesure de l'allongement. Reste à savoir quelle est la valeur de cette mesure, et nous devons déclarer d'abord qu'elle n'est pas proportionnelle à l'allongement total, tel qu'on le relève dans les essais à la traction. Il n'y a là, du reste, rien de surprenant, car cet allongement peut ne pas être considéré comme une caractéristique bien définie du métal. Toutes les notions nouvelles que nous avons maintenant sur la résistance des métaux montrent que cette période qu'on appelle l'allongement réparti, dans l'essai à la traction, et qui se produit après dépassement de la limite élastique, correspond à ce fait qu'une section prise au hasard dans l'éprouvette s'allonge la première pendant un instant très court pour rentrer ensuite dans le repos, pendant qu'une seconde section, puis une troisième s'allongent à leur tour, et ainsi de suite. Par le fait que ces sections s'allongent, s'écroutissent en quelque sorte, elles prennent une augmentation de résistance. Dans chacune de ces sections, il se produit, en un mot, une petite striction élémentaire, qui se déplace continuellement, et apparaît successivement en des points divers sur la longueur de l'éprouvette. C'est ainsi que se forment ces lignes si curieuses qui apparaissent sur les éprouvettes essayées à la traction. Ces lignes avaient bien été remarquées depuis longtemps; mais M. Hartmann les a étudiées de façon particulièrement brillante, ainsi qu'il vous l'exposera lui-même dans une conférence spéciale.

Au point de vue de l'allongement, on voit que chacune de ces lignes correspond à un élément très petit de cet allongement, qui se déplace ainsi sur toute la longueur de l'éprouvette; il s'arrête ensuite définitivement en une section qui, malgré cet allongement et l'écroutissage correspondant, ne présente pas un surcroît de résistance suffisant pour obliger une autre section à s'allonger à son tour. A ce moment, l'allongement se localise en ce point, et la section de l'éprouvette va continuellement en se réduisant jusqu'à ce que la rupture se produise. Vous avez là ce qu'on appelle l'allongement de striction, qui, en s'ajoutant à l'allongement réparti, constitue l'allongement total. Il n'en résulte pas cependant du fait de la rupture que la section de striction soit plus faible que les autres. Si on arrête en effet l'expérience au moment où la striction a commencé à se déclarer, si l'on tourne alors l'éprouvette sur toute sa longueur au diamètre de la section étranglée, et qu'on recommence l'expérience, la striction nouvelle se produit en un point différent du premier, ainsi que l'a d'ailleurs établi M. Hartmann; vous trouvez donc là une preuve décisive que le fait de l'allongement initial subi par la section n'a pas eu pour conséquence d'en diminuer la résistance.

En ce qui concerne l'allongement réparti, nous voyons que l'allongement préalable à la striction n'est plus qu'une donnée essentiellement arbitraire, puisqu'il est la somme des allongements élémentaires manifestés par des sections prises au hasard, jusqu'à ce que l'une d'entre elles se soit trouvée plus réduite que les autres. Il n'y a donc pas là une donnée fondamentale des propriétés du métal. Au contraire, l'allongement de striction montre la ductilité du métal en ce point. Si, en effet, la striction ne s'était pas produite là, elle se serait déclarée ailleurs, dans des conditions analogues; tous les points du métal sont susceptibles de donner à peu près la même striction. Celle-ci est donc un élément plus caractéristique que l'allongement total, qu'on est habitué à considérer jusqu'à présent dans les essais de traction. On savait bien sans doute qu'il y avait intérêt à dégager la striction, mais on n'était pas arrivé à trouver une

formule satisfaisante pour la définir. On prend souvent à cet effet le rapport de la section initiale à la section réduite dans l'éprouvette ; cependant, cette expression comporte des erreurs possibles, car la valeur du diamètre réduit ne peut pas toujours se mesurer avec certitude absolue. Le diagramme du poinçonnage paraît, au contraire, fournir exactement cette donnée caractéristique ; il semble, en effet, que l'abscisse de l'ordonnée extrême en donne bien la valeur.

Je dis qu'il semble, car nous n'avons pas pu faire des expériences assez nombreuses et assez prolongées sur ce point ; mais il y a beaucoup de probabilités pour que les choses se passent ainsi. Du reste, si vous vous reportez au diagramme de poinçonnage que nous avons vu tout à l'heure, vous remarquerez que toutes ces mises successives, où l'allongement part de zéro, à la surface supérieure pour atteindre sa valeur maximum au milieu de l'épaisseur, s'allongent seulement par striction. Il ne s'agit certainement pas de l'allongement réparti, mais bien de l'allongement localisé en un point unique. Nous voyons donc que le poinçonnage met en jeu exclusivement l'allongement de striction. Il faut donc qu'il se trouve quelque part dans le diagramme, et c'est dans cette abscisse que nous devons le chercher.

Vous voyez combien ces résultats sont intéressants. Comme je le disais tout à l'heure, nos expériences ne sont pas encore assez prolongées pour que nous puissions vous apporter une collection suffisante de diagrammes. Je reconnais que la question est encore à l'état d'étude ; elle ne peut pas être considérée comme mise au point. Il serait donc bon que des personnes disposant de laboratoires veuillent bien suivre ces expériences.

J'ajouterai, en terminant, que, pour l'essai à la traction, M. Frémont a conçu une machine fondée sur le même principe, et il s'en est servi pour relever des diagrammes à la traction analogues à ceux que nous avons eus pour le poinçonnage. Avec cette machine, il a constaté nettement que l'allongement se produit de façon intermittente. Les diagrammes obtenus avec des machines d'essai à la traction qui enregistrent directement les déformations du bâti sans interposition de leviers ou autres appareils qu'on puisse accuser de fausser les résultats, ces diagrammes, dis-je, ne présentent plus une allure continue, comme on a l'habitude de les voir : ils sont dentelés. Cela montre que les déformations du bâti sont intermittentes. Nous avons là encore de nouvelles preuves venant à l'appui de cette observation que l'allongement réparti ne doit pas être considéré comme représentant une qualité essentielle du métal, mais seulement une intégrale d'un élément pris au hasard, dont la valeur résulte seulement du fait qu'un certain nombre de sections présentent une résistance supérieure à celle de la section qui va subir la striction.

Comme je le disais, Messieurs, si vous voulez bien reprendre ces expériences de poinçonnage dans les laboratoires où vous opérez, vous trouverez dans les procédés que je vous ai exposés une méthode simple, aisée, intéressante et susceptible dans bien des cas de résultats pratiques. (*Applaudissements.*)

M. HATON DE LA GOUPILLIÈRE. — Messieurs, M. le conseiller d'Etat professeur Belebubsky, président d'honneur du Congrès, me prie de vous faire connaître qu'il se tiendra demain mercredi, de une à deux heures, avant la séance de l'après-midi, devant la vitrine de son exposition, classe 29, Génie civil, Russie, premier étage, pour vous entretenir de la construction des ponts en Russie. De plus, M. Belebubsky nous fera, vendredi soir, au cours de la séance qui aura lieu dans cette grande salle, une communication sur le laboratoire de l'Institut impérial de Saint-Petersbourg et les particularités des essais de ciment en Russie.

Nous aurons sans doute d'autres additions à faire à l'ordre du jour, qui avait été établi primitivement sur les seuls rapports dont nous avons été saisis. Nous ferons connaître verbalement et par voie d'affiches les modifications qui surviendraient.

M. SAUVAGE. — Dans les explications qui viennent de nous être données sur les phénomènes qui accompagnent le poinçonnage, il m'a semblé qu'il était surtout question de tôles formées de mises parallèles ou de fer puddlé. Je crois que les conclusions sont plus générales et s'adressent également aux tôles formées de métal fondu homogène. Il serait bon, pour prévenir tout malentendu, que nous ayons quelques explications à ce sujet.

M. BACLÉ. — Si j'ai parlé de mises, ce qui peut impliquer l'emploi du fer puddlé, c'est que, dans ce cas, les fibres sont plus faciles à suivre. Mais nos observations sont les mêmes pour les aciers : les débouchures présentent la même forme, avec déchirure toujours dirigée vers le bas.

M. GROBOT. — Les méthodes d'essai de MM. Frémont et Baclé sont très intéressantes, en particulier celle sur éprouvettes entaillées : elle paraît d'autant plus rationnelle qu'elle ne crée pas d'écrouissage, l'entaille étant faite à la scie. L'épreuve de poinçonnage paraît présenter une complexité plus grande. Je demanderai à M. Baclé s'il s'est préoccupé des relations entre l'épaisseur de la tôle, le diamètre de la débouchure et la forme du diagramme.

M. BACLÉ. — Nous avons fait quelques expériences ; mais elles n'ont pas encore été assez poursuivies pour que je vous donne une réponse ferme. Tout ce que nous pouvons dire, c'est que l'ordonnée du diagramme correspond à l'épaisseur de la tôle pour un même poinçon. Mais nous ne pouvons pas affirmer davantage.

M. GROBOT. — Une question me tient à cœur : c'est celle de la précision des méthodes. Envisageons l'allongement dans une éprouvette de traction : on donne la relation entre l'allongement et le diamètre de l'éprouvette. Il faudrait que, pour ces méthodes, il y eût quelque chose du même genre.

M. BACLÉ. — Il faut trouver une loi analogue à la loi de similitude pour la traction.

M. GROBOT. — On ne connaît pas cette relation. Il est donc indispensable que des expériences précisent les conditions dans lesquelles on opère.

M. LE PRÉSIDENT. — Je suis informé par M. Grobot que son collègue M. Heurteloup se propose de nous envoyer une note discutant les conditions d'application de la méthode d'essai sur barrettes entaillées préconisée par M. Frémont.

Si cette note arrive en temps utile, la discussion en sera mise à l'ordre du jour d'une de nos plus prochaines séances. (Voir à l'Annexe, page 181, le texte de cette note qui a été remise trop tardivement pour pouvoir être discutée en séance.)

M. LE PRÉSIDENT. — Messieurs, je suis prié de vous informer à nouveau que le banquet de clôture du Congrès, qui devait avoir lieu au *Village suisse*, aura lieu au *Saint-Gothard*, 40 ter, avenue de Suffren.

La séance est levée à onze heures trois quarts.

SÉANCE DU MARDI SOIR 10 JUILLET 1900

(TROISIÈME SÉANCE)

PRÉSIDENCE DE M. LE GÉNÉRAL PÉTROFF

Assisté de M. RICOUR, comme Vice-Président,

Et de MM. MALY et MESNAGER, comme Secrétaires.

La séance est ouverte à deux heures.

M. LE PRÉSIDENT. — Messieurs, le Président désigné pour la séance de ce soir était M. le professeur Kick, de Vienne. En son absence, le Bureau a bien voulu me demander de présider les débats qui vont s'ouvrir. Je sens tout le prix de cet honneur, d'autant plus grand que les communications de ce soir présentent un intérêt exceptionnel. (*Très bien!*)

M. DEBRAY. — Je demande la parole pour faire deux communications au Congrès :

1° MM. les membres étrangers dont les pays n'auraient pas de président d'honneur déjà désigné sont priés de se concerter et de faire connaître au Secrétariat général la personne ou les personnes qu'on pourrait inscrire sur la liste complémentaire, toujours ouverte, conformément à la décision prise hier à la séance d'inauguration. Quel que soit le soin que le Comité d'organisation ait mis à choisir les présidents d'honneur pour les différents pays, il a pu faire des oublis. D'autre part, certaines personnes désignées comme présidents d'honneur ne sont pas venues; peut-être ne viendront-elles pas toutes. Or, nous ne voudrions pas qu'aucun pays fût oublié dans la liste des présidents d'honneur;

2° En vue de l'organisation du banquet de clôture qui aura lieu le 16 juillet, à sept heures, au *Saint-Gothard*, nous prions les membres du Congrès qui comptent y assister de faire connaître leurs désirs pour les places à attribuer, spécialement aux dames et jeunes filles qui voudront bien honorer le banquet de leur présence. Nous voudrions donner à ces dames et demoiselles des voisins de table qui leur agréent, de façon que cette fête ne leur paraisse pas trop longue. (*Très bien!*)

M. LE PRÉSIDENT. — La parole est à M. Rejtö pour sa communication *sur la Conduite rationnelle des essais*.

M. REJTÖ. — Messieurs, ce Congrès étant international et la langue française ne m'étant pas très familière, je vous demande la permission de m'exprimer en allemand; et je prierai mon assistant, M. Maly, de traduire cet exposé au fur et à mesure que les points principaux se dérouleront.

Traduction résumée du rapport de M. Rejtö par M. Maly. — M. Rejtö rappelle d'abord des lois qu'il a communiquées à Stockholm au Congrès de l'Association internationale pour l'essai des matériaux. Ces lois concernent, en premier lieu, la forme des pièces d'essai et l'exécution de ces essais, en second lieu la transmission de la force extérieure dans les solides soumis à des efforts et le frottement interne.

Après cela, il divise son rapport en trois parties correspondant aux principaux résultats de ses nouvelles recherches.

Le premier résultat concerne l'analogie qui existe entre les tensions¹ de traction et celles de compression. La force de traction est déterminée par les efforts de traction à l'aide de la formule :

$$P_1 = \Delta_0 \frac{\sigma_1}{1 + \lambda_1}$$

et

$$P_2 = \Delta_0 \frac{\sigma_2}{1 + \lambda_2}$$

Il en résulte que, quand $P_2 = P_1$, l'égalité suivante :

$$\frac{\sigma_2}{1 + \lambda_2} = \frac{\sigma_1}{1 + \lambda_1}$$

est aussi correcte; par conséquent, cette valeur est constante, et on peut, d'après M. Considère, écrire :

$$\frac{\sigma_1}{1 + \lambda_2} = \frac{\sigma_2}{1 + \lambda_1} = \operatorname{tg} \omega$$

Cette formule démontre que la courbe de tension possède une tangente qui coupe la ligne des abscisses au point dont l'abscisse est -1 .

L'équation $\frac{\sigma_2}{1 + \lambda_2} = \operatorname{tg} \omega$, conserve sa valeur, si l'on multiplie les deux membres par une constante, par exemple $\operatorname{tg} \beta$. Nous obtenons :

$$\frac{\sigma_2 \operatorname{tg} \beta}{1 + \lambda_2} = \operatorname{tg} \beta \operatorname{tg} \omega = \operatorname{tg} \omega;$$

mais, comme $\sigma_2 \operatorname{tg} \beta$ représente la tension de compression, cette formule signifie que la courbe de compression possède aussi, au point dont l'abscisse est l'extension uniforme λ_2 , une tangente qui peut être tracée du même point de l'axe des abscisses, que la tangente de la courbe de traction.

Par suite de cette propriété, nous sommes en état de déterminer exactement l'extension de traction λ_2 , à l'aide de la courbe des tensions de compression, même souvent plus exactement que par la tension de traction, car la tangente à cette courbe peut être tracée plus exactement.

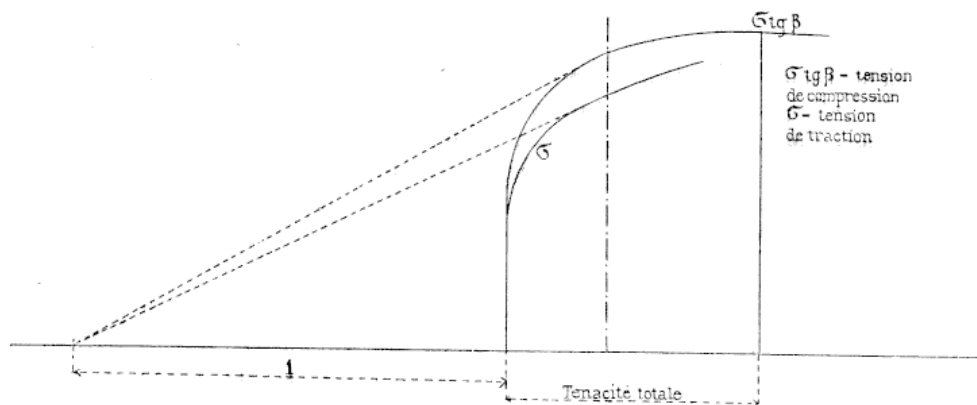


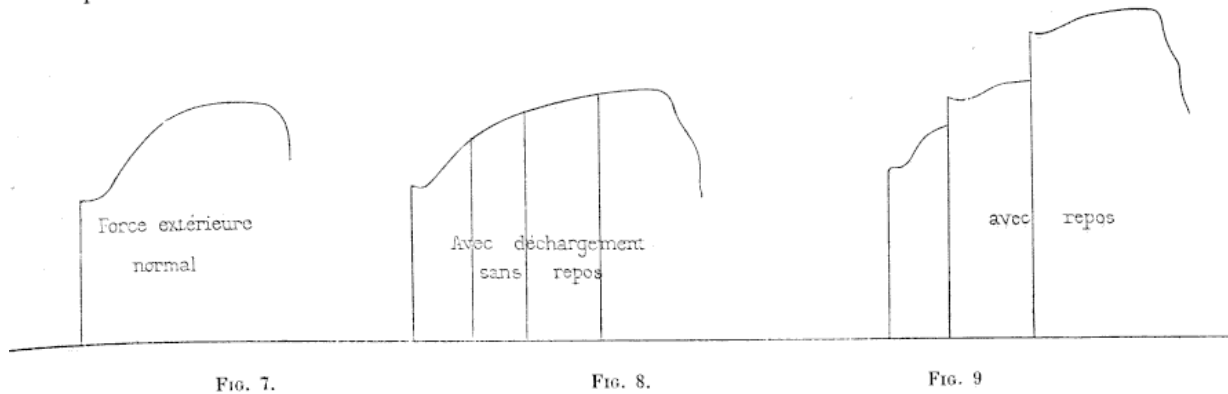
FIG. 6.

Outre l'extension de traction λ_2 , nous pouvons, par le diagramme des tensions de compression, déterminer l'extension uniforme totale $\lambda_{\max}$, c'est-à-dire la limite de ténacité totale, car cette limite est là où le frottement interne prend une valeur constante; les ordonnées des diagrammes de compression sont identiques aux ordonnées des diagrammes du frottement interne; ainsi la limite de la *ténacité totale* est là où la tension de compression prend une valeur constante.

1. M. Rejtő désigne par le mot tension σ , le résultat obtenu en divisant l'effort extérieur total P par la section restante ou actuelle, qu'il s'agisse de traction ou de compression. D'où les expressions de « tension de traction » et de « tension de compression ».

Le deuxième résultat concerne la dureté des matériaux.

On exécute des essais de traction et de compression d'après les procédés suivants : 1° avec une charge constamment augmentée; 2° avec des charges progressives alternées avec des déchargements, de façon que la pièce d'essai après le déchargement ne repose que très peu de temps, tout au plus une demi ou une heure; 3° de façon que la pièce d'essai repose longtemps après le déchargement, au moins un ou deux jours.



Les premier et deuxième procédés donnent des diagrammes semblables, d'où il suit que, quand le temps de repos est petit :

La limite de grande extension pour des chargements répétés coïncide avec la valeur du frottement interne ;

Le cours du frottement interne ne change pas par suite d'interruption de l'effort.

Le troisième diagramme montre qu'à la suite de longs repos l'effet ultérieur donne naissance à des inflexions semblables à celles qui existent au commencement des diagrammes de traction et de compression; c'est pourquoi on peut considérer l'irrégularité du commencement, c'est-à-dire l'inflexion, comme le résultat de l'effet ultérieur.

Les diagrammes des tensions de compression prouvent, en outre, que :

1° L'influence de l'effet ultérieur est la plus grande au commencement des chargements et que depuis là jusqu'au moment d'atteindre le frottement interne maximum, cette influence s'atténue;

2° L'effet ultérieur augmente l'énergie de la ténacité totale, mais diminue celle de la ténacité de traction.

La cause de ce phénomène est que, par suite de l'effet ultérieur, la courbe de tension monte plus droit et que, par suite, la tangente tracée du point — 1 aura son point de contact placé plus près.

Le troisième résultat concerne la malléabilité.

L'énergie par suite de laquelle les matériaux peuvent encore être déformés, quand ils ont déjà perdu leur ténacité, s'appelle la *malléabilité*.

On peut prendre comme mesure de la malléabilité le rapport de la cohésion au frottement interne maximum.

Par suite, la formule de la malléabilité est :

$$B = \frac{p_0}{\sigma_{\max}} = \frac{p_0}{f_{\max}}$$

Pour déterminer la malléabilité, il faut connaître la valeur du frottement interne maximum $\sigma_{\max}$ et celle de la cohésion.

On ne connaît jusqu'ici que deux méthodes pour la détermination de la cohésion.

a) A l'aide de la striction :

Celui-ci est le moyen le plus simple et le plus naturel. Si la répartition de la force était uniforme et s'il ne se produisait aucune influence nuisible, la force exercée sur l'unité de surface $\frac{P_c}{\Delta c}$ donnerait la valeur de la cohésion p_0 ; donc ce serait :

$$p_0 = \frac{P_c}{\Delta}$$

P_c = la force et Δ_c = la section resserrée au moment de la rupture.

En ce qui concerne ce calcul, il faut remarquer que l'on peut déterminer exactement la force au moment de la rupture et mesurer la section Δ_c sans grande difficulté, lorsqu'il s'agit des barres rondes; par contre, pour des sections quadrangulaires, la mensuration est très difficile.

b) A l'aide d'entailles :

L'autre méthode pour déterminer la cohésion consiste à observer la résistance des barres entaillées.

M. Barbe a prouvé que la résistance à la rupture des barres entaillées est plus grande que la résistance à la traction des barres d'essai normales, et que l'énergie devient plus petite et la résistance à la rupture devient plus grande, plus l'entaille est étroite.

Dans le cas où l'entaille est très étroite, la cohésion est vaincue presque sur toute la section et, conséquemment, la *résistance de traction* est presque égale à la cohésion.

En entaillant les barres d'essai, on obtient un procédé pour déterminer la cohésion.

Les conditions auxquelles il faut se conformer sont :

1° Que l'entaille soit exécutée aussi étroite que possible ;

2° Que l'entaille soit faite à l'angle vif et le plus profondément possible ;

3° Il faut diminuer autant que possible la déformation de la base entaillée. Pour cette raison, il est préférable d'exécuter l'entaille sur des barres brisées, après que celles-ci ont reposé un ou deux jours.

On obtient la valeur de la cohésion d'après la formule :

$$P_0 = \frac{\Delta_g}{P_g}$$

dans laquelle P_g représente la force extérieure nécessaire à la rupture, Δ_g la section entaillée que l'on peut mesurer exactement avant et après la rupture. (*Applaudissements.*)

M. REJTÖ. — Recevez, Messieurs, mes meilleurs remerciements pour l'attention que vous avez bien voulu donner à mes explications.

M. LE PRÉSIDENT. — La parole est à M. Feret, pour nous entretenir de ses recherches sur les résistances à la rupture des matériaux isotropes non ductiles.

M. FERET. — Messieurs, mon rapport vous a été distribué. Je m'abstiendrai de le lire en entier, car il est assez long et contient des équations algébriques qui comporteraient difficilement des explications résumées. Je me contenterai de vous en lire les conclusions.

Mais, auparavant, je dois faire une remarque générale : c'est que, après avoir rédigé ce rapport, je me suis aperçu, comme il arrive bien souvent, que des faits que j'y donnais comme nouveaux avaient été relevés et publiés déjà, notamment par le capitaine Duguet, puis par mon camarade, M. Mesnager.

Le programme même des travaux de ce Congrès dit assez de quelle actualité sont toutes ces questions d'élasticité, de déformations, de résistances à la rupture, et, quand une idée est ainsi dans l'air, il est rare que plusieurs chercheurs n'arrivent pas simultanément à des solutions identiques.

Je ne puis résister au désir de vous lire quelques lignes de la préface du second volume du capitaine Duguet, qui s'appliquent d'une manière frappante au cas actuel :

« En toute science, dit Comte, l'*opportunité* constitue toujours la condition principale de toute grande et durable influence, quelle que puisse être la valeur personnelle du savant. » Chaque science a son heure; et c'est ce qui fait dire vulgairement, mais très exactement, qu'il y a une *mode* dans la science aussi bien que dans les mœurs. Telle question est à la mode lorsque l'étude en a été convenablement préparée, plus ou moins directement, par des travaux antérieurs, ou encore lorsque l'industrie fournit les moyens de l'exécuter. Une invention, une théorie, n'est souvent que le résultat de l'accumulation de ces travaux antérieurs, ou au moins n'aurait pu exister sans eux. Nul ne peut utilement devancer son temps. Le savant, l'inventeur, n'est, en général, que l'heureux organe de son époque, ce qui, d'ailleurs, ne diminue en rien son mérite. Et cela est tellement vrai qu'on voit souvent des questions, dont la solution était quelquefois ardemment cherchée depuis longtemps, être résolues simultanément lorsque l'heure opportune a sonné, par plusieurs personnes qui n'avaient entre elles d'autres communications que la presse scientifique. »

Après cette citation, faite moins dans un but de justification personnelle que pour la justesse avec laquelle elle s'applique à cette vogue particulière qu'ont actuellement toutes les questions se rattachant à la constitution moléculaire de la matière, je passe à la lecture du résumé et des conclusions de mon travail.

« *Résumé.* — 1° Dans les matières isotropes dont la rupture n'est précédée que de déformations permanentes assez faibles pour que leur homogénéité et leur isotropie ne se trouvent pas sensiblement altérées, il y a lieu de considérer la *cohésion normale* N , la *cohésion tangentielle* T et le *coefficient de frottement* f de la matière sur elle-même.

« La résistance que l'on mesure dans les essais ordinaires par traction directe est fautive, ainsi que celle, différente d'ailleurs de la précédente, que l'on déduit des essais de flexion par les formules ordinaires de la résistance des matériaux.

« La rupture dite par compression résulte en réalité d'un glissement compliqué de frottement. La résistance correspondante, C , fonction connue de T et de f , diffère de celle qu'on déduit immédiatement des essais ordinaires par compression.

« Si l'on admet qu'une traction normale favorise le glissement au lieu de le contrarier comme ferait une compression, on arrive à la conception du *frottement négatif*, qui conduit à une relation simple entre les trois paramètres N , T et f .

« La même théorie conduit à considérer la rupture par traction directe comme s'amorçant obliquement sous une certaine tension A , fonction connue de T et de f . »

Les observations que je présentais tout à l'heure au sujet des travaux antérieurs du capitaine Duguet s'appliquent dans une certaine mesure à ces deux derniers alinéas; toutefois, les raisonnements employés pour arriver à ces conclusions n'ont pas été les mêmes de part et d'autre et il semble notamment que M. Duguet ne se soit pas rendu compte que ses formules admettaient implicitement l'hypothèse du frottement négatif.

Je crois avoir montré, de plus, que cette hypothèse, nécessaire pour expliquer l'amorçage oblique de la rupture par traction, impliquerait, en outre, que cette rupture doive *toujours* s'amorcer obliquement à la direction de l'effort, et non, comme le dit M. Mesnager, tantôt obliquement et tantôt normalement, suivant les valeurs relatives de certains paramètres.

« 2° Dans les prismes soumis à des efforts de flexion, la rupture peut, suivant la forme de leur section, la répartition des efforts extérieurs et les grandeurs relatives des paramètres N , T et f , se produire de l'une des manières suivantes :

« Par *traction normale*, quand, les efforts tranchants étant nuls ou faibles, la tension longitudinale atteint la limite N sur la fibre la plus tendue;

« Par *cisaillement simple*, suivant des plans où, l'action normale étant nulle, l'action tangentielle atteint la limite T ;

« Par *cisaillement compliqué de frottement positif*, suivant des plans où, l'action normale étant une compression, l'action tangentielle diminuée du frottement atteint la limite T . C'est ce qui a lieu sur la fibre la plus comprimée quand la compression longitudinale y devient égale à C ;

« Par *cisaillement compliqué de frottement négatif*, si la théorie du frottement négatif est exacte, dans les plans où l'action normale est un effort de traction, suivant un processus identique au précédent. C'est ce qui a toujours lieu, dans ce cas, sur la fibre la plus tendue, quand, les efforts tranchants étant faibles, la tension longitudinale y atteint la valeur A .

« Les formules acquièrent alors une grande généralité et les divers phénomènes de la flexion peuvent être représentés par des constructions géométriques simples.

« 3° Le nombre des paramètres distincts est de trois et se réduit à deux par la théorie du frottement négatif.

« Au point et à l'instant où la rupture commence, il existe une relation simple connue entre ces paramètres et les deux actions moléculaires principales maximum et minimum, et la direction initiale de la fissure fait avec ces deux dernières actions des angles constants pour une même matière et ne dépendant que de la valeur de f correspondante.

« Quand on connaît la répartition exacte des actions moléculaires, on peut déduire de la charge de rupture une relation entre les paramètres inconnus. »

Ces deux dernières propositions sont des conséquences immédiates des deux derniers alinéas du paragraphe premier et rentrent encore dans le cas que je signalais des résultats donnés par le capitaine Duguet.

« Par exemple, on pourrait déterminer ces paramètres en essayant par pression intérieure

ou extérieure, dans des conditions difficiles d'ailleurs à réaliser pratiquement, diverses éprouvettes tubulaires faites avec une même matière.

« Inversement, les grandeurs des paramètres en question fournissent, sur la résistance de chaque matière aux divers genres d'efforts, des données immédiates et absolues, et leur détermination suppléerait avantageusement à tous les essais de résistance possibles.

« 4° Parmi les divers essais auxquels on peut recourir pour chercher à déterminer les valeurs des paramètres N , L et f , ceux par compression, exécutés dans des conditions déterminées, pourraient, si l'on savait s'affranchir du frottement des plateaux, fournir la valeur de C , c'est-à-dire une relation entre T et f .

« Les essais par cisaillement donnent des résultats variables suivant le dispositif employé.

« Les essais par poinçonnage, que l'on peut exécuter de bien des manières différentes, sont accompagnés de phénomènes assez complexes, qu'il est difficile de mettre en équation. Dans certains cas, ils peuvent fournir une valeur sans doute assez approchée de C .

« Avec les mortiers, quels qu'en soient l'âge et la composition, les charges de rupture obtenues dans les divers essais par compression, par cisaillement et par poinçonnage sont sensiblement proportionnelles entre elles, de sorte qu'en pratique on ne peut guère en déduire actuellement que des multiples d'une seule fonction distincte des inconnues à déterminer.

« 5° Les charges de rupture par flexion, proportionnelles à celles par traction, dépendent de la loi de déformation de la matière, c'est-à-dire de la loi de variation simultanée des tensions positives ou négatives et des allongements correspondants.

« Cette loi peut être déduite graphiquement des allongements positif et négatif mesurés, pour des moments fléchissants échelonnés, sur les faces extrêmes d'un prisme rectangulaire essayé par flexion sans efforts tranchants.

« Il est ensuite facile d'en déduire l'allongement, la tension longitudinale et la composante de l'effort tranchant en un point quelconque de tout prisme fléchissant fait avec la même matière, la forme et la position de la ligne neutre, le rayon de courbure en chaque point, etc.

« En même temps, les constructions correspondantes donnent lieu à diverses observations générales sur la flexion des prismes imparfaitement élastiques.

« De la charge de rupture mesurée, on peut déduire, suivant les cas, soit la valeur de l'un des paramètres A ou N , soit celle de C , soit une autre relation numérique entre les paramètres T et f .

« Les mêmes constructions s'appliquent, moyennant certaines restrictions, aux essais par cisaillement et par coupage.

« Quand les déformations permanentes ne sont pas négligeables, les essais doivent être faits sur les matériaux amenés successivement aux états d'écrouissage parfait correspondant à des charges de plus en plus fortes.

« *Conclusions.* — Pour les matériaux visés dans cette étude, les essais ordinaires de rupture donnent presque tous des résultats s'écartant fortement des vraies résistances qu'ils ont pour but de faire connaître.

« Les diverses charges de rupture sont des fonctions de trois paramètres, la cohésion normale, la cohésion tangentielle et le coefficient de frottement de la matière sur elle-même, dont la détermination présenterait le plus grand intérêt en ce qu'elle fournirait un système de mesures absolues relativement aux résistances limites de chaque matière.

« S'il est permis d'étendre aux cas où l'effort normal correspond à une traction la théorie du frottement vérifiée dans le cas de compressions normales, ces paramètres se réduisent à deux distincts et tous les phénomènes de rupture sont régis par une même loi générale.

« Il y a lieu de chercher, soit parmi les méthodes examinées ci-dessus, soit dans telles autres qui seraient reconnues préférables, un groupe d'essais aussi simple que possible, propre à faire connaître exactement les valeurs de ces paramètres, en même temps qu'à vérifier l'hypothèse du frottement négatif. » (*Applaudissements.*)

M. LE PRÉSIDENT. — Messieurs, l'ordre du jour de vendredi matin comporte six communications. Ne conviendrait-il pas, en l'absence de deux rapporteurs annoncés pour cet après-midi, d'entendre dès maintenant l'une de ces communications? (*Assentiment.*) Puisque tel est votre avis, je vous proposerai de prendre connaissance de mon rapport sur les essais des huiles et graisses. (*Assentiment.*)

(M. le général Pétroff cède le fauteuil de la présidence à M. Ricour.)

M. LE GÉNÉRAL PÉTROFF. — Le français étant connu de la plupart d'entre vous, je ferai tant bien que mal ma communication en cette langue. (*Très bien !*)

Je me suis proposé de traiter devant vous de l'essai des huiles lubrifiantes.

La plus grande majorité des ingénieurs reste, jusqu'à présent d'avis, qu'en déterminant les coefficients de frottement dans les machines d'une construction spéciale, graissées par des matières lubrifiantes déjà essayées, on obtient le meilleur moyen d'appréciation des qualités lubrifiantes de ces matières.

Ces essais étant complétés par les observations des températures de la couche lubrifiante et de l'air ambiant, et convenablement combinés avec l'étude de la dépendance du coefficient de frottement intérieur du liquide et de sa température, pourraient, en effet, conduire à des conclusions assez exactes. Mais ces conclusions, ne s'appuyant que sur les essais effectués avec des machines, comme on le fait ordinairement, peuvent facilement mener à de grandes erreurs, surtout lorsqu'il s'agit de comparer les résultats obtenus par différents expérimentateurs. Les difficultés que l'on rencontre pour arriver, par ce moyen, à des conclusions exactes, ont leur raison d'être dans la nature même du phénomène de frottement des corps solides bien lubrifiés.

On peut, à ce moment, démontrer que la force de frottement dépendant des qualités de la matière lubrifiante dépend aussi de plusieurs autres éléments, qui parfois produisent sur le frottement une influence plus grande que celle de la matière lubrifiante. On sait encore que la détermination de ces éléments pour une machine présente, pour ainsi dire, des difficultés insurmontables. Les plus efficaces parmi ces éléments sont : la différence des rayons de courbure des surfaces graissées du tourillon et du coussinet, l'excentricité des axes de ces deux parties de la machine et la forme des bords du coussinet. Donc, l'appréciation des qualités lubrifiantes des liquides, au moyen d'essais sur le frottement dans les machines d'une construction spéciale, ne peut aucunement conduire à des conclusions assez certaines. On conçoit ainsi la nécessité de chercher une autre voie pour apprécier les qualités lubrifiantes des liquides, et on la trouve en s'adressant au procédé physique ; ce dernier, ne présentant aucune difficulté grave, conduit néanmoins à des conclusions tout à fait suffisantes.

Ce procédé se base sur la théorie hydrodynamique du frottement des corps solides bien lubrifiés. Malgré l'espace de plusieurs années qui s'est écoulé depuis la proposition de cette théorie, elle n'est pas encore assez connue des techniciens. Ce fait m'engage à consacrer quelques mots à la théorie nouvelle des corps solides bien lubrifiés, présentée en 1883.

Cette théorie est le résultat de cette hypothèse, que le frottement dans les machines bien lubrifiées provient uniquement du frottement qui se produit à l'intérieur de la couche liquide qui sépare complètement les parties solides de la machine ; il s'ensuit donc que la détermination de la force du frottement présente un problème hydrodynamique qui doit être résolu dans des conditions convenablement choisies.

Vu les difficultés que présente l'analyse mathématique pour la résolution complète de ce problème, le choix des conditions était fait en poursuivant le but de faciliter les calculs mathématiques. La preuve que les conditions choisies se présentent en réalité dans les cas qui se rencontrent dans la pratique, a été donnée par un très grand nombre d'expériences. Celles-ci ont été exécutées sur une grande échelle, dans des conditions tellement variables et dans des limites tellement larges qu'on peut tenir pour certain que tous les cas pratiques y sont compris.

La partie mathématique de cette théorie ne fera pas l'objet de cet exposé, bien que les moyens de l'algèbre élémentaire puissent être suffisants, au moins quand il ne s'agit que des résultats les plus importants.

Un de ces résultats est la formule qui donne la valeur de la force du frottement.

Pour écrire cette formule, soit :

F , la force du frottement ;

μ , le coefficient du frottement intérieur du liquide qui forme la couche lubrifiante ;

v , la vitesse relative des corps solides lubrifiés ;

Q , la plus petite des deux surfaces lubrifiées ;

ϵ , l'épaisseur moyenne de la couche lubrifiante,

En ce cas, on a :

$$F = \frac{\mu v Q}{\varepsilon}. \quad (1)$$

L'étude des expériences que j'ai exécutées sur le frottement dans les machines m'a conduit à la conclusion très naturelle que les qualités du liquide lubrifiant n'ont qu'une influence très secondaire sur l'épaisseur moyenne de la couche lubrifiante, et que, par conséquent, cette épaisseur peut être considérée comme invariable pour tous les liquides lubrifiants.

Cette propriété a permis de proposer la méthode graphique de comparaison des qualités de ces liquides.

En abordant l'exposition de cette méthode, remarquons que, dans les conditions ordinaires de la marche des machines, toute la chaleur produite par le frottement est toujours égale à la quantité de la chaleur transmise par le refroidissement de la machine à l'air ambiant. Cette égalité peut être exprimée mathématiquement par l'équation suivante :

$$\frac{\mu}{t - t_0} = \frac{\varepsilon E \Delta}{v^2 Q}, \quad (2)$$

où E est l'équivalent mécanique de la chaleur ;

Δ , le coefficient de refroidissement ;

t et t_0 , les températures de la couche lubrifiante et de l'air ambiant.

Cette équation pourrait elle-même faire l'objet d'une justification ; mais, pour ne pas allonger ces explications, je vous demande de la tenir pour exacte.

La méthode graphique elle-même peut être décrite comme il suit :

Avec tous les liquides que l'on veut comparer au point de vue des qualités lubrifiantes, il faut faire d'abord les expériences nécessaires pour déterminer la dépendance qui existe entre les valeurs du coefficient de frottement intérieur et les températures correspondantes de ces liquides. On arrive à ce résultat en laissant écouler le liquide à différentes températures par un tube capillaire bien calibré, en observant les pressions sous lesquelles l'écoulement s'est produit et en mesurant les qualités dans un temps donné.

Considérant ces valeurs du coefficient et les températures qui leur correspondent comme les coordonnées des points rapportés à deux axes rectangulaires, il faut marquer tous ces points et, pour chaque liquide, tracer une ligne courbe continue le plus près possible de tous les points qui appartiennent à ce liquide. On obtient ainsi des courbes qui donnent le moyen de déterminer assez exactement les coefficients de frottement correspondant à toutes les températures intermédiaires renfermées dans les limites des expériences. On nomme ces courbes « courbes caractéristiques ».

Quant à la machine, pour le graissage de laquelle différentes huiles peuvent être employées, il faut faire dans son coussinet une cavité, de sorte que le fond soit le plus près possible de la couche lubrifiante. En introduisant dans cette cavité une petite quantité de mercure ou d'huile et en y plongeant la boule d'un thermomètre, on pourra déterminer d'une manière très rapprochée la température de la couche lubrifiante. Il faut déterminer les températures de la couche lubrifiante et de l'air ambiant pour un mouvement permanent quelconque de la machine graissée d'une huile choisie.

Ayant accompli la construction des lignes caractéristiques et les observations concernant les températures ci-dessus mentionnées, il faut marquer sur l'axe des températures des lignes caractéristiques les points correspondant aux températures t de la couche lubrifiante et t^0 de l'air ambiant. Soit a le point correspondant à la température t^0 , et b à la température t : l'ordonnée bm de la courbe AA, correspondant à la matière lubrifiante choisie pour l'expérience ci-dessus mentionnée, représente évidemment le coefficient de frottement μ se rapportant à la température t . Donc, la tangente trigonométrique de l'angle φ formé par l'axe des abscisses t et la droite am est :

$$\frac{\mu}{t - t_0} = \frac{\varepsilon E \Delta}{v^2 Q}. \quad (3)$$

En cas du graissage de la machine au moyen du liquide ayant pour courbe caractéristique la courbe BB, la température de la couche lubrifiante serait t' . L'ordonnée $b'm'$ de la courbe BB

représenterait la valeur du coefficient de frottement μ' correspondant à la température t' de la couche lubrifiante. La droite am' et l'axe des abscisses formerait un angle φ' dont la tangente trigonométrique sera :

$$\frac{\mu'}{t - t_0} = \frac{\epsilon E \Delta}{v^2 Q}. \quad (4)$$

Ces deux équations montrent que les droites am et am' se coïncident et que, par conséquent, le point m' se trouve sur la même droite am .

Les considérations absolument identiques à celles qui viennent d'être exposées au sujet du liquide qui a la courbe caractéristique BB, sont complètement applicables aux cas du graissage au moyen des autres huiles ayant pour courbes caractéristiques des courbes CC, DD, etc. Les

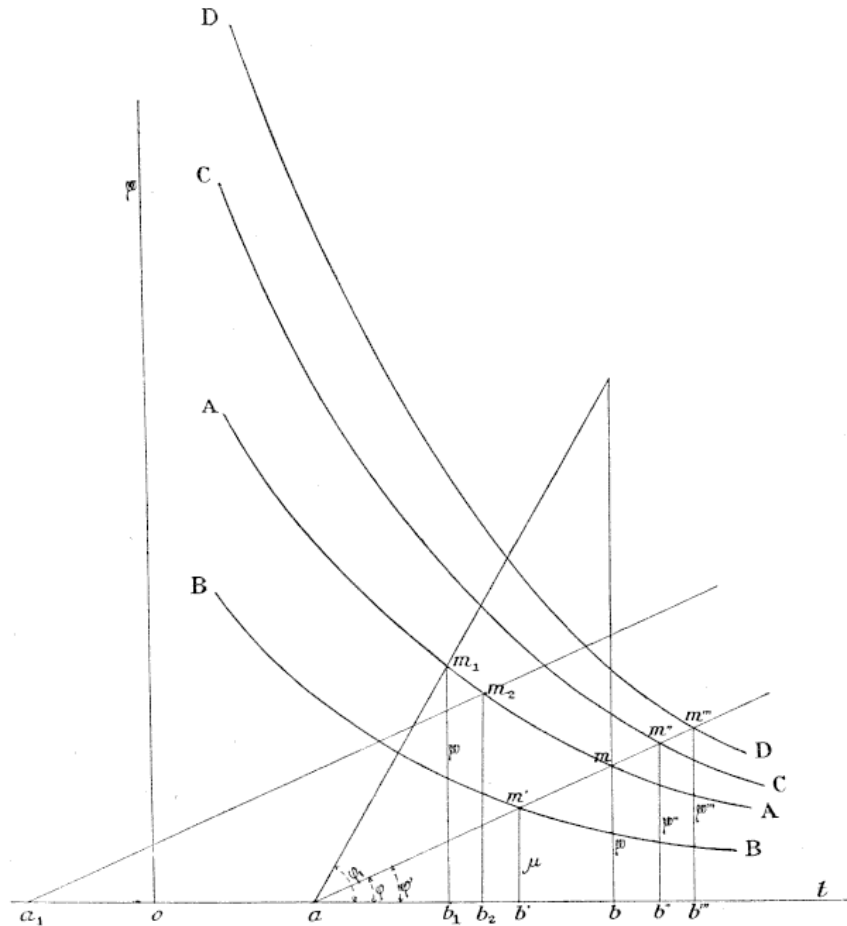


FIG. 10.

températures de la couche lubrifiante t'' , t''' , et les valeurs des coefficients de frottement intérieur μ'' , μ''' , relatives à ces cas, détermineront les points m'' , m''' , etc., qui tous se trouveront sur la droite am . Donc, une fois qu'on connaît la température t ci-dessus mentionnée et qu'on a marqué le point m sur la courbe AA, on trouve de suite tous les autres points m' , m'' , m''' , par une simple intersection de la ligne droite am avec les courbes BB, CC, DD. Les abscisses des points m' , m'' , m''' déterminent les températures t' , t'' , t''' , et les ordonnées les valeurs μ' , μ'' , μ''' , qui correspondent aux cas du graissage par des liquides correspondants.

On trouvera les valeurs des forces du frottement se rapportant à différents liquides qu'on a soumis aux essais en introduisant les valeurs déterminées μ , μ' , μ'' , μ''' dans la formule (1) et, en remarquant que

$$F = \frac{\mu v Q}{\epsilon}, \quad F' = \frac{\mu' v Q}{\epsilon}, \quad F'' = \frac{\mu'' v Q}{\epsilon} \quad \text{et} \quad F''' = \frac{\mu''' v Q}{\epsilon},$$

on conclut aisément que :

$$F : F' : F'' : F''' = \mu : \mu' : \mu'' : \mu'''.$$

Il s'ensuit que la détermination des relations mutuelles des valeurs des ordonnées μ, μ', μ'', μ''' , construites suivant les règles de la méthode graphique, conduit immédiatement à la résolution de la question sur les valeurs des forces de frottement correspondantes ou, ce qui est la même chose, sur les qualités relatives des liquides lubrifiants.

L'exemple suivant montrera mieux jusqu'à quel point la méthode graphique peut être utile pour les ingénieurs praticiens.

Supposons que, dans un chemin de fer, on sache que par suite du frottement des essieux du train et des parties du mécanisme de la locomotive, excepté les pistons, les tiroirs de distribution et leurs tiges, le travail produit par la machine locomotive correspondant à chaque 1.000 essieux-kilomètres demande à peu près une consommation de combustible égale à 25 kilogrammes et que la dépense de la matière lubrifiante par 1.000 essieux-kilomètres soit environ de 0^{kg}7. Supposons ensuite qu'à l'aide de la méthode graphique nous ayons trouvé que le coefficient de frottement correspondant à l'huile que nous avons l'intention d'introduire est 1,2 fois plus grand que celui qui correspond à l'huile qu'on veut remplacer. On ne tardera pas d'en conclure que la dépense du combustible (25 kilogrammes) sera augmentée à peu près d'autant, c'est-à-dire que le surplus de la dépense pour chaque 1.000 essieux-kilomètres sera de $0,2 \times 25 = 5$ kilogrammes. Soit le prix de la houille 10 francs par tonne, le prix de l'huile qu'on remplace est de 80 francs et celui de l'huile qu'on introduit est de 60 francs par 100 kilogrammes. Dans ce cas, le surplus de dépense de combustible par 1.000 essieux-kilomètres est de 5 centimes et la diminution en dépense pour la matière lubrifiante est de 14 centimes. Il s'ensuit donc que le remplacement proposé est très avantageux. Mais, si le prix de la houille est de 40 francs par tonne, le surplus de dépense en combustible sera de 20 centimes et la diminution en dépense pour la matière lubrifiante restant 14, on trouve une perte de 6 centimes; il est donc évident que le remplacement dans de pareilles circonstances serait très désavantageux. En terminant, il faut ajouter que la formule (1), représentant la valeur de la force du frottement, ne contient aucunement tous les éléments influant sur cette force. Cette lacune n'est pas le fait d'un oubli ou d'une erreur involontaire. Toutes les raisons de cette omission sont données dans mon article publié dans le journal *Baumaterialienkunde, Procédé physique de détermination des qualités d'un liquide lubrifiant*. N'ayant rien à ajouter à ce qui a été déjà dit dans l'article indiqué, je remarquerai seulement que, précisément en vue de cette omission, tous les résultats déduits de la théorie hydrodynamique et de la méthode graphique ont été vérifiés au moyen d'expériences très diverses, que j'ai exécutées avec deux machines différentes, dont l'une contenait l'essieu d'un wagon. Les viscosités des liquides expérimentés en général et des huiles minérales surtout étaient très diverses. Le coefficient de frottement intérieur à 20° C. était, pour le plus visqueux, 0,2850, et seulement 0,0024 pour le moins visqueux. Le premier chiffre est donc 120 fois plus grand que le dernier. Les pressions spécifiques moyennes sur la couche lubrifiante variaient dans des limites très larges, de 8 jusqu'à 92 kilogrammes par centimètre carré. Les vitesses relatives étaient échelonnées, enfin, entre des limites égales à 0,2 et à 2,2 mètres par seconde.

Toutes ces expériences, comme celles exécutées par le savant ingénieur italien M. Francesco Masi, qui a bien voulu vérifier plusieurs des résultats donnés par ma théorie hydrodynamique du frottement dans les machines, toutes ces expériences ont bien montré qu'au point de vue des applications pratiques la méthode graphique décrite plus haut présente une exactitude tout à fait suffisante.

Outre les résultats décrits tout à l'heure, la méthode graphique donne les moyens d'apprécier les variations de la force du frottement en dépendance des variations de la vitesse, de la pression spécifique soutenue par la couche lubrifiante et de la température de l'air ambiant.

1° On trouve l'influence des variations de la vitesse de la machine en examinant l'équation (2). Par cette dernière, on voit que la tangente trigonométrique de l'angle φ est inversement proportionnelle au carré de la vitesse. Donc, si la vitesse diminue, et en devenant v_1 , elle descend jusqu'à la moitié de la valeur de v , la tangente trigonométrique du nouvel angle φ_1 sera quatre fois plus grande que celle de l'angle φ . L'intersection du côté de l'angle φ_1 avec la courbe AA donne le point m_1 dont l'abscisse détermine la température t_1 de la couche lubrifiante correspondant à la vitesse v_1 , et l'ordonnée $b_1 m_1$ la valeur du coefficient du frottement intérieur du liquide dans cette couche.

De la figure ci-jointe, on voit immédiatement que l'augmentation de la vitesse conduit à l'augmentation de la température de la couche lubrifiante et, par suite, à la diminution du coefficient de frottement à l'intérieur de cette couche. Ce résultat, pris avec l'équation (1), montre que l'augmentation de la vitesse des machines, quand elles sont dans leurs conditions habituelles de refroidissement, ne conduit pas à l'augmentation proportionnelle de la force du frottement, mais que les variations de cette dernière force suivent une autre loi qui peut varier suivant les propriétés du liquide lubrifiant et de la machine elle-même. C'est ainsi que l'on peut expliquer la divergence dans les observations de MM. Hirn et de Thurston.

D'après le premier, la force du frottement est proportionnelle à la racine carrée de la vitesse, tandis que, d'après le second, elle est proportionnelle à la racine du cinquième degré.

2° Les *variations de la pression* produite par les corps lubrifiés l'un contre l'autre, modifiant l'épaisseur ε de la couche lubrifiante, modifient par cela même la force du frottement de la machine. Soit :

P, la pression totale sur la couche lubrifiante ;

Q, la surface soumise à la pression P ;

p , la pression spécifique, c'est-à-dire à l'unité de la surface.

En ce cas :

$$p = \frac{Q}{P},$$

D'après les données de plusieurs expérimentateurs, y compris les données de mes expériences et celles de M. Francesco Masi, on peut poser que :

$$\varepsilon = \frac{\alpha}{\sqrt{p}} = \alpha \sqrt{\frac{Q}{P}},$$

où α est un coefficient de proportion. Cette équation empirique est d'autant plus admissible que la loi qu'elle exprime n'est nullement éloignée de celle que M. Osborn Reynolds a trouvée longtemps après par l'analyse mathématique.

L'introduction de cette dernière formule dans l'équation (2) conduit à la suivante :

$$\frac{t - t_0}{\mu} = \frac{\alpha E \Delta}{v^2 \sqrt{QP}},$$

La détermination des valeurs μ et t_1 correspondant aux différentes valeurs de P et de Q peut être exécutée comme il a été expliqué plus haut, à savoir :

En construisant l'angle φ , dont le sommet est dans le point a correspondant à la température t , et la tangente trigonométrique est égale à la seconde partie de l'équation (4).

L'examen de cette dernière montre que l'augmentation de la pression élève la température, et par cela diminue le frottement intérieur de la couche lubrifiante.

3° Les *variations de la température* t_0 de l'air ambiant, quand les valeurs v , P, Q ne changent point, conduisent au changement des valeurs μ et t .

Pour déterminer l'influence du passage de la température t_0 à la température t_{10} , il suffit de tracer une ligne droite am correspondant à la température t_0 et, par le point a_1 , correspondant à la température t_{10} , de tracer une autre ligne droite a_1m_1 parallèle à la ligne am . L'abscisse du point m_1 déterminera la température et l'ordonnée du même point le coefficient de frottement intérieur de la couche lubrifiante correspondant à la température t_{10} . De cette figure, on voit aisément que l'abaissement de la température de l'air ambiant diminue la température de la couche lubrifiante et augmente ainsi la force du frottement de la machine.

Tous ces résultats ont été vérifiés au moyen des expériences que j'ai mentionnées plus haut.

M. RICOUR. — Je suis certain d'être l'interprète de toute l'assemblée en remerciant M. le général Pétroff de sa très importante communication, qu'il a dû faire un peu à l'improviste, puisqu'elle était seulement à l'ordre du jour de vendredi matin.

La question du graissage est très intéressante, pour l'industrie en général : pour les chemins de fer français, notamment, la dépense de graissage s'élève à 8 ou 10 millions par an.

Tout moyen de diminuer cette dépense serait le bienvenu, et je remercie de nouveau M. le général Pétroff d'avoir contribué à le rechercher. (*Applaudissements.*)

M. DEBRAY. — Nous prions les personnes qui désirent prendre part à l'excursion de Fontainebleau de vouloir bien faire connaître leurs intentions jeudi matin au plus tard. Vous savez que cette excursion comporte non seulement un transport en chemin de fer, mais aussi des transports en voiture, un déjeuner dans la forêt. Les compagnies avec qui nous avons traité désirent recevoir le plus tôt possible nos instructions et être fixées sur le nombre des voyageurs à transporter comme sur le nombre des convives auxquels nous nous proposons d'offrir un repas champêtre pour réparer leurs forces. (*Très bien !*)

La séance est levée à quatre heures et demie.

SÉANCE DU MERCREDI MATIN 11 JUILLET 1900

(QUATRIÈME SÉANCE)

PRÉSIDENCE DE M. LE CONSEILLER TSCHERNOFF

Assisté de MM. WAHLBERG et HATON DE LA GOUPILLIÈRE, comme Vice-Présidents

Et de MM. ALBERT LADD COLBY et de FRÉMINVILLE, comme Secrétaires.

La séance est ouverte à neuf heures et demie.

M. DEBRAY. — Le mémoire lu à la séance d'hier après midi par Son Excellence le général Pétroff nous a été remis en fin de séance pour être imprimé ; il sera distribué à tous les membres du Congrès.

D'autre part, M. le général Pétroff nous a annoncé son intention de remettre au Secrétariat un certain nombre d'exemplaires d'une brochure plus importante, qui est en cours d'impression actuellement en Russie, sur le même sujet. Nous prions les membres du Congrès que la question d'essai des huiles intéresse particulièrement, de vouloir bien s'inscrire au Bureau. Nous distribuerons les 40 ou 50 exemplaires que nous aurons reçus de cette brochure suivant l'ordre d'inscription.

Quelques-uns des membres du Congrès qui ont pris des cartes pour l'excursion de demain à Saint-Cloud nous ont fait connaître que, pour des raisons diverses, ils ne pourraient pas prendre part à cette excursion. Si d'autres membres du Congrès qui ont également pris des cartes sont empêchés de venir à Saint-Cloud, nous les prions de se faire connaître au Bureau, de façon que nous réduisions en conséquence le nombre des bateaux et des tables.

D'ailleurs, les personnes qui ne pourraient pas prendre le bateau à quatre heures au Pont-Royal auront de nombreux autres moyens pour se rendre à Saint-Cloud, et prendre part au souper ainsi qu'au retour, qui aura lieu vers neuf heures.

Ainsi donc, seules les personnes qui ne peuvent absolument pas prendre part à l'excursion de Saint-Cloud sont priées de se faire connaître ; elles pourront, suivant le désir qui nous en a été déjà exprimé, conserver leur ticket comme souvenir.

M. LE PRÉSIDENT. — La parole est à M. Howe pour sa communication sur les résistances comparatives à la corrosion.

M. HOWE. — Monsieur le Président, Messieurs, mon étude, dont la présente note est un résumé, donne la perte de poids par oxydation d'un grand nombre de tôle de fer, d'acier doux, d'acier à 3 0/0 de nickel et d'acier à 26 0/0 du nickel, exposées à l'eau de mer, à l'eau de rivière et à l'air atmosphérique pendant deux périodes d'à peu près un an chacune. Chaque feuille de tôle avait environ 0^m,60 de long, 0^m,40 de large et 3 millimètres d'épaisseur. Le poids total de toutes ces tôles était de 976 kilogrammes et la surface totale exposée mesurait 385 mètres carrés. Ainsi, l'échelle de ces expériences était non seulement beaucoup plus vaste que celle des diverses expériences antérieures dont j'ai connaissance, mais plus vaste, je crois, que celle de toutes les expériences antérieures prises collectivement.

L'étude en question récapitule et compare également les résultats de toutes les recherches relatives à cette question que j'ai pu me procurer et qui sont dignes de foi.

Les résultats généraux sont les suivants :

Comparaison du fer et de l'acier doux. — Il existe, aux Etats-Unis du moins, une croyance très forte et très répandue, d'après laquelle l'acier doux se corroderait beaucoup plus rapidement que le fer; et cette croyance a considérablement retardé l'emploi de l'acier doux dans la fabrication des tubes de différents systèmes, pour lesquels l'oxydation est une question d'importance vitale. Ce sujet a donc été, de ma part, l'objet d'une attention toute spéciale.

Bien entendu, nous constatons qu'il existe une différence assez constante, dans la tendance à l'oxydation, non seulement entre les métaux très éloignés les uns des autres par leurs propriétés chimiques, comme le sodium et le platine, mais même entre ceux qui sont beaucoup plus analogues. Nous n'hésitons pas à dire que le manganèse s'oxyde plus facilement que le fer, et le fer plus facilement que le cuivre.

Entre le fer et l'acier doux, une telle différence peut exister, et beaucoup admettent qu'elle existe réellement; ils admettent que l'acier doux s'oxyde plus rapidement que le fer, absolument comme le fer s'oxyde plus facilement que le cuivre. Mais, bien qu'une différence de cette nature puisse exister, je ne trouve aucune preuve de sa réelle existence dans les données recueillies à l'heure actuelle. Jusqu'à présent, je ne trouve pas que le fer, considéré en général, se corrode plus que l'acier doux, considéré en général, pas plus que je ne trouve que l'inverse soit vrai. En considérant tous les types ordinaires de fer et d'acier doux, et toutes les conditions d'exposition aux agents d'oxydation qui se présentent habituellement pour les constructions métalliques, je trouve extrêmement difficile d'affirmer que les fers, considérés comme classe de métaux, soient supérieurs aux aciers doux, considérés comme autre classe, au point de vue de la résistance à l'oxydation. Mais, alors que nous ne constatons aucune différence marquée entre ces deux classes de métaux considérés en bloc, nous trouvons des différences légères, mais assez constantes, dans certains cas spéciaux.

Ainsi, dans mes propres expériences, l'acier doux s'est corrodé moins que le fer dans l'eau douce, mais plus que le fer dans l'eau de mer; et la différence, bien qu'assez faible, était dans chaque cas assez constante pour faire présumer fortement que cette différence était bien réelle, et non pas seulement apparente. Mais, alors que l'acier doux s'est ainsi corrodé dans l'eau de mer plus que le fer dans mes expériences, il s'est corrodé, au contraire, beaucoup moins que le fer dans les importants essais de Krupp; et, ici encore, la différence était assez constante pour faire présumer fortement qu'elle était réelle, et non pas seulement apparente. Et ainsi de suite avec d'autres séries d'expériences.

Les conclusions auxquelles j'ai été conduit sont les suivantes :

1° La différence dans la vitesse de corrosion entre le fer et l'acier doux est rarement suffisante pour être d'une grande importance, sauf peut-être dans les chaudières marines;

2° La tendance à la corrosion du fer en bloc actuellement diffère un peu de celle de l'acier doux en bloc; mais cette différence est telle que le fer, dans certaines conditions, se corrode plus vite en moyenne que l'acier doux, et, dans d'autres conditions peut-être très voisines, il se corrode moins vite que l'acier doux en bloc.

C'est à cette dernière conclusion que je demande votre attention, en essayant d'expliquer comment il se fait que les différences connues entre le fer et l'acier doux puissent créer une différence de corrosibilité qui change son signe d'une telle façon.

En dehors du fait que le fer contient ordinairement moins de manganèse, mais plus de phosphore que l'acier doux, nous avons deux différences importantes : le fer contient une quantité considérable de laitier, en paillettes ou feuilletés mélangés mécaniquement au fer pur ou à la ferrite; l'acier doux, dans lequel ce fait ne se présente pas, contient généralement beaucoup plus de carbone que le fer. Ce carbone existe sous la forme définie de carbone Fe_3C appelée cémentite; il en existe 15 parties en poids pour chaque partie de carbone présent; en sorte que, pour chaque millième de carbone, il existe 1,5 0/0 de cémentite. Cette cémentite se trouve à l'état de paillettes microscopiques. Elle existe évidemment aussi bien dans le fer que dans l'acier doux, mais ce dernier contient généralement une proportion de cémentite tellement supérieure à celle qui existe dans le fer que l'excès de sa cémentite est du même ordre d'importance que l'excès de paillettes de laitier dans le fer.

Chacune de ces substances, laitier et cémentite, doit avoir une double influence. Tout d'abord, comme chacune d'elles a un pouvoir considérable de résistance à l'oxydation, chacune aussi doit, comme le ferait une véritable couche de peinture, protéger mécaniquement les

particules de fer pur ou de ferrite sous-jacentes ; en second lieu, chacune d'elles, par différence de potentiel, doit retarder ou hâter la corrosion du fer, suivant les cas. Notons avec soin la double influence de ces deux substances, c'est-à-dire du laitier dans le fer et de la cémentite qui existe en excès relatif dans l'acier doux : 1° influence de protection mécanique ; 2° influence par différence de potentiel hâtant ou retardant, suivant les cas, l'oxydation du fer métallique sous-jacent. Je crois qu'on peut considérer cette manière de voir comme nouvelle.

La résultante de ces deux influences doit varier suivant la nature du milieu attaquant, selon qu'il s'agit d'eau douce, d'eau de mer, d'un liquide acide ou alcalin ; et elle doit aussi varier avec les progrès de la corrosion, comme je vais essayer de l'expliquer.

Lorsqu'un morceau de fer ou d'acier commence à être exposé à l'oxydation, c'est seulement ce que nous pourrions appeler les arêtes émergentes A des paillettes de laitier ou de cémentite qui protègent mécaniquement le fer pur sous-jacent B de l'oxydation. Les parties C du fer pur qui se trouvent primitivement à la surface, sans être recouvertes de feuillets de cémentite ou de laitier, n'ont aucune protection mécanique. Mais, à mesure que l'oxydation avance et que ces parties émergentes C du fer pur se dissolvent graduellement, une proportion de plus en plus grande de laitier ou de cémentite se trouve exposée, et empêche ainsi l'air ou l'eau d'atteindre et d'attaquer la ferrite ou le fer pur sous-jacents. Ainsi, en résumé, la protection mécanique formée à la fois par les paillettes de laitier dans le fer et par les paillettes de cémentite dans l'acier doux doit augmenter à mesure que l'oxydation s'avance ; mais il n'est pas nécessaire que la protection due au laitier augmente dans le même rapport que la protection due à la cémentite. Il se peut très bien que, le laitier étant distribué dans le fer d'une tout autre manière que la cémentite dans l'acier doux, avec le progrès de l'oxydation et avec le renouvellement graduel des surfaces émergentes de fer pur, la protection mécanique due au laitier dans le fer augmente beaucoup plus que la protection mécanique due à la cémentite dans l'acier doux. Il est donc parfaitement possible que, bien que le fer et l'acier doux se corrodent au début avec la même vitesse, l'oxydation du fer soit retardée ultérieurement, par la protection croissante de son laitier, beaucoup plus que l'oxydation de l'acier doux n'est elle-même retardée par la protection de la cémentite, et que, dans ces conditions, le fer s'oxyde beaucoup moins que l'acier doux.

Connaissant l'opinion très répandue d'après laquelle le fer s'oxyde moins que l'acier doux, et ayant sous les yeux les résultats d'expériences très étendues qui indiquent qu'il n'en est rien, je me suis demandé si ce désaccord pouvait être expliqué par l'hypothèse que je viens d'exposer ; car nos expériences directes n'ont généralement porté que sur un temps assez court, et représentent la phase initiale d'oxydation plutôt que la phase finale, tandis que l'opinion de ceux qui emploient industriellement le fer et l'acier est basée précisément sur les résultats d'applications industrielles représentant des épreuves de longue durée, généralement poussées jusqu'à la destruction complète du métal.

J'avais heureusement à ma disposition les données nécessaires à la vérification de cette hypothèse, car, dans mes propres expériences, comme dans une autre série d'essais très étendus, l'oxydation de l'acier doux et du fer avait été notée séparément pour deux longues périodes successives d'essai. En comparant ces résultats, je ne trouve pas que l'oxydation de l'acier doux s'accélère par rapport à celle du fer à mesure que la période d'exposition se prolonge.

Cet argument, que l'on aurait pu opposer aux résultats de nos expériences directes, se trouve donc affaibli. Néanmoins, pour y répondre d'une façon décisive, toutes mes tôles d'expérience ont été réexposées aux agents d'oxydation, et j'espère donner les résultats de cet essai à l'expiration d'une nouvelle période de plusieurs années.

En ce qui concerne l'influence de la différence de potentiel du laitier dans le fer et de la cémentite dans l'acier doux, j'ai poursuivi une longue série d'essais directs et employant différents liquides ; mais, malheureusement, je suis forcé de remettre la description à une autre fois.

Acier-nickel. — L'acier à 3 0/0 et l'acier à 26 0/0 de nickel se corrodent l'un et l'autre, dans toutes les conditions, moins que le fer et que l'acier ordinaire, comme on pouvait s'y attendre. Toutefois, la différence est beaucoup moins grande qu'on aurait pu l'espérer. En moyenne, la vitesse de corrosion de l'acier à 3 0/0 de nickel représente 77 0/0 de la vitesse de corrosion du fer, et celle de l'acier à 26 0/0 de nickel environ le tiers de celle du fer. La supériorité de l'acier à 3 0/0 de nickel, à ce point de vue, bien que nettement établie, n'est pas

suffisante pour militer avec grande force en faveur de son adoption. Quant à l'acier à 26 0/0 de nickel, bien qu'il présente, au point de vue de la corrosion, un avantage énorme sur le fer et sur l'acier ordinaire, il présente à ce même point de vue une grande infériorité lorsqu'on le compare à quelques-uns des alliages de cuivre contre lesquels il aura à lutter. Nous ne pouvons dire que c'est un métal ne se corrodant pas dans les conditions ordinaires; c'est simplement un métal se corrodant lentement.

CORROSION RELATIVE DE L'ACIER DOUX, DU FER ET DE L'ACIER-NICKEL,
EN PRENANT LE FER COMME UNITÉ

	EAU DE MER	EAU DOUCE	AIR	MOYENNE
	FROIDE	FROIDE	ATMOSPHERIQUE	
Fer.....	160	100	100	100
Acier doux.....	114	94	103	103
Acier à 3 0/0 de nickel...	85	80	67	77
Acier à 26 0/0 de nickel..	32	32	30	31

(*Applaudissements.*)

M. LE PRÉSIDENT. — Au nom de l'Assemblée, je remercie vivement M. Howe pour cette très intéressante communication. (*Applaudissements.*)

M. CONSIDÈRE. — L'attention de M. Howe ne s'est-elle pas portée sur l'influence considérable du phosphore?

J'ai publié, en 1885, dans les *Annales des Ponts et Chaussées*, un mémoire dont quelques pages sont consacrées à la corrosion. J'ai constaté que la perte de poids d'un échantillon mis dans l'eau acidulée avait diminué dans une proportion absolument dépendante de la teneur en phosphore. Mes souvenirs sont déjà lointains; mais je crois que la perte de poids pour un acier contenant 2 ou 3 fois plus de phosphore que les aciers de bonne qualité est 3 ou 4 fois plus considérable. Elle augmente de 2 à 3 0/0 environ. Il y a donc là un facteur important. Pour arriver, par suite, à une conclusion définitive, il faudrait l'éliminer, en opérant sur un acier de même teneur à peu près en phosphore, ou analyser le phosphore des aciers qu'on emploierait, de façon à relever son influence.

C'est là une simple observation que je fais pour prier M. Howe d'en tenir compte dans ses études futures.

M. HOWE. — Je ne saurais répondre de façon précise dès ce moment. Mais c'est avec grand plaisir que j'étudierai des aciers en tenant compte de cette observation, et je déduirai de mes recherches des conséquences. Jusqu'à présent, en étudiant la composition des aciers, je n'ai pas pu constater une relation bien constante entre la corrosion et la teneur en manganèse et en phosphore. Pour le fer, j'ai trouvé des différences assez sensibles: le fer, en effet, varie beaucoup plus que l'acier doux. L'acier doux du commerce ne varie pas beaucoup.

M. HATON DE LA GOUPILLIÈRE. — M. Considère pourrait envoyer une note à M. le professeur Howe, pour lui donner quelques indications sur le travail dont il a parlé.

M. CONSIDÈRE. — Volontiers.

M. LE CHATELIER. — L'acier à 26 0/0 de nickel se rattache à ces expériences. J'ai eu occasion d'employer cet acier pour la construction d'un appareil de laboratoire en raison de sa grande inaltérabilité. Mais il existe deux variétés de cet acier, l'une magnétique, l'autre non magnétique. Ordinairement, on emploie la variété non magnétique à 6 0/0 de carbone, qui se travaille facilement. Mais, quand on réduit l'acier sans prendre de précautions suffisantes pour éviter l'oxydation, la surface redevient magnétique (lorsque la teneur en carbone s'abaisse à 4 millièmes). A partir de ce moment, il se rouille énormément, presque comme le fer. Il y a donc une grande différence entre ces deux états de l'acier.

M. LE PRÉSIDENT. — La parole est à M. Rateau pour sa communication sur les essais de torsion.

M. RATEAU. — Messieurs, les essais de torsion ont fait l'objet d'un rapport de M. E. Polon-

ceau, publié dans le tome III de l'ouvrage qui renferme les travaux de la Commission française des méthodes d'essai des matériaux de construction. Il est donc inutile de revenir sur les travaux résumés dans ce rapport. Je veux seulement appeler l'attention sur ce que les données que l'on a sur cette question présentent entre elles d'assez grandes divergences.

L'on admet généralement que le coefficient d'élasticité de glissement G de l'acier, coefficient qui intervient dans le phénomène de la torsion, est voisin de 8.000 kilogrammes par millimètre carré, parce que, d'après des vues théoriques, il doit être égal, pour une substance isotrope, à $4/10$ du coefficient d'élasticité de traction E , qui est toujours, dans le cas de l'acier, peu différent de 20.000 kilogrammes par millimètre carré, et parce que, effectivement, d'après les observateurs qui ont étudié le sujet en tordant des barreaux cylindriques pleins, le rapport $\frac{G}{E}$ du premier coefficient au deuxième est compris entre 0,36 et 0,49, dont la moyenne, supérieure à 0,40, n'en est cependant pas éloignée.

Mais ces valeurs 0,36 et 0,49, trouvées pour limites de ce rapport, sont bien écartées l'une de l'autre, et même, d'après le capitaine Duguet, il faudrait descendre jusqu'à 0,35, ainsi qu'il le dit à la page 160 de la première partie de son ouvrage bien connu : *Limite d'élasticité et résistance à la rupture*, où il annonce qu'il a presque toujours trouvé au coefficient d'élasticité de glissement une valeur de 7.000 kilogrammes par millimètre carré.

D'autre part, l'on admet encore que la limite d'élasticité du glissement simple est égale à $4/5$ de la limite d'élasticité à la traction; mais, là aussi, il y a de grandes divergences dans les résultats donnés par les expérimentateurs.

Il paraît donc intéressant de reprendre expérimentalement la question de la torsion des barreaux cylindriques dans des conditions variées, en opérant d'ailleurs non seulement sur des cylindres pleins, mais aussi sur des cylindres creux, car on rencontre fréquemment dans l'industrie des arbres creux.

Il serait utile de savoir si vraiment les essais que l'on fait en opérant par traction sur des éprouvettes permettent de se rendre un compte exact des propriétés du métal à la torsion; si, autrement dit, il y a un rapport constant, ou à peu près constant, ainsi qu'on l'admet habituellement, entre les constantes de glissement (coefficient d'élasticité, limite d'élasticité, limite de rupture) et celles de traction; ou bien, au contraire, si les propriétés du métal dans son mode de travail par glissement sont, dans une certaine mesure, indépendantes de celles du travail par traction, auquel cas les indications des méthodes d'essai par traction ne permettraient pas d'apprécier avec exactitude les qualités d'un métal devant être soumis à la torsion.

J'ai eu l'occasion de faire, dans le courant de l'année dernière, un essai de torsion dans des conditions particulières d'exactitude sur un barreau d'acier à canon.

Voici comment cet essai a été fait.

Il s'agissait de tarer un dynamomètre de transmission à lectures optiques, composé d'un bout d'arbre cylindrique de 784 millimètres de longueur et 15^{mm},15 de diamètre qui, au moyen d'un fourreau cylindrique disposé autour de lui, transmettait sa torsion à un miroir plan dont l'axe était perpendiculaire à celui de l'arbre. Une lentille projetait sur le miroir le faisceau lumineux issu d'un filament rectiligne de lampe à incandescence, et l'image du fil était reçue sur une échelle graduée en verre dépoli.

Une fois le tarage effectué, j'ai mesuré toutes les dimensions permettant de calculer les angles de torsion, et le résultat a été le suivant :

Sous un couple M de torsion de 8.375 kilogrammètres, par exemple, l'angle de torsion de l'arbre était de 9°,10. En calculant le coefficient d'élasticité G par la formule habituelle : $G = \frac{Ml}{\theta \cdot I_p}$, on trouve 7.997 kilogrammes par millimètre carré, c'est-à-dire presque exactement 8.000 kilogrammes.

En résumé, je crois devoir émettre l'opinion qu'il est désirable que l'on entreprenne une série d'expériences de torsion systématiques et aussi exactes que possible sur divers barreaux cylindriques, pleins ou creux, et sur différents métaux, concurremment avec des essais de traction, dans le but d'étudier d'une manière approfondie les rapports qui existent entre les constantes relatives au travail du métal par torsion et glissement et celles relatives au travail par traction simple. Et, pour ces expériences, les méthodes d'observation par lectures optiques me paraissent tout particulièrement recommandables, car elles permettent d'atteindre une grande exactitude.

J'ajouterai quelques considérations théoriques sur le mode de travail des métaux à la torsion, et plus généralement à la flexion et même à la traction ou à la compression.

Soit un barreau cylindrique soumis à une torsion. Supposons qu'on le laisse revenir sur lui-même, puis qu'on le soumette de nouveau à la torsion dans le même sens, ou en sens inverse, et proposons-nous d'étudier théoriquement, d'après l'imagination, ce qui doit se passer quand, dans ces torsions et détorsions successives, on dépasse la limite d'élasticité. Je vais admettre — ce qui ne doit pas être bien éloigné de la vérité — que les différentes tranches cylindriques du barreau se tordent les unes par rapport aux autres, en restant individuellement cylindriques, et qu'elles tournent d'une seule pièce autour de l'axe, c'est-à-dire que les filets radiaux du métal restent radiaux pendant la déformation. Cette hypothèse n'est peut-être pas absolument exacte, mais cependant elle n'est certainement pas éloignée de la vérité.

Dans ces conditions, soit O le centre d'une tranche cylindrique du barreau (*fig. 11*), OA un rayon. Quand on commence à tordre le barreau, l'angle de torsion est d'abord proportionnel au

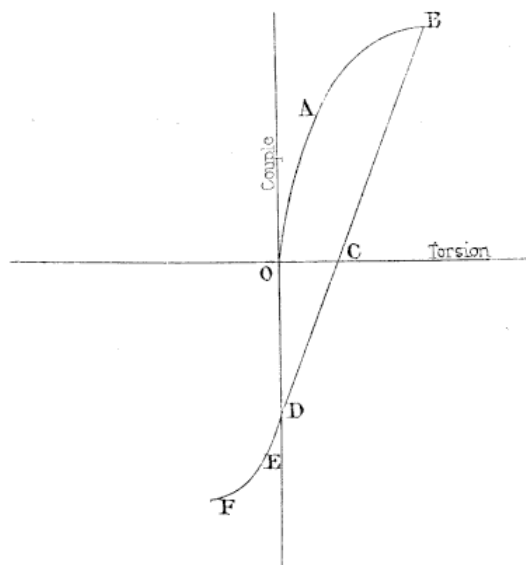


FIG. 11.

couple de torsion, jusqu'à ce que la limite d'élasticité soit atteinte; les sections cylindriques glissent les unes sur les autres, de manière que le rayon OA' d'une autre section du barreau, qui se projetait initialement sur OA , tourne d'un angle relatif AOA' proportionnel au couple.

L'angle que forme ces rayons intercepte des arcs proportionnels à la distance au centre. Par conséquent, le glissement linéaire des différentes tranches l'une par rapport à l'autre est proportionnel à la distance au centre. Si nous tordons jusqu'à dépasser la limite d'élasticité de glissement, les couches voisines de la périphérie vont commencer à subir une déformation permanente. A partir de ce moment, les différents glissements linéaires, au lieu d'être uniquement élastiques, seront en partie élastiques et en partie permanents. L'on peut admettre que le glissement élastique maximum

est constant depuis le centre jusqu'à la périphérie. Dès lors, nous pourrions décomposer le glissement total en deux parties; une de ces parties est un glissement permanent et l'autre est le glissement élastique maximum. En sorte que nous aurons depuis le centre O jusqu'à la circonférence qui passe par M , par exemple, une région centrale où la limite d'élasticité n'est pas atteinte et, au delà de cette circonférence, une région où la déformation permanente du métal est proportionnelle à la distance à cette circonférence M . Si l'on mène par le point M' la parallèle $M'a$ au rayon OA (en admettant que l'angle AOA' soit petit) et qu'on considère une circonférence quelconque NN' , la partie Nn de cette circonférence représentera le glissement élastique maximum et nN' le glissement permanent.

Après avoir ainsi soumis le barreau à une première torsion, supposons maintenant qu'on l'abandonne à lui-même. Il ne reviendra pas complètement à son état primitif à cause de la déformation permanente qu'il a subie. Voici probablement ce qui se passera : le rayon qui passait par Oa va revenir vers OA en le dépassant, car autrement il subsisterait des tensions élastiques toutes de même sens, tendant à faire poursuivre le mouvement de distorsion. Le rayon qui reviendra sur OA sera un rayon tel que OB , qui coupe $M'a$ en n de manière que les tensions élastiques résiduelles négatives représentées par les arcs interceptés dans l'angle BnA fassent équilibre à celles qui sont représentées par les arcs interceptés dans le triangle $OM'n$. La déformation permanente résiduelle apparente de l'ensemble du barreau est représentée par BA' . On peut voir, d'après la manière dont le point B est déterminé, comment cette déformation permanente résiduelle varie avec la torsion maximum AA' .

Si, après avoir soumis une première fois le barreau à une torsion comportant des déformations permanentes, on reprend l'essai dans le même sens, on voit qu'on n'aura plus de déformation permanente tant qu'on restera au-dessous du couple maximum du premier essai, ce qui

est bien conforme à l'expérience. On voit, de plus, que, le rayon OA venant en OB sous l'action du couple maximum initial, le coefficient d'élasticité apparent n'est pas le même que primitivement. Ainsi, les tensions élastiques résiduelles ont pour effet de faire ressortir un coefficient d'élasticité variable avec l'importance de ces tensions résiduelles.

Il est maintenant intéressant de voir ce qui se passera quand, au lieu de retordre le barreau dans le même sens, on le tord en sens contraire. Sans entrer dans de longues explications, on voit que les déformations permanentes résiduelles abaissent la limite à laquelle les déformations permanentes nouvelles commencent à prendre naissance. La torsion dans un sens doit donc produire une diminution de la limite d'élasticité pour l'autre sens. Et cela me semble donner la clef des expériences de Wöhler sur l'abaissement de la limite de rupture par des efforts répétés de sens contraires.

La manière dont nous présentons et analysons ces faits dans les torsions et distorsions successives montre clairement comment les parties centrales du barreau concourent à la résistance totale de plus en plus à mesure que les déformations permanentes sont plus grandes à la périphérie, en sorte que la limite de rupture calculée pour les fibres périphériques semble être beaucoup plus élevée que celle que l'on constate par des expériences au simple cisaillement.

Nous pouvons représenter par un diagramme les divers états successifs du barreau, en portant en abscisses les angles de torsion et en ordonnées les couples de torsion. Dans la première période, lorsque la limite d'élasticité n'est pas dépassée, la courbe des états successifs est une droite OA (fig. 12), puis la déformation va plus vite que l'effort, et la courbe se continue par une partie AB qui va s'aplatissant de plus en plus. Quand, à un moment, on laisse le barreau revenir à lui-même, la ligne représentative BC est sensiblement droite, mais non exactement parallèle à OA à cause de la variation du coefficient d'élasticité apparent. OC représente la déformation permanente résiduelle.

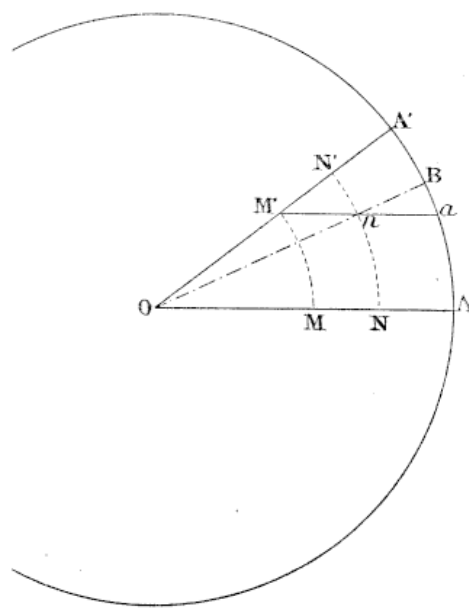


Fig. 12.

Le barreau étant dans cet état, fort différent de l'état primitif, supposons que nous reprenions l'expérience et que nous retordions dans le même sens. Nous allons revenir de C à B par la même ligne CB. Mais si, au contraire, nous tordons en sens contraire, nous allons suivre la ligne CDEF, composée d'une partie droite CE, plus courte que BC, parce que la limite d'élasticité apparente est plus rapidement atteinte.

Après avoir soumis le barreau à un couple de sens contraire de même valeur que le couple maximum précédent, si on revient au sens primitif, on aura décrit un cycle qu'on pourra répéter plusieurs fois. De tels cycles peuvent se comparer à ceux du magnétisme ; ils proviennent de ce que l'on peut appeler l'hystérésis mécanique, analogue à l'hystérésis magnétique.

Il y a, toutefois, une profonde différence. Dans le cas du magnétisme, si on fait osciller la force magnétisante entre deux limites égales fixes, les cycles se referment sur eux-mêmes en se superposant. Tandis que, dans le cas de nos torsions et distorsions successives entre deux couples inverses égaux, les cycles ne se superposent pas, parce que les déformations permanentes vont en croissant à mesure qu'on décrit plus de cycles.

Du reste, le phénomène de l'écaillage du métal, que nous avons négligé jusqu'ici, vient encore compliquer les choses.

Il me paraît inutile d'insister davantage sur ces considérations, qui s'étendent sans difficulté au cas de la flexion et même à ceux de la traction et de la compression. La flexion, la traction, la compression sont, dès que l'on dépasse la limite d'élasticité, des phénomènes en réalité complexes qui pourraient s'analyser par la méthode dont je viens de donner une idée.

C'est pour rendre ces phénomènes aussi peu complexes que possible que je propose d'exécuter les essais de torsion et de traction sur des éprouvettes cylindriques creuses ayant une épaisseur de paroi relativement faible par rapport au diamètre. Je suis convaincu que l'on retire-

rait d'expériences de ce genre des enseignements utiles sur ce qui se passe en réalité au delà de la limite d'élasticité. Les phénomènes revêteraient sans doute un caractère plus simple que lorsqu'il s'agit d'éprouvettes pleines. (*Applaudissements.*)

M. HATON DE LA GOUPILLIÈRE. — Nous regrettons l'absence à cette séance de M. Thurston, dont la communication sur l'application d'un appareil à pendule dans les essais de choc nous aurait beaucoup intéressés. Le professeur Thurston a fait beaucoup d'essais par torsion, il a même, dans ce but, inventé un appareil spécial. Nous avions espéré voir M. Thurston, et ne pouvons que regretter un échange d'observations de sa part avec M. Rateau, qui eût été plein d'intérêt.

M. LE PRÉSIDENT. — Nous remercions M. Rateau de sa très intéressante communication, faite de façon si élégante. (*Applaudissements.*)

M. HENNING. — Avec mon enregistreur, appareil que je présenterai cet après-midi, j'ai trouvé justement les résultats que vient d'indiquer M. Rateau. Cet appareil fonctionne pour les essais d'écrasement aussi bien que pour la tension; et j'obtiens alors, en faisant marcher la machine alternativement dans les deux sens, les mêmes diagrammes que M. Rateau. Il est bien établi que la limite d'élasticité change en compression, et, dans les essais de tension, le module d'élasticité n'est pas le même que dans les essais d'écrasement.

Je figure ici un diagramme d'élasticité. Avec un enregistreur suffisamment juste, on peut obtenir des diagrammes aussi exacts qu'avec des appareils de précision, c'est-à-dire que la justesse peut aller jusqu'à 1 0/0. Dans ce diagramme, vous voyez la limite proportionnelle, la limite d'élasticité apparente. Mais vous voyez que, dans les mouvements d'aller ou de retour, j'obtiens deux angles différents; ils le sont toujours, particulièrement dans les fontes, ce qui prouve que le module d'élasticité varie. Voici un diagramme en tension de fonte; si l'on diminue le poids, la courbe continue et il reste un allongement de la fonte seulement. Pour les aciers, les choses se passent à peu près de même, mais c'est moins accusé. J'ai fait plusieurs expériences sur le même barreau, et j'ai toujours obtenu le même diagramme. Seulement, si je recommence encore une fois en tension, j'obtiens une autre courbe. (M. Henning trace au tableau un exemple des diagrammes qu'il obtient.) A l'expérience, la pièce s'est cassée.

M. Rateau n'a pas eu les facilités nécessaires pour faire la démonstration de façon pratique, mais on obtient toujours ces résultats dans la fonte et dans l'acier. (*Applaudissements.*)

M. LE PRÉSIDENT. — En résumé, M. Henning a appuyé les considérations si justes de M. Rateau. (*Applaudissements.*)

M. HATON DE LA GOUPILLIÈRE. — M. Tchernoff me prie de vous faire savoir qu'il se tiendra dans la salle n° 1, vendredi après midi, à la disposition des congressistes, après les communications de MM. Mesnager et Ricour, pour faire une conférence sur la possibilité de l'aviation métallique sans ballon.

M. Marva y Mayer, dont le rapport était inscrit à l'ordre du jour de ce soir, ne pouvant assister à la séance, son rapport sera reporté à vendredi soir.

Enfin, M. Mesnager, l'ingénieur des Ponts et Chaussées bien connu de vous tous, qui a succédé à M. le secrétaire général Debray dans la direction du laboratoire des Ponts et Chaussées, se tiendra jeudi, à une heure et demie, à la disposition des membres du Congrès qui désireraient visiter le laboratoire d'essais physiques et mécaniques des Ponts et Chaussées. Le rendez-vous sera 3, avenue d'Iéna.

Dans le même ordre d'idées, nous faisons des démarches auprès d'une grande Compagnie de chemins de fer pour pouvoir visiter son laboratoire. La solution n'est pas encore intervenue, mais j'espère qu'elle sera satisfaisante. Nous vous la ferons connaître demain.

M. LE PRÉSIDENT. — La parole est à M. Mesnager.

M. MESNAGER. — Généralement, dans les laboratoires, on ne fait que des essais de traction; on se contente de déterminer le coefficient d'élasticité longitudinale. Mais, si l'on veut se rendre compte de façon complète de ce qui se passe dans une pièce fléchie, il est nécessaire de connaître le coefficient qui exprime le rapport entre l'allongement et la contraction transversale. Or les expériences de torsion permettent, sans appareil compliqué, de déterminer ce coefficient de contraction, puisque, précisément le coefficient de glissement en dépend. On peut, il est vrai le mesurer directement dans les essais de traction. En général, on ne l'a pas fait jusqu'ici, parce

que ce coefficient n'est guère que de 0,3 ou 0,2; comme le coefficient d'élasticité est de $1/20.000$, on a à mesurer des $1/100.000$, ce qui est difficile; mais non impossible.

Je voudrais attirer l'attention du Congrès sur un second point. Dans les essais de traction, on est arrêté à un moment donné par la striction; l'allongement se localise en ce point; il est très difficile de mesurer les allongements ainsi localisés pendant la striction. M. Considère a bien fait une tentative en ce sens; il a mesuré cet allongement en prenant les dimensions de la partie la plus rétrécie de la striction. Mais les mesures, portant sur des quantités très petites, ne peuvent atteindre une grande précision. Au contraire, dans l'essai de torsion, on évite complètement la striction: le métal continue à s'écrouir en conservant jusqu'à rupture, au moins dans les aciers doux une section constante dans toute la longueur.

Les essais de torsion peuvent encore servir à déterminer la résistance à la rupture des métaux durs et des matières cassantes. Dans les ciments en particulier, jusqu'ici, pour mesurer la cohésion et la résistance à la traction, on se sert de briquettes en 8. Tout le monde sait que l'effort de traction est très inégalement réparti dans la section de rupture: l'effort est considérable sur le bord de la section et moindre au centre. On prend comme limite de résistance l'effort total divisé par la section, c'est-à-dire l'effort moyen. Or, cet effort moyen n'est certainement pas égal à l'effort maximum. M. Durand-Claye a déjà, dans les *Annales des Ponts et Chaussées*, indiqué un moyen de calculer approximativement leur différence. Il serait intéressant d'avoir un moyen expérimental de vérifier cette formule. M. Durand-Claye est arrivé à cette conclusion, qu'il faut multiplier le résultat obtenu par le coefficient d'environ 1,3 ou 1,4, si je ne me trompe.

Or, en moulant des briquettes de ciment cylindriques à tête carrée et en les soumettant à ces essais de torsion, on peut déterminer la résistance à la rupture. On trouve à ce résultat très intéressant, que les briquettes se cassent suivant des hélices inclinées à 45° . D'après la théorie de l'équilibre intérieur, lorsqu'on soumet un corps aux efforts de torsion, ces efforts peuvent être considérés comme la résultante d'un effort de compression et d'un effort d'extension égaux et inclinés à 45° sur la direction de l'axe. Ces efforts sont les efforts principaux de l'ellipsoïde de Lamé dans le cas particulier. Les briquettes cylindriques se cassent suivant la surface normale à la direction de l'effort d'extension. En appliquant une formule très simple aux éprouvettes cylindriques, on arrive à déterminer par millimètres carrés ou centimètres carrés la résistance à la rupture de ces éprouvettes dans le cas de torsion. Je n'ai pu encore faire qu'un petit nombre d'expériences, car il faut plusieurs mois pour faire des essais espacés à 7, 15, 28 jours. En rapprochant des essais de traction sur des briquettes en 8 des essais de torsion, on trouve des résistances qui suivent une marche ascendante parallèle. Dans les essais de torsion, les chiffres sont constamment supérieurs aux chiffres des essais de traction, de 20 à 30 0/0 d'après les expériences que j'ai pu faire jusqu'à présent. (*Applaudissements.*)

M. LE PRÉSIDENT. — La parole est à M. Le Chatelier.

M. HATON DE LA GOUPILLIÈRE. — M. Henri Le Chatelier, professeur au Collège de France et à l'Ecole des Mines, parlera plusieurs fois en son propre nom. Mais en ce moment, il prendra la parole pour son frère, M. André Le Chatelier, qui a préparé un rapport relatif à l'influence du temps et de la température sur les propriétés mécaniques et les essais des métaux, et se trouve empêché de nous en donner lui-même connaissance.

M. H. LE CHATELIER. — Je n'ai été prévenu qu'hier, en sorte que j'ai étudié ce rapport un peu rapidement.

Dans les essais, les résultats numériques ont pour objet de donner des indications sur les propriétés des corps étudiés; mais ces résultats ne dépendent pas seulement des propriétés des corps, mais aussi des conditions dans lesquelles les expériences ont été faites. Il est donc indispensable, pour pouvoir se renseigner exactement, de savoir avec une grande précision quelle est l'influence des conditions d'expérience sur les résultats numériques obtenus.

Pour étudier ce qui appartient aux propriétés du métal et ce qui appartient aux procédés mêmes d'essai, il est indispensable d'avoir fait des expériences très comparables entre elles. Or, lorsqu'on fait des essais de rupture sur un métal, on est obligé de changer chaque fois d'éprouvette. Si donc les éprouvettes ne sont pas comparables, il est difficile de formuler des conditions précises. Certains métaux préparés de certaine façon présentent des conditions d'homogénéité bien plus grandes que d'autres. Si on prend une barre découpée dans un métal fondu, on a une grande hétérogénéité, des différences sensibles d'un échantillon à l'autre. Avec un métal laminé

et forgé, les différences sont moindres, et si, on prend un fil, on a des résultats bien plus comparables encore. Comme l'ont montré MM. Frémont et Sauvage, on ne peut pas répondre de 1 ou 2 kilogrammes par millimètre carré; au contraire, en opérant sur des fils métalliques, on a des résultats comparables à 1/10 de kilogrammes près; on est bien plus maître de la vitesse et de certaines influences dues aux essais.

Ces expériences faites sur des fils ont été répétées sur des barreaux, mais alors avec une précision moindre. Ces expériences remontent à 1888-1892, c'est-à-dire qu'elles sont déjà anciennes.

Les deux circonstances qui ont le plus d'importance sur les résultats des essais sont, d'une part, la température; d'autre part, la vitesse. Mais la température peut agir de deux façons distinctes: elle peut intervenir comme étant celle du métal au moment où il a travaillé et par le traitement antérieur que le métal a subi. Les expériences faites au sujet de l'influence de la température actuelle sur les essais sont déjà nombreuses. On en avait fait avant mon frère et on en a fait depuis; c'est, en somme, une question très connue aujourd'hui. Je n'insisterai donc pas sur ce point. D'une façon générale, on peut dire que, pour les métaux autres que le fer, la résistance mécanique décroît à mesure que la température s'élève et a une valeur faible aux températures élevées. Quant à l'allongement de striction, celui qui définit la malléabilité, il passe généralement par un maximum pour une température qui est celle du forgeage; il va ensuite en décroissant pour être très faible avant.

Je n'insiste ici que sur un rôle particulier de la température, l'effet du recuit. Lorsque le métal a été soumis à un effort capable de produire une déformation permanente totale, ses propriétés mécaniques sont modifiées. Si on veut à nouveau le déformer, l'effort nécessaire pour produire la déformation première sera bien plus considérable que dans le premier essai; la limite d'élasticité se sera élevée. En même temps, l'effort de rupture aura augmenté et l'allongement diminué. Toutes les propriétés mécaniques se trouveront modifiées. Si, après une première déformation, ce métal est porté à une température plus élevée et soumis au recuit, l'effet de l'écrouissage produit par la déformation mécanique est détruit: le métal tend à revenir à son état initial. Les lois du recuit présentent un certain intérêt. Voici quelles seraient ces lois d'après les expériences dont je rends compte: « L'effet du recuit à une température donnée va en augmentant avec sa durée; mais il augmente de moins en moins à mesure que cette durée se prolonge et tend vers une limite qui dépend de la température et du degré initial d'écrouissage du métal. »

Je ferai au tableau le diagramme explicatif. Je porte en ordonnées les efforts de rupture et en abscisses les temps pendant lesquels le métal a été soumis au recuit.

Prenons, par exemple, un fil de cuivre écroui et recuit par passage à la filière. Il faudra, pour le rompre, un effort de 50 kilogrammes par millimètre carré. Si le métal est recuit à 300° pendant une demi-heure, l'effort nécessaire est de 43 kilogrammes seulement; si l'on recuit pendant deux heures, l'effort sera de 42 kilogrammes et il descendra jusqu'à 40. La limite dépendra de la température et du degré initial de l'écrouissage. En second lieu: « L'effet du recuit atteint sa limite d'autant plus vite que la température est plus élevée; aux températures les plus basses, il faut plusieurs heures; aux températures plus élevées, il suffit de quelques minutes; »

« 3° L'effet du recuit prolongé est d'autant plus intense que la température est plus élevée; »

« 4° L'effet du recuit se fait en pratique sentir à partir d'une température variable avec la nature du métal et avec le degré d'écrouissage initial; en réalité, le recuit commence dès la température ordinaire, mais ses effets sont peu marqués et ne concernent guère que la malléabilité jusqu'à une température, qui est d'autant plus basse, pour un métal donné, que l'écrouissage initial est plus intense; à partir de cette température commence une zone dans laquelle de faibles variations de température produisent une diminution marquée de la limite élastique et de la charge de rupture; puis, à mesure que la température s'élève, l'augmentation des effets du recuit s'atténue et devient insensible à une température très inférieure au point de fusion du métal; le recuit est alors complet; le métal possède la limite élastique et la charge de rupture les plus faibles dont il soit susceptible, et en même temps l'allongement le plus grand. »

Les différents métaux se comportent de façon analogue au cuivre. L'argent se recuit plus

rapidement : tandis que le cuivre se recuit à partir de 200° environ, l'argent éprouve un recuit appréciable dès 100°. Pour le cuivre, la limite de température à partir de laquelle la totalité du recuit est produite est d'environ 600°; pour l'argent, cette température n'est que de 300°. Il y a donc de grandes variations entre les métaux. En effet, le recuit varie considérablement avec la composition chimique de chaque métal. Les plus petites quantités d'impureté modifient le recuit, en général dans le sens d'un retard : plus le métal est pur, plus il se recuit complètement. Le cuivre ordinaire se recuit complètement à 600°; lorsqu'il est chimiquement pur, le recuit est fait dès 300°. C'est le cas du cuivre électrolytique. De là vient qu'il présente de sérieux inconvénients au point de vue de l'emploi dans les conduites de vapeur. Le recuit qui se produit sous l'influence de la vapeur abaisse énormément la ténacité et peut être cause d'explosion. Par contre, le cuivre recuit présente certains avantages. Lorsque la température à laquelle on chauffe est trop haute ou maintenue pendant trop longtemps, au lieu d'avoir un métal qui revient progressivement vers ses propriétés primitives, c'est-à-dire qui prend une ténacité de plus en plus faible et un allongement de plus en plus grand, on voit l'allongement diminuer de nouveau, en même temps que la ténacité continue à diminuer. Lorsqu'on examine le métal, on voit que le grain, la structure ont changé : on dit que le métal est brûlé. Le phénomène est général pour tous les métaux : pour l'acier, il a lieu à 200°, pour le zinc à 150°. La température varie, mais le fait a toujours lieu.

L'excès de recuit produit des effets diamétralement opposés à ceux du recuit ordinaire. Les impuretés ont une influence considérable sur la cristallisation du métal. Si l'on prend du cuivre ayant des impuretés fusibles, il suffira d'une température très basse pour brûler le métal. Au contraire, lorsque les impuretés sont infusibles, elles n'ont qu'un effet peu marqué. Vous verrez dans le rapport les résultats obtenus avec de l'argent pur, de l'argent à 1 0/0 de cuivre et de l'argent à 1 0/0 d'étain. Cette addition ne modifie pas notablement la malléabilité du métal et augmente un peu sa ténacité : tandis que l'argent avait une ténacité de 18 kilogrammes, les alliages ont une ténacité de 22 kilogrammes.

Si l'on recuit à une température ne dépassant pas 200°, les propriétés ne changent pas d'une façon notable; mais, si l'on recuit à 600°, l'argent pur qui avait une ténacité de 18^{kg},8 et un allongement de 45 0/0 donne, avec 1 0/0 de cuivre, 22^{kg},500 et 40 0/0; avec 1 0/0 d'étain, 12 kilogrammes et 3 0/0. L'alliage d'étain a complètement brûlé le métal, tandis que l'alliage de cuivre ne l'a pas sensiblement altéré.

Puisque le recuit se produit à toute température, il n'y a pas de raison pour qu'il ne se produise pas à la température ordinaire. Et, en effet, on peut constater l'existence de ce recuit quand on passe un fil de cuivre jusqu'à recuit à la filière. Le métal devient cassant et ne passe plus. Mais, si on le laisse reposer quelques heures, il reprend sa malléabilité et on peut de nouveau le tréfler.

On peut également, par des essais mécaniques, mettre en évidence cette influence du temps. Si on a déformé le métal de façon à élever sa limite élastique, et si, après avoir supprimé un instant l'effort, on remet le métal en tension, on reconnaît qu'il ne commence à se déformer que lorsque l'effort est égal à l'effort limite auquel on s'était arrêté. Mais, si on laisse le métal reposer pendant quelques heures, et qu'on recommence l'essai, on trouve une différence : la limite élastique s'est abaissée et le métal reprend la déformation permanente avec un effort inférieur.

Mais, pour la plupart des métaux, ces effets sont faibles à la température ordinaire; il en est, au contraire, quelques-uns pour lesquels le recuit est important au voisinage de la température ordinaire : le zinc, par exemple. On constate là des différences énormes; si l'on déforme rapidement du zinc, on peut lui faire supporter 20 kilogrammes. Si on laisse le métal se reposer quelques heures et si on recommence, l'effort n'est plus que de 6 kilogrammes. Il y a donc un recuit considérable, comparable à celui qui se produit pour le cuivre à 300°.

En conséquence, si l'on soumet un métal à un effort constant qui est inférieur à l'effort de rupture immédiat et pas trop éloigné de celui-ci, ce métal va pouvoir s'allonger indéfiniment par suite de recuit spontané, jusqu'à rupture.

L'expérience est facile à faire avec le zinc : on prend un fil de zinc de 1 millimètre carré de section et on y suspend 10 kilogrammes. On laisse le fil tranquille; il s'allonge et casse au bout de deux ou trois heures. Voici, par exemple, un fil de zinc auquel on a suspendu une charge de 6 kilogrammes par millimètre carré. Après cinq minutes, on a eu un allongement de 1,33; après

dix minutes, de 6; après deux heures, de 20; après six heures, de 61; après neuf heures, de 102; après dix heures dix minutes, au moment de la rupture, de 173 0/0.

On peut mettre en évidence cette diminution de la résistance avec le temps en mettant une barre de métal en communication avec le plateau d'une machine manométrique; quand on laisse en repos l'appareil, le manomètre baisse. Il suffit d'un très faible allongement pour obtenir un déplacement appréciable du plateau et on voit l'effort se réduire peu à peu. Le même fil de zinc à tension initiale de 26 kilogrammes par millimètre carré a donné, au bout de quinze secondes, 11^{kg},16; après une minute, 7^{kg},6; après dix minutes 3^{kg},6; après deux heures, 2^{kg},36; après huit heures, 2^{kg},2. Tel est l'effet du recuit spontané à la température ordinaire pour le zinc.

Cette influence du recuit montre que le temps doit avoir également une influence sur les résultats des essais. Par exemple, un fil de cuivre donne une résistance de 25 kilogrammes si l'essai est fait rapidement et de 2 kilogrammes seulement s'il est fait lentement. Le temps est donc nécessairement un facteur important des résultats. Le zinc est un métal exceptionnel pour ce point. Dans un essai de trente secondes, le zinc a donné 28 kilogrammes, l'aluminium 14^{kg},9 et le cuivre 27^{kg},8; dans un essai de une minute, on a obtenu pour ces trois métaux 24 kilogrammes, 16^{kg},6 et 27^{kg},4; en cinq minutes, 21 kilogrammes, 14^{kg},4 et 26^{kg},3; en quinze minutes, 16^{kg},5, 14^{kg},2 et 25^{kg},8; en une heure, 11^{kg},5, 13^{kg},4 et 25^{kg},1. Entre le premier et le dernier essai, la différence a été pour l'aluminium, de 1 kilogramme et, pour le cuivre, de 2.

Il aurait été difficile de dégager cette influence du temps en opérant sur des barreaux de grande dimension; les irrégularités de section, d'homogénéité et d'échauffement auraient donné des différences accidentelles de 1 kilogramme au moins. Ici, il n'y a aucune discordance, les résistances vont toujours en diminuant.

Puisque l'effort de rupture varie avec le temps, il serait intéressant de connaître la valeur limite de l'effort que le métal pourra supporter sans se rompre. On ne peut pas, dans une expérience, déterminer au moins directement cet effort limite, mais on peut chercher à s'en faire idée par extrapolation et mettre en courbe les résultats obtenus. On trouve alors que pour le zinc la charge de rupture est de 3 kilogrammes par millimètre carré; pour l'aluminium, de ... kilogrammes; pour le cuivre, de 22 kilogrammes. Mais, en employant le dispositif expérimental qui consiste à mettre le métal en communication avec une machine pneumatique et à l'abandonner à lui-même, on peut plus rapidement obtenir une valeur voisine de la résistance finale, parce que les allongements nécessaires pour éviter la résistance sont faibles. Mais on arrive de temps en temps encore à obtenir des résultats. Si on abandonne l'essai pendant une dizaine d'heures, on trouve 2 kilogrammes pour le zinc, 11 pour l'aluminium et 23 pour le cuivre. Nous avons laissé complètement de côté le fer et l'acier: ils se comportent de façon toute différente des autres métaux.

L'influence de la température a une action spéciale sur le fer: quand elle est basse, il devient cassant. C'est une pratique courante dans les usines: lorsqu'on a un poids lourd à soulever, on arrose les chaînes des grues avec de l'eau chaude pour éviter les ruptures. Pour expliquer cette influence, on avait supposé que la ténacité du fer diminuait avec la température et de nombreuses expériences avaient été faites en ce sens. Le Congrès de l'Association internationale de Zurich a été saisi d'un rapport à ce sujet. Les résultats ont été diamétralement opposés à ce qu'on croyait: la résistance du fer augmente aux températures basses. Il n'y a donc pas à chercher l'explication de cette fragilité dans le changement de ténacité du métal, et pas davantage dans l'allongement, lequel ne varie pas sensiblement avec la température. Cependant, il est certain que le métal est beaucoup plus cassant. Cela tient à la façon dont les propriétés du fer varient avec la vitesse de l'essai. Quand on cherche à déterminer la limite élastique et l'effort de rupture du fer avec une vitesse croissante, on trouve d'abord que la ténacité s'élève un peu avec la vitesse; c'est ce qui se passe pour les autres métaux. Mais ce qui ne se passe pas avec ceux-là, c'est que la limite élastique apparente croît beaucoup plus rapidement.

Traçons un diagramme pour représenter l'effort de rupture; si l'on élève la vitesse d'essai, on voit la courbe se relever; l'effort de rupture augmente. Mais cette partie monte beaucoup plus rapidement et la limite élastique devient égale à l'effort de résistance, c'est-à-dire que le métal doit se briser sans prendre d'allongement quand l'essai est rapide.

Cette influence de l'accélération de l'essai a été découverte par M. Considère en 1888. M. Considère avait constaté que, lorsqu'on soumet un fil au choc d'un mouton, l'allongement conserve d'abord des valeurs régulières considérables, puis décroît jusqu'à devenir presque nul. L'explication de ce fait a montré que la limite élastique se relevait de façon à devenir égale à

l'effort de rupture. Des essais ont été faits sur un fil d'acier extra-doux recuit ; ils ont donné les résultats suivant : pour une grande durée la limite élastique a été de $22^{\text{kg}},4$ et la charge de rupture de 33 kilogrammes. Pour une durée de soixante secondes, la limite élastique a été de $27^{\text{kg}},6$ et la charge de rupture a augmenté de plus de 1 kilogramme. Pour quarante secondes, on a obtenu 28 kilogrammes et $34^{\text{kg}},6$; pour vingt secondes, $29^{\text{kg}},3$ et $34^{\text{kg}},8$; pour dix secondes, 31 kilogrammes et $35^{\text{kg}},2$; enfin pour cinq secondes, $32^{\text{kg}},6$ et $35^{\text{kg}},6$.

On constate qu'il y a un écart décroissant qui deviendrait nul pour une vitesse inférieure à une seconde.

Mais ce qui est très important, c'est que l'influence de sa vitesse varie beaucoup avec la température. Les résultats précédents sont relatifs à la température ambiante de 15° . Si la température est plus basse, les vitesses nécessaires pour produire ce renforcement de la limite élastique et de l'effort de rupture sont beaucoup moindres : à 60° , il suffit que la durée de l'effort soit inférieure à une minute pour qu'il y ait égalité et que le fer se brise sans allongement. C'est l'explication de cette propriété particulière du fer à froid.

Si, au lieu d'étudier l'influence des basses températures, on étudie l'influence des températures croissantes, l'effet sera inverse et la fragilité du fer varie très vite avec l'élévation de la température : à 100° , il n'y a plus que des métaux fragiles ; à cette température, on peut casser le fer sans le déformer. Dans l'essai de rupture par choc, nous avons chauffé le métal avant de le casser pour obtenir de bons résultats. Mais cette variation de la limite élastique ne dépend pas seulement de la température, mais aussi de la composition chimique du métal. Par exemple, pour l'acier phosphoreux, l'influence de la vitesse est bien plus grande et bien moins grande pour l'acier au nickel. Cela justifie l'importance que M. Frémont a attachée à l'essai de fragilité. Tous les essais faits avec assez de vitesse à une température supérieure à 50° donneront même pour des métaux mauvais des résultats acceptables. Mais ces mêmes métaux se différencieront énormément lorsqu'on les soumettra à un effort brusque : certains métaux pourront, à la température ordinaire supporter des efforts considérables sans accident, et un métal très peu différent comme composition chimique se comportera de façon très différente, soit par suite d'impuretés, soit à cause de sa structure.

Donc, l'essai de statique lent, comme l'essai de traction, ne différencie pas la qualité des fers et aciers : il est indispensable de remplacer ces essais par des essais de fragilité.

A la fin de son rapport, mon frère insiste sur l'intérêt que présente, au point de vue de la fragilité, le dispositif qu'il avait recommandé et consistant à plier une barre entaillée par un trait de scie. Ce trait de scie avait été abandonné, à tort, selon moi, et remplacé par une entaille ; il a été repris par M. Frémont. Il a l'avantage de donner des résultats beaucoup plus comparables.

Mais, si les essais de fragilité sont destinés à être substitués, dans un avenir plus ou moins lointain aux essais de traction, il s'en faut de beaucoup qu'on soit dès aujourd'hui en mesure de les utiliser de façon immédiate, en raison, précisément, de l'influence considérable de la température. Il est impossible de toujours faire les essais aux mêmes températures : une variation de 2° amène des résultats complètement différents. Par conséquent, avant de pouvoir introduire dans les cahiers de charges les essais de fragilité, il faudra un grand nombre d'expériences pour savoir comment forger les barreaux à la même température. Pour l'acier au nickel, il n'y aura pas, je crois, grand inconvénient à varier la température de 10 à 15° ; mais un acier au carbone présenterait entre 10 et 15° des différences énormes. Cette fragilité spéciale dépend des impuretés du métal, de la température et aussi beaucoup du traitement corrélatif subi par le métal ; cette fragilité due au choc rapide est considérable pour les métaux irréguliers ; si l'on fait le recuit et qu'on répète l'expérience, on casse net sans allongement. Mais si, au lieu de fer recuit, on prend de l'acier moyennement carburé, si on trempe et si on recuit ensuite, la fragilité diminuera beaucoup. Si, après avoir recuit et fait une double trempe, on réchauffe à 600° et qu'on trempe de nouveau, la fragilité disparaît presque complètement, au moins dans certains métaux, — je ne puis pas l'affirmer pour l'acier phosphoreux. Dans certains métaux purs tout au moins, on fait disparaître la fragilité par cette double trempe.

Les recherches à faire sur cette question de l'influence de la température dans la vitesse des essais sont encore en nombre considérable. (*Applaudissements.*)

M. LE PRÉSIDENT. — La parole est à M. Howe.

M. HOWE. — Je voudrais vous dire un mot au sujet des expériences du colonel MIQUELIN.

Si on fléchit un barreau une seconde fois, la flexion ne se produit pas dans le même endroit en raison de l'écrouissage. Je puis rappeler qu'en 1890 j'ai suspendu à des fils de cuivre des poids différents pendant plusieurs mois. J'ai trouvé des chiffres très différents.

M. SAUVAGE. — J'ai également une observation à présenter. M. Le Chatelier pourra nous répondre à tous deux en même temps.

Après l'exposé très intéressant qui nous a été fait sur l'action de la température sur les résultats des essais, je voudrais demander si des difficultés spéciales d'expérience ne proviennent pas de ce fait que, dans beaucoup d'essais, notamment quand il y a une certaine déformation, il se produit un dégagement de chaleur considérable. Le barreau s'échauffe pendant l'essai. N'y a-t-il pas là une difficulté d'expérience, puisque la température change beaucoup pendant l'essai lui-même?

M. LE CHATELIER. — En ce qui concerne l'observation de M. Howe sur les fils de fer, j'ai peut-être insuffisamment expliqué que les lois du recuit ne s'appliquent ni aux fers ni aux aciers. Pour eux, les conditions sont autres : il n'y a pas trace de recuit appréciable au-dessous d'une température déjà assez élevée. Cette diminution de résistance à la longue s'applique au cuivre, à l'aluminium, à l'argent, à tous les métaux purs, sauf au fer et à un certain nombre d'alliages, tels que le laiton.

J'ai résumé un peu rapidement le mémoire de mon frère; il a bien spécifié que ce qu'il disait ne s'appliquait pas aux fers. Il n'y a donc pas de désaccord entre nous.

En ce qui concerne l'allongement considérable de cette pièce de fer dans des expériences successives, je suis quelque peu embarrassé de répondre. Si M. Considère était présent, il pourrait sans doute répondre : c'est lui, qui le premier, a fait ces expériences et constaté la diminution d'allongement sous l'influence de chocs rapides. Ce que mon frère a fait, c'est montrer que la limite élastique se rapprochait de la charge de rupture dans l'effort rapide. Mes observations sur le fer sont dues aux expériences de M. Considère. Il faut tenir compte de ce que les expériences ont été faites sur des fils. Une grande partie de la diminution de l'allongement tient à ce que l'allongement proportionnel disparaît, et il ne reste plus que l'allongement de striction. Quand on opère sur un fil long, si on applique l'allongement de striction, le total devient négligeable. Au contraire, dans le cas actuel, on a dû se servir de tiges assez épaisses et l'allongement de striction a pu avoir une grande importance.

En ce qui concerne l'observation de M. Sauvage, il est parfaitement exact que les métaux s'échauffent énormément, que, par conséquent, la température observée dans les essais n'est pas exactement celle de la pièce. C'est donc une cause d'erreur d'expérience. Quand il s'agit d'expériences faites sur des fils de plusieurs mètres de longueur, il n'y a pas à tenir compte de cette cause d'erreur : la perte de chaleur par l'atmosphère ambiante est alors assez grande pour empêcher une élévation de température supérieure à quelques degrés. Il n'y a donc que dans les essais rapides qu'il y a lieu de se préoccuper de cette question.

Cette cause d'erreur intervient très peu dans le cas de métaux fragiles, parce que la quantité de chaleur, étant proportionnelle au travail, égale le produit de l'effort par l'allongement. Les métaux fragiles n'ayant pas d'allongement, la température supérieure est peu de chose. Dans les autres cas, il y a erreur certaine, dont le résultat est de déformer la courbe. Le nombre donné pour les basses températures est en réalité un peu plus élevé que celui qu'on lit sur la courbe. Mais cela ne change pas la forme de la courbe ni sa valeur numérique. Les conclusions de ce travail de mon frère ne sont pas de ce chef modifiées.

Par exemple, en ce qui concerne l'écrouissage rapide, la fragilité du fer à froid, on observe bien cet état quand on prend le métal à basse température. En réalité, le métal est moins froid qu'on ne le suppose; par conséquent, *à fortiori*, il serait encore plus fragile. Cela modifie la valeur absolue, mais pas les conclusions. Si l'on voulait établir la forme rigoureuse des variations d'allongement et de ténacité en fonctions de la température, on aurait des résultats inexacts en ce qui concerne les essais rapides. Mais, au point de vue spéculatif, cela ne paraît pas avoir une grande importance. (*Applaudissements.*)

M. HENNING. — Je rappellerai ici les essais de MM. Arnold de Sheffield et W. J. Keep qui ont déterminé la courbe de l'échauffement ou du refroidissement des métaux contenant du carbone. Quand on chauffe, il y a un moment où la résistance disparaît. Cela dépend de la teneur en

carbone. Quand on arrive à la chaleur assez intense indiquée par le point ar^3 , on est rendu au point le plus élevé où il se produit un changement moléculaire de la fonte. Dans l'acier, il se produit un phénomène analogue. Mais, dans les courbes de refroidissement des alliages de cuivre et de zinc, on n'a pas encore trouvé la solution; je ne sais si M. Le Chatelier l'a trouvée, n'ayant pas eu le temps d'étudier son rapport. En tout cas, dans les métaux qui contiennent du carbone, on trouve le fait d'un réchauffement, du changement moléculaire dans l'épreuve elle-même, et cela exerce un grand effet sur la résistance de l'éprouvette. Si donc on faisait des expériences avec de l'acier dur ayant une forte teneur en carbone, on trouverait toujours le fait important qui diminue la résistance de l'éprouvette.

M. LE CHATELIER. — En rendant compte du rapport de mon frère, j'avais laissé de côté la question de variation des propriétés mécaniques avec la température au moment des essais. Il a indiqué les variations du fer à diverses températures jusqu'à 800° , point près de ar^3 , mais pas pour les aciers durs : pour les aciers ne dépassant guère 5 à 6 0/0 de carbone. On arrive à une ténacité presque nulle et à un allongement de striction infini — je dis presque nulle parce que les essais n'ont pas été prolongés assez longtemps pour constater si la résistance était nulle ou non. Mais la remarque faite est exacte : au point de transformation des métaux, théoriquement la ténacité est rigoureusement nulle.

Il n'y a pas transformation si nous prenons le point de fusion de la glace sous la pression atmosphérique; si l'on a un mélange de glace et d'eau et qu'on augmente un peu la pression atmosphérique, l'équilibre par pression mécanique n'existe plus; les grains de glace fondent et vont cristalliser ailleurs, aux points comprimés. La pression s'exerce sur d'autres grains qui fondent peu tant qu'il y a place pour l'écoulement. C'est la théorie que j'ai indiquée il y a longtemps pour le regel. Il en est de même pour le métal au point de transformation. Ici, il est en équilibre; si on augmente l'effort, il n'est plus en équilibre. Aussi longtemps que la force s'exerce, aussi longtemps la déformation se produira, sauf si, ce qui apparaît aussitôt dans le fer, il y a une résistance passive, comme un frottement qui s'oppose à la transformation complète. Par exemple, les transformations du fer et de l'acier ne sont pas complètement réversibles : il y a un intervalle de quelques degrés. Si on opère à température constante, il y aura un petit écart, une petite force résiduelle nécessaire pour produire la transformation. Si l'on avait des transformations réversibles, la force devrait être nulle. En ce qui concerne les autres métaux, ce n'est pas net. Cependant, le zinc présente des transformations semblables à 20° environ au-dessous de son point de fusion. Mais, à cette température, le métal est si mou qu'il n'y a pas d'expériences possibles. (*Applaudissements.*)

M. LE PRÉSIDENT. — La parole est à M. Trélat.

M. TRÉLAT. — Grâce à la bienveillance de M. le Président, Messieurs, j'ai la parole devant vous. Je sais que je ne dois pas en user beaucoup. Vous êtes pressés, et le genre de communication que j'ai à vous faire n'est pas dans l'ordre de vos habitudes.

Je crois que le programme du Congrès des Méthodes d'essai présente deux lacunes. La première, que je dirai en quelques mots, a rapport à certaines capacités des matériaux dont il n'a pas été question jusqu'à présent, et dont il ne sera pas question si on ne s'en préoccupe pas dès maintenant.

Il n'y a pas que des conditions de durée et de résistance à satisfaire par les matériaux pour que ceux-ci soient bien utilisés. Une autre propriété qui, en général, ne préoccupe pas le monde des ingénieurs intéresse vivement les architectes désireux de faire des habitations saines. Cette propriété des matériaux qu'il faudrait examiner de près, c'est la perméabilité aux gaz et aux liquides. Il n'y a pas très longtemps que nous savons que certains matériaux permettent à l'air de pénétrer nos intérieurs dans de notables proportions. Il est nécessaire que l'air du dehors — qui est toujours plus pur que celui du dedans — pénètre à l'intérieur. Quelle que soit la petite quantité qui traverse les matériaux, elle n'est pas négligeable. Certes, elle ne suffit pas à aérer spécialement les pièces occupées, mais elle empêche les matériaux de s'emplir des funestes déchets de la vie intérieure, de s'infecter.

Les pierres sont de toutes espèces : il y a celles de formation ignée, celles de formation sédimentaire, les unes denses, d'autres moins compactes. Ce serait au Congrès à les connaître, à les classer. Les unes sont perméables au gaz et à l'air, d'autres à l'air seulement ou au gaz

seulement. Nous n'avons encore sur ces questions que des données vagues; elles intéressent beaucoup les architectes et les constructeurs.

Mais la question de beaucoup la plus intéressante à mon point de vue, celle qui aurait pu être mise à l'ordre du jour si j'avais été plus assidu à la Commission française où, bien coupable, je ne suis allé que deux fois. — cette question, dis-je, est celle-ci : Toute matière mise en conflit avec la lumière engendre une scène plastique plus ou moins accusée, qui lui est propre. Il y a lieu d'établir la classification des propriétés plastiques des matériaux.

J'ai une prière à vous faire : je voudrais que vous soyez pour moi très indulgent, car je vais parler un langage qui n'est pas courant, et dans lequel j'utiliserai de mots ordinairement employés dans les sens les plus vagues et les plus divers. J'ai repris ces mots; j'en ai précisé le sens et l'emploi. Mon ami, M. Brüll, ici présent, m'a attaqué récemment à ce propos. C'est donc surtout à lui que je demande d'être indulgent.

Cela dit, j'entre dans la question. Les matériaux n'ont pas seulement ces capacités courantes pour lesquelles nous avons besoin, architectes et ingénieurs, de mesures exactes. Mais les architectes veulent encore trouver en eux des ressources propres à la constitution de la *Forme*.

Qu'est-ce que la forme? Il y a quarante ans que je l'ai définie le résultat de la lutte de la lumière et de la matière. Quand je m'enferme dans une cave bien close, je me sens entouré de beaucoup de choses; mais je n'en connais pas les formes. J'étends la main, je prends, je soulève les objets, et je constate leurs grandeurs, leur température, leur résistance à mes efforts et leur poids. Si je les choque, ils bruissent et je les dis sonores. J'en goûte la sapidité si je les mets en contact avec mon palais. Là s'arrête le champ de mes observations.

Mais j'ouvre un trou dans la muraille, et, soudain, un phénomène formidable surgit. Tout ce qui m'entoure devient la proie de mes yeux. Il a suffi que la lumière pénétrât et se précipitât sur les parois et le mobilier de la cave pour qu'il en soit ainsi. C'est la *forme* qui s'est faite, la forme des choses, la forme qui est un conflit de lumière et de matière. Mais il faut aller plus loin.

Je suis peut-être un peu long. Je n'en ai que pour quelques minutes.

M. HATON DE LA GOUPILLIÈRE. — Il n'y a que vous qui vous trouviez trop long.

M. TRÉLAT. — Ainsi la lumière et la matière sont les générateurs de la forme, autrement dit du *monde vu*.

Vous savez ce qu'est la lumière. Je vous rappelle pourtant, Messieurs, l'éther, cette étourdissante conception d'une matière qui n'a conservé de sa matérialité que la *mobilité*; et mobilité si grande qu'en une seule seconde, l'éther peut subir des centaines de mille de vibrations; et, dans le même temps, les transmettre à des centaines de mille de kilomètres. Pendant le jour, les vibrations éthérées nous baignent de leurs ondes et pénètrent nos tissus sans que notre sensibilité les perçoive. Mais, aussitôt que ces dévorantes voyageuses se heurtent à la matière, elles se brisent et rebondissent en éclats *morphosés*, c'est-à-dire *formés* et perceptibles aux yeux. Ce sont ces éclats qui leur fournissent la merveilleuse pâture des formes du monde.

L'intervention de la lumière dans la constitution des formes est très diverse et très variable. Mais c'est une étude que je ne puis même pas esquisser ici.

L'autre facteur de la forme, avons-nous dit, c'est la *matière*. Elle affecte les tenues les plus différentes dans ses rapports avec la lumière et fournit les résultantes *formelles* les plus variées et les plus distinctes.

Prenez une mince lame de cristal de roche. Opposez-la à la lumière. Celle-ci la traverse sans laisser trace de son passage. Vous ne voyez rien. Aucune forme n'apparaît, la lutte ne s'étant pas faite entre les particules du cristal et les vibrations de l'éther. La preuve c'est que celles-ci sont, après la traversée de la lame ce qu'elles étaient avant, capables d'engendrer des formes avec des corps réfractaires au passage de l'éther.

Reprenez cette même lame de cristal; saupoudrez-la de noir de fumée; opposez-la à la lumière. Ouvrez ou fermez les yeux : c'est comme si vous rentriez à la cave. Vous voyez noir, mais aucune forme ne se dégage. A la différence de ce qui se passait avec le cristal pur, qui laissait passer intactes les vibrations de l'éther, celles-ci meurent inutilisées dans le noir de fumée. Il n'y en a plus trace au delà. J'ai nommé *amorphogues* (incapables d'engendrer

de la forme), les corps de constitutions analogues au cristal de roche et au noir de fumée.

Entre ces constitutions extrêmes de la matière, entre les matériaux transparents que traverse la lumière, et les matériaux amortissants qui l'éteignent, se place l'innombrable variété des corps, qui, à tous les degrés, arrêtent, retiennent, renvoient ou laissent partiellement passer les vibrations éthérées. C'est à eux que font appel tous les arts plastiques. Je les nomme matériaux *morphogènes* (qui engendrent la forme).

Il serait désirable de voir classés *plastiquement* les matériaux morphogènes comme ont été classés *mécaniquement* les matériaux résistants. Mais il faudrait pour cela savoir mesurer arithmétiquement les capacités plastiques des espèces, comme on a mesuré leurs capacités mécaniques. On peut bien soumettre des matériaux à des épreuves de traction ou de compression, mesurer les charges qu'ils subissent, et en déduire la résistance fournie par l'unité de surface intéressée. On obtient ainsi des coefficients de résistance aussi précis que précieux pour les applications. Une pareille précision ne saurait être tentée dans l'ordre des propriétés plastiques des matériaux. Ici on désigne, sous le nom générique de *valeurs*, les conflits plus ou moins marqués des vibrations éthérées et des particules matérielles. Les yeux seuls apprécient les *valeurs*; aucun instrument ne les mesure. Aussi serait-il vain de vouloir distinguer les matériaux morphogènes par des coefficients chiffrés. Mais on peut déjà partager leur collection en groupes définis par des caractères distincts.

Voici un calcaire tendre du bassin de Paris. C'est un BANC ROYAL :

Capacité morphogène. — Les vibrations de l'éther rebondissent à sa surface et se *morphosent* en valeur claire, presque blanche. Tout relief qu'on y pratique dégage une ombre portée vigoureuse, qui donne aux saillies un éclat violent, et aux arêtes une netteté extrême. C'est un *matériau* pourvu de la plus riche gamme de valeurs et fait pour fournir les plus franches silhouettes.

Voici un MARBRE DE PAROS :

Capacité morphogène. — Les vibrations de l'éther rebondissent encore à la surface. Mais la matière en laisse pénétrer une portion, qui s'arrête à une petite profondeur pour rebondir à son tour et revenir se mêler aux premières. Cet ensemble de vibrations *morphosées* fournit encore une valeur claire et blanche, mais d'une extraordinaire douceur aux yeux. Avec ce marbre, les arêtes gagneront en *gras* ce qu'elles perdront en sécheresse, et les reliefs, faits de saillies moins éclatantes et d'ombres moins âpres, marieront leurs valeurs dans une fine caresse de la vue. On peut demander au Paros les plus suaves modelées de la sculpture la plus châtiée.

Voici un marbre de ROUGE ANTIQUE :

Capacité morphogène. — Les vibrations de l'éther se dispersent à la rencontre du marbre. Une portion d'entre elles pénètre et s'éteint dans la matière. L'autre rebondit *morphosée en rouge*. La scène assombrie ne montre plus dans les reliefs que des saillies sans éclat et des ombres sans solidité. C'est la *couleur* qui règne et qui met son voile sur des valeurs affadies. Le modelé perd ici son champ d'éloquence; et la nécessité se montre à l'artiste de surveiller de près la vigueur de ses silhouettes et la pureté de ses profils.

Ces caractères s'observent dans tous les matériaux colorés et se marquent d'autant plus que la couleur est plus intense. Quand celle-ci confine au noir, comme dans le bois d'ébène, comme dans certains marbres, dans certaines ardoises ou dans les bronzes foncés, le relief s'éteint au voisinage louche des clairs et des ombres, qui tue le modelé. Aussi ces matériaux réduisent-ils le plasticien au stratagème du *bas-relief* et des *cernés*.

Sous les trois titres que je viens de présenter, on peut certainement grouper tous les matériaux pourvus de capacités plastiques. Ma communication n'est, à vrai dire, qu'un cadre de classification, non un procédé de mesure, répondant exactement à l'objet du Congrès, qui est *l'étude des méthodes d'essai des matériaux de construction*. Mais les matériaux ont deux rôles dans la construction : un rôle mécanique pour construire de la stabilité; un rôle plastique pour construire de la Forme. Pour en avoir la connaissance complète, il faut les étudier à ce double point de vue. Mais, si on ne peut mesurer plastiquement les matériaux, comme on les mesure mécaniquement, il faut au moins les classer.

C'est là tout ce que je voulais dire. Vous m'excuserez si je vous ai fatigués.

La séance est levée à midi.

SÉANCE DU MERCREDI SOIR 11 JUILLET 1900

(PREMIÈRE SECTION. — CINQUIÈME SÉANCE)

PRÉSIDENTE DE M. SKOUGAARD

Assisté de MM. STÖCKL et GUILLOTIN, comme Vice-Présidents

Et de MM. CAMERMAN, BIENFAIT et FERET, comme Secrétaires

La séance est ouverte à deux heures et quart.

M. LE PRÉSIDENT. — Messieurs, je tiens à vous exprimer ma vive reconnaissance pour l'honneur qui m'est fait de présider une pareille assemblée d'hommes et de savants éminents. J'y suis d'autant plus sensible que cet honneur est moins mérité.

Nous avons déjà entendu avec un grand intérêt plusieurs rapports sur des travaux scientifiques du domaine de la technologie des matériaux de construction, travaux qui ont été couronnés des plus beaux résultats, et qui ont illustré d'une belle manière les propriétés caractéristiques les plus importantes des matériaux. Mais les méthodes embrassent un vaste terrain d'expériences théoriques et pratiques. J'espère qu'aujourd'hui et les jours suivants le Congrès fera faire de nouveaux pas en avant à diverses sciences, notamment à la technologie.

L'ordre du jour de ce soir est particulièrement intéressant, car la question des pierres de construction et ciments est de plus en plus importante à notre époque. Aussi j'exprime d'avance tous mes remerciements aux personnes qui prendront la parole aujourd'hui.

La parole est à M. Candlot, qui nous entretiendra de la communication de M. le général Schoulatchenko, empêché.

M. CANDLOT. — Messieurs, j'ai à vous présenter les excuses de M. le général Schoulatchenko, appelé subitement loin de Paris. Il désirait beaucoup vous présenter lui-même son rapport sur l'action de l'eau de mer sur les mortiers hydrauliques. Il m'a chargé de vous le présenter en son nom.

Vous avez tous reçu cette communication imprimée depuis quelque temps déjà, et vous avez pu la parcourir. Je ne retiendrai donc pas longtemps votre attention.

M. Schoulatchenko a fait déjà cette communication au Congrès des fabricants de ciment allemands à Berlin. Ce travail est donc connu de beaucoup d'entre vous.

Le point de vue auquel se place son auteur est purement pratique. Il ne conteste pas que les mortiers soient décomposés par l'eau de mer ; il reconnaît, au contraire, que l'action chimique de l'eau de mer est considérable sur les ciments en contact avec elle. L'action chimique est certaine et il faut admettre que, dans certaines conditions, aucun ciment, aucune chaux ne pourraient résister.

C'est un fait bien établi. Néanmoins, il faut se placer au point de vue pratique : il y a beaucoup de travaux exécutés il y a une cinquantaine d'années qui sont en parfait état aujourd'hui et qui ont parfaitement résisté à l'action chimique de la mer. Pour cela, il faut que le mortier ne soit pas pénétré par l'eau. On est donc amené à rechercher comment on peut empêcher l'eau de pénétrer, comment on peut rendre les mortiers aussi peu perméables que possible. M. le général Schoulatchenko pense que, parmi les mortiers susceptibles de résister à

l'eau de mer il faut placer au premier rang ceux de ciment portland, comme donnant les résultats les plus sûrs. C'est un produit parfaitement défini, dont la composition ne varie pas et est réglée d'avance de façon précise. Il pense donc que ce ciment doit donner des garanties supérieures à tous autres produits, notamment aux produits naturels toujours dosés diversement, comme l'a voulu la nature, et il n'hésite pas à dire que, pour les travaux maritimes, les mortiers de portland, convenablement employés, donnent des garanties parfaites.

Dans le cours de son rapport, M. le général Schoulatchenko parle entre autres choses de la théorie de M. Michaelis au sujet des pouzzolanes. Il s'étonne que M. Michaelis, qui a rendu de si grands services à l'industrie du ciment, paraisse un peu abandonner ce produit qu'il avait si bien défendu, pour se rallier à une opinion différente. Il estime que certaines matières ajoutées aux ciments augmentent peut-être leur qualité; il ne dit pas que ce soit certain, mais il pense que, dans l'état de nos connaissances, on ne peut pas affirmer que pareille action puisse se produire. Il faudra de longues années avant qu'on soit fixé sur l'amélioration possible des mortiers par les pouzzolanes ou autres produits qui pourraient leur être ajoutés. Il revient toujours sur ce point essentiel qu'une expérience de plus de quarante ans a montré que le portland, s'il est convenablement employé, doit donner des résultats parfaits dans les travaux à la mer.

Telle est, résumée en quelques mots, la communication de M. le général Schoulatchenko. Je n'ai pas voulu vous la lire *in extenso* pour ne pas abuser de vos instants; mais j'en ai résumé l'idée et le sens général. (*Applaudissements.*)

M. LE PRÉSIDENT. — La parole est à M. H. Le Chatelier pour sa communication sur la décomposition des ciments à la mer.

M. H. LE CHATELIER résume son mémoire inséré *in extenso* d'autre part. (*Applaudissements.*)

M. LE PRÉSIDENT. — La parole est à M. Rebuffat.

M. REBUFFAT. — Je désire ajouter quelques mots aux observations de M. Le Chatelier à propos des aluminates. J'ai étudié la formation des sulfoaluminates en absence de chaux libre, et j'ai obtenu dans ces conditions des résultats autres que ceux de M. Candlot. Il y avait deux sulfoaluminates, l'un correspondant à l'aluminate monocalcique, et formé par une molécule d'aluminate et une molécule de sulfate de chaux, l'autre correspondant à l'aluminate tricalcique, et formé par une molécule d'aluminate, et trois molécules de sulfate de chaux. Dans ces derniers temps, j'ai repris l'étude de la formation des sulfoaluminates, en présence de la chaux libre, et j'ai trouvé que, dans ces conditions, les aluminates mono, bi et tricalciques, donnent le même sulfoaluminate étudié déjà par M. Candlot. Il n'y a donc en réalité aucune contradiction entre mes expériences et celles de M. Candlot.

Pour ce qui est de la décomposition des ciments à la mer, je dois faire quelques observations sur le rôle que l'on fait jouer à la formation des sulfoaluminates. J'ai trouvé dernièrement que ces substances sont décomposées par une dissolution de sels de magnésium. Cette décomposition est assez rapide dans une solution de chlorure de magnésium ou de sulfate de magnésium et chlorure de sodium. Je ne dis pas qu'il en soit de même dans les mortiers immergés à la mer, mais au moins faudrait-il faire des expériences directes. Tant que la formation des sulfoaluminates dans les mortiers immergés à la mer ne sera pas constatée directement, nous ne serons pas sûrs que la décomposition du ciment par l'eau de mer est due à la formation du sulfoaluminate de chaux.

Je dois faire encore quelques observations à propos de l'action de la silice, ajoutée au ciment, sur l'hydrate de chaux, mise en liberté dans l'hydratation de ce même ciment. Lorsqu'on étudie l'action de la solution de sucre sur le ciment hydraté, l'on voit que, en ajoutant au mélange de la silice libre, la chaux cédée à la solution de sucre disparaît; dans ces conditions donc, la silice fixe presque toute la chaux; mais je crois que les choses se passent assez diversement dans la mer. Je n'ai pas fait des expériences avec des mortiers de ciment et silice libre, mais j'en ai faites avec des mortiers de pouzzolane. Dans ces mortiers, la chaux se combine d'abord à la silice et à l'alumine, mais finit, en dernier lieu, par être dissoute complètement par l'eau de mer, malgré l'énorme proportion de silice, que ces mortiers renferment.

J'ai fait encore des expériences avec des pouzzolanes artificielles. J'ai préparé ces

pouzzolanes, soit avec du kaolin, soit avec une argile, une fois à l'état naturel, l'autre fois après lavage à l'acide chlorhydrique, pour les délivrer du carbonate de chaux. Ces mortiers se transforment en pouzzolane par chauffage entre 700 et 800°. J'ai fait des mortiers avec ces pouzzolanes et la chaux grasse; le mortier le plus beau a été donné par la pouzzolane de kaolin. J'ai traité ces mortiers avec des solutions de sulfate et de chlorure de magnésium, et j'ai trouvé qu'ils sont détruits par la solution de chlorure, tandis qu'ils résistent très bien à la solution de sulfate. Je m'empresse d'ajouter que ces dernières expériences ne sont pas directement comparables à celles de M. Le Chatelier, puisque l'état de combinaison de la chaux est bien différent dans ces mortiers, et dans les mortiers de ciment.

J'ai encore une observation à faire à propos des ciments. J'ai trouvé une réaction qui permet, je crois, d'expliquer la résistance de la chaux du Teil et du ciment siliceux à l'eau de mer.

Lorsqu'on met du silicate monocalcique en présence d'un aluminat, il y a combinaison avec élimination de chaux. La présence du silicate monocalcique dans la chaux du Teil et le ciment siliceux a été déjà démontrée par M. H. Le Chatelier et reste encore confirmée par mes expériences. Lorsque ces substances s'hydratent, le silicate monocalcique se combine avec l'aluminat, en formant un silicate double, dans lequel l'alumine se trouve directement liée à la silice. Il se forme donc une espèce de pouzzolane naturelle, laquelle, par sa présence, peut nous expliquer la résistance de ces ciments à l'eau de mer. (*Applaudissements.*)

M. LE PRÉSIDENT. — La parole est à M. Hannover.

M. HANNOVER. — M. Le Chatelier, au cours de la communication qu'il vient de faire, a cité des expériences tendant à montrer que le volume absolu du ciment diminue pendant la prise. J'ai sur le même sujet des expériences faites à Copenhague par M. G. A. Hagemann et par moi, au nom d'une Commission nommée par la municipalité en vue de la restauration des décorations murales extérieures du musée Thorvaldsen.

Ces décorations, formées par des incrustations de ciment coloré, sont en très mauvais état. Le but des nombreuses expériences faites par le sous-comité de la Commission a été d'abord de trouver des matières colorantes qui se marient bien au ciment, ensuite d'obtenir des enduits en ciment de grande étendue sans crevasses.

En particulier, on a essayé de fluater les enduits par le procédé Kessler, et on a reconnu que cette opération avait pour effet de faire refermer les fissures préexistantes. Nous avons essayé d'expliquer ce phénomène en admettant que le ciment s'était contracté pendant la prise et que le fluatage avait, en même temps que d'autres propriétés, celle d'amener une dilatation du ciment capable de compenser cette contraction.

Ces diverses expériences feront l'objet d'un rapport général dont j'ai extrait le passage relatif aux expériences en question; au nom de M. Hagemann et au mien, j'ai l'honneur de déposer cet extrait sur le bureau du Congrès. (*Applaudissements.*) (Voir à l'Annexe, p. 183.)

M. LE PRÉSIDENT. — La parole est à M. Deval pour sa communication sur les essais de ciment à l'eau chaude.

M. DEVAL. — La communication que j'ai l'honneur de présenter au Congrès, résume les résultats de nombreux essais à l'eau chaude de 80 à 100°, faits sur les ciments de Portland, de laitier et de Vassy.

On sait que la chaleur active les réactions chimiques, elle hâte la prise des ciments, qui ont, par suite, au début de l'essai, une plus grande résistance dans l'eau chaude que dans l'eau froide.

Exceptions. — Quelques ciments font exception à cette règle. Après quelques heures d'immersion, ils gonflent dans l'eau chaude, ou bien ils se fendillent, ou encore, sans donner des signes apparents de dégradation, ils ont moins de résistance que dans l'eau froide.

Ces ciments sont considérés comme dangereux. Ils contiennent des expansifs qui ont résisté à l'extinction au moment du gâchage et dont l'extinction tardive peut être nuisible à la résistance finale des constructions.

Comparaison des résistances. — J'ai comparé les résistances que prennent les pâtes pures des liants hydrauliques et leurs mortiers sableux, dans l'eau chaude et dans l'eau froide, après des immersions de deux jours, sept jours et un an.

J'ai comparé de même leur résistance après une exposition de trois années à l'air à toutes les intempéries à la résistance qu'ils ont acquise dans l'eau pendant le même temps.

Enfin, j'ai recherché ce que deviennent au bout de trois ans, limite de mes expériences, les ciments que l'essai à chaud avait rendus suspects.

Je présente ce travail sous forme de graphiques qui permettront d'embrasser d'un coup d'œil l'ensemble des résultats d'un grand nombre d'expériences.

Dans ces graphiques, dont vous voyez ici quelques reproductions, j'ai pris pour abscisses et pour ordonnées les résistances à comparer. J'ai obtenu une série de points dont chacun correspond à une expérience et j'ai entouré d'un trait les points se rapportant à la même nature de ciment, afin d'en mieux saisir l'ensemble.

J'ai reconnu que les ciments gâchés en pâte pure et en consistance normale prennent, après deux jours dans l'eau chaude, une plus grande résistance que dans l'eau froide, et qu'après sept jours cette supériorité se maintient, excepté pour les ciments de laitier.

Par un séjour prolongé dans l'eau chaude, la résistance continue d'augmenter; mais, après un an, elle est plus faible que dans l'eau froide pour les pâtes pures et plus forte pour les mortiers sableux.

La résistance dans l'eau chaude après sept jours n'est pas, comme on l'avait pensé, égale à la résistance maximum des ciments.

Il y a, pour les ciments de Portland et pour les chaux hydrauliques, une certaine concordance entre la résistance à chaud à sept jours et la résistance à froid à vingt-huit jours; cette concordance n'a pas lieu dans les ciments de laitier et elle n'est pas très nette pour les ciments de Vassy.

Les expansifs que l'eau chaude révèle dans les ciments de Portland par des gonflements ou des fendillements ou par une plus faible résistance qu'à froid, ne paraissent pas être toujours dangereux pour la stabilité des constructions, au moins pendant une période de trois ans.

Une plus faible résistance, à sept jours, dans l'eau chaude que dans l'eau froide, n'est pas toujours l'indice de la présence des expansifs; elle peut, comme dans les ciments de laitier, provenir de la décomposition des aluminates qui, à froid, concourent au durcissement des ciments. L'aluminate de chaux entre dans la composition des ciments de laitier et sa présence ne peut être considérée comme une défectuosité.

L'essai à l'eau chaude ne peut, par suite, être appliqué aux ciments de laitier, si ce n'est, toutefois, pour s'assurer que la chaux y est complètement éteinte.

L'essai à l'eau chaude convient aux ciments dont la forte cuisson peut donner lieu à la présence d'expansifs, mais ces expansifs ne sont pas nécessairement dangereux. J'ai trouvé que, pendant une période de trois ans, les ciments rendus suspects par l'essai à chaud se sont comportés à l'air et à l'eau à peu près de la même façon que ceux dont l'essai à l'eau chaude a été satisfaisant.

Tels sont les résultats que j'ai cherché à faire ressortir et que j'ai l'honneur de soumettre à l'appréciation du Congrès. (*Applaudissements.*)

M. LE PRÉSIDENT. — La parole est à M. Feret pour nous parler de ses expériences sur les pouzzolanes.

M. FERET. — Après ce qui vient d'être dit par plusieurs orateurs au sujet de l'action des pouzzolanes sur les portlands, je n'ai pas besoin d'insister longuement sur l'importance de cette question, d'autant plus que vous la connaissez tous. Vous savez que, depuis plusieurs années, d'ardentes polémiques se sont élevées au sujet des additions pouzzolaniques : les uns disent que les pouzzolanes n'exercent sur les ciments aucune action chimique utile; les autres soutiennent le contraire. En présence de cette controverse, j'ai fait de nombreuses expériences pour chercher de quel côté était la vérité.

Voici un résumé de l'ensemble de ces recherches.

Examinons d'abord l'action purement physique de la présence de pouzzolanes. La résistance d'un mélange durci quelconque dépend beaucoup, comme vous le savez, de la composition physique intime de ce mélange, de l'agencement des grains dont il se compose. Dans une étude antérieure, j'ai montré que le maximum de compacité a lieu pour un mélange d'environ deux parties de gros grains et une partie de grains fins sans grains moyens intermédiaires. Comme les sables naturels ne peuvent être constitués d'un mélange de gros grains et de grains

fin sans grains moyens, on ne peut réaliser cette condition qu'en employant un gros sable, naturel ou tamisé, et lui ajoutant ensuite environ la moitié de son poids de matières fines. Si on employait pour cela du ciment pur, on aurait un mortier très riche et trop coûteux, contenant d'ailleurs beaucoup plus de ciment qu'il n'est nécessaire. On est donc amené à ajouter au ciment des matières fines, en présence du sable parfait ne contenant que des gros grains. Du moment qu'on est arrivé à cette notion, on peut prévoir déjà que, si l'on prend comme matière fine à ajouter au ciment une matière pouzzolanique, on obtiendra, rien déjà qu'au point de vue de la composition granulométrique du mortier, une réelle amélioration.

J'arrive à l'action chimique. Je l'ai mise en évidence de la manière suivante :

Avec du portland gâché pur, on a fait des briquettes qu'on a laissé durcir, autant que possible, à l'abri de l'acide carbonique de l'air. De même, on a fait des briquettes avec du portland et diverses pouzzolanes en poudre fine. Pour doser les quantités de chaux libre ou facilement assimilable contenues dans ces mélanges après différentes durées, on a pulvérisé la matière, puis on l'a attaquée par l'eau sucrée, dans des conditions bien définies ; on l'a filtrée et, dans le liquide clair, on a dosé volumétriquement la chaux par l'acide chlorhydrique titré. Ce procédé n'a pas la prétention d'indiquer exactement la proportion de chaux libre contenue dans le ciment durci ; en effet, la quantité de chaux absorbée par l'eau sucrée varie suivant les conditions de l'expérience, par exemple les proportions relatives des matières mises en présence et la durée de l'action. C'est un procédé approximatif, mais dont les résultats doivent être comparables si l'on a soin d'opérer toujours dans les mêmes conditions.

En opérant ainsi sur le ciment portland pur, on constate, ainsi que le montrent les deux premières lignes du tableau I inséré dans mon rapport, que la proportion de chaux libre ainsi déterminée augmente progressivement avec le temps. Ceci confirme la théorie bien connue que la prise du ciment résulte de la décomposition d'un silicate assez fortement calcaire en silicate moins calcaire et en chaux. Si on opère de la même manière avec un mélange de ciment et de pouzzolane, on voit par le tableau que si, dans les premiers jours du durcissement, la proportion de chaux libre augmente un peu, elle ne tarde pas ensuite à diminuer d'une manière progressive.

Il semble donc résulter de là, d'une manière bien nette, que la pouzzolane neutralise une portion croissante de la chaux mise en liberté dans le ciment par le fait même de la prise.

Reste à voir si ces phénomènes sont favorables ou non au durcissement du mortier. *A priori* il semble que oui, encore faut-il s'en assurer. Dans ce but, j'ai fait quelques expériences que vous trouverez relatées dans mon rapport. J'ai fait des mortiers de même dosage avec un même sable et des mélanges d'un même ciment et de pouzzolanes amenées à l'état de poudres fines, de façon à obtenir des mortiers de même compacité. On ne pourra plus, dès lors, objecter que l'augmentation de résistance due à l'addition de pouzzolanes provenait uniquement d'une composition moléculaire physique différente du mortier durci. Du reste, en connaissant les poids spécifiques des matériaux employés, et en calculant d'après les poids du litre de mortier frais le volume absolu de la matière solide contenue, on constate que, dans tous les cas, la compacité était la même.

A côté de ces mélanges contenant parties égales de ciment et de pouzzolanes en poudre fine avec un certain poids de sable, on a étudié des mélanges analogues dans lesquels la pouzzolane était remplacée par le ciment, et qui contenaient, par conséquent, pour un même poids de sable, un poids de ciment double des premiers.

Eh bien, vous verrez, dans le tableau que je donne, que les mortiers de pouzzolane ont presque toujours eu une résistance supérieure à la moitié de celle de ces derniers ; même, dans certains cas, ils dépassent les résistances des mortiers dans lesquels la pouzzolane est remplacée par le ciment. Autrement dit, le mélange de ciment et de pouzzolane peut être un liant plus énergique que le ciment pur. Il s'agit ici, bien entendu, d'essais à la compression, car ce mode de rupture donne des résultats plus certains que la traction.

Les mortiers dont il vient d'être question avaient été conservés dans l'eau. A l'air, l'augmentation de résistance résultant de l'addition de pouzzolanes est moins marquée. Après la rupture des blocs, on a cherché à doser par l'eau sucrée la quantité de chaux restant libre ou faiblement combinée dans les mortiers : contrairement à ce qu'on aurait pu croire, les mortiers les plus résistants n'ont pas été ceux où la proportion de chaux enlevée par l'eau sucrée a été la plus faible. Les résultats sont assez discordants. On remarque notamment que les laitiers granulés

ont donné de très fortes résistances; pourtant, ils se sont assimilés relativement peu de chaux. Probablement qu'une partie de l'alumine qu'ils contiennent se trouve à l'état de sels contribuant à augmenter la résistance; il y a peut-être d'autres causes que je n'ai pas approfondies.

Je passe maintenant à l'action de l'eau de mer. J'ai fait des expériences du même genre pour mettre en évidence l'action de l'eau de mer sur de pareils mélanges. J'ai fait des mortiers de même dosage, d'une part avec du ciment sans addition étrangère, d'autre part avec des mélanges du même ciment et de pouzzolanes ou de poudres inertes. Exposés à l'eau de mer, ces mortiers se sont les uns bien conservés, les autres détériorés. Ces expériences durent depuis plusieurs années. En général, on peut conclure que les premiers mortiers qui se sont décomposés sont ceux dans lesquels entraient un mélange de ciment et de poudre inerte remplaçant la pouzzolane; puis se sont décomposés les mortiers dans lesquels le ciment était entré sans mélange; enfin, les mortiers contenant du ciment et de la pouzzolane se sont presque toujours bien comportés. D'autres expériences ont été faites sur une plus grande échelle dans la mer même sur des blocs de maçonnerie. Un diagramme de mon rapport montre la progression des résistances atteintes après différentes durées par des mortiers prélevés sur le chantier. J'ai employé trois sortes de pouzzolanes: celle de Rome, le trass et la gaize légèrement torréfiée d'après les principes de Vicat. Ces trois mélanges donnent, à dosage égal, des résistances à peu près doubles de celles des mortiers de ciment à son état naturel, bien que la quantité de ciment entrant dans un volume donné de mortier ne soit que la moitié de celle correspondant à ces derniers.

Quant aux proportions à adopter, elles dépendent de la nature de la pouzzolane, de la qualité du ciment et du but qu'on se propose; par exemple, il n'est pas sûr que les mêmes proportions correspondent toujours à la fois au maximum de résistance et au maximum de sécurité dans l'eau de mer. Le choix ne peut être déterminé que par des expériences préliminaires. La figure 2 de mon rapport indique les énergies relatives de mélanges en toutes proportions d'un même ciment portland et de diverses pouzzolanes en poudre fine. Pour un poids égal de ciment et de pouzzolane, l'énergie est presque la même que pour le ciment à l'état naturel; pour des proportions moindres de ciment, elle décroît rapidement. Certains mélanges ont une énergie supérieure aux ciments purs. On remarque notamment que le ciment additionné de laitier préalablement granulé, puis moulu, peut atteindre une énergie considérable, et que la proportion correspondante de ciment est relativement faible.

Le choix de la pouzzolane à employer peut être aussi guidé par des expériences préalables; en pratique, il est forcément très limité par la question de prix, en raison de l'éloignement des divers gisements de bonnes pouzzolanes.

J'arrive à la seconde partie de mon travail, relative à l'essai des pouzzolanes.

Les divers essais peuvent être décomposés en deux groupes: ceux sur pouzzolanes à l'état naturel, ceux faits sur des mortiers où rentrent des pouzzolanes. Pour les pouzzolanes à l'état naturel, il y a l'essai d'homogénéité; l'essai gravimétrique n'a pas grande importance; le poids d'un volume connu d'une pouzzolane dépend de son poids spécifique et de son degré de finesse. Le poids spécifique est peut-être plus utile à connaître. Quant à l'analyse chimique, elle ne peut guère donner, comme pour les ciments, que la composition globale de la matière, sans qu'on sache de quelle manière les éléments sont combinés entre eux, ni, par suite, comment ils influent sur la qualité de la pouzzolane. Elle ne fournit donc qu'une indication purement signalétique. On a proposé pour certaines pouzzolanes l'essai de perte au feu comme devant donner un critérium de leur qualité; on a dit qu'un bon trass ne doit pas avoir une perte au feu inférieure à 70/0. Cette propriété permet peut-être de différencier divers bancs de qualités différentes de la vallée du Rhin, mais il est évident qu'elle n'a rien de général et ne saurait s'appliquer à toute autre pouzzolane.

On considère souvent la qualité des pouzzolanes comme dépendant immédiatement de leur teneur en silice soluble ou assimilable; mais ces mots ont un sens tout relatif et doivent être précisés. Comme je l'ai dit à propos du dosage de la chaux plus ou moins libre par l'eau sucrée, la quantité de matière trouvée dépend des conditions de l'expérience: proportion et degré de concentration du réactif, durée d'action, température, etc.

Par exemple, on a démontré que, dans certaines conditions, le cristal de roche lui-même pouvait être dissous complètement par les solutions alcalines.

Dès lors, lorsqu'on indique la teneur d'une pouzzolane en silice soluble, il est indispensable de préciser en même temps très minutieusement toutes les conditions de l'essai, et un pareil

dosage ne peut fournir de renseignements utiles sur les valeurs relatives de plusieurs pouzzolanes que s'il est exécuté toujours de la même manière.

On peut encore se demander si la qualité d'une pouzzolane ne peut pas être mesurée par son affinité pour la chaux. En vue de mesurer cette affinité, j'emploie un procédé indiqué par Vicat : je mets un poids donné de pouzzolane en poudre fine dans un volume connu d'eau de chaux de concentration déterminée, je laisse en contact un temps donné, en agitant fréquemment, je filtre et je dose volumétriquement la chaux restant en solution dans le liquide. Le poids de chaux absorbé par la pouzzolane s'en déduit par différence. En opérant simultanément sur plusieurs flacons identiques et faisant durer l'action, à l'abri de l'acide carbonique, pendant des temps plus ou moins longs, on peut suivre la progression de la quantité de chaux absorbée.

Passons maintenant au second genre d'essais, aux essais sur mortiers à la pouzzolane. Ces mortiers doivent nécessairement contenir un liant actif et peuvent aussi renfermer du sable. Pour que les essais puissent être exécutés d'une manière uniforme, il faut donc un liant qu'on puisse définir exactement et avoir toujours identique à lui-même. La chaux grasse pure éteinte de manière à contenir juste la quantité d'eau correspondant à la formule de l'hydrate de chaux, est le seul qui satisfasse à cette condition.

Pour le sable, on peut facilement choisir un sable normal, comme dans les essais de ciments ; mais, à la rigueur, on peut aussi s'en passer.

L'essai de prise est le plus simple : je l'exécute, au moyen de l'aiguille Vicat de 300 grammes, sur une pâte plastique de pouzzolane en poudre et de chaux grasse normale. Comme proportion, j'ai adopté celle qui, d'après les essais indiqués précédemment, correspond à peu près au maximum de résistance, 1 de chaux grasse pour 4 de pouzzolane. La pâte, introduite dans un bocal, est conservée à l'abri de l'acide carbonique et essayée à époques fixes : on note son début et sa fin de prise, puis on la laisse encore dans son bocal, que l'on brise seulement au bout d'un an. On apprécie alors au juger la dureté du bloc durci et on s'en sert pour un autre essai qui sera décrit tout à l'heure.

J'ai fait un grand nombre d'essais de résistance avec des mortiers plastiques composés de 3 parties d'un même sable naturel et 1 partie de divers mélanges d'une même pouzzolane en poudre et de chaux grasse normale. De la sorte, j'ai déterminé en même temps les proportions relatives de chaux et de pouzzolane correspondant au maximum de résistance.

Pour évaluer approximativement la proportion de chaux restant libre après le durcissement du mortier, on peut opérer par la méthode que j'ai indiquée tout à l'heure : pulvériser ce mortier immédiatement après la rupture des éprouvettes et l'essayer par l'eau sucrée ; mais, je le répète, ce n'est là qu'un essai conventionnel, dont les résultats sont subordonnés aux conditions d'exécution, et qui, dès lors, demande à être défini parfaitement, pour que les chiffres trouvés avec divers mortiers puissent être utilement comparés entre eux. J'indique, dans mon travail, la manière dont je l'exécute.

Pour étudier l'action de l'eau de mer, un premier genre d'essai consiste à immerger dans cette eau des mortiers identiques à ceux employés pour les essais de résistance et à les examiner de temps en temps. Cette méthode présente l'inconvénient que la surface des briquettes se recouvre de carbonate de chaux, qui contrarie l'action de l'eau de mer.

Au contraire, on constate souvent, dans la pratique, que des maçonneries qui résistent depuis longtemps, se mettent à se décomposer quand un choc accidentel a mis à nu l'intérieur du mortier non carbonaté. De là, une seconde méthode d'essai consistant à immerger dans l'eau de mer les morceaux des éprouvettes qu'on a cassées dans les essais de résistance. Dans ce cas, les décompositions sont bien plus actives. Enfin, le troisième procédé est, en somme, celui de Vicat. Pour l'appliquer, je me sers des pâtes durcies ayant servi aux essais de prise et conservées à l'abri de l'air dans des bocaux ; au bout d'un an, on brise les bocaux, on extrait le petit bloc de mortier durci, on taille ce bloc au couteau ou à la lime, de façon qu'il présente une surface bien nette et des arêtes vives, et on le met dans une solution définie et fréquemment renouvelée de sulfate de magnésie. C'est là une épreuve très dure et il y a peu de mortiers de chaux grasse et pouzzolane qui ne finissent par se décomposer tôt ou tard.

Je donne, à la suite de mon rapport, plusieurs tableaux indiquant à titre d'exemple les résultats de ces divers essais pour quelques échantillons de pouzzolanes. Le nombre de ceux-ci est trop faible pour qu'on puisse tirer de ces indications des conclusions générales sur les qualités relatives des différentes sortes de pouzzolanes, ainsi que sur l'aptitude de chaque essai à mettre

ces qualités en évidence. Mais je continue les essais, qui ont porté, jusqu'à présent, sur plus de cent échantillons différents, et il faut espérer que bientôt on pourra, en rapprochant les résultats les uns des autres, arriver à des conclusions intéressantes.

En attendant, voici celles que j'ai cru pouvoir formuler à la suite du rapport sommaire préparé en vue de ce Congrès :

1° ADDITION DE POUZZOLANES AUX MORTIERS DE CIMENT

« En raison de leur influence physique, chimique et mécanique, les pouzzolanes, ajoutées aux mortiers de ciment portland, peuvent, le plus souvent, améliorer ces derniers, tout en abaissant leur prix de revient.

« En particulier, elles augmentent leur sécurité dans les constructions en eau de mer.

2° ESSAI DES POUZZOLANES

« Suivant qu'on se propose de mesurer l'énergie potentielle d'une matière pouzzolanique donnée ou l'énergie réelle d'une poudre prête à être employée, on doit d'abord réduire la matière en une poudre de finesse bien définie ou, au contraire, opérer sur la poudre même qui fait l'objet de la fourniture.

« Les essais directs les plus utiles sont celui d'homogénéité (1^{er} cas), celui de finesse (2^e cas), le dosage de la silice soluble dans certaines conditions à définir exactement et la mesure de l'affinité pour la chaux.

« Les essais sur mortiers gâchés exigent l'emploi d'une chaux grasse pure, parfaitement éteinte en poudre fine et ne contenant pas plus d'eau que n'en exige son hydratation. On peut définir une chaux grasse normale par un maximum d'impuretés à tolérer, y compris le carbonate de chaux, un degré de finesse déterminé, un maximum et un minimum de la proportion d'eau contenue. Éventuellement, il peut être avantageux de fixer aussi un sable normal.

« Les essais sur pâte ou mortiers qu'il y a lieu de recommander de préférence sont l'essai de prise, les essais de résistance, la mesure approximative de la chaux combinée pendant le durcissement et l'observation des détériorations résultant des éléments de l'eau de mer.

« Aucune règle bien précise ne s'impose *a priori* pour le mode d'exécution de la plupart des essais qui viennent d'être énumérés. Toutefois, quand on voudra en fixer, il pourra être bon de s'inspirer, autant que possible, des méthodes qui ont été exposées dans ce qui précède. »
(*Applaudissements.*)

M. LE PRÉSIDENT. — La parole est à M. Ribera.

M. RIBERA. — Je ne veux pas critiquer le moins du monde le rapport de M. Feret, dont les études ont été suivies par moi avec le plus grand intérêt, et je suis d'accord avec lui. Je désire seulement ajouter quelques observations de constructeur. Car je ne suis pas un savant ayant étudié ces questions au même point de vue que M. Feret, dont les observations si curieuses vont peut-être révolutionner l'industrie du ciment. Je viens seulement dire qu'à Oviedo, et peut-être ailleurs, maintenant, on emploie d'une façon courante les laitiers granulés au lieu de sable, et qu'on obtient ainsi des effets hydrauliques extraordinaires. Je ne crois pas qu'il soit nécessaire de réduire les laitiers en poudre fine pour obtenir des réactions chimiques favorables à la résistance des mortiers. J'ai même fait à titre d'expérience du béton armé dans lequel, n'ayant ni sable ni gravier, j'ai employé, à la place, du laitier ordinaire granulé. Quelques-uns de mes ouvriers, Français habitués à avoir du bon sable de granit, disaient que la construction n'avait pas de liant et craignaient des désagréments ou des ruptures. J'ai fait faire des briquettes avec du mortier exécuté dans les mêmes proportions : dans les unes, j'ai employé le sable ordinaire ; dans les autres, du laitier. Ce laitier, qui est insoluble dans l'eau, ne présente qu'une faible résistance intrinsèque et s'égrené. Il semblait donc étonnant qu'on pût obtenir des bétons très durs avec pareille matière. J'ai donc fait ces briquettes, et quelle a été ma surprise lorsque j'ai vu que le béton exécuté avec du laitier granulé au lieu de sable donnait une résistance à la tension et à la compression supérieure au béton de sable ordinaire ! Mais il y a plus : dans les briquettes rompues, on ne voyait plus aucune trace de laitier granulé : celui-ci était comme fondu dans la masse.

Il semble donc que le laitier granulé se combine avec les autres éléments du mortier, c'est-à-dire que le portland donne au laitier granulé des éléments suffisants pour le dissoudre et produire des combinaisons chimiques sans même que ce laitier ait été préalablement pulvérisé.

Je sou mets cette observation de constructeur à mes éminents collègues, qui pourront rechercher s'il n'y a pas à tirer de là des conclusions pratiques intéressantes. (*Applaudissements.*)

M. H. LE CHATELIER. — Il y a longtemps déjà qu'on emploie ainsi le laitier granulé. Une partie des canaux de l'Est a été faite par ce procédé. Dans certaines régions, il est bien plus rationnel d'employer un pareil sable, ne coûtant que 1 franc la tonne, plutôt qu'un sable naturel coûtant souvent plus cher. A ce point de vue, l'industrie du ciment de laitier paraît une anomalie : on devrait consommer la totalité du laitier à l'état naturel en l'employant avec la chaux du commerce. On obtient ainsi d'excellente maçonnerie. Ce mortier est employé en France sur une grande échelle depuis déjà longtemps pour la confection de très bonnes briques.

M. LE PRÉSIDENT. — La parole est à M. Rebuffat.

M. REBUFFAT. — Je ne veux ajouter que quelques mots à ce qu'a dit M. Feret.

En ce qui concerne le poids spécifique des pouzzolanes, il est très variable selon les provenances ; celle qui a le poids spécifique le plus grand est celle du Vésuve parce qu'elle est basaltique et contient beaucoup d'oxyde de fer. Les pouzzolanes trachytiques de Bacoli sont moins riches en oxyde de fer et ont une densité moindre.

En ce qui concerne l'analyse chimique, je me suis occupé de rechercher si elle a une relation avec la qualité des pouzzolanes. Après moi, M. Giorgis de Rome, s'en est également occupé et nous sommes tombés d'accord pour reconnaître qu'il n'y a possibilité d'établir aucune relation entre la composition chimique d'une pouzzolane et sa qualité bonne ou mauvaise. Dès lors, on comprendra que la question de la silice soluble ou insoluble n'a plus d'intérêt. J'ai fait des expériences avec des solutions alcalines plus ou moins concentrées, au contact desquelles j'ai mis des pouzzolanes ; en même temps, j'ai fait, avec ces mêmes pouzzolanes, des mortiers que j'ai analysés. J'ai séparé la partie de la pouzzolane en combinaison avec la chaux de la partie restée inerte. Il n'y avait jamais de relation parfaite entre la partie combinée avec la chaux et la partie décomposée par les lessives alcalines ou par l'acide chlorhydrique concentré. Ces derniers essais n'ont jamais pu indiquer ce que serait la réaction en présence de la chaux dans les mortiers.

On ne peut que mettre en expérience des mortiers contenant de la pouzzolane et voir comment la chaux agit sur elle.

L'essai de prise est influencé par la finesse de la pouzzolane ; avec une finesse suffisante, la pouzzolane peut prendre complètement en vingt-quatre heures.

Je ne suis pas d'accord avec M. Feret sur la prétendue nécessité de réduire la pouzzolane en poudre fine avant l'emploi, cette proposition est contraire à toutes les traditions italiennes. Nous ne réduisons jamais la pouzzolane en poudre ; nous la laissons toujours à l'état naturel ; nous séparons au moyen du crible les parties grossières, mais nous n'allons pas plus loin. Selon mes collègues et moi, cela suffit, parce qu'il n'y a pas de pouzzolane parfaitement homogène : il y a des grains qui résistent à la chaux et d'autres moins ; lorsqu'on réduit en poudre, on n'augmente pas la surface des matières qui réagissent en présence de la chaux. Lorsqu'on attaque des mortiers de pouzzolanes par l'acide chlorhydrique très dilué, on constate que certaines parties sont parfaitement combinées avec la chaux, tandis que d'autres sont restées inertes. Si donc on réduit la pouzzolane en poudre fine, on réduit en même temps les parties inertes qui n'ont pas d'action sur la chaux.

C'est donc une erreur de réduire la pouzzolane en poudre fine.

Lorsqu'on met le mortier dans l'eau de mer la chaux finit par être dissoute en laissant un agglomérat de grains inertes cimentés par des zéolithes cristallisées ; si on ajoute encore du sable, on ne fait évidemment rien qui puisse améliorer le mortier, au contraire.

J'estime donc qu'il convient de faire des expériences longues et sérieuses avant de se prononcer sur la nécessité de pulvériser la pouzzolane, ce qui revient à ajouter une matière inerte à celle qui l'est déjà assez. Jusqu'à ce qu'on ait montré que le sable donne des résultats meilleurs que les gros grains de pouzzolane, on ne saurait décider de la question et dire que la pouzzolane doit être employée finement pulvérisée. (*Applaudissements.*)

M. CAMERMAN. — Je crois qu'on peut conclure des brillantes conférences de MM. Le Chatelier et Feret, que théoriquement, on est d'accord pour confirmer la thèse que soutenait M. Michaelis il y a cinq ou six ans. Mais ces deux auteurs ne se sont pas bornés à cette confirmation : ils nous ont exposé des résultats personnels, des aperçus tout à fait nouveaux vraiment intéressants. Il n'y a qu'une note discordante, d'autant plus remarquable qu'elle émane d'un homme autorisé, M. le professeur Rebuffat, qui estime que, dans la pouzzolane, la chaux ne fixe pas la silice, mais a presque uniquement pour effet de l'hydrater.

M. REBUFFAT. — Pas la silice exclusivement.

M. CAMERMAN. — Cette opinion doit émouvoir certains ingénieurs ici présents, qui ont obtenu des succès complets en employant des pouzzolanes. Moi-même, je partage l'opinion de M. Feret et je crois répondre au désir de tous en demandant à M. Rebuffat de vouloir bien revoir les expériences sur lesquelles il s'appuie et nous en entretenir, non pas aujourd'hui à l'improviste, mais à la séance de vendredi soir, car les résultats qu'il a obtenus sont contraires à tout ce que nous savions et croyions jusqu'ici.

M. REBUFFAT. — Je suis aux ordres de l'assemblée.

M. LE PRÉSIDENT. — Nous aurons le plaisir d'entendre M. Rebuffat vendredi. (*Assentiment.*)

M. LE PRÉSIDENT. — La parole est à M. Autissier pour nous parler des essais des ardoises. (Voir à l'*Annexe*, p. 187.)

M. LARIVIÈRE. — M. Autissier vous a donné communication d'un rapport dans lequel il traite de la résistance à la rupture et de l'élasticité des ardoises de couverture. A la suite d'une observation que je viens de lui présenter, il me prie de vous dire qu'il ignorait le travail fait sur le même sujet à la Commission française des méthodes d'essai. Comme membre de cette Commission, j'ai été conduit à faire des expériences pour la détermination de la résistance et de l'élasticité des ardoises de couverture. Tous les documents relatifs à ces travaux sont consignés dans les comptes rendus de la Commission. Il n'est donc pas nécessaire que j'insiste sur la question; je me borne simplement à indiquer que ces travaux ont été publiés et que, depuis, d'autres ont été faits sur le même sujet. (*Applaudissements.*)

M. LE PRÉSIDENT. — La parole est à M. Feret pour sa communication sur les essais par voie humide.

M. FERET. — Messieurs, la communication que j'ai à vous présenter, et sur laquelle je ne vous dirai que quelques mots, n'est autre chose que l'amplification des observations que je présentais tout à l'heure au sujet du dosage de la chaux libre dans les mortiers durcis au moyen de l'eau sucrée, de même que du dosage de la silice soluble au moyen des carbonates alcalins et, d'une manière générale, au sujet de tous les essais basés sur l'attaque par des réactifs en solutions plus ou moins étendues, en vue de déterminer la constitution chimique des matériaux d'agréation des maçonneries.

En général, pour ces matières, les réactions dépendent des conditions d'expérience, conditions de masse, de temps, de température, etc. Il y a là une question d'équilibres chimiques, pour laquelle d'autres personnes de cette assemblée sont infiniment plus compétentes que moi. Aussi me suis-je borné, dans la courte notice que je présente au Congrès, à citer quelques expériences spéciales aux matériaux en question, d'où il résulte bien nettement que les résultats peuvent présenter des différences considérables suivant les conditions des expériences.

Dès lors, on peut se demander quelle importance il faut attacher aux essais faits par la voie humide en vue de déterminer soit la constitution chimique des ciments, soit plus simplement leur teneur en chaux libre, soit les réactions qui se produisent, au contact de l'eau, entre les différents composés chimiques entrant dans ces matériaux.

Depuis plusieurs années, ces réactions ont servi de base à un certain nombre de méthodes, que je cite dans mon rapport.

Telles sont celles de MM. Tomei, A. Hauenschild, Zulkowski, Rebuffat, Hart, Steuer, Wormser et Spanjer, etc. Certains de ces chimistes emploient des solutions aqueuses; les autres, pour éviter la décomposition par l'eau des composants hydrauliques des ciments, ont recours à

des solutions alcooliques. Mais les inconvénients sont les mêmes dans les deux cas, ainsi, du reste, que M. Michaelis l'a déjà reconnu.

Parmi les essais auxquels je viens de faire allusion, j'ai été particulièrement frappé par ceux de M. Rebuffat, en raison des résultats très nets et par cela même très intéressants auxquels ce savant a été conduit. Aussi ai-je cru devoir reprendre ses expériences en opérant comme lui, mais dans des conditions plus variées, sur différentes sortes de liants hydrauliques, soit à l'état anhydre, soit ayant fait prise au contact de l'eau.

J'ai eu le regret de constater que la concordance était loin d'être aussi absolue que celle obtenue par M. Rebuffat.

Ces expériences sont décrites en détail dans mon rapport; je ne pense pas qu'il y ait lieu, pour le moment, d'ouvrir une discussion à leur sujet. Il y a là simplement des résultats que j'oppose à d'autres résultats et je crois que c'est seulement par de nouvelles expériences qu'on arrivera à trancher le différend. (*Applaudissements.*)

M. REBUFFAT. — Messieurs, si vous le permettez, je ne répondrai que vendredi à M. Feret au sujet de cette communication. (*Assentiment.*)

M. LE PRÉSIDENT. — La parole est à M. Baire pour présenter une note sur un ciment à dosage élevé en argile. (Voir à l'*Annexe*, p. 190.)

La séance est levée à midi.

SÉANCE DU MERCREDI 11 JUILLET 1900 (APRÈS MIDI)

(SALLE N° 4)

PRÉSIDENCE DE M. SPRÉGA

Assisté de MM. ROUSSEL et Léon LÉVY, comme Vice-Présidents,
et de M. BÉCARD, comme Secrétaire.

La séance est ouverte à deux heures et quart.

M. GROBOT. — Je demande la permission d'ajouter quelques mots aux indications présentées à la séance de ce matin par M. H. Le Chatelier sur *l'Influence de la température et de la durée dans les essais*.

D'après des essais que nous avons faits aux aciéries de Saint-Chamond, les résultats sont identiques, que l'on chauffe, à une température déterminée, un acier trempé, et qu'on le laisse refroidir à l'air, ou bien qu'on le chauffe à cette même température, et qu'on retrempe à l'eau. On obtient les mêmes résultats, aussi bien au choc qu'à la traction. Je possède des échantillons, — je n'ai malheureusement pas pu les apporter, — qui montrent que, dans ces conditions, pourvu que la température et la composition du métal soient convenables, on arrive à avoir des métaux extrêmement peu fissiles. La cassure, sur les parties même entaillées, donne lieu à des voilements qui rebroussent les fibres qui se détachent à ce moment-là.

M. LE CHATELIER. — J'ai quelques observations personnelles à présenter au sujet de la trempe. J'ai eu l'occasion de causer de cette question avec des Ingénieurs du Creusot. Dans le service de l'Artillerie, on fait subir à certaines pièces la double trempe, afin de diminuer leur fragilité. Je crois, également, qu'aujourd'hui, dans la Marine, certaines pièces de machines sont soumises à la double trempe. Il y a là un ensemble d'expériences, qui sont en contradiction complète avec celles de M. Grobot.

Cette question mériterait de faire l'objet d'une étude plus complète.

M. GROBOT. — Je crois qu'il serait très intéressant, en effet, pour mes contradicteurs, de vérifier ce point. Je suis à la disposition des personnes qui désireraient faire cette vérification.

M. HENNING. — Je demande la parole.

M. LE PRÉSIDENT. — La parole est à M. Henning.

M. HENNING. — J'ai fait des expériences dans ce sens aux États-Unis, non pas avec des éprouvettes, mais avec de grandes pièces pesant 30 tonnes. Puisqu'en travaillant l'acier, par les procédés de forgeage, il faut le retremper, j'ai pu faire des expériences de plusieurs manières. D'abord j'ai pris des éprouvettes pour les mettre sur les grosses pièces dans un four afin de les chauffer ensemble, et obtenir, ainsi, des pièces tout à fait uniformes. J'ai trouvé que toutes les pièces étaient toujours de la même qualité, qu'on les retirât du four par la pluie, par la neige, par n'importe quel temps, ou qu'on les laissât refroidir. Mais il ne faut pas chauffer jusqu'à une température trop haute.

Aux États-Unis, maintenant, on détériore presque toutes les barres, en les chauffant jusqu'à une température excessive. On sait, en effet, que, lorsqu'on arrive à une température assez élevée, l'acier est presque détruit. J'ai toujours remarqué que, lorsque je mettais de petites éprouvettes sur les barres, dans le four, les éprouvettes, de même que les grandes pièces, devenaient beaucoup moins résistantes quand elles étaient trop chauffées. En outre, leur limite d'élasticité proportionnelle et leur limite d'élasticité apparente diminuaient très sensiblement. Par contre, quand je recuisais les pièces et les éprouvettes jusqu'à la couleur du cuivre, on obtenait des résultats toujours identiques à ceux que pouvaient donner les tôles de même qualité venant de l'usine.

J'ai donc constaté que les qualités des pièces forgées étaient tout à fait les mêmes.

Je répète que les pièces sur lesquelles j'ai opéré étaient des pièces de construction, pesant 30 tonnes, ou des barres d'une longueur de 15 mètres, présentant une section de 200 millimètres sur 50.

M. LE PRÉSIDENT. — Quelque membre du Congrès aurait-il d'autres observations à présenter sur cette question?

Puisque personne ne demande la parole, je vais prier M. Henning de commencer sa communication relative à *l'Enregistreur portatif pour l'essai des matériaux*.

M. HENNING commence la lecture de son rapport. Il montre dans quelles conditions il a été amené, en se basant sur l'indicateur de la machine à vapeur, à réaliser l'enregistreur portatif qu'il soumet au Congrès.

Il expose comment cet enregistreur, qui ne pèse que 450 grammes, peut se prêter aux essais de traction, d'écrasement, de flexion et de poinçonnage.

Puis, abrégant sa lecture, sur la demande de M. le Président, il donne une description détaillée de l'appareil, dont il démonte les différentes pièces.

Après cette démonstration expérimentale, M. Henning demande la permission d'ajouter encore quelques mots.

M. HENNING. — Les indications fournies par cet appareil sont d'une précision presque complète : l'erreur maxima est de 1 0/0; il est inutile de chercher à la diminuer, puisque les machines d'essais ne fonctionnent jamais avec une précision supérieure. Il n'est donc pas nécessaire, dans la pratique, d'avoir un appareil plus exact.

Pour les expériences, je ne dirai pas de compression, — ce n'est pas exact, — mais d'écrasement, je commence à l'extrémité du papier. En outre, j'emploie des tiges beaucoup plus courtes que pour les essais de traction. Les mouvements sont enregistrés avec une amplification de 10/1 jusqu'à 50/1. Nous obtenons le diagramme relatif à l'écrasement dans les mêmes conditions que nous avons obtenu le diagramme relatif à la traction.

Pour la flexion, l'amplification est inutile, car la flexion est très grande : on opère, alors, en vraie grandeur.

Pour le poinçonnage, j'ai une observation à faire. M. Frémont a beaucoup étudié ces questions depuis quelques années ; et, toutes les fois que j'ai examiné les diagrammes obtenus par notre honorable Collègue, j'ai constaté que son appareil donnait des diagrammes qui n'étaient pas exacts ; je veux dire que les dérangements du diagramme étaient plus grands que les différences de diagrammes que devait donner le métal à l'essai. M. Frémont relève ses diagrammes en mettant son appareil non pas au milieu, mais sur un bras de levier. Il ne met pas son appareil dans l'axe ou plan du poinçon ; dans ces conditions, lorsque les mâchoires fonctionnent, il se produit toujours une torsion.

M. FRÉMONT. — Je vous demande pardon. La poinçonneuse travaille toujours suivant l'axe des mâchoires. La machine ne se voile jamais.

M. HENNING. — Un peu ; toujours si le bâti n'est pas tout à fait symétrique, et si le bout du poinçon n'est pas un plan.

M. FRÉMONT. — Nullement. La poinçonneuse subit, selon le travail qu'elle effectue, un effort de 50 ou 80.000 kilogrammes ; ce n'est pas un effort latéral de 1 ou 2 kilogrammes qui peut influencer sur l'ensemble des résultats.

M. HENNING. — Je ne cherche pas du tout, croyez-le, à établir des comparaisons entre les appareils.

M. FRÉMONT. — J'en suis absolument persuadé. Il s'agit de nous éclairer tous.

M. HENNING. — J'ai fait des essais avec mon appareil, et je n'obtiens pas les diagrammes que vous avez donnés. Les essais que vous avez faits sont bien précieux ; ils ont donné de très bons résultats ; mais peut-être, en employant l'appareil dont je donne la description, vous obtiendriez des diagrammes plus exacts.

M. FRÉMONT. — Je vous prie de vouloir bien me dire comment vous enregistrez l'effort.

M. HENNING. — Je mets l'appareil sur deux bras de leviers fixés en avant des mâchoires et non à côté.

M. FRÉMONT. — Comment obtenez-vous l'indication de l'effort ?

M. HENNING. — Par la flexion des mâchoires.

M. FRÉMONT. — Vous voulez dire par la flexion du bâti ?

M. HENNING. — C'est cela même.

M. FRÉMONT. — Nous opérons alors dans les mêmes conditions.

M. HENNING. — Je ne le crois pas. Il est bien entendu que nous sommes des hommes de science, et qu'il ne peut y avoir de questions de personnes. Je ne veux ni présenter de critiques, ni faire des comparaisons d'appareils ; je dis, seulement, que je crois avoir trouvé une petite erreur dans vos diagrammes, et je vous l'indique.

Je ne monte pas cet appareil à côté du bâti, mais tout en face. Ici l'homme travaille ; et, pour obtenir une amplification de la flexion de la machine, j'ai disposé l'appareil ainsi que je l'ai indiqué.

(M. Henning fait une petite démonstration sur l'appareil.)

M. FRÉMONT. — Avez-vous un solide d'égale résistance, absolument immuable ?

M. HENNING. — Cela ne fait rien. J'ai employé l'appareil jusqu'à la cassure.

M. FRÉMONT. — Comment voulez-vous prouver que tel ou tel diagramme n'est pas exact, et sur quoi vous appuyez-vous pour le dire ? Êtes-vous sûr que la qualité du métal employé dans les essais, que vous comparez, est identique ? et, si vous ne pouvez pas prouver que la qualité du métal, dans les deux cas, est la même, ce qui est fort peu probable, sur quoi vous basez-vous pour dire que c'est l'appareil qui est faux ?

Vous êtes-vous servi d'un poinçon absolument semblable au mien, ayant un même jeu dans la matrice, etc. ; toutes conditions dont la moindre variante entraîne des différences sensibles dans le diagramme ?

M. HENNING. — Il nous manque le temps pour discuter ces questions, alors, n'en parlons plus.

M. LÉON LÉVY. — Il faudrait, en effet, pour trancher la question, procéder à des expériences parallèles, exécutées sur les mêmes métaux. Ce n'est pas une discussion théorique qui peut conduire à une solution définitive.

M. HENNING. — C'est une question d'expérience.

M. LÉON LÉVY. — Ce serait très intéressant, si vous vouliez vous charger de faire quelques expériences avec vos deux appareils.

M. FRÉMONT. — C'est entendu ; mais le principe de mesurer les efforts par la flexion élastique du bâti, que j'ai imaginé le premier, et sur lequel je m'appuie, reste intact.

M. HENNING. — Je reconnais que ce que vous avez fait constitue un progrès remarquable. Tous les essais de poinçonnage exécutés avant vous ont été infructueux ; c'est très vrai. Vous êtes le premier qui ayez fait des essais sérieux de poinçonnage. Il n'en est pas moins possible que vous arriviez à des résultats un peu inexacts.

M. LÉON LÉVY. — Je crois que la question ne peut comporter d'autre solution que celle que j'ai proposée. Le principe qui a servi de base à la construction de vos appareils n'est pas en discussion. Maintenant, quant au point de savoir si tel ou tel appareil donne des résultats plus précis, il n'y a absolument que l'expérience qui puisse le trancher.

M. HENNING. — Je reconnais, bien volontiers, que l'appareil de M. Frémont fonctionne

toujours de la même façon, ce qu'on n'avait pu obtenir avant lui ; mais c'est une autre question qui se pose.

UN CONGRESSISTE. — Il suffit de faire des expériences.

M. FRÉMONT. — C'est une question d'amplification. Si je n'ai pas cherché à y obvier, j'ai mes raisons pour cela. Pour le poinçonnage, je ne crois pas qu'il soit nécessaire d'amplifier beaucoup.

M. NIVET. — Comment détermine-t-on l'échelle des pressions, dans les deux cas ?

M. HENNING. — Par expérience ; au moyen d'un tarage préalable de la machine.

M. FRÉMONT. — Quand vous faites des essais à la traction, comment enregistrez-vous les efforts ?

Au moyen de quelle pièce ? Est-ce sur la romaine ?

M. HENNING. — Pardon ; par aucune pièce quelconque, qui fonctionne proportionnellement à l'effort employé.

M. FRÉMONT. — Cette disposition n'existe que dans la machine que je viens de faire, et que vous pouvez voir à l'Exposition.

Je dois, en effet, dire que les métaux durs donnent des résultats étranges. Il y a, dans la forme du diagramme des ressauts très rapides, qui font croire à des vibrations ; ce sont des mouvements moléculaires extrêmement intéressants. On retrouve bien ces ressauts dans les métaux doux ; mais, dans ce cas, il est moins facile de s'en rendre compte, parce que les paliers qui séparent les ressauts ont beaucoup d'amplitude. Je n'ai pas de très grands diagrammes : ceux que j'ai obtenus ont de 7 à 8 centimètres. Malgré cela, j'ai trouvé plus de 1 centimètre de différence entre les paliers. J'insiste sur ce point parce que, jusqu'ici, toutes les mesures ont été faites sur des romaines, qui ne fonctionnent généralement pas exactement. On avance comme on veut, plus ou moins vite, on peut, même, donner le coup de pouce ; et, en outre, il se produit des vibrations rapides, que vous n'enregistrez pas.

Vous ne pouvez avoir un diagramme exact que si vous procédez, comme je le fais, au moyen de l'élasticité du bâti. Si vous adoptez le même principe que celui que j'ai imaginé, je n'ai rien à dire ; mais, si vous prenez un mouvement hydraulique, la pression intérieure évaluée par un manomètre...

M. HENNING. — Chez nous, on emploie presque toujours des machines mécaniques, et non pas hydrauliques. Les poids fonctionnent à la main ou automatiquement.

M. FRÉMONT. — Les poids avancent alors par ressauts ; et les résultats ne sont pas exacts, si vous avez des vibrations très rapides.

M. HENNING. — Il n'y a pas de vibrations très rapides.

M. FRÉMONT. — Je vous demande pardon. J'affirme qu'il y en a. Il y a des changements très grands, qui ne sont pas connus, parce qu'on n'a jamais employé l'appareil qui les révèle.

M. HENNING. — Alors cet appareil ne fonctionne pas d'une façon normale ?

M. FRÉMONT. — Ce n'est pas mon avis.

(Sur l'invitation de M. le Président, M. Henning termine rapidement la démonstration de son appareil.)

M. NIVET demande l'autorisation de présenter vendredi, lorsque son appareil lui sera parvenu, quelques observations sur le même sujet.

M. LE PRÉSIDENT. — M. Lanna devait présenter, lui-même, au Congrès, sa communication relative aux *Études expérimentales sur les ponts métalliques*. Il est malheureusement souffrant. Mais M. Mesnager, Ingénieur des Ponts et Chaussées, veut bien le remplacer : je donne la parole à M. Mesnager.

M. MESNAGER. — Messieurs, je suis pris un peu au pied levé : M. Lanna, souffrant, avait cru, jusque dans la soirée d'hier, être en état de faire, lui-même, sa communication. Il vient de téléphoner, il y a quelques minutes, qu'il était dans l'impossibilité de la présenter, et il m'a prié de le remplacer. Je vous demanderai donc un peu d'indulgence, si ce travail ne vous est pas exposé d'une façon parfaitement claire. Les questions traitées m'intéressant particulièrement, je me permettrai d'y ajouter parfois quelques observations personnelles.

La Compagnie d'Orléans, comme toutes les Compagnies françaises, à la suite de la circulaire que le Ministre des Travaux publics a prise après l'accident de Mœnchenstein, pour faire revoir tous les ponts métalliques, a été obligée de procéder à la revision des calculs de tous les ouvrages de son réseau. Ces calculs ont montré qu'un grand nombre de ces ouvrages ne satisfaisaient pas aux conditions réglementaires. Il semblait donc nécessaire de les remplacer.

Néanmoins, forte des expériences que M. Rabut, ingénieur des Ponts et Chaussées, attaché à la Compagnie de l'Ouest, avait faites sur un grand nombre de ponts, au moyen de son appareil, elle a demandé au Service du Contrôle, et obtenu de lui, qu'avant de décider le remplacement d'un pont on procédât à l'examen des efforts réels qui se produiraient dans cet ouvrage, au moyen des appareils Manet-Rabut, de façon à se rendre compte si les résultats indiqués par le calcul n'étaient pas exagérés.

En effet, dans un grand nombre de cas, on a reconnu que le calcul donnait, pour certains points, des efforts très supérieurs à ceux qu'indiquait la mesure directe. Il est vrai que, par contre, la mesure directe donnait parfois des chiffres supérieurs sur d'autres points.

L'appareil dont on s'est servi est l'appareil Manet-Rabut. Je crois que la plupart des Membres du Congrès le connaissent. Deux vis à pointe prennent appui sur le métal à une distance de 20 centimètres en général. Un dispositif amplificateur mesure les variations de cette distance en vingtièmes de millimètre, au moyen d'une aiguille mobile sur un cadran. La multiplication est obtenue au moyen de deux leviers et d'un engrenage. Pour éviter toute espèce de perte de temps par le jeu de l'engrenage, celui-ci est maintenu, toujours, dans le même état de tension, au moyen de deux ressorts antagonistes.

On peut donc, avec cet appareil, monté sur 20 centimètres, avoir les kilogrammes par millimètre carré, au moyen de deux petites divisions de l'appareil. On obtient, ainsi, par conséquent, une mesure très suffisante des efforts. Il ne faut pas, évidemment, chercher dans ces mesures une précision supérieure à ce que l'appareil peut donner. Cette précision est, généralement, d'environ 5 0/0 : la différence tient, soit aux imperfections du montage de l'appareil, soit à ce que le coefficient d'élasticité du métal varie d'un ouvrage à un autre. Lorsqu'on n'a pu faire d'expériences directes sur le métal composant le pont, on a admis, en général, que le coefficient d'élasticité était de 20×10^9 , en prenant le kilogramme et le mètre carré pour unités. Dans d'autres cas, on a pris une barrette, pour mesurer le coefficient d'élasticité au moyen de l'élasticimètre ; et on est arrivé ainsi à déterminer exactement l'élasticité de l'appareil, au moyen d'un coefficient de correction.

Les ouvrages dont s'occupe d'abord M. Lanna sont soit des ouvrages formant caisson, c'est-à-dire composés de deux poutres jumelles, entre lesquelles la voie est portée par une longrine, soit des ouvrages formés par une poutre à semelles symétriques, placée sous la longrine du rail. La voie, elle-même, peut être constituée de deux façons différentes, soit par des rails à double champignon, soit par des rails à patins. En général, les expériences de la Compagnie d'Orléans ont porté sur des voies constituées par des rails à double champignon. Dans ce dernier cas, les charges ne sont transmises aux longrines qu'au moyen de coussinets qui sont à une distance de 0^m,20 les uns des autres ; il en résulte que, lorsqu'on fait le calcul et qu'on considère les moments fléchissants, qui sont donnés par une courbe continue, due à la charge roulante, on n'obtient pas les efforts réels qui se produisent dans la poutre. En fait, à chacun des points où la charge est reportée au moyen du coussinet, on a bien les mêmes moments fléchissants, mais, dans l'intervalle, on obtient une ligne droite qui diffère souvent notablement de la courbe, et, au milieu de la portée, notamment, on obtient une réduction sensible en plaçant les coussinets symétriquement par rapport à l'axe.

La Compagnie d'Orléans, en vue de diminuer l'importance des sections des pièces, a fait disposer tous les coussinets symétriquement par rapport à l'axe, dans les petits ouvrages de 3 ou 4 mètres ; elle a obtenu, ainsi, une réduction considérable de l'effort.

D'autre part, il est très important, — et c'est un autre fait pratique qui ressort de ces expériences, — de ne pas placer de joints sur l'ouvrage ; tous les joints sont des points faibles, des points où le rail ne concourt pas avec l'ouvrage à la résistance. De plus, lorsque les joints sont placés en dehors de l'ouvrage, on supprime le choc produit par le passage des roues sur les joints. Il y a, également, avantage à avoir des longrines d'un seul morceau, en bon état d'entretien, et dépassant le bout des poutres, parce que, lorsqu'elles dépassent l'extrémité des poutres, elles supportent, au moment où la locomotive s'engage sur le pont, le poids des wagons qui sont

sur l'extrémité des longrines. Il en résulte un véritable encastrement, qui peut réduire d'un quart environ le moment fléchissant. L'expérience a confirmé les indications théoriques.

Il faut, également, donner une longue base d'appui aux poutres sur les culées.

On commet fréquemment des erreurs de principe dans les calculs; l'une des plus importantes, lorsqu'on emploie des poutres-caissons, consiste à calculer l'effort comme si la surcharge était également répartie des deux côtés et si les semelles s'allongeaient uniformément dans toute leur largeur.

Considérons, en plan, les deux côtés du caisson. Lorsqu'on place des appareils, soit de mesure transversale, soit de mesure d'allongement, on constate que les pièces supérieures prennent une forme courbe très accentuée pendant la charge.

Cette déformation s'explique facilement. La charge est transmise uniquement par les âmes verticales; les semelles supérieures sont uniquement chargées par l'intérieur; c'est donc ce côté qui subit tous les efforts d'allongement; le côté opposé ne subit qu'une petite fraction de cet effort. Heureusement, grâce aux longrines, dont précisément, on ne tient pas compte dans le calcul, grâce aussi à l'encastrement qui se produit sur les culées, on arrive à se rapprocher de la limite théorique; mais, en réalité, le calcul est fait dans des conditions tout à fait insuffisantes.

J'ajouterai qu'on diminue, considérablement, ces efforts supplémentaires en munissant les ponts de tôles striées, dont on ne tient pas compte, du reste, dans le calcul, et qui, en réalité, viennent former des semelles supplémentaires à la suite des semelles calculées.

A cette occasion, j'attirerai tout particulièrement votre attention sur l'importance qu'il y a à river solidement ces tôles striées sur les poutres principales. Lorsque vous faites un projet quelconque, et que vous le transmettez à une usine, la première chose que fait l'usine est de réduire le plus possible le nombre des trous de rivets à percer; cela se comprend, puisque c'est une dépense, et que l'opération exige une main-d'œuvre spéciale, non seulement pour le perçage, mais pour le rivetage. Aussi, on propose, toujours, de mettre des rivets de tout petit diamètre, et de les espacer d'au moins 0^m,20; or, à la jonction de la tôle striée et de la poutre, il se produit des efforts considérables. Il y a donc avantage à maintenir une rivure solide entre la partie supérieure de la semelle de la poutre et la tôle formant platelage; avec la tôle formant platelage, on arrive toujours à avoir des efforts très supérieurs à ceux qu'on calcule.

Après les petits ouvrages, M. Lanna passe aux grands ouvrages.

Généralement, les ponts de la Compagnie d'Orléans se sont trouvés être des ponts à voie inférieure. Parmi les ponts à voie inférieure, les uns sont de petite portée, et non contreventés par le haut, parce que la partie supérieure des poutres ne s'élève pas à une hauteur suffisante; d'autres, au contraire, sont contreventés à la partie supérieure.

Pour ceux *qui ne sont pas contreventés à la partie supérieure*, il se produit le même phénomène que dans les ponts à poutre-caisson, dont je vous parlais tout à l'heure; si le pont était uniformément chargé dans toute sa longueur, il est bien évident que la flexion des pièces de pont tendrait à faire rapprocher la partie supérieure des montants d'une façon égale d'une extrémité à l'autre de l'ouvrage; mais, en fait, les montants extrêmes portent sur toute leur largeur; de plus, ces montants extrêmes sont généralement beaucoup plus rigides que les montants intermédiaires; souvent aussi les pièces de pont extrêmes sont, également, plus fortes que les pièces de pont intermédiaires. Il en résulte que les montants extrêmes fléchissent peu, tandis que tous les montants intermédiaires sont ramenés vers le centre; on a, par suite, dans la membrure supérieure, une répartition très inégale des efforts. M. Lanna a trouvé parfois le rapport 0,62 entre les efforts sur la membrure supérieure à l'extérieur et à l'intérieur du pont.

D'une façon générale les longerons soulagent la membrure inférieure en résistant à son allongement par l'intermédiaire des pièces de pont.

Pour les ponts *contreventés à la partie supérieure*, le même cas ne se présente pas, parce que le contreventement, qui existe à la partie supérieure, empêche le rapprochement des semelles supérieures. De plus, le contreventement forme un assemblage, qui n'est pas capable de s'allonger sans prendre part aux efforts.

Supposons que les deux membrures principales s'allongent d'une certaine quantité, les montants intermédiaires maintenant l'écartement, la diagonale est allongée d'une quantité qu'on peut obtenir en projetant l'ancienne position sur la nouvelle. A tous les ponts où l'on a placé des appareils Manet-Rabut sur la diagonale, on a constaté des efforts très notables.

M. Lanna fait remarquer l'intérêt qu'il y a à placer les longrines et les rails exactement dans l'axe des longerons. Dans le cas d'un simple déport de 0^m,02, en prenant les mesures sur les deux ailes inférieures de la poutre, celles qui sont le plus facilement accessibles parce que, pour les ailes supérieures, on est gêné par les longrines, M. Lanna a trouvé, sur l'une des ailes, 9^{kg},5, alors que l'autre aile ne supportait que 3 kilogrammes. L'une des ailes travaillait donc plus de 3 fois plus que l'autre. Il importe, par suite, de rapprocher, autant que possible, le rail de l'axe des pièces, et, si on le peut, de poser la voie sur traverses, parce que les efforts de déversement sont en partie compensés par la raideur de la traverse.

Enfin, M. Lanna donne quelques explications sur les efforts qu'on a constatés dans les pièces de pont. Beaucoup de calculateurs considèrent les pièces de pont comme légèrement encastrées aux extrémités, c'est-à-dire que, le plus souvent, ils ne prennent que la distance entre les deux semelles inférieures de la poutre. En réalité, les appareils ont toujours montré que la forme générale était une courbe continue d'une extrémité à l'autre. Il ne faut pas tenir compte de l'encastrement aux extrémités; l'ensemble du pont s'abaisse vers l'intérieur sans opposer de résistance importante aux pièces de pont. Il faut donc les calculer comme des pièces posées suivant l'axe des poutres principales.

M. Lanna passe ensuite à l'examen des *treillis*. Pour le calcul des efforts dans les treillis, il se sert d'une méthode indiquée par M. Dupuy, et qui est l'expression de ce principe généralement admis en résistance des matériaux, qu'une section plane reste plane pendant la déformation. Il mesure dans une pièce, quelle qu'elle soit, et quelque compliquée que soit la forme de sa section, les déplacements de trois points et en déduit ceux de tous les autres points.

Dans un certain cas, on a vérifié l'exactitude de cette formule, en prenant la mesure sur le quatrième côté; il ne faut pas, évidemment, chercher une précision exagérée; mais elle est très suffisamment approchée.

En appliquant ces mesures aux treillis, en particulier aux treillis composés de croix de Saint-André, très en faveur à certaine époque, on constate qu'il y a des efforts qui s'écartent considérablement des efforts calculés près des attaches surtout. Dans les ponts qui sont formés d'*N* simples, le même phénomène se produit; il n'est pas rare de trouver des efforts égaux à 2 fois et 2 fois et demie l'effort calculé, par suite de l'encastrement des extrémités. Il est facile de s'en rendre compte, dans les ponts en *N* simple, parce que le calcul des efforts principaux est beaucoup plus simple. Si le pont entre en charge, au lieu de la forme rectiligne, qu'il avait précédemment, il prend une forme curviligne; les deux extrémités du montant central, si la charge est uniformément répartie, restent bien l'une en face de l'autre; elles n'ont pas de raison pour s'incliner plutôt d'un côté que de l'autre; mais, si on fait le calcul des allongements de la membrure supérieure et inférieure, et de l'allongement de la diagonale, on constate immédiatement, — et, du reste, on peut se reporter, pour cette constatation, à un mémoire de M. Ritter, publié dans la statique graphique de M. Kœchlin, ainsi qu'à différents mémoires parus dans les *Annales des Ponts et Chaussées*, — on constate, dis-je, que les deux extrémités du montant ne se trouvent plus l'une en face de l'autre; et le montant est obligé de prendre une forme en *S*.

Ce calcul, fait en supposant que la membrure est extrêmement rigide par rapport aux montants, est très simple, il nécessite une simple proportion entre la largeur des montants et la distance des membrures. Il donne des efforts exagérés, supérieurs à ceux qu'on a constatés. Pour obtenir les efforts vrais, il faut tenir compte de ce fait que jamais la membrure n'est infiniment rigide par rapport aux montants; le montant tend de reprendre la forme rectiligne, et réagit sur la membrure, lui faisant prendre aussi une forme en *S*; ce qui diminue la flexion propre du montant.

M. Lanna, dans son mémoire, donne des renseignements sur un système, que j'ai essayé d'appliquer à un certain nombre de ponts, pour *diminuer l'effet de ces efforts secondaires*. Pour supprimer l'effort secondaire, il suffit d'une articulation parfaite. L'articulation américaine paraît parfaitement répondre à ce *desideratum*; mais le frottement, sur une goupille de grosse dimension, peut écarter considérablement la résultante de l'axe. On calcule très facilement ce déplacement, et on s'en rend compte, en prenant le moment de tous les efforts; on constate que le bras de levier du moment est rf , r étant le rayon de la pièce cylindrique et f le coefficient de frottement du fer; ce coefficient de frottement du fer, surtout mal lubrifié, comme il l'est forcément dans des pièces métalliques abandonnées à l'air, atteint et dépasse 1/6. Il en résulte que les efforts s'écartent de l'axe des rotules de 1/6 environ du rayon. Le rayon des

rotules des ponts atteint fréquemment 0^m,20; on voit, par conséquent, que la résultante peut passer à 0^m,02 ou 0^m,03 de l'axe, dans la plupart des ponts américains.

Il est facile, par un calcul extrêmement élémentaire, de se rendre compte qu'il suffit d'un déplacement de 0^m,01 et même de 0^m,005 pour doubler les efforts que donne le calcul, dans les conditions où on le fait ordinairement, c'est-à-dire en supposant tous les efforts parfaitement centrés. Donc, dans la plupart des cas, l'articulation américaine ne remplit pas son but.

J'ai cherché une autre solution. Je conserve aux montants et aux diagonales leur section dans la partie médiane, je la réduis près des points d'encastrement, à une simple tôle placée normalement à l'axe du pont. Sous les angles qui se produisent, et dont la valeur, en unités trigonométriques, ou, si vous voulez, en pente d'une ligne par rapport à l'autre, ne dépasse pas $\frac{2}{1.000}$,

la tôle arrive à fléchir sans que la résultante se soit déplacée de plus de 1/10 de millimètre. Pour ne pas dépasser la même fatigue que partout ailleurs, il suffit de donner à ces tôles une largeur suffisante pour que leur section soit égale à celle du reste du montant. Dans les ponts que j'ai fait exécuter, on a mis une section même plus grande; on s'est arrangé à ne les faire travailler qu'à 5 kilogrammes par millimètre carré dans cette partie; — 5 kilogrammes par millimètre carré, en moyenne, c'est-à-dire en prenant l'effort total, et en le divisant par la section. En fait, l'effort réel est un peu supérieur, parce que la flexion nous donne environ 1 kilogramme. M. Lanna, dans son mémoire, d'après une méthode différente dans la forme de celle que j'avais employée pour le calcul, est arrivé à trouver 1 kilogramme par millimètre carré; j'avais trouvé un peu plus. En fait, cette zone travaille donc à 6 kilogrammes environ. On se rend compte qu'il n'y a aucun danger de flambage pour cette tôle, à condition de lui donner une section dont l'épaisseur soit égale à 1/10 de la longueur.

L étant la distance entre les deux parties maintenues rigides, la longueur de la tôle qui forme l'articulation flexible, il faut que son épaisseur $e = \frac{L}{10}$.

Il résulte, en effet, des expériences faites qu'une semblable tôle ne fléchit que lorsqu'elle atteint à peu près sa limite d'élasticité. D'ailleurs, avant de procéder à l'exécution du système, j'avais fait construire un panneau, qui a été essayé à la compression, au Laboratoire des Ponts et Chaussées. Dans ce panneau, rapiécé après plusieurs expériences, où les différentes parties n'étaient pas dans le prolongement les unes des autres, on n'a obtenu l'écrasement qu'à la pression à 22 kilogrammes par millimètre carré. La pièce avait pris une forme indiquée en S, et elle supportait encore, sans continuer à se déformer, un effort de 5 kilogrammes par millimètre carré. Ainsi donc, dans un pont, un montant aurait été amené à prendre cette forme, qu'il pourrait encore, sans tomber, supporter la charge ordinaire de 5 kilogrammes par millimètre carré.

La Compagnie d'Orléans m'a fourni l'occasion de construire le premier ouvrage de ce système entre Tours et Saint-Aignan. Il a été exécuté conformément à mes dessins. Les expériences faites à la suite de cet essai ont confirmé les vues précédentes. On a trouvé que, dans aucun point des treillis, les efforts ne différaient de plus de 25 0/0 des efforts calculés au lieu de différer, comme dans le type ordinaire, de 250 0/0. On réduit, par conséquent, au 1/10 les différences qu'on obtenait précédemment. L'effort réel qui se produit dans ce cas se trouve être exactement la moitié de celui qu'on obtient dans les ponts ordinaires calculés sur les mêmes bases. En effet, en ajoutant 100 à 25, on obtient 125, c'est-à-dire la moitié de 250.

M. Lanna s'occupe ensuite des *ponts avec voûtes en briques*. Dans un certain nombre de ponts situés au-dessus des voies de fer, on a placé entre les longerons et les pièces de pont des voûtelettes en briques; il résulte des mesures faites que ces voûtelettes contribuent à la solidité de l'ouvrage, résistent à des efforts de traction, et, — ce qu'on ne serait pas tenté de croire *a priori*, — diminuent considérablement les efforts de traction, lors même que leurs axes sont normaux à la direction générale du pont.

M. Lanna vers la fin de sa communication écrit : « On constate souvent, dans les expériences, « qu'après l'enlèvement de la charge, les aiguilles des appareils Manet-Rabut ne reviennent pas « exactement à leur point de départ. » Il fait observer qu'il faut, pour qu'elles y reviennent, qu'on fasse ressortir le train par le même point par où il est entré sur le pont. D'après mon expérience personnelle sur un pont neuf il faut même faire entrer le train une première fois, le faire retirer, puis le faire revenir une seconde fois, et ne tenir compte que des dernières lectures. Il arrive, en effet, fréquemment, dans les ponts, que, lorsqu'ils n'ont pas encore supporté la plus

grande charge qu'ils sont appelés à subir, certaines parties prennent des déformations permanentes. Lorsqu'on a produit une fois ces déformations permanentes, elles ne se reproduisent plus : le pont est arrivé à son état d'élasticité parfaite pour les charges qu'il est destiné à supporter. Dans ces conditions, il n'est pas étonnant qu'un pont qui n'a jamais été éprouvé ne revienne pas rigoureusement à sa forme primitive.

M. Lanna remarque qu'il est très important de mesurer toujours la section des pièces au point où l'on place les appareils. Il faut avoir, toujours, avec soi un palmer pour vérifier toutes les dimensions des pièces. Les pièces de laminage ne sont pas, en effet, une section rigoureusement constante d'une extrémité à l'autre; on constate des variations sensibles de forme, qui influent notablement sur les mesures.

Il fait également remarquer que, dans les pièces dont les extrémités sont encastrées, il est nécessaire, — s'il s'agit, par exemple, d'un pont formé de pièces inclinées que réunissent les deux membrures, — de placer une série d'appareils au milieu de la pièce à mesurer, et une autre série près des extrémités. Nous avons vu, précisément, tout à l'heure, que les pièces prenaient des formes en S. Au milieu, le moment de flexion est à peu près nul, on obtient généralement sur les quatre côtés des efforts à peu près égaux, tandis que, près des extrémités, la résultante devient excentrique; et, par suite, les pièces, aux extrémités, subissent les plus grands efforts de flexion.

Dans les pièces qui ne sont pas très larges, il importe également de remarquer que l'appareil ne mesure pas l'allongement de la fibre sur laquelle sont placés, soit ses pointes, soit ses bords; il mesure l'allongement de la fibre idéale, qui se trouve dans l'axe de sa tige. On s'en rend compte facilement.

M. Lanna recommande enfin, autant que possible, de combiner les manœuvres et les lectures, de telle sorte qu'entre deux lectures consécutives les déformations mesurées ne changent pas de sens.

En terminant, je me permets d'ajouter une dernière observation c'est que, pour avoir une lecture très exacte avec les appareils Manet-Rabut, il est bon de les réveiller, de les taper légèrement avant et après l'observation. Il existe, en effet, des frottements intérieurs qui ralentissent le fonctionnement de l'appareil, qui s'opposent au mouvement : en frappant l'appareil, on atténue l'effet de ces frottements. (*Applaudissements.*)

M. LE PRÉSIDENT. — La parole est à M. le professeur Bebelubsky, qui désire dire quelques mots sur le même sujet.

M. LE PROFESSEUR BEBELUBSKY. — C'est en rendant hommage, Messieurs, aux travaux des ingénieurs français, que je prends la liberté de dire quelques mots, comme suite à la communication de M. Mesnager. Déjà, au Congrès de 1889, j'ai eu l'honneur de faire une communication, qui a été publiée dans le *Compte Rendu du Congrès des Procédés de construction*, sur une construction qui permet de supprimer, dans la mesure du possible, les tensions secondaires, qui peuvent se produire en raison de l'encastrement des pièces de pont.

Avant 1889, ce procédé avait déjà été appliqué à quelques ponts en Russie : les dispositions adoptées en ont été publiées dans ce même *Compte Rendu*.

Je rappelle que ce procédé consiste à poser les pièces de pont sur des rotules, et à constituer les contreventements au moyen de montants indépendants.

Plusieurs années déjà, avant que cette communication n'ait été faite, et que le premier pont de ce genre n'ait été exécuté en Russie, on a construit sur le Rhin, en Hollande, deux tabliers, dont les pièces de pont étaient également posées sur des rotules; mais la semelle inférieure des pièces de pont a été continuée jusqu'au niveau des contreventements horizontaux. Les contreventements horizontaux ont été rivés à leur intersection avec les pièces de pont. Pour les faire travailler dans les mêmes conditions que les montants de la ferme de contreventement, on a disposé un triangle articulé au moyen de trous ovales. J'ai eu l'occasion déjà au Congrès susdit de 1889 de discuter cette disposition des pièces de pont sur rotules, de façon à les rendre libres, et de démontrer que les montants de contreventement n'ont pas de raison d'être reliés aux pièces de pont. J'ai toujours cru qu'il serait préférable de construire les pièces de pont exclusivement dans le but de servir de support aux voies, et d'employer pour les contreventements des montants indépendants.

Nous avons à présent, en Russie, vers 6 kilomètres de ponts construits d'après ces principes; presque tous les ponts du Transsibérien sont exécutés dans ces conditions.

Les personnes qui m'ont fait aujourd'hui l'honneur de venir visiter, à la classe 29 du Génie civil russe, la vitrine qui est consacrée à ces ouvrages, ont pu voir plusieurs photographies concernant les ponts exécutés en Russie, avec pièces de pont posées sur rotules, c'est-à-dire avec des pièces de pont libres.

Sans doute, on peut présenter des objections. Les ponts de ce système ont un poids un peu plus grand que les ponts ordinaires. Mais cette différence de tonnage n'existe que si nous faisons les calculs, d'après les coefficients de sécurité prescrits par les règlements ministériels. Or, il ne faut pas perdre de vue que, dans notre système, les pièces de pont sont posées suivant l'axe des semelles des poutres, et que, par suite, nous ne subissons pas cette déformation transversale dont M. Mesnager vient de parler. C'est pourquoi nous ne subissons pas, à l'exception peut-être de l'influence du frottement, les tensions secondaires que donne souvent le changement du signe dans les deux branches des diagonales; et même avec une augmentation de tension, on pourrait admettre un coefficient de sécurité beaucoup plus élevé.

D'après ces principes, il a été construit en Russie quelques ponts pour les voitures, et ainsi que je l'ai déjà dit, un grand nombre de ponts sur toutes les sections de la ligne sibérienne; en outre, un pont sur le chemin de fer Nicolas, le pont du Volga, etc. En 1889, lorsque j'ai présenté ma communication au Congrès des Procédés de construction, nous avions déjà exécuté trois ponts, l'un sur le Volga, remplaçant un pont en bois de la ligne Nicolas, et deux autres sur la ligne de l'Oural, amorce de la ligne transsibérienne.

Dès que l'on exécute une construction suivant une disposition nouvelle, il est indispensable de faire des recherches expérimentales, afin de pouvoir comparer cette nouvelle disposition avec les anciennes. En outre, il faut répondre aux objections qui se produisent, aux personnes qui prétendent, notamment, qu'il peut y avoir péril pour l'exploitation, etc.

C'est dans ce but qu'une Commission a été formée au Ministère des Voies et Communications. Cette Commission a eu la tâche d'élucider ces questions. C'est en les étudiant comme président de cette Commission que j'ai eu l'honneur de faire la connaissance de M. le professeur Rabut. J'ai eu l'occasion de faire la comparaison entre divers appareils qui ont déjà reçu aussi la consécration de l'usage, et j'ai eu, notamment, à me servir d'appareils très connus et très instructifs, comme celui du professeur Fraenkel, qui donne des diagrammes au moyen desquels on a fait, principalement en Saxe, beaucoup de recherches. A la suite de cette étude, nous avons choisi, pour les essais courants, les appareils Rabut, en faisant quelques petits changements qui sont de peu d'importance. M. Bourdon, qui a exécuté l'appareil Rabut pour la Russie, l'a nommé appareil Rabut, *modèle russe*. Mais il faut rejeter cette dénomination: j'ai tenu à le dire, parce que les petits changements que nous avons proposés, sont d'un ordre tout à fait secondaire; et, par suite, il n'était pas nécessaire d'ajouter cette dénomination: *modèle russe*.

Nous avons choisi les appareils Rabut à cause de leur simplicité. Bien que les appareils Fraenkel soient très ingénieux, ils exigent beaucoup d'expériences; il faut prendre beaucoup de précautions, et surtout opérer par un beau temps, pour être sûr des résultats. Avec les appareils Rabut, au contraire, on peut travailler par toutes les températures, attendu que ces appareils sont très simples et commodes.

Actuellement, d'après les recommandations de l'Assemblée des Ingénieurs russes de la voie, les chemins de fer russes possèdent un grand nombre d'appareils Rabut; et l'Administration des Chemins de fer russes a recommandé d'étudier les constructions russes au moyen de ces appareils.

Comme conclusion, je dois dire que, quand nous avons procédé à la réception des ponts exécutés en Sibérie sur l'Obi et sur l'Irtych, nous avons fait les essais au moyen des appareils Rabut. Nous avons étudié les effets de cette construction des pièces de pont posées librement sur les rotules. Nous avons pris toutes les précautions, même celles dont parlait M. Mesnager, en disant comment il faut faire passer le train et comment il faut réveiller l'appareil. Voici ce que nous avons constaté: nous avons vu que dans les ponts dont les pièces de pont sont encastrées, les cornières et les branches extérieures des diagonales changent de signe avec les branches des diagonales et les cornières intérieures des montants. Il arrive que la différence atteigne 10 0/0. Pour les constructions avec des pièces de pont librement posées, nous n'avons pas trouvé de différence dépassant plus de 1 0/0. Le pont de Tolbiac (Paris) exécuté plus tard (en 1895), est construit d'après le même principe que ces ponts russes. (*Applaudissements.*)

M. MESNAGER. — M. le professeur Bebelubsky a indiqué en effet, une solution très intéres-

sante, employée dans les ponts métalliques russes. Dans le type de ponts dont je vous ai parlé tout à l'heure, je n'ai examiné que le treillis ; mais j'ai employé une solution du même genre pour l'attache des pièces de ponts. Les pièces de pont sont suspendues aux membrures par des lames flexibles. Ces lames sont formées d'une tôle placée parallèlement à la longueur du pont ; cette tôle est attachée au montant au moyen de deux cornières. A l'autre extrémité, la pièce de pont a une forme spéciale qui permet de la suspendre à l'extrémité de la lame.

On obtient ainsi une articulation complète autour d'un axe horizontal. Au lieu de la pièce que M. Bebelubsky emploie à la partie inférieure, pour maintenir la distance des membrures, j'ai simplement rattaché la tôle striée du pont à ces membrures par une cornière. Cette tôle striée étant rivée sur les pièces de pont la tôle forme un contreventement rigide ; de plus, elle est maintenue de distance en distance pour de petites cornières de raidissement. Elle forme à elle seule contreventement, et remplace la pièce inférieure. (*Applaudissements.*)

M. LE PRÉSIDENT. — En l'absence de M. Seefehlner, qui est malade et ne peut présenter sa communication sur *les Chaines du pont suspendu de l'Esküter à Budapest*, je donne la parole à M. Herzenstein, pour sa communication intitulée : *Laboratoire d'essai dans les chemins de fer.*

M. HERZENSTEIN donne lecture de sa communication. Il montre l'importance que présente, pour les chemins de fer, la création de laboratoires d'essais.

Il fait observer que, selon lui, on ne se préoccupe réellement, dans les Compagnies, que des essais des pièces principales entrant dans la composition du matériel roulant et du matériel fixe des voies, ou bien des matériaux des grands ouvrages.

Mais, d'après notre honorable collègue, on néglige trop les essais relatifs aux bois, aux matériaux de peu de valeur, entrant dans la construction des bâtiments, aux eaux servant à l'alimentation, etc.

M. Herzenstein estime à 1 0/0 au moins les réfections qui, dès les premières années d'exploitation, proviennent de la mauvaise qualité des matériaux employés, et il conclut à la nécessité de multiplier le laboratoire pour éviter ces dépenses supplémentaires.

Il indique comment ces laboratoires doivent être organisés, et ce qui a été fait, à ce sujet, sous sa direction, pour une des lignes des chemins de fer russes.

M. LE PRÉSIDENT. — Je crois être l'interprète de l'Assemblée en adressant tous nos remerciements à notre collègue. (*Applaudissements.*)

L'ordre du jour appelle la communication de M. Masson sur *le Service des essais au Conservatoire des Arts et Métiers.*

M. DEBRAY. — M. Masson s'est fait excuser de ne pouvoir venir faire l'analyse de son mémoire sur *le Service des essais au Conservatoire des Arts et Métiers* qui d'ailleurs, est plutôt une notice sur la constitution du laboratoire. Cette notice vous a été distribuée, ou va vous être distribuée. Il n'y a rien de particulier à vous signaler si ce n'est que, tout dernièrement, dans le courant du mois de mai, de nouveaux décrets ont paru pour réorganiser le Conservatoire des Arts et Métiers, et spécialement le service des laboratoires.

Le service des essais au Conservatoire des Arts et Métiers est dans une période de transition. L'histoire du passé est peu intéressante, et, quant aux idées d'avenir, elles ne sont pas encore suffisamment précisées pour pouvoir être exposées. Par conséquent, tout en regrettant l'absence de M. Masson, je crois qu'on peut s'en remettre à la lecture de son mémoire, qui paraîtra dans les travaux du Congrès.

Je demande ensuite la parole pour vous dire quelques mots sur *le Laboratoire de l'École des Ponts et Chaussées* ; ma conférence aura peu d'intérêt, puisque mon successeur au service des laboratoires, M. Mesnager, a bien voulu organiser pour demain, à une heure et demie, la visite du laboratoire et que, incontestablement, on juge beaucoup mieux un laboratoire en le visitant qu'en examinant des photographies qui remontent à une époque déjà ancienne, à 1891.

Néanmoins, mes anciens collaborateurs, à qui je suis heureux de rendre ici hommage, ont bien voulu dresser un tableau, où vous voyez les différentes salles d'essais du laboratoire d'essais mécaniques de l'École des Ponts et Chaussées, et les divers appareils en usage. Nous nous trouvons d'ailleurs, au laboratoire de l'École des Ponts et Chaussées, absolument dans la même situation qu'au Conservatoire des Arts et Métiers.

Vous verrez un laboratoire, qui a été construit en 1867, qui s'est peu à peu développé sur

place, et comme le terrain a pris actuellement une valeur très grande, le laboratoire est menacé d'expropriation, et on va l'envoyer à Sèvres. Pour un peu, vous n'auriez même pas pu voir le laboratoire à Paris en 1900. Il a été, un moment, question de vendre notre terrain pour y établir des hôtels, à l'occasion de l'Exposition de 1900; de sorte que nos machines auraient été dans la rue. Vous les verrez dans l'ancien laboratoire, et, dans quelques années, j'espère que M. Mesnager vous montrera un nouveau laboratoire, digne de la France, qui sera installé à Sèvres, sur un emplacement où l'on disposera d'un terrain très vaste.

Le laboratoire actuel comprend différentes parties : une partie où l'on fait les éprouvettes de chaux et de ciment, des caves où l'on conserve ces briquettes dans des bacs ou à l'air humide jusqu'au moment où on doit les essayer. Il y a, également, des ateliers où l'on peut exécuter différentes opérations, et une salle d'expérimentation où l'on rompt les briquettes au moyen des appareils connus, qui sont figurés sur le tableau et qui compriment les éprouvettes au moyen de presses hydrauliques. Dans cette même salle, vous verrez un certain nombre d'appareils anciens, qui avaient été préparés et imaginés par M. Klein, à la demande de M. Durand-Claye, pour déterminer la limite d'élasticité des pierres à la compression. Ce sont des élasticimètres, comme il y en a beaucoup, ainsi que vous avez pu vous en apercevoir dans la séance d'aujourd'hui. Vous verrez, également, une machine qui offre un certain intérêt; c'est une machine qui sert à déterminer, expérimentalement, l'usure des matériaux d'empierrement, en faisant rouler un certain poids de ces matériaux dans des cylindres en fonte, dont l'axe est incliné sur l'axe général de rotation, de sorte que les pierres roulent sur elles-mêmes. On en déduit des coefficients qui permettent de faire des comparaisons plus ou moins pratiques.

Dans une autre salle se trouve la machine à essayer les métaux, qui est loin de pouvoir rivaliser avec la machine de mon ami M. Roussel, mais, enfin, qui est une bonne machine, à l'aide de laquelle on fait, non seulement des essais courants de rupture d'éprouvettes à la traction et à la compression, mais encore des essais d'assez grandes pièces. Par exemple, on a exécuté, à la demande de M. Mesnager, des essais de panneaux de ponts métalliques ayant 3 mètres de largeur sur 4 mètres de hauteur environ.

Il existe également une ancienne presse à levier pour les essais à la compression, à la traction et au cisaillement, que vous pourrez également voir, tout au moins au point de vue historique et rétrospectif.

Je crois, Messieurs, qu'il est inutile de vous en dire davantage, puisque, je le répète, vous avez la ressource d'aller visiter demain le laboratoire, ce qui vaudra infiniment mieux. (*Applaudissements.*)

M. LE PRÉSIDENT. — Je crois être l'interprète de l'Assemblée en adressant à M. Debray nos remerciements pour la communication qu'il vient de nous faire; et je vous engage tous à assister demain à la visite du laboratoire de l'École des Ponts et Chaussées.

Personne ne demandant plus la parole, la séance est levée.

La séance est levée à quatre heures et demie.

SÉANCE DU JEUDI MATIN 12 JUILLET 1900

PRÉSIDENTIE DE M. GREINER

Assisté de M. EUVERTE, comme Vice-Président,
Et de M. DE GENNES, comme Secrétaire.

La séance est ouverte à neuf heures.

M. DEBRAY, secrétaire général, informe le Congrès que la Compagnie des chemins de fer de l'Est fera les honneurs de son laboratoire d'essai aux congressistes, à une date qui sera ultérieurement fixée.

M. LE PRÉSIDENT. — L'ordre du jour appelle l'examen du rapport de M. Webster sur les spécifications normales américaines du fer et de l'acier.

M. WEBSTER déclare qu'en raison de son peu d'habitude de la langue française, il ne peut que signaler la conclusion de son rapport portant que : « le moment est venu de préparer, d'une manière efficace, l'adoption de méthodes d'essai et de cahiers des charges internationaux pour le fer et l'acier.

Les savants, les industriels et les ingénieurs se rencontrent dans cette appréciation. »

M. DE GENNES donne lecture du résumé suivant du rapport de M. Webster.

Résumé de cahier des charges et méthodes d'essai internationales pour le fer et l'acier au point de vue de l'ingénieur américain, par WILLIAM R. WEBSTER, Ingénieur conseil et réceptionnaire. — Le moment est venu de préparer d'une manière efficace l'adoption de méthodes d'essai et de cahiers des charges internationaux pour le fer et l'acier. Les savants, les ingénieurs et les industriels se rencontrent sur un terrain commun pour discuter librement toutes les questions relatives à ces sujets. Beaucoup de vieilles idées sur l'acier, qui sont plus qu'inutiles, seront abandonnées, aussi bien que les habitudes de « coup de pouce », et des bases solides seront posées. Le vrai point de départ est la relation qui existe entre la composition chimique de l'acier et ses propriétés physiques en fonction de la température à laquelle il a été soumis et du travail mécanique qu'il a subi. C'est là qu'est le champ de recherches le plus important.

Les laminoirs classent leurs aciers d'après la composition chimique et les laminer de façon à obtenir de bons produits finis sans perdre la chaleur de la coulée. Les méthodes chimiques rapides ont la plus grande importance à ce point de vue, et il faudrait les perfectionner. L'ingénieur qui fait entrer dans ses cahiers des charges des conditions d'essai chimique et d'essai physique devrait connaître les relations qui existent entre ces conditions.

Points à discuter dans les cahiers des charges. — 1° Conditions à demander pour les tôles épaisses ; 2° les essieux, bandages, pièces forgées et fondues doivent-ils être recuits ou non ? 3° pour l'acier doux on ne peut pas se fier uniquement aux pliages sur pièces refroidies à l'eau. Il faudrait aussi faire des pliages à froid ; 4° longueur à adopter pour les éprouvettes ; 5° allongement pour 100 ; 6° valeur de la striction comme élément d'appréciation de la qualité ; 7° les limites d'élasticité imposées sont trop élevées ; 8° des limites supérieures et inférieures devraient toujours être spécifiées pour la résistance à la rupture.

Méthodes d'essai et cahiers des charges. — Comment ils ont été choisis à l'origine et moyens proposés pour amener l'adoption de méthodes d'essai et de cahiers des charges internationaux.

On ne doit pas trop attendre de l'unification des méthodes d'essai dans les cahiers des charges. A l'origine, l'importance de l'action de la température a passé inaperçue. On a reconnu que l'action de la chaleur sur l'acier, combinée avec l'action du travail mécanique, a presque autant d'importance que la composition chimique du métal.

Il est nécessaire de laisser l'acier se refroidir complètement après le laminage ou le forgeage, avant de le chauffer pour le recuire. Si on le traite autrement, on le rendra plus mauvais au lieu de l'améliorer. *Il est très important de rendre cette idée familière aux ingénieurs, producteurs et consommateurs d'acier.*

Valeur de la réduction de section et de la température finale dans le laminage. — Le métal est détérioré, si on fait de trop fortes passes au laminoir et si on produit ainsi une augmentation de température ou « seconde chaude ».

Il serait intéressant de savoir si l'acier à grains fins, résistant, se change en acier cassant à gros grains pendant qu'il est chauffé ou pendant qu'il se refroidit ; cependant, le point capital est de travailler l'acier de telle sorte qu'on ne le mette pas en service dans le second état. Les circonstances qui produisent ce changement et celles qui le corrigent sont connues de tout le monde. En apportant un peu de bon sens à l'étude de cette question, on évitera beaucoup de mécomptes dans l'emploi des aciers.

On peut tirer beaucoup de renseignements de simples essais au feu de forge, d'autant plus qu'on possède une connaissance générale des essais ; des faits nouvellement connus jettent une nouvelle lumière sur les résultats de ces essais.

Rails d'acier. — Les difficultés que présente le laminage des rails à patins augmentent avec l'accroissement du poids et la teneur en carbone. Il peut être nécessaire de laisser plus de métal dans le patin et dans l'âme pour conserver la chaleur et permettre au finissage d'être fait à plus basse température, de façon à donner une belle et solide texture à la tête.

Plaidoyer en faveur de l'introduction de la composition chimique dans les cahiers des charges des rails, posant en principe que l'acier d'une composition déterminée, pour des rails de poids donné, recevant un travail mécanique convenable et fini à une température convenable, donnera les rails les plus solides, les plus sûrs et les plus résistants à l'usure ; et aussi que le meilleur élément d'appréciation de la qualité de l'acier est le simple essai au mouton.

M. LE PRÉSIDENT. — M. COLBY a déposé une communication sur le même sujet, et je le prie de vouloir bien nous en donner le résumé pour que nous puissions discuter les deux communications ensemble.

M. COLBY expose qu'en raison de son peu d'habitude de la langue française, il a dû demander à M. de Gennes de lire en son nom ce résumé de sa communication, et il rappelle en même temps qu'il a fait imprimer celle-ci en français, en allemand et en anglais, de façon à pouvoir en faire tenir un exemplaire à chaque adhérent du Congrès dans sa langue maternelle.

Il espère donc que tous les Membres du Congrès auront revu celle-ci et auront pu l'étudier.

M. DE GENNES, secrétaire, lisant :

I. — *Examen des spécifications normales américaines, éprouvettes et méthodes d'essai du fer et de l'acier.* — A. *Introduction.* — Les spécifications qui règlent les propriétés chimiques et physiques du fer et de l'acier pour des usages spéciaux peuvent très bien devenir le sujet de conventions internationales. Certaines exigences générales peuvent être comprises dans ces spécifications internationales, tandis qu'une autre classe d'exigences doit en être écartée.

Les spécifications internationales doivent indiquer le ou les procédés de fabrication au moyen desquels sera fabriqué l'acier destiné à un usage donné. Elles ne doivent pas cependant prescrire les détails du procédé, car les méthodes de fabrication donnant un produit satisfaisant varient dans les différents pays. Elles doivent comprendre des limites en ce qui regarde certaines parties constituantes chimiques de l'acier, particulièrement le phosphore et le soufre

pour l'acier acide ou basique. Elles doivent prescrire des limites dans toutes les propriétés physiques qui aident matériellement à montrer si l'acier est approprié au but voulu.

Les spécifications doivent aussi décrire la forme, le nombre et la provenance des éprouvettes et donner des méthodes générales pour la détermination des propriétés physiques spécifiées; elles doivent aussi mentionner la manière de choisir l'échantillon pour l'analyse chimique. Elles doivent contenir des clauses qui règlent le finissage et la marque exigés du produit, et enfin une clause qui donne à l'inspecteur les facilités nécessaires pour remplir les stipulations des spécifications.

Le texte des dix spécifications dressées d'après les grandes lignes ci-dessus sera trouvé dans mes brochures comme appendice. Ces spécifications ont été posées par un Comité dont les membres ont été soigneusement choisis de manière que tous les intérêts en jeu soient représentés également.

Une partie du travail du Comité comprenait la liste des spécifications existantes, et chaque Sous-Comité a gardé les meilleurs caractères de ces spécifications existantes en dressant la liste des spécifications-types américaines. Les rapports des Sous-Comités ont été discutés dans des réunions fréquentes depuis le 9 mars 1899, et on a voté définitivement par lettre sur chaque spécification le 1^{er} mai 1900, une très grande majorité démontrant que ces spécifications représentent bien le meilleur usage américain.

Le Comité désirerait que son travail soit soumis à la critique de la part de tous les intérêts représentés. Les spécifications-types proposées, ainsi que des tables montrant les traits principaux des spécifications existantes, ont été recueillies sous la forme de dix bulletins.

Une partie de ces dix spécifications ont été discutées à la réunion mensuelle de la Société américaine des Ingénieurs civils, le 16 mai. Elles ont été le sujet d'une discussion à la réunion du printemps de la Société américaine des Ingénieurs mécaniciens tenue à Cincinnati en mai. A ces deux réunions, les bulletins ont été distribués en grand nombre. Elles seront discutées à la réunion d'été de l'Association des Maîtres Mécaniciens des chemins de fer, de l'Institut américain des Ingénieurs des Mines et d'autres Sociétés techniques. Elles ont aussi été examinées par les principaux journaux techniques d'Amérique.

Voici la liste de ces dix spécifications :

- I. — Pièces d'acier fondues ;
- II. — Essieux en acier ;
- III. — Pièces d'acier forgées ;
- IV. — Bandages d'acier ;
- V. — Rails d'acier ;
- VI. — Plaques de jonction en acier ;
- VII. — Acier pour construction d'édifices ;
- VIII. — Acier pour construction de ponts et navires ;
- IX. — Acier Martin-Siemens à plaques de chaudière et à rivets ;
- X. — Fer forgé.

Les desiderata contenus dans les neuf spécifications pour acier sont décrites et discutées dans le mémoire suivant sous le titre respectif de chaque spécification. La spécification pour le fer forgé est l'objet d'une discussion séparée.

Ces dix spécifications sont présentées au présent Congrès international des Méthodes d'essai des matériaux de construction.

Comme elles sont discutées très largement en Amérique en vue de leur adoption comme types nationaux, nous demandons qu'elles soient aussi étudiées et discutées par le présent Congrès en vue de leur adoption future comme base de spécification internationale type.

L'examen critique qu'elles recevront, nous l'espérons, à ce Congrès international rendra grand service aux ingénieurs et constructeurs américains, l'automne prochain lors de la discussion de ces spécifications en Amérique dans le but de leur adoption comme types nationaux.

B. — Le mémoire en français que l'auteur a fait imprimer et distribuer aux membres de ce Congrès contient : un examen des spécifications-types américaines proposées, rangées sous le titre suivant dans chaque spécification :

- 1° Les procédés de construction spécifiés ;
- 2° Propriétés chimiques spécifiées ;
- 3° Propriétés physiques spécifiées ;
- 4° Éprouvettes et méthodes d'essai spécifiées ;
- 5° Variation dans le poids des plaques ;
- 6° Finissage ;
- 7° Marques ;
- 8° Inspection.

II. — *Pratique journalière dans les aciéries américaines dans la détermination des propriétés physiques du fer et de l'acier.* — Les méthodes d'essai commerciales américaines ont été déterminées, d'après les réponses à une circulaire adressée à 33 Compagnies fabriquant de l'acier, qui font plus de 75 0/0 de l'acier sur sole et Bessemer produit par les États-Unis.

L'auteur compare ces méthodes commerciales américaines chaque fois que cela est possible avec la conclusion et en se reportant aux essais des méthodes adoptées, en 1894, par la Commission française des Méthodes d'essai des matériaux de construction nommée, le 9 novembre 1891, par un décret du Président de la République française, et avec les résolutions de la Convention internationale retenues à Munich en 1884, 1885, Dresde 1886, Berlin 1890, Vienne 1893; les méthodes d'essai sont discutées sous le titre suivant :

- 1° Machines d'essai ;
- 2° Méthodes d'attacher l'éprouvette d'essai à la traction ;
- 3° Vitesse avec laquelle la charge s'applique dans les essais de traction ;
- 4° Précision de calibrage d'éprouvette de traction ;
- 5° Exactitude de mesurage de charges réelles ;
- 6° Précision de calcul de résistance de traction et de limite élastique apparente ;
- 7° Précision de mesurage d'allongement ;
- 8° Précision de calcul d'allongement ;
- 9° Précision de mesurage de striction ;
- 10° Précision de calcul de striction ;
- 11° Méthodes de déterminer la limite élastique apparente et la limite d'élasticité proportionnelle ;
- 12° Méthodes d'essai de flexion ;
- 13° Essais multiples ou de pièces.

La comparaison montre que la limite de précision dans les méthodes d'essai commerciales américaines pour la détermination des propriétés physiques du fer et de l'acier peut soutenir une comparaison très *favorable* avec les recommandations du Congrès international et la Commission française.

III. — *Méthodes en usage dans les aciéries américaines pour l'analyse chimique de l'acier.* — Dans ce chapitre, toutes les méthodes en usage dans les laboratoires des aciéries américaines ne sont pas données, bien qu'une quelconque d'entre elles donne des résultats d'analyse satisfaisants sur les corps variés qui constituent l'acier. Cela dépasserait la limite de ce travail.

Les méthodes décrites sont connues de l'auteur comme ayant été d'un usage satisfaisant pendant longtemps, et elles ont été choisies à cause de leur précision jointe à leur rapidité d'analyse.

Le tableau suivant est un sommaire de ce chapitre

ÉLÉMENT	NOM DE LA MÉTHODE	TEMPS DEMANDÉ	PRÉCISION
Carbone	Shimer gravimétrique	2 h. 20 m.	0,005 %
—	Eggertz colorimétrique.....	12 m.	0,01 à 0,03 %
Manganèse.....	Williams volumétrique.....	30 m.	0,02 %
—	Deshayes —	12 m.	0,02 %
Silice.....	Drown gravimétrique	30 m.	0,003 %
Phosphore	Drown Emmerton volumétrique.....	30 m.	0,002 %
—	Handy-Manby volumétrique.....	10 m.	0,003 %
Arsenic.....	Gravimétrique.....	12 h.	0,003 %
Sulfure	Eau régale gravimétrique	6 h.	0,002 %
—	Volumétrique	30 m.	0,003 %
Nickel.....	Electrolytique.....	2 h.	0,02 %
Chrome.....	Volumétrique	2 h.	0,02 %
Cuivre.....	Electrolytique.....	6 h.	0,002 %
Tungstène	Gravimétrique.....	12 h.	0,04 %
Laitier et Oxydes....	Eggertz gravimétrique	6 h.	0,02 %

IV. — *Examen critique des spécifications étrangères pour les rails d'acier.* — Ce chapitre est d'un intérêt commercial pratique pour les ingénieurs de chemins de fer qui désirent obtenir des rails de bonne qualité et en même temps d'un bas prix. Quarante et une spécifications étrangères principales de rails ont été étudiées, et leurs exigences ont été comparées à celles que contiennent les spécifications-types américaines proposées pour les rails.

L'auteur fait remarquer qu'il y a un certain nombre d'exigences dans les spécifications étrangères qui sont complètement inutiles dans l'état actuel de la science, et qui n'agissent que comme difficultés de plus pour les constructeurs, parce qu'elles retardent la fabrication et font ainsi monter le prix de revient.

V. — *Appendice.* — Dans l'*Appendice*, nous donnons le texte complet des dix spécifications-types américaines proposées. L'auteur de ce travail espère que la présentation de ces examens de spécifications au présent Congrès fera bénéficier les ingénieurs et fabricants américains de la critique éclairée des étrangers pour les types proposés. (*Applaudissements.*)

M. DE GENNES donne lecture du résumé suivant du rapport de M. Webster :

Je désirerais appeler l'attention sur le rapport du Comité anglais nommé par le « Board of Trade » pour rechercher la *perte de force subie par les rails en usage sur les chemins de fer*, pour faire voir que son travail s'est trouvé analogue à celui du Comité américain dont a parlé M. Colby.

Ce qui suit est extrait de l'*Appendice VII* du rapport anglais présenté par M. Windsor-Richards : « Il est probable que le « Board of Trade » demandera au Comité de recommander pour « guider les ingénieurs et constructeurs une analyse qui représente, d'après le jugement du « Comité, la composition de l'acier qui donne un rail sain et de bon usage. Je propose donc, après

« m'être placé aux différents points de vue du fabricant et de l'acheteur (et sans parler ici du « fer), qu'un rail d'acier soit compris dans les limites de composition suivantes :

	Minimum	à	Maximum
Carbone.....	0,33	à	0,50
Silicium.....	0,05	à	0,10
Soufre.....	0,04	à	0,08
Phosphore.....	»	à	0,08
Manganèse.....	0,75	à	1,00

« M. Edward P. Martin, de Dowlais, a examiné ces chiffres avec moi et les approuve. »

La composition comportant 0,38 à 0,50 de carbone a été recommandée par le Comité américain pour des rails de 50 à 70 livres par yard. Les conditions exigées sont les suivantes :

Carbone.....	0,35	à	0,50
Silicium au-dessous de.....			0,20
Soufre non spécifié.....			
Phosphore non spécifié.....			0,10
Manganèse.....	0,70	à	1,05

Ces recommandations sont remarquablement rapprochées l'une de l'autre, et surtout lorsque l'on considère qu'elles ont été émises dans des pays différents, par des Comités entièrement indépendants l'un de l'autre, et qu'en Amérique on ne fait de l'acier pour rails que par le procédé acide Bessemer, tandis qu'en Angleterre on se sert des procédés Bessemer acide et basique.

Les résultats comparés ci-dessus indiquent que les propositions que j'ai faites dans mon rapport pour la préparation dans chaque pays de spécifications-types pour chaque classe de matières peuvent être remplies aisément. On peut espérer qu'au Congrès général de l'Association internationale pour l'essai des matériaux en 1901, chaque pays apportera des spécifications qui le représentent, et que l'on pourra s'entendre pour des spécifications internationales. Je saisis cette occasion pour dire que sir Wm. Roberts-Austen, président de l'« Iron and Steel Institute », ainsi que le secrétaire, M. Brough, désirent vivement que le Congrès soit tenu en même temps que la réunion de l'« Iron and Steel Institute » à Glasgow, en septembre 1901. Je ne connais pas d'institution mieux préparée pour nous aider dans ce travail, et j'espère que notre prochain Congrès sera tenu chez elle.

Le Comité anglais a travaillé avec une grande difficulté, car, dans aucun des rails examinés, on ne connaissait les variations de températures subies par les rails pendant le laminage, et, comme cela a une grande influence sur la structure du rail, on aurait pu connaître la cause de bien des cas anormaux cités dans le rapport. On peut espérer que le travail du Comité du « Board of Trade » sera continué, que des rails seront laminés dans des conditions connues, et que des rails de la même coulée d'acier seront laminés chauds, moyens et froids, de manière à connaître la valeur exacte du travail du laminage à des températures différentes. Ceci donnera des informations très utiles dans un des genres de recherche les plus importants, qui a été trop négligé jusqu'à présent.

Dans cet ordre d'idées, je proposerais de noter la quantité de retrait des rails, depuis la température normale de laminage jusqu'à celle du finissage. Ceci donnerait une limite exacte de la température du finissage, et, après avoir recueilli des statistiques suffisantes, ces résultats seraient introduits avec grand avantage dans nos spécifications en établissant simplement que le retrait ne devra pas être de plus de tant pour cent. Naturellement, les fabricants s'y opposeront d'abord, mais ils s'apercevront bientôt qu'une donnée simple et exacte sur la température de finissage est une chose des plus utiles pour produire des rails satisfaisants même en partant de l'acier chimiquement le meilleur. J'ai parlé si souvent déjà dans mes différents travaux, depuis sept ans, de la température de finissage, que je ne veux pas abuser plus longtemps de vos instants à la présente réunion. (*Applaudissements.*)

M. LE PRÉSIDENT. — Le sujet traité par ces deux mémoires est très vaste et une discussion intéressante pourrait s'engager presque sur chaque point. Cela est impossible; cependant, le

Congrès ne répondrait pas aux buts que se sont proposés ses promoteurs, si nous n'échangions pas quelques-unes de nos connaissances spéciales sur ces questions. Je me permets de faire cette observation pour encourager en quelque sorte la discussion.

M. DEBRAY. — Je prierai M. de Gennes de rappeler les propositions une à une, de façon qu'une discussion ou un échange d'idées puisse s'établir sur chacune d'elles séparément. (*Assentiment.*)

M. LE PRÉSIDENT. — Ces Messieurs ont présenté des résumés très intéressants des travaux accomplis en Amérique.

Vous voyez que les Américains ne sont pas seulement des gens pratiques, mais qu'ils savent se réunir pour parler science et se faire, au besoin, des concessions.

Paris, semble-t-il, a donné aussi un bon exemple, puisque quarante et une spécifications ont pu être préparées et soumises à la discussion.

Il est malheureusement assez difficile, dans un Congrès de cette nature, de discuter les propositions qui nous sont faites, car les rapports nous sont remis au dernier moment. Cependant, une discussion côtoyant même un peu les sujets examinés ne peut que faire avancer l'étude de ces questions et parfois élucider les plus obscures. Je donnerai donc la parole aux personnes qui auront quelques considérations à faire valoir.

M. BELELUBSKY. — Avant que le Congrès passe à la discussion sur des questions qui ont été déjà traitées par le Comité de Zurich, je crois devoir appeler l'attention sur ce qu'a déjà fait cette Association internationale, dont j'ai l'honneur de faire partie.

Le rapport de M. Colby est intitulé : *Examen des spécifications normales adoptées par le Comité n° 1 de la Section américaine de l'Association internationale*. Je ne crois donc pas qu'on puisse dire qu'il y aura discussion sur ces spécifications; on peut seulement annoncer que ces spécifications ont été faites. Ce sont les travaux préparatoires du Comité de la Section américaine, laquelle travaille pour la Commission internationale, qui n'a pas encore terminé sa tâche.

D'après l'entente intervenue entre la Commission d'organisation de ce Congrès et le Comité directeur de l'Association internationale, les questions, qui sont la préparation des travaux de la Commission internationale, peuvent être seulement énoncées et non discutées, attendu qu'elles ne sont pas encore terminées.

M. HATON DE LA GOUPILLIÈRE. — J'en demande pardon à Votre Excellence, mais je suis obligé de rappeler en ce moment que la convention très expresse qui est intervenue entre l'Association internationale et la Commission d'organisation chargée de préparer ce Congrès, a été que celui-ci discuterait avec la plus grande largeur toutes les questions qu'il jugerait à propos d'aborder, en vue d'y porter autant que possible la lumière, mais toutefois qu'il n'y aurait pas de conclusions votées, capables d'engager l'avenir en gênant les opérations futures de l'Association internationale.

Quant à empêcher qu'un Congrès librement réuni puisse discuter une question qui lui est soumise, c'est chose impossible. Une question spéciale n'est pas, pour qui que ce soit, une propriété personnelle comme le sont, par exemple, votre porte-monnaie et le mien, auxquels personne ne doit toucher. S'il s'était, je suppose, fondé autrefois une Société pour résoudre la question de la quadrature du cercle, avant que les beaux travaux d'Hermite et de Lindemann l'eussent démontrée impossible, personne n'aurait pu prétendre, pour cela, que cette question fût réservée, distraite du domaine public, et qu'il fût devenu impossible de l'aborder pour les nouvelles bonnes volontés. Or, tout le monde, aujourd'hui, s'occupe de tous côtés des questions qui figurent à notre ordre du jour. La Commission officielle française, divers travailleurs français isolés, des savants ou des Comités étrangers s'en occupent dans divers pays; et, enfin, la vaste, laborieuse et très savante Association internationale a constitué, à cet égard, un organisme permanent. Mais cette dernière n'aurait jamais pu émettre la prétention de confisquer pour elle-même la question, en s'opposant à aucune autre discussion. Nous n'avons donc pas eu à repousser une prétention aussi inadmissible que celle d'empêcher un Congrès libre de discuter l'objet même de sa réunion. Il a été seulement entendu que les questions librement discutées ne deviendront pas l'objet de votes formels de conclusions fermes, qui, à leur tour, eussent pour résultat de confisquer la question en empêchant ultérieurement l'Association internationale d'y conserver toute sa liberté d'action. Personne ne se trouve donc engagé, après comme avant le Congrès.

Je pense que c'est bien votre avis, Excellence, après cet éclaircissement, et que c'est aussi l'avis unanime de l'Assemblée. (*Applaudissements.*)

M. BELELUBSKY. — C'est bien mon avis, j'ai voulu seulement dire que ce travail pourrait être discuté comme personnel de M. Colby.

M. HATON DE LA GOUPILLIÈRE. — Très bien ! Nous n'engageons ici l'Association internationale en aucune façon ; nous cherchons seulement à débayer pour elle, comme pour tous nos autres successeurs, le terrain dans l'avenir. Le but de nos réunions de quelques jours est de fournir par nos entretiens un faisceau de documents nouveaux qui s'ajouteront, pour les travailleurs futurs, aux documents du passé. Chacun travaillera alors comme il l'entendra, les Sociétés nationales resteront libres et, par-dessus tout, l'Association internationale, qui s'est donné le mandat de faire avancer ces questions et qui viendra, je l'espère, apporter d'heureuses solutions.

M. BELELUBSKY. — Certainement ! la discussion est libre. Je voulais seulement faire observer que ce travail est présenté par M. Colby à titre personnel. (*Assentiment.*)

M. LE PRÉSIDENT. — C'est à ce point de vue que j'ai prié chacun de vous d'éclairer, suivant sa spécialité, les questions traitées par M. Colby et M. Webster.

Je suis certain d'être l'interprète du Bureau que je préside, en disant que nous n'avons pas l'intention de prendre la place de l'Association internationale ; au contraire celle-ci se félicitera certainement de recevoir de nous, si possible, quelques conclusions nouvelles relatives aux questions dont elle s'occupe.

M. WEBSTER. — Je ne pense pas que l'Association internationale puisse empêcher une Section organisée d'exposer les études qu'elle a pu faire ; la Section Américaine de la Commission n° 1 a marché en avant et expose aujourd'hui les résultats qu'elle a obtenus sous sa propre responsabilité et je ne vois pas que l'Association internationale puisse s'y opposer.

Il m'a été impossible de suivre tout ce qui a été dit dans la discussion, mais je dois rappeler que les travaux que nous avons effectués ont été présentés conformément aux instructions de la Section américaine de l'Association internationale.

Nous sommes une Section parfaitement organisée, et, si les statuts de l'Association internationale ne sont pas assez larges pour nous permettre d'exercer notre action dans ces conditions, il nous est absolument nécessaire de les élargir ; si elle se refusait de le faire, nous devrions passer outre à son autorisation, car il est inacceptable, en effet, que nous puissions être gênés dans les travaux que nous entreprenons pour le profit général de tous.

Je serais désireux qu'un de nos collègues parlant français voulût bien donner ces explications au Congrès, car nous sommes, je le répète, une Section organisée sous la direction de notre Président de la Commission exécutive de la Section américaine.

M. LE PRÉSIDENT. — Il est assez difficile de bien saisir les liens qui unissent les membres de la Section américaine avec l'Association internationale. Si je ne me trompe, le travail qu'ils présentent ici est le résumé des travaux de toutes les Associations américaines, qui prennent la responsabilité des conclusions auxquelles elles sont arrivées ; non qu'elles ne veuillent pas les soumettre à l'Association internationale, mais il ne leur déplairait pas que, arrivant les premières, ces conclusions fussent celles auxquelles aboutiraient les ingénieurs du continent.

Je ne crois pas me tromper en interprétant ainsi leurs idées ; du reste, c'est ce qui arrive quand des Associations travaillent plus vite les unes que les autres. Celles qui ont pris des décisions les premières ne seraient pas fâchées que toutes les autres les fassent leurs. Il est probable que, lorsque ces travaux seront examinés par l'Association internationale, une entente s'établira entre elle et le Comité américain, qui, dans cette circonstance, semble vouloir prendre une position un peu en dehors, si je puis m'exprimer ainsi.

Cependant, je suis certain que l'Association se ralliera à une entente générale pour laquelle ses travaux antérieurs serviront de point de départ ; je ne puis cependant pas le promettre d'avance.

M. HATON DE LA GOUPILLIÈRE. — Les paroles de M. le Président sont pleines de sagesse ; je demande toutefois la permission de préciser une dernière fois la question.

Les sujets scientifiques sont faits pour être discutés ; c'est justement de ce choc d'opinions et d'avis que naissent peu à peu les solutions définitives.

Eh bien, il y a ici en présence un Comité américain qui a beaucoup travaillé et a fait d'excellentes choses, et, d'autre part, il y a l'Association internationale.

Leur entente devra se faire entre eux par-dessus le Congrès, après le Congrès, qui sert en ce moment de terrain de discussion et de rencontre mutuelle pour tous.

Le Congrès actuel ne prendra aucune position effective en vue d'une réglementation quelconque ; il ne donnera pas raison au Comité américain sur tel point, ni à l'Association internationale sur tel autre. L'un et l'autre conserveront leurs positions respectives, lorsque le présent Congrès sera terminé.

Je crois que l'on doit se féliciter hautement que cette session fournisse l'occasion de se rencontrer à des hommes aussi distingués, qui peuvent ainsi se communiquer directement leurs idées.

Notre Congrès n'a pas la vie bien longue. Dans quelques jours, il disparaîtra et ne vivra plus dans l'avenir que par ses travaux imprimés.

Il ne viendra donc apporter aucun *impedimentum* dans la situation de l'Association internationale, je pense que tout le monde le comprend ainsi. (*Assentiment général.*)

M. LE PRÉSIDENT. — Je prierai maintenant M. de Gennes de nous donner lecture des décisions du Comité américain, et j'ouvrirai la discussion sur les différents points que ce Comité a abordés et traités avec tant de soin.

M. DE GENNES, lisant :

Appendice : pièces d'acier fondues. — Procédés de fabrication. — 1. L'acier pour pièces fondues pourra être fabriqué par les procédés Martin-Siemens, à creuset, ou Bessemer. Les pièces fondues seront recuites ou non, selon que le contrat l'exige.

Propriétés chimiques. — 2. *Pièces fondues ordinaires.* — Les pièces fondues ordinaires, celles pour lesquelles aucune épreuve physique n'est spécifiée, ne contiendront ni plus de 4 dixièmes de 1 0/0 de carbone ni plus de 8 centièmes de 1 0/0 de phosphore.

3. *Pièces fondues à soumettre aux épreuves.* — Les pièces fondues qui sont soumises à l'essai physique ne contiendront ni plus de 5 centièmes de 1 0/0 de phosphore ni plus de 5 centièmes de 1 0/0 de soufre.

Propriétés physiques. — 4. *Essais de traction.* — Les pièces fondues à éprouver seront de trois classes : DURE, MOYENNE et DOUCE. Les minima des qualités physiques exigées dans chaque classe seront comme suit :

	Pièces fondues dures.	Pièces fondues moyennes.	Pièces fondues douces.
Résistance de traction, kilos par millimètre carré.....	59,76	49,22	42,19
Limite élastique apparente, kilos par millimètre carré.....	26,89	22,15	18,98
Allongement, pour cent, sur 50 ^{mm} ,8	15	18	22
Striction, pour cent.....	20	35	30

5. *Essais au choc.* — Un essai à outrance peut être substitué à l'essai de traction, lorsqu'il s'agit de pièces fondues de petites dimensions ou peu importantes, en choisissant trois pièces fondues dans un lot. Cet essai doit montrer le produit ductile et exempt de tout défaut préjudiciable et approprié aux emplois voulus. On composera un lot de toutes les pièces fondues provenant de la même fusion, recuites dans la même charge de fourneau.

6. *Essai par la percussion.* — Les grandes pièces fondues devront être suspendues et martelées partout. Aucune gerçure, ni soufflure, ni défaut ni faiblesse ne devront apparaître après un tel traitement.

7. *Essai de flexion.* — Une éprouvette, large de 25^{mm},4 sur 12^{mm},7, se courbera autour d'un diamètre de 25^{mm},4 sans fracture au côté saillant de la partie courbée, jusqu'à un angle de 120° pour les pièces fondues douces et de 90° pour les pièces fondues moyennes.

8. *Éprouvettes et conditions d'essai.* — *Éprouvette pour essai de traction.* — L'éprouvette tournée, type normal, ayant un diamètre de 12^{mm},7 et une longueur mesurée de 50^{mm},8, doit être employée pour déterminer les propriétés physiques spécifiées au paragraphe 4. Elle est représentée dans le dessin ci-joint.

9. *Nombre et provenance des éprouvettes pour essais de traction.* — Le nombre des éprouvettes du type normal dépendra du genre et de l'importance des pièces fondues. L'éprouvette sera découpée à froid d'un coupon qui doit être moulé et fondu sur une portion d'une ou

de plusieurs pièces fondues de chaque fusion, ou bien des masselottes (pourvu que celles-ci soient assez grandes pour être utilisées). Le coupon ou la masselotte devront subir le même traitement que la pièce fondue ou les pièces fondues avant que l'éprouvette soit découpée, et avant que le coupon ou la masselotte soient détachés de la pièce fondue.

10. *Éprouvette pour essai de flexion.* — Une éprouvette pour l'essai de flexion, large de 25^{mm}, 4 sur 12^{mm}, 7, sera découpée à froid du coupon ou de la masselotte de la pièce fondue ou des pièces fondues, de la manière spécifiée au paragraphe 9. L'essai de flexion pourra se faire par la pression ou par des coups.

11. *Limite élastique apparente.* — La limite élastique apparente, spécifiée au paragraphe 4, sera déterminée par l'observation exacte de la chute du levier ou de l'arrêt dans le manomètre de la machine à essayer.

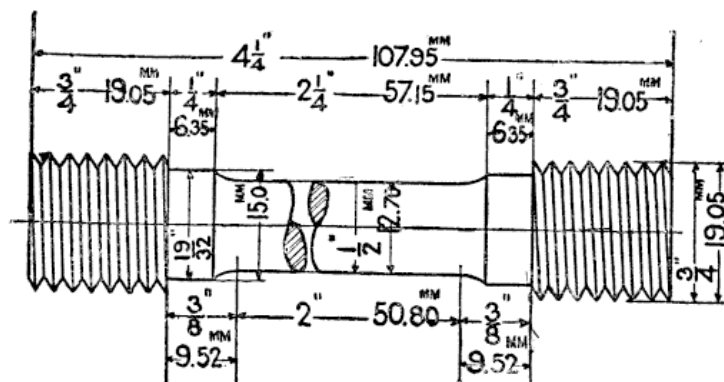


FIG. 13.

12. *Échantillon pour analyse chimique.* — La tournure provenant de l'éprouvette pour l'essai de traction, les copeaux provenant de l'éprouvette pour l'essai de flexion ou les copeaux provenant du petit lingot à essai, selon la préférence de l'inspecteur, seront employés pour déterminer si l'acier dépasse ou ne dépasse pas les limites, en fait de phosphore et de soufre, spécifiées aux paragraphes 2 et 3.

13. *Finissage.* — Les pièces fondues se conformeront aux dessins, et seront exemptes de défauts, de soufflures et de gerçures par suite de la retraite. Les surfaces à usure seront solides et aucune porosité ne sera permise dans les portions où la résistance et la valeur de la pièce fondue, en ce qui regarde son utilité, seraient gravement affectées.

14. *Inspection.* — Le fabricant accordera toutes les facilités convenables à l'inspecteur qui représente l'acheteur, pour que l'inspecteur puisse s'assurer que le produit fini est livré conformément au cahier des charges. Tous les essais et toutes les inspections s'effectueront au lieu de la fabrication et avant l'expédition.

M. GROBOT. — Je désire présenter une observation générale sur tous les essais spécifiés aux cahiers des charges américains.

En France, nous sommes un peu opposés aux essais faits en vue de connaître la nature du métal; cela pour deux raisons : la première, c'est que les méthodes d'essai chimique ne nous paraissent pas présenter une précision suffisante pour que les résultats soient comparables d'une usine à l'autre. En outre, quand on recherche une composition déterminée du métal, je crois que celui qui emploie le produit lui-même prend la responsabilité du produit qu'il obtiendra. En d'autres termes, c'est faire double emploi avec les méthodes d'essai elles-mêmes qui doivent déterminer les qualités premières du métal après coup; c'est en même temps porter atteinte à l'initiative du fabricant, grâce à laquelle il cherche à améliorer sa fabrication.

Mon avis est donc que l'obligation d'une composition chimique, imposée conjointement avec des essais mécaniques, n'a aucune raison d'être, sauf quand il s'agit de parer à certaines déficiences provenant de substances nuisibles, telles que le soufre et le phosphore dans certains usages.

M. ROUSSEL. — Je m'étonne de voir, dans cet ouvrage, des prescriptions donnant des taux de résistance et d'allongement auxquels doivent satisfaire les différentes pièces en acier coulé qu'on peut avoir à examiner. Ces chiffres ont été fixés d'après les meilleurs spécimens

que ces Messieurs ont obtenus en Amérique ; mais qui nous dit que demain on ne fera pas mieux encore ?

Il semble donc aventuré de prescrire des chiffres, tant pour la composition chimique que pour les essais mécaniques.

D'autre part, je vois prescrire des angles de pliage. Je comprends qu'on demande un rayon de courbure, mais un angle de pliage me paraît inutile. Quel que soit l'angle, le travail du métal est toujours, en somme, le même, sauf qu'il s'étend sur une plus grande partie de l'éprouvette.

Quant à la recherche de la composition du métal par l'analyse chimique, je suis complètement de l'avis de M. Grobot.

M. BELELUBSKY. — Je me rappelle que, lors de l'Exposition de Philadelphie, le Congrès international avait fait une classification des aciers et fers fondus.

Pour les ponts, on préfère généralement de l'acier très doux qu'on appelle du fer fondu.

M. LE PRÉSIDENT. — Nous examinerons demain un mémoire de M. Pourcel qui traite précisément la question ; nous pourrions ajourner la discussion jusqu'à ce que nous ayons entendu M. Pourcel. (*Assentiment.*)

M. BELELUBSKY. — M. Roussel a parlé de l'essai de pliage.

Aux conférences de Vienne et de Zurich, cette question a été traitée par les ingénieurs de nations diverses et ces Messieurs ont rejeté le mesurage par l'angle du pliage.

M. LE CHATELIER. — Bien que je ne sois pas très compétent sur ces questions, je demande à faire une remarque d'ensemble ; j'ai eu occasion d'étudier de très près les questions de méthodes d'essais à propos de recherches sur les ciments. J'ai remarqué qu'on avait une tendance à croire que plus nombreuses sont les conditions d'essai et plus le consommateur a de sécurité.

J'estime que c'est une erreur ; il y a certaines clauses qui ont une grande importance, d'autres n'ont d'autre rôle que celui de tenir de la place.

Ce ne serait rien s'il n'y fallait donner une somme de travail considérable. En faisant trop d'essais, nécessairement on perd l'habitude de les faire vraiment sérieusement. Il y aurait grand intérêt à limiter les recherches à celles dont l'utilité est certaine.

C'est ainsi qu'il est question ici de ténacité et de limite élastique. Eh bien ! est-ce que réellement la juxtaposition de ces deux essais a une raison d'être.

On demande, si je ne me trompe, l'allongement proportionnel et l'allongement de striction. L'allongement proportionnel a-t-il un intérêt quelconque ? N'y aurait-il pas lieu de se limiter à un seul de ses deux essais ?

D'autre part, on a laissé de côté certaines indications très intéressantes ; par exemple, pour l'acier fondu moulé, il y a une question d'homogénéité, de dosage des soufflures qui a son importance. Je ne parle pas là des grosses soufflures, mais de celles qu'on observe micrographiquement, on voit alors de toutes petites piqûres dont le métal est criblé.

Cette question d'homogénéité ne figure pas dans les essais demandés, et cependant elle serait bien intéressante.

En ce qui concerne les essais chimiques, je suis d'accord avec M. Grobot. J'ai eu occasion de constater bien souvent ces différences énormes dans les dosages. Où je ne suis plus d'accord avec lui, c'est quand il demande le maintien du dosage du phosphore ou du soufre : ce sont justement les corps qui présentent les dosages les plus divergents. Mais, si l'on doit renoncer au dosage pour tous les corps, il en est cependant un auquel il ne faut pas renoncer.

Ce corps qu'il convient de doser est le carbone, il imprime au métal une telle caractéristique par suite des traitements ultérieurs, et son dosage est si facile que je crois préférable de toujours en tenir compte.

On a souvent vendu sous le nom d'acier de la fonte malléable. L'opération est courante ; en traitant convenablement une petite éprouvette de fonte malléable, on satisfait à peu près aux conditions de cahiers de charges demandant de l'acier moulé. C'est ainsi qu'il est arrivé en ces dernières années de graves accidents aux écluses du Havre ; on avait demandé au constructeur de l'acier moulé, et il avait livré de la fonte malléable pour un pivot d'écluse.

Il y a donc grande importance à introduire, dans les cahiers de charges, seulement les spécifications pour lesquelles on est certain de l'importance qu'elles ont. (*Applaudissements.*)

M. GROBOT. — Il n'a pas été dans mon intention, parlant du soufre et du phosphore, de préconiser l'introduction du dosage de ces éléments dans les cahiers de charges; j'ai voulu simplement dire que, du moment où l'on voulait imposer des analyses, les compositions imposées pour certains produits dangereux auraient leur raison d'être; mais, en principe, je repousse toute espèce d'analyse en raison de l'incertitude des méthodes d'essais. Les dosages du carbone même donnent des résultats très variables, suivant l'état du carbone dans le métal, suivant le métal même.

Il nous est arrivé, quand nous voulions avoir une estimation de la teneur en carbone d'un métal, de procéder par quatre méthodes différentes et de trouver quatre résultats différents; or il serait illogique de prendre la moyenne de ces quatre résultats, car le chiffre serait entaché d'erreur.

Je crois donc que, pour le carbone comme pour les autres corps, il faut laisser de côté les essais chimiques et s'en tenir aux essais mécaniques pour savoir si la matière qu'on emploie répond réellement aux conditions mécaniques. Je suis d'avis qu'il faut faire des essais du même genre que les efforts auxquels la pièce est soumise en service.

M. ROUSSEL. — Je partage la même prévention contre les essais chimiques; mais, pour le dosage du carbone, il existe une méthode depuis longtemps employée dans l'industrie, qui n'est pas parfaite, mais donne une assez bonne approximation: c'est la méthode d'Eggertz. En demandant l'appréciation de la teneur en carbone d'après cette méthode, et en faisant des essais au choc, on peut être certain d'éliminer les aciers trop phosphoreux. C'est ainsi que nous avons procédé aux Chemins de fer de l'Etat belge pour la fourniture de bandages et de rails. En demandant que la teneur en carbone ne dépasse pas 30 millièmes, et en faisant un essai de choc approprié, on peut être certain d'éliminer les bandages en acier trop phosphoreux.

M. LE PRÉSIDENT. — J'ai souligné les points qui m'ont paru plus particulièrement intéressants dans le travail de ces Messieurs.

D'abord, en ce qui concerne l'importance à attribuer aux analyses, j'estime que, lorsque les essais mécaniques ont donné des résultats convenables, peu importe qu'il y ait plus ou moins de soufre; cela, c'est de la pharmacie! (*Applaudissements.*)

De même, pourquoi spécifier le mode de fabrication et forcer l'industriel à faire de l'acier Bessemer, ou de l'acier Martin ou tel autre acier?

Ce qui importe, ce sont les résultats obtenus. Quand vous consommez un aliment quelconque, vous ne demandez pas au cuisinier qui l'a préparé, à quelle religion il appartient.

Voilà un premier point.

En ce qui concerne le n° 7, il me semble que l'éprouvette qui y est décrite est soumise à des essais de flexion très prononcés.

Autant que nous connaissons les aciers, je trouve les essais bien sévères sur une pareille éprouvette.

Je partage l'opinion de M. Belebubsky. Il doit y avoir des atténuations à apporter pour le continent.

Enfin, je ferai une observation générale qui s'attache à tous les essais, mais spécialement aux pièces coulées: c'est qu'il est nécessaire de ne pas s'en tenir à un seul essai, ni même à deux. Il est si difficile d'obtenir l'homogénéité d'un métal qui n'a pas été travaillé! Prescrire trois essais et faire la moyenne, ce n'est pas trop demander et cela donne une idée plus exacte de la valeur d'une pièce.

Quand on veut analyser un minerai, on ne se contente pas d'en prendre un échantillon; et pour apprécier une pièce coulée, on ne prendrait qu'un échantillon ou deux, et l'on aurait la prétention d'obtenir ainsi une moyenne!

Nul doute qu'en agissant ainsi on s'expose à rebuter des pièces excellentes, ou à accepter des pièces de qualité douteuse.

Donc, au point de vue général, il est nécessaire que, pour les pièces, soumises aux épreuves on essaie le plus grand nombre possible d'échantillons avant de tirer des conclusions définitives. (*Applaudissements.*)

M. PELLETIER. — Quelqu'un a-t-il des éléments d'appréciation sur la question suivante?

La composition chimique d'un métal, qui serait déterminée dans les essais, peut-elle avoir une influence sur les modifications ultérieures en service de la constitution moléculaire du

métal. Par exemple, dans les bandages et les essieux, peut-il se produire des différences qui n'apparaîtraient pas au moment de la recette?

Deux métaux de composition chimique un peu différente donnent, par exemple, les mêmes résultats aux essais mécaniques lors de la recette; ne seront-ils pas susceptibles de subir, en service, par vibration notamment, des modifications moléculaires telles que l'un sera supérieur à l'autre?

M. CONSIDÈRE. — Je crois pouvoir répondre aux préoccupations de M. Pelletier, en faisant connaître un fait qui s'est passé en 1889.

J'avais été informé que, dans un grand atelier de Paris, une pièce en acier doux s'était cassée en tombant, après avoir donné des résultats satisfaisants — autant que je m'en souviens : 45 kilogrammes de résistance et 25 ou 26 0/0 d'allongement.

J'ai prélevé un échantillon et j'ai fait l'expérience suivante : j'ai découpé de petites pièces qui avaient simplement subi le travail de la machine à raboter et de la lime douce. Je les ai amenées à se plier bord sur bord comme dans les essais de trempe, ensuite je les ai frappées avec un marteau à plat sans que le marteau y imprimât la moindre trace. Je les ai alors cassées avec un angle de flexion de 3 à 5°. Du reste, j'ai exposé ce fait tout au long dans mon travail sur la fragilité. Enfin, j'ai fait une série d'essais, d'où il est résulté que l'acier en question devait être employé avec des précautions extrêmes, et j'ai constaté qu'en somme il était détestable. J'ai fait faire l'analyse et j'ai trouvé, autant que je me le rappelle, car cela date de loin, 0,17 de phosphore. C'était l'explication. Il en résulte que les pièces trop phosphoreuses ont non seulement la propriété de se casser beaucoup plus facilement au choc, mais aussi au pliage, lorsqu'elles ont subi, au préalable, un écrouissage même faible.

J'ai continué les essais sur le même acier en faisant des éprouvettes percées de trous au poinçon et au foret. La différence dans les angles de pliage entre ces deux séries de pièces est énorme, pour les aciers phosphoreux, d'une part, et pour ceux fournis, d'autre part, par le Creusot et Saint-Chamond.

Bien que ces résultats aient été publiés depuis un certain temps, je ne crois pas que l'attention soit portée de ce côté, et j'appelle sur ce point toute la sollicitude des métallurgistes. (*Applaudissements.*)

M. LE CHATELIER. — Ces observations tendraient à infirmer les idées qu'on vient de développer, à savoir que l'analyse peut être laissée de côté.

Si je n'ai pas parlé des essais de fragilité, c'est que je n'ai pas voulu rouvrir le débat sur ce point et entrer dans les détails.

En ce qui concerne l'influence des mouvements vibratoires sur les pièces, je crois qu'elle est purement fictive. Je ne connais aucun fait qui ait jamais démontré la transformation du grain sous l'influence des vibrations.

La même question s'était posée déjà en 1848. Or, il résulte des expériences faites à cette époque sur 50 essieux qu'on a cassés que le grain préexistait au moment de la livraison et que les mouvements vibratoires n'avaient produit, sur ceux qu'on avait mis en service, aucun effet appréciable.

M. CONSIDÈRE. — Je crois qu'on peut se passer d'essais chimiques; mais j'appelle l'attention sur ce point que les essais de flexion de barreaux entaillés pourraient être complétés par des essais de barreaux écrouis par un travail à froid.

Cela permettrait de mieux éliminer les aciers phosphoreux et d'augmenter les différences déjà obtenues.

M. LE PRÉSIDENT. — Le phosphore n'est pas répandu uniformément dans toute la masse; il y a des barres qui, cassées à côté du point défectueux, sont magnifiques.

M. CONSIDÈRE. — Le danger est toujours le même!

M. LE PRÉSIDENT. — Certainement! la question est de tomber sur la partie qui contient le plus de phosphore

M. LE BLANT. — Nous avons eu des accidents de ce genre à la Compagnie de l'Est; des tôles se sont fissurées au travail, qui, cependant, avaient donné de très bons résultats aux essais.

En faisant des essais de choc avec entailles déterminées, comme l'indique M. Considère,

nous avons trouvé que ces tôles étaient fragiles, tandis que d'autres qui ne s'étaient pas fissurées au dressage n'étaient pas fragiles avec ce simple petit essai.

M. LE PRÉSIDENT. — C'est en effet un très bon moyen de reconnaître la qualité des tôles.

M. MESNAGER. — Comme suite à ce qu'a dit M. Le Chatelier, je puis citer un fait. La Compagnie d'Orléans a eu l'occasion d'enlever une entretoise d'un pont après trente-cinq ans de service.

On lui supposait une structure cassante après ces vibrations prolongées, et l'on s'attendait à voir les propriétés du métal fortement modifiées. Eh bien ! les essais ont montré que le métal se comportait comme aux essais primitifs. C'est une expérience qui semble indiquer qu'on a exagéré les effets des vibrations sur les métaux.

M. Le Chatelier a dit qu'il ne paraissait pas très important de fixer la limite élastique. Je crois cependant qu'elle a une certaine importance. Nous édifions la plupart de nos constructions en supposant que le métal ne doit pas dépasser cette limite élastique, sans quoi on obtiendrait des déformations gênantes et parfois dangereuses dans la suite.

J'ai eu, il y a six mois, à recevoir des aciers qui donnaient une limite de rupture satisfaisante et des conditions générales admissibles, mais présentant une limite élastique très faible. J'ai dû demander une nouvelle fourniture, craignant d'avoir des déformations exagérées.

En général, la question ne paraît pas se poser, parce que le métal est livré plutôt écroui que trop bien recuit. Néanmoins, cet exemple montre qu'il peut y avoir intérêt à fixer un minimum de limite élastique.

M. BELELUBSKY. — Je rappellerai une observation que j'ai présentée au Congrès de 1889, en présence de M. Considère, à propos du pont de Kiew (Russie). Nous avons trouvé en magasin des morceaux de chaînes, datant de plus de cinquante ans, qui n'avaient, par conséquent, pas été soumis aux vibrations en service. Nous les avons comparés à des échantillons pris sur des chaînes ayant travaillé pendant le même temps, le résultat a été de tous points identique. (*Applaudissements.*)

M. CONSIDÈRE. — Lorsque la limite d'élasticité est trop faible, les déformations peuvent naître sous une charge peu considérable. Cela peut présenter des inconvénients, mais ils sont minimes parce que la limite d'élasticité s'élève dès que les efforts ont atteint des limites supérieures, et elle se maintient pour les efforts ultérieurs.

Il y a, au contraire, de grands inconvénients à avoir une limite d'élasticité trop élevée pour des pièces qui présentent des trous de rivets ou des diminutions de section locale.

Voici un exemple tiré du même acier phosphoreux dont je parlais tout à l'heure :

J'ai fait percer dans des barres des trous de rivets qui diminuaient la section de 12 à 13 0/0 ; en tenant compte à la fois de la diminution de section et de la diminution de résistance, lesquelles viennent s'ajouter l'une à l'autre, la section percée présentait une résistance inférieure, autant que je me le rappelle, de 30 à 32 0/0 de la section entière, — ce qui est dans les conditions ordinaires.

Or, comme l'acier en question avait une limite d'élasticité de 68 0/0 environ de la charge de rupture, les sections entières n'étaient pas encore arrivées à la limite d'élasticité, lorsque les sections percées devaient se briser.

On a soumis ces éprouvettes à des essais jusqu'à rupture, et celle-ci s'est produite dans la partie poinçonnée, tandis que le reste ne présentait pas d'allongement permanent.

Comme l'allongement élastique était faible, la résistance vive de l'éprouvette était donc minime.

J'ai pris ensuite des aciers du Creusot ; j'ai fait des éprouvettes de même dimension, et je les ai soumises aux mêmes essais.

Par suite de ce fait que la limite d'élasticité, au lieu d'être voisine de 70 0/0, était voisine de 50 0/0, elle a été dépassée de beaucoup dans les sections entières avant rupture, des sections poinçonnées de façon que l'allongement, pris dans les parties entières, était de 4 à 5 0/0, soit 40 fois plus fort que pour l'acier phosphoreux dont la limite d'élasticité était beaucoup plus élevée relativement à la résistance.

En conséquence, la force vive nécessaire pour rompre les éprouvettes à limite d'élasticité élevée était de 40 à 50 fois moindre que celle nécessaire pour rompre des éprouvettes dont la limite d'élasticité était basse.

Ceci s'applique non seulement au cas de choc, mais au cas de déformation forcée.

Il y a dans les constructions des cas nombreux où il se produit de telles déformations ; en particulier, dans les constructions rivées, où les pièces ne peuvent pas s'orienter suivant la direction de l'effort. Il survient alors des flexions anormales dans lesquelles le métal doit prendre des déformations assez considérables.

Eh bien ! l'acier, qui a une limite élastique très élevée, présente des dangers à ce point de vue, dangers qui n'existent pas avec une limite assez basse.

J'ai soutenu, devant la Commission qui a élaboré le règlement de 1883, et j'ai fait adopter par elle, que, si la limite d'élasticité trop basse était une mauvaise chose, la limite d'élasticité haute était encore plus dangereuse. (*Applaudissements.*)

Or, le phosphore augmente la limite de l'élasticité.

M. MESNAGER. — Je suis entièrement d'accord avec M. Considère au sujet du peu d'importance que peut avoir la déformation permanente sur la résistance définitive de l'ouvrage mis en service après avoir subi cette déformation permanente. Je sais que beaucoup d'ingénieurs, trop, malheureusement ! ont cette prévention qu'une déformation permanente met le métal dans un état d'infériorité. C'est une idée absolument fausse, car le métal qui a subi une déformation permanente a une limite d'élasticité plus élevée ; s'il ne dépasse pas ultérieurement cette nouvelle limite élastique, il se comporte comme un métal excellent qui aurait eu primitivement cette limite élastique.

Mais, au point de vue de certains ouvrages, il y a, je crois, importance à n'avoir pas une limite élastique trop basse ; en particulier, lorsqu'ils contiennent de longues pièces comprimées, le flambage est plus à craindre dans la pièce qui présente une limite élastique basse. M. Considère, qui a fait des études spéciales sur ce sujet, pourrait nous en dire long.

Mais les métaux auxquels j'ai fait allusion tout à l'heure étaient destinés à un ouvrage en béton armé, et j'ai cru prudent de ne pas employer dans ce cas spécial des barres dont la limite élastique minima fût trop basse. Je crois donc qu'il y a intérêt à fixer la limite élastique minima du produit qu'on demande ; mais je suis aussi de l'avis de M. Considère qu'il y a aussi grand intérêt à avoir une limite élastique qui ne soit pas trop élevée, au point de vue principalement des chocs et de l'écroutissage qui se produit dans les trous de rivets.

M. LE PRÉSIDENT. — Messieurs, l'heure avance. Il est vrai que les considérations générales que vous venez d'entendre s'appliquent un peu à l'acier ; mais vous serez peut-être d'avis d'en rester là pour le moment et de continuer l'examen du rapport de M. Colby. (*Assentiment.*)

Mais, auparavant, on me prie de vous communiquer la note suivante :

« Ces spécifications sont seulement les propositions des aciéries et des fabricants américains et non pas des ingénieurs, qui n'ont pas pris part dans les consultations.

Signé : « HENNING. »

(*Mouvement.*)

Nous laisserons ces Messieurs les Américains s'entendre entre eux ; nous n'avons qu'à chercher à apporter quelque lumière dans les questions techniques soulevées.

M. LE PRÉSIDENT. — Personne ne demande plus la parole sur le chapitre des pièces d'acier fondu?...

Je prie Monsieur le Secrétaire de continuer la lecture.

M. DE GENNES (*lisant*). — *Essieux en acier.* — 1. *Procédé de fabrication.* — L'acier pour essieux doit être fabriqué par le procédé Martin-Siemens.

2. *Propriétés chimiques.* — Il y aura trois classes d'essieux d'acier qui doivent se conformer, quant à leur composition chimiques, aux limites suivantes :

	Essieux pour voitures, ma- chines, trucks et tenders	Essieux pour roues motrices (acier au car- bone) *	Essieux pour roues motrices (acier au nickel.)
	0/0	0/0	0/0
Phosphore ne dépassera pas.....	0,06	0,06	0,04
Soufre — —	0,06	0,06	0,04
Nickel — —	»	»	3,75

qui soit aussi long que l'essieu, en le renforçant d'un côté et à chaque bout, d'une manière égale, de sorte que, lorsqu'il est posé sur l'essieu, les parties renforcées reposent sur les cols ou les bouts de l'essieu et que le reste du réglet ne touche l'essieu nulle part. Ensuite, il faut mettre l'essieu en place pour l'essai, poser le réglet dessus, et mesurer l'espace entre le réglet et l'essieu au point central de celui-ci; alors, après le premier coup, placer le réglet de la même façon qu'auparavant sur l'essieu, qui se trouve alors courbé, et mesurer l'espace entre le réglet et le côté de l'essieu qui est le plus près du réglet et au point qui est le plus éloigné de celui-ci. La différence entre les deux mesurages dénote la flexion.

10. *Limite élastique apparente.* — La limite élastique apparente spécifiée au paragraphe 4 sera déterminée par l'observation exacte de la chute du levier ou de l'arrêt dans le manomètre de la machine à essayer.

11. *Echantillon pour l'analyse chimique.* — La tournure provenant de l'éprouvette de traction pour les essieux à roues motrices, ou les copeaux pris à moitié distance entre le centre et l'extérieur des essieux pour voitures, machines et trucks de tender, ou les copeaux du petit lingot à essai, si l'inspecteur le préfère, seront employés pour déterminer si la fusion n'excède pas les limites de la composition chimique spécifiées au paragraphe 2.

12. *Finissage.* — Les essieux doivent se conformer, en fait de grandeurs, de formes et de poids limitants, aux demandes spécifiées au contrat ou indiquées dans le dessin qui l'accompagne. Ils seront fabriqués et finis d'une manière conforme à l'usage des ouvriers et seront exempts de toute gerçure, couture ou soufflure préjudiciables. En centrant, on doit se servir de centreurs de 60°. Il faut qu'ils aient du jeu aux points, pour éviter que les centres du tour ne s'émoussent.

13. *Marque.* — Chaque essieu doit être marqué lisiblement du numéro de la coulée et des initiales du fabricant, aux endroits indiqués sur le dessin ou spécifiés par l'inspecteur.

14. *Inspection.* — Le fabricant accordera toutes les facilités convenables à l'inspecteur qui représente l'acheteur, pour que l'inspecteur puisse s'assurer que le produit fini est livré conformément au cahier des charges. Tous les essais et toutes les inspections s'effectueront au lieu de la fabrication et avant l'expédition.

M. ROUSSEL. — Je m'étonne qu'on spécifie pour la fabrication des essieux en acier le procédé Martin-Siemens. Il me semble qu'on devrait laisser le choix aux fabricants. (*Assentiment.*)

Les aciers doivent résister à des conditions déterminées; cela suffit. Nous n'avons pas à nous occuper des procédés employés pour les obtenir. (*Applaudissements.*)

M. LE BLANT. — Je m'étonne qu'on demande que l'essai de choc ait lieu au milieu de la pièce: c'est la partie qui travaille le moins. En service, les ruptures sont rares au milieu, c'est généralement la fusée ou la partie voisine qui casse.

De plus, comme dans le lingot on est souvent près de la poche de retassement, c'est l'extrémité de l'essieu qui correspond à la poche de retassement qui est la plus douteuse; c'est une raison de plus pour ne pas choisir le milieu à l'essai.

M. DEBRAY. — En somme, M. Le Blant propose de revenir à l'ancienne épreuve de l'escarpolette.

M. LE BLANT. — Je ne parle d'ailleurs qu'en mon nom personnel.

M. PELLETIER. — Si les Compagnies de chemins de fer demandent un procédé de fabrication, c'est justement parce que les méthodes d'essais, quelque perfectionnées qu'elles soient, sont susceptibles d'un certain aléa. On demande donc le procédé qui semble présenter le plus de garanties.

M. LE PRÉSIDENT. — Les fabricants doivent être libres de choisir leurs procédés.

Pourquoi le procédé Martin-Siemens, si d'autres sont aussi bons? Pourquoi, par une règle inflexible écarter un procédé qui sera inventé demain, et peut-être sera meilleur?

Je pense que nous serons tous d'accord pour demander à nos amis d'Amérique de ne pas insister pour que nous adoptions cette indication du procédé de fabrication. (*Applaudissements.*)

M. DE GENNES (*lisant*). — *Pièces d'acier forgées.* — 1. *Procédés de fabrication.* — L'acier pour pièces forgées sera fabriqué par les procédés Martin-Siemens, au creuset, ou Bessemer.

2. *Propriétés chimiques.* — Il y aura quatre classes de pièces d'acier forgées, qui se conformeront, quant à leur composition chimique, aux limites suivantes :

	Pièces forgées d'acier doux ou à petite teneur en carbone ‰	Pièces forgées d'acier doux au carbone non recuit ‰	Pièces forgées d'acier au car- bone trempé à l'huile ou recuit ‰	Pièces forgées d'acier au nickel trempé à l'huile ou recuit ‰
Phosphore ne dépassera pas.....	0,10	0,06	0,04	0,04
Soufre ne dépassera pas.....	0,10	0,06	0,04	0,04
Nickel ne dépassera pas.....	»	»	»	3,75

Propriétés physiques. — 3. *Essais de traction.* — Les minima des qualités physiques exigées dans les pièces forgées de grandeurs différentes de chaque classe seront comme suit :

Résistance de traction kilogrammes par mm. carré	Limite élastique apparente kilogrammes par mm. carré	Allongement ‰ sur 50 ^{cm} ,8	Striction ‰	
40,78	50,30	28	35	<i>Acier doux ou à petite teneur en carbone</i> Pour pièces forgées solides ou en creux, aucun diamètre ni épaisseur de section ne devant dépasser 25 ^{cm} ,4.
52,73	26,37	18	30	<i>Acier au carbone non recuit</i> Pour pièces forgées solides ou en creux, aucun diamètre ni épaisseur de section ne devant dépasser 23 ^{cm} ,4.
56,25	21,12	22	35	<i>Acier au carbone recuit</i> Pour pièces forgées solides ou en creux, aucun diamètre ni épaisseur de section ne devant dépasser 23 ^{cm} ,4. Pour pièces forgées solides aucun diamètre ne devant dépasser 50 ^{cm} ,8 ni épaisseur de section, 38 ^{cm} ,1. Pour pièces forgées solides de diamètre au-dessus de 50 ^{cm} ,8.
52,73	26,37	26	35	
49,22	24,61	24	30	<i>Acier au carbone trempé à l'huile</i> Pour pièces forgées solides ou en creux, aucun diamètre ni épaisseur de section ne devant dépasser 7 ^{cm} ,6. Pour pièces forgées de sections rectangulaires ne dépassant pas 15 ^{cm} ,24 d'épaisseur, ou pour pièces forgées en creux dont les parois ne dépassent pas 15 ^{cm} ,24 d'épaisseur. Pour pièces forgées solides de sections rectangulaires ne dépassant pas 23 ^{cm} ,4 d'épaisseur, ou pour pièces forgées en creux dont les parois ne dépassent pas 23 ^{cm} ,4 d'épaisseur.
63,28	38,67	20	45	
59,76	35,15	22	45	
56,25	31,64	23	50	<i>Acier au nickel recuit</i> Pour pièces forgées solides ou en creux, aucun diamètre d'épaisseur de section ne dépassant 23 ^{cm} ,4. Pour pièces forgées solides aucun diamètre ne dépassant 50 ^{cm} ,8, ni épaisseur de section ne dépassant 38 ^{cm} ,1. Pour pièces forgées solides de diamètre au-dessus de 50 ^{cm} ,8.
56,25	35,15	25	45	
56,25	31,64	25	40	
56,25	31,64	24	40	
66,79	45,70	21	50	<i>Acier au nickel trempé à l'huile</i> Pour pièces forgées solides ou en creux, aucun diamètre ni épaisseur de section ne devant dépasser 7 ^{cm} ,62. Pour pièces forgées solides de sections rectangulaires ne dépassant pas 15 ^{cm} ,24 d'épaisseur, ou pour pièces forgées en creux dont les parois ne dépassent pas 15 ^{cm} ,24 d'épaisseur. Pour pièces forgées solides de sections rectangulaires ne dépassant pas 23 ^{cm} ,5 d'épaisseur, ou pour pièces forgées en creux dont les parois ne dépassent pas 23 ^{cm} ,4 d'épaisseur.
63,28	42,19	22	50	
59,7	38,67	24	45	

4. *Essai de flexion.* — Une éprouvette de 25^{mm},4 sur 12^{mm},7 se courbera à froid à 180° sans fracture à l'extérieur de la partie courbée comme suit :

Autour d'un diamètre de 12^{mm},7 pour pièces forgées d'acier non trempé ;

Autour d'un diamètre de 38^{mm},1 pour pièces forgées d'acier au carbone non recuit ;

Autour d'un diamètre de 38^{mm},1 pour pièces forgées d'acier au carbone recuit, s'ils ont un diamètre de 50^{mm},8 ou au-dessus. Autour d'un diamètre de 25^{mm},4 pour pièces forgées d'acier au carbone recuit, s'ils ont un diamètre au-dessous de 50^{mm},8. Autour d'un diamètre de 25^{mm},4 pour pièces forgées d'acier au carbone trempé à l'huile ;

Autour d'un diamètre de 12^{mm},7 pour pièces forgées d'acier au nickel recuit.

Autour d'un diamètre de 25^{mm},4 pour pièces forgées d'acier au nickel trempé à l'huile.

5. *Eprouvettes et condition d'essai.* — *Eprouvette pour essai de traction.* — L'éprouvette tournée, type normal, ayant un diamètre de 12^{mm},7 et une longueur mesurée de 50^{mm},8 doit être employée pour déterminer les propriétés physiques spécifiées au paragraphe 3. Elle est représentée dans le dessin ci-joint.

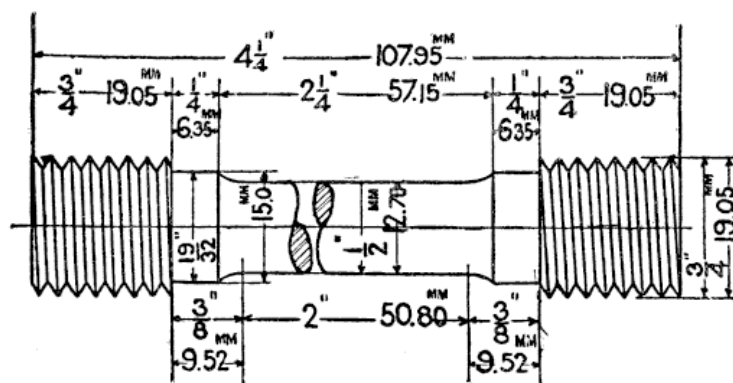


FIG. 15.

6. *Nombre et provenance des éprouvettes pour essais de traction.* — Le nombre des éprouvettes et la partie d'où elles seront tirées dans une fusion ou dans une pièce forgée dépendront du genre et de l'importance de la pièce forgée, et, pour cela, ils devront être réglés selon les cas. Les éprouvettes seront découpées à froid de la pièce forgée ou d'une prolongation ayant toute la grandeur de la pièce forgée, et elles seront parallèles à l'axe de la pièce forgée, et à moitié distance entre le centre et l'extérieur. Les éprouvettes seront longitudinales, c'est-à-dire, la longueur de l'éprouvette correspondra au sens dans lequel le métal est le plus étiré et travaillé. Lorsque les pièces forgées auront de grands bouts ou cols, les éprouvettes seront prises dans une prolongation du même diamètre que celui de la pièce forgée, derrière le grand bout ou col. Pour les arbres creux ou forgés ou forés, l'éprouvette sera prise dans la section finie prolongée, à moitié distance entre les surfaces intérieure et extérieure des parois de la pièce forgée.

7. *Eprouvette pour essai de flexion.* — L'éprouvette pour l'essai de flexion, de 25^{mm},4 sur 12^{mm},7, sera découpée de la façon spécifiée au paragraphe 6. L'essai de flexion pourra se faire par la pression ou par des coups.

8. *Limite élastique apparente.* — La limite élastique apparente spécifiée au paragraphe 3 sera déterminée par l'observation exacte de la chute du levier ou de l'arrêt dans le manomètre de la machine à essayer.

9. *Limite d'élasticité proportionnelle.* — La limite d'élasticité proportionnelle spécifiée au paragraphe 5 sera déterminée au moyen d'un extensomètre qui sera attaché à l'éprouvette de façon à indiquer le changement dans la raison de l'extension sous une raison uniforme de chargement, et sera prise au point où la proportionnalité change.

10. *Echantillon pour analyse chimique.* — La tournure provenant de l'éprouvette pour l'essai de traction, ou les copeaux de l'éprouvette à courber, ou du petit lingot à essai, si l'inspecteur le préfère, seront employés pour déterminer si l'acier dépasse ou ne dépasse pas, quant à sa composition chimique, les limites spécifiées au paragraphe 2.

11. *Finissage.* — Les pièces forgées devront être exemptes de gerçures, de soufflures, de bavures et d'autres imperfections préjudiciables, et se conformeront aux dessins fournis par l'acheteur, et devront être fabriquées et finies d'une façon conforme à l'usage des ouvriers.

12. *Inspection.* — Le fabricant accordera toutes les facilités convenables à l'inspecteur qui représente l'acheteur, pour que l'inspecteur puisse s'assurer que le produit fini est livré conformément au cahier des charges. Tous les essais et toutes les inspections s'effectueront au lieu de la fabrication et avant l'expédition.

M. LE PRÉSIDENT. — Je constate que les essais indiqués dans ce chapitre ne diffèrent pas sensiblement de ceux indiqués dans le chapitre précédent.

Il y a là une série de prescriptions se rapportant aux différentes qualités d'acier. A première vue, il ne me paraît pas nécessaire d'entrer ici dans les détails; chacun de nous pourra les étudier à loisir. (*Assentiment.*)

M. DE GENNES (*lisant*). — *Bandages d'acier.* — 1. *Procédés de fabrication.* — L'acier pour bandages pourra être fabriqué par les procédés Martin-Siemens ou au creuset.

2. *Propriétés chimiques.* — Il y aura trois classes de bandages d'acier, qui seront conformes, quant à leur composition chimique, aux limites suivantes :

3. *Propriétés physiques.* — *Essais de traction.* — Les minima des qualités physiques requises dans chacune des trois classes de bandages d'acier seront comme suit :

4. *Essais au choc.* — Dans le cas où le contrat exigerait un essai au choc, un bandage à éprouve de chaque fusion devra être fourni aux dépens de l'acheteur, pourvu que le bandage soutienne l'épreuve. Ce bandage à éprouve devra soutenir l'essai au choc décrit au paragraphe 7, sans cassure ni fêlure, et montrer un minimum de flexion égal à $D^2 = (40T^2 + 2D)$. La lettre D représente le diamètre intérieur et la lettre T l'épaisseur dans le bandage au milieu de la surface de roulement.

5. *Éprouvettes et conditions d'essai.* — *Éprouvette pour essai de traction.* — L'éprouvette tournée, type normal, ayant un diamètre de 12^{mm},7 et une longueur mesurée de 50^{mm},8, doit être employée pour déterminer les propriétés physiques spécifiées au paragraphe 3. Elle est représentée dans le dessin ci-joint.

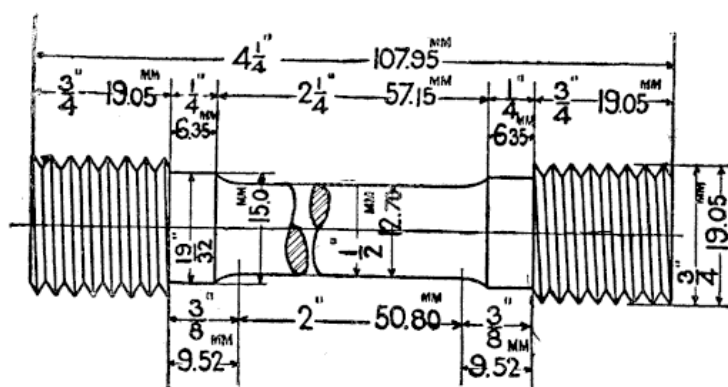


FIG. 16.

6. *Provenance de l'éprouvette pour essai de traction.* — Lorsque l'essai au choc est spécifié, l'éprouvette susdite sera découpée à froid dans le bandage éprouvé, à l'endroit le moins affecté par l'essai au choc. Si le diamètre du bandage est tel que toute la circonférence du bandage soit gravement affectée par l'essai au choc, ou qu'aucun essai au choc ne soit exigé, l'éprouvette sera forgée d'un lingot fondu à cet effet lors de la fusion; ce lingot à essai sera soumis autant que possible à la même proportion de réduction que les lingots avec lesquels sont fabriqués les bandages.

7. *Description de l'essai au choc.* — Le bandage à essai sera placé au-dessous du pilon, en position verticale pour rouler, et sur une base solide du poids de 10.160 kilogrammes au moins, et il sera soumis à des coups successifs d'un mouton pesant 1.016 kilogrammes, qui tombe de hauteurs grandissantes jusqu'à ce que la flexion exigée soit réalisée.

8. *Echantillon pour analyse chimique.* — La tournure provenant de l'éprouvette à essai, de traction, ou les copeaux du petit lingot à essai, ou ceux du bandage, si l'inspecteur le préfère, seront employés pour déterminer si la fusion n'excède pas les limites de la composition chimique, spécifiées au paragraphe 2.

9. *Finissage*. — Tous les bandages devront être exempts de gerçures, de soufflures et de toute autre imperfection préjudiciable, et devront être conformes aux dimensions indiquées dans les dessins fournis par l'acheteur.

10. *Marque*. — Les bandages seront marqués de la marque du fabricant et d'un numéro, de telle façon que chaque bandage puisse être identifié.

11. *Inspection*. — Le fabricant accordera toutes les facilités convenables à l'inspecteur qui représente l'acheteur, pour que l'inspecteur puisse s'assurer que le produit fini est livré conformément au cahier des charges. Tous les essais et toutes les inspections s'effectueront au lieu de la fabrication et avant l'expédition.

M. ROUSSEL. — Je n'insisterai pas sur la question de composition chimique; nous l'avons discutée suffisamment.

Toutefois, je rappelle que les bandages en acier trop phosphoreux sont d'un usage dangereux. Aux Chemins de fer de l'État Belge, nous avons eu à déplorer, de ce chef, des accidents qui ont coûté la vie à plusieurs personnes.

Comme je l'ai dit, en combinant l'essai au choc avec la teneur en carbone, on peut délimiter le dosage du phosphore, toujours délicat.

Quant aux essais de résistance, je crois que l'essai sur éprouvettes peut également se supprimer. Il est très difficile de découper une éprouvette dans un bandage et les résultats ne sont guère en rapport avec le but à atteindre.

Les essais les plus intéressants sont ceux au choc. Comme ils n'avaient pas été bien déterminés, j'ai été amené à les déterminer moi-même, et je l'ai fait de la façon suivante.

Grâce à l'obligeance de M. Greiner, j'ai pu obtenir des bandages de diamètres différents provenant d'acier de même coulée, travaillé dans des conditions aussi identiques que possible.

La moitié de ces bandages a été soumise à une pression, et j'ai relevé les flèches correspondant aux charges; j'ai obtenu ainsi des diagrammes remarquables qui m'ont permis de régler les essais de choc.

J'ai constaté que les bandages de même section, mais de diamètres différents, donnent, pour une même déformation, un même travail kilogrammétrique. Bien entendu, chaque diagramme est d'allure différente; mais si, pour une déformation déterminée, on fait l'intégration de la surface du diagramme, on obtient le même résultat, quel que soit le diamètre du bandage à section égale.

Je crois donc qu'en ce qui concerne le bandage l'essai de choc s'impose. S'il est fait dans de bonnes conditions, conjointement à quelques dosages de carbone, on peut être assuré d'éliminer les bandages en acier trop phosphoreux et de ne conserver que ceux résistant suffisamment aux besoins du service. (*Applaudissements*.)

M. GROBOT. — La méthode d'Eggertz ne peut pas donner des résultats absolument comparables au-dessus de 0,003 et demi, d'après ce que nous avons constaté. Suivant que le métal est fini à une certaine température ou recuit d'une façon ou de l'autre, la méthode d'Eggertz donne des résultats discordants, différant jusqu'à 30 0/0.

M. ROUSSEL. — Je sais que la méthode n'est pas parfaite; mais, en imposant une teneur minima suffisante pour les bandages, on est à l'abri des incertitudes d'appréciation: ainsi nous avons imposé 3 millièmes; d'après les conditions de réception au choc et d'après les flèches, les fabricants sont obligés de nous donner 40 ou 45. C'est une simple indication, mais qui suffit. M. Greiner pourra vous donner de plus amples renseignements sur ce point.

M. GROBOT. — C'est seulement contre le principe que je m'élevais.

M. CONSIDÈRE. — Il résulte de cette discussion que le phosphore est l'ennemi, à bien des points de vue, et son danger se manifeste soit par la vivacité d'un choc, soit par suite de l'éclouissage.

Or, l'essai de bandage peut être conduit de façon à porter ces deux dangers au maximum ou, au contraire, à les réduire beaucoup?

Si l'on fait tomber un marteau très lourd d'une hauteur très faible, on a un phénomène qui se rapproche plus ou moins de la presse hydraulique.

Si, au contraire, on augmente la hauteur en diminuant le poids de manière à donner la même force vive, on accentue les deux caractères dangereux au point de vue de la fragilité.

Je serais donc porté à recommander une grande hauteur de chute et un poids réduit, d'autant plus que les chocs auxquels les bandages sont soumis en service n'entraînent pour ainsi dire aucune flexion.

Ils sont maintenus dans les centres et ne peuvent pas fléchir de façon que la rupture vient exactement de la qualité du choc, de la dureté du métal ou de l'écrasement qui peut résulter des différentes actions qui s'exercent.

M. LE PRÉSIDENT. — Je prierai les orateurs de limiter leurs considérations; car cette question est plutôt du ressort du Congrès des Chemins de fer et ne concerne que les consommateurs et les spécialistes. Nous n'avons à nous occuper que des méthodes d'essais en général. (*Assentiment.*)

Maintenant, en ce qui concerne les bandages d'acier, vous remarquerez que la différence entre nos vues et celles des Américains consiste en ce que ceux-ci ne semblent pas attacher une grande importance aux essais de choc. Au contraire, sur le continent, nous pensons que c'est l'épreuve qui donne le plus de sécurité.

M. HENNING. — C'est une question qui n'a pas été assez étudiée aux États-Unis!

M. HOWE. — Je viens d'entrer dans la salle, et je n'ai pas pu entendre lecture de la déclaration qui a été faite sur l'origine des spécifications américaines.

Je serais obligé à M. le Président de vouloir bien en donner une nouvelle lecture.

M. LE PRÉSIDENT. — « Je vous prie d'annoncer que ces spécifications sont seulement les propositions des aciéries et des fabricants américains et non pas des ingénieurs qui n'ont pas pris part dans les consultations.

Signé : « HENNING. »

M. HOWE. — Je tiens à affirmer que ces spécifications sont le résultat des délibérations les plus consciencieuses d'ingénieurs et fabricants des plus distingués des États-Unis; nous ne prétendons pas, naturellement, que notre appréciation fasse autorité; mais nous désirons qu'il n'y ait pas de doute sur les origines.

C'est une erreur de dire que les ingénieurs n'ont pas été consultés. Le comité qui a rédigé ces spécifications se composait de 34 membres, dont 17 sont fabricants et 17 ingénieurs, ou professeurs ou consommateurs des plus distingués.

Voici la liste de ces membres, que j'ai l'honneur de remettre à M. le Président :

Professeurs : William H. Burr, Professor of Civil Engineering, Columbia University, New York (N. Y.);

John B. Johnson, Dean of College of Mechanics and Engineering, University of Wisconsin, Madison (Wis.);

Edgar Marburg, Professor of Civil Engineering, University of Pennsylvania, Philadelphia (Pa.);

Ingénieurs : Wm. R. Webster, Consulting and Inspecting Engineer, 411, Walnut Street, Philadelphia (Pa.);

Frank C. Osborn, C. E. The Osborn Co, Civil Engineers, Cleveland (Ohio);

Robert W. Hunt and Co, Inspecting and Testing Engineers, Chicago (Ill.);

J. A. L. Waddell, Civil and Consulting Engineer, Kansas City (Mo.);

Henry B. Seaman, Civil and Consulting Engineer, 40, Wall Street, New York (N. Y.);

J. Allen Colby, Inspecting Engineer, Witherspoon Building, Philadelphia (Pa.);

Consommateurs d'acier : Baldwin Locomotive Works, Philadelphia (Pa.) : H. V. Wille, M. E. Engineer of Test;

Pennsylvania Railroad, Philadelphia (Pa.) : Joseph T. Richards, Engineer, Maintenance of Way;

Chicago, Burlington and Quincy Railroad, Aurora (Ill.) : Max H. Wickhorst, Engineer of Tests;

Norfolk and Western Railway Co, Roanoke (Virginia) : Charles S. Churchill, Engineer, Maintenance of Way;

Pencoyd Iron Works, Bridge Manufacturers, Pencoyd (Pa.) : James Christie, Chief Mechanical Engineer;

Phoenix Bridge Co, Phoenixville (Pa.) : John Sterling Deans, Bridge Engineer;

City of Philadelphia, City Hall, Philadelphia (Pa.), Samuel Tobias Wagner, C. E. First Assistant Engineer;

Sociétés scientifiques : Franklin Institute : D^r Wm. H. Wahl, Secretary, Philadelphia (Pa.);

Fabricants d'acier : Carnegie Steel C^o : John McLeod, Assistant to President, Pittsburg (Pa.);

Pennsylvania Steel C^o, Steelton (Pa.) : H. H. Campbell, General Manager;

Jones and Laughlins, Ltd. : W. L. King, Secretary, Pittsburg (Pa.);

Illinois Steel C^o, Chicago (Ill.) : P. E. Carhart, Inspecting and Testing Engineer;

Bethlehem Steel C^o, South Bethlehem (Pennsylvania). A. L. Colby, Metallurgical Engineer and Maunsel White, Engineer of Tests;

Cambria Steel C^o, Johnstown (Pa.); Charles S. Price, General Manager, and George E. Thackeray, Constructing Engineer;

Lukens Iron and Steel C^o, Coatesville (Pa.) : Charles L. Huston, President;

Central Iron and Steel C^o, Harrisburg (Pa.) : G. M. McCauley, General Manager;

Colorado Fuel and Iron C^o, Denver (Colorado) : J. A. Kebler, General Manager;

National Tube C^o, Pittsburg (Pa.);

American Steel and Wire C^o, Worcester (Mass.) : Frederick H. Daniels, Chief Engineer;

J. A. Roebling Sons C^o, Trenton (New Jersey) : J. A. Janeway, Mechanical Engineer;

American Iron and Steel Manufacturing C^o, Lebanon (Pa.) : Arthur Brock, President;

Standard Steel Works, Burnham (Pa.) : A. A. Stevenson, M. E. Engineer;

Reading Iron C^o, Danville (Pa.) : David Thomas, Assistant Superintendent;

R. D. Wood and C^o, Philadelphia (Pa.) : Walter Wood, Vice-President;

Shelby Tube C^o, Shelby (Ohio) : A. G. Morse, Superintendent.

M. LE PRÉSIDENT. — Dans une question aussi importante, il n'est pas étonnant qu'il y ait des dissidents, et il y en a toujours, aussi bien dans les questions techniques que morales.

Ce que vient de dire M. Howe prouve que nous n'avons pas produit un travail inutile en examinant ce qui a été fait.

Nous ne devons pas nous arrêter davantage à cet incident, tout en reconnaissant qu'il y a un fond de vérité dans ce qui vient d'être dit.

Je vous propose de laisser de côté cette querelle de ménage et de continuer notre discussion. (*Applaudissements.*)

En conséquence, sous le bénéfice de ce que vient de dire M. le professeur Howe, je prie M. le Secrétaire de nous donner lecture de ce qui concerne les rails d'acier.

M. DE GENNES (*lisant*). — *Rails d'acier.* — 1. *Procédés de fabrication.* — a) L'acier sera fabriqué par les procédés Bessemer ou Martin-Siemens;

b) Tout le procédé de la fabrication et de l'essayage sera conforme à la meilleure méthode en usage, et on aura bien soin de se conformer aux instructions suivantes;

c) Les lingots devront être maintenus en position verticale dans les fours à lingots;

d) Aucun lingot saigné (creux) ne devra être employé;

e) On enlèvera suffisamment de matière de la partie supérieure pour que les rails soient sains.

2. *Propriétés chimiques.* — Les rails des poids différents en kilogrammes par mètre, et spécifiés ci-dessous, devront être conformes, quant à leur composition chimique, aux limites suivantes :

	24,892 à 29,266+ p/o	29,763 à 31,228+ p/o	34,723 à 39,188+ p/o	39,683 à 44,148+ p/o	44,645 à 49,605+ p/o
Carbone.....	0,35 à 0,45	0,38 à 0,48	0,40 à 0,50	0,43 à 0,53	0,45 à 0,55
Phosphore ne dépassera pas.	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Silicium ne dépassera pas...	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Manganèse	0,70 à 1,00	0,70 à 1,00	0,75 à 1,05	0,80 à 1,10	0,80 à 1,10

3. *Propriétés physiques.* — Un seul essai au choc sera fait sur un fragment de rail n'excédant pas 1^m,83 de long, choisi dans cinq fusions d'acier. Le rail sera placé, la tête

en haut, sur les supports, et ses différentes sections seront soumises aux essais de choc suivants :

Poids de rails (Kilogr. par mètre)	Hauteur de la chute (Mètres)
22.322 à 27.282 incl.....	4,572
Plus de 27.282 à 32.242 —	7,877
— 32.242 à 37.204 —	5,182
— 37.204 à 42.164 —	5,486
— 42.164 à 49.605 —	5,791

Si un rail soumis à l'essai au choc se rompt, deux essais de plus seront faits avec d'autres rails de la même fusion d'acier, et, si l'un ou l'autre de ces derniers ne réussit pas, tous les rails de la fusion qu'ils représentent seront rejetés; mais, si ces deux fragments supplémentaires supportent l'épreuve, tous les rails de la fusion qu'ils représentent seront acceptés. Si les rails provenant de la fusion éprouvée sont rejetés, faute de remplir les conditions de l'essai au choc ci-dessus spécifiées, deux autres rails seront soumis aux mêmes essais, l'un de la fusion qui précède immédiatement celle-là et l'autre de celle qui la suit immédiatement. Dans le cas où le premier essai de la fusion précédente ou de celle qui suit ne réussirait pas, deux essais supplémentaires seront faits avec la même fusion d'acier, dont l'acceptation ou le rejet sera déterminé d'après les spécifications ci-dessus; et, si les rails de la fusion précédente ou de la suivante sont rejetés, des essais semblables pourront être faits avec les fusions précédentes ou celles suivantes, selon les cas, jusqu'à ce que tout le groupe des cinq fusions soit essayé, s'il est nécessaire.

L'acceptation ou le rejet de tous les rails de n'importe quelle fusion dépendront du résultat des essais auxquels ils seront soumis.

Eprouvettes et conditions d'essai. — 4. *Machines pour essais au choc.* — La machine pour les essais au choc devra être pourvue d'un mouton pesant 908 kilogrammes, dont la face percutante aura un rayon ne dépassant pas 127 millimètres, et le rail à essai sera placé, la tête en haut, sur des supports solides espacés de 0^m,914. L'enclume devra peser au moins 9^l,072, et les supports feront partie de l'enclume ou y seront fermement attachés.

5. *Echantillon pour analyse chimique.* — Le fabricant devra fournir chaque jour à l'inspecteur les déterminations en carbone de chaque fusion, et une analyse chimique complète toutes les vingt-quatre heures. Cette analyse représentera la moyenne des autres éléments contenus dans l'acier. Ces analyses se feront avec des forures prises dans un petit lingot à essai.

Finissage. — 6. *Section.* — A moins d'autres spécifications, la section de rail sera du type normal américain, qui est recommandé par la Société américaine des Ingénieurs civils, et se conformera aussi exactement que possible au modèle que la Compagnie des chemins de fer doit fournir, conformément au paragraphe 7, par rapport au poids spécifié. Quant à la hauteur du rail, une variation de 0^{mm},397 de moins et de 0^{mm},79 de plus que la hauteur spécifiée, sera permise. Néanmoins, un parfait ajustement des plaques à jonction sera toujours maintenu.

7. *Poids.* — Après avoir suivi les instructions du paragraphe 6, on maintiendra le poids des rails, autant que possible, égal à celui qui est spécifié dans le contrat. Une variation de la moitié de 1 0/0 dans une commande entière sera permise. Les rails seront acceptés et payés selon les poids actuels.

8. *Longueur.* — La longueur normale des rails sera de 9^m,144. Des longueurs moins grandes, variant par 0^m,305 jusqu'à 7^m,31,5 seront acceptées dans la proportion de 10 0/0 de toute la commande. Une variation de 6^{mm},35 de la longueur spécifiée sera permise.

9. *Forage.* — Des trous circulaires pour les plaques à jonction seront percés conformément aux spécifications de l'acheteur. Les trous seront conformes de tout point aux dimensions et au dessin fournis, et devront être exempts de barbes.

10. *Finissage.* — Les rails seront dressés à froid, auront la tête lisse, seront sciés à angle droit aux extrémités; et, avant leur expédition, la barbe occasionnée par la scie sera enlevée, et les extrémités seront nettoyées. Les rails de première qualité (n° 1) devront être exempts de toute soufflure et de tout défaut préjudiciable.

11. *Marque.* — Le nom du fabricant, le mois et l'année de fabrication seront imprimés lors du laminage, en lettres saillantes, sur le côté de la tige, et le numéro de la fusion sera marqué sur chaque rail.

12. *Inspection.* — Le fabricant accordera toutes les facilités convenables à l'inspecteur qui représente l'acheteur, pour que l'inspecteur puisse s'assurer que le produit fini est livré conformément au cahier des charges. Tous les essais et toutes les inspections s'effectueront au lieu de la fabrication et avant l'expédition.

13. *Rails de deuxième qualité* (n° 2). — Les rails qui ont des défauts physiques préjudiciables, ou qui, pour quelque autre cause, ne peuvent pas passer pour des rails de première qualité (n° 1), seront considérés comme de deuxième (n° 2), pourvu, cependant, que les rails qui ont des imperfections qui diminuent sérieusement leur résistance soient rejetés. Les bouts de tous les rails de deuxième qualité seront peints pour les distinguer.

M. FOULON. — Pour les rails d'acier, on a prévu simplement l'essai au choc et les essais chimiques, on a supprimé les essais de traction qui se font pour les bandages et autres pièces d'acier.

Nous avons l'habitude, en Europe, de faire continuellement des essais de traction; il serait imprudent de les supprimer et de les remplacer par des essais au choc. Cette opinion s'appuie sur ce qui a été dit de l'insuffisance des essais simplement chimiques, il y aurait donc lieu, outre l'essai au choc, de maintenir les essais de traction comme nous les faisons.

M. LE PRÉSIDENT. — L'essai au choc constitue, jusqu'à un certain point, un essai de traction, peut-être pourrait-on compléter les spécifications que les ingénieurs américains proposent ici en demandant une flèche de tant pour un poids de tant.

M. FOULON. — Peut-être, en effet, y aurait-il quelque chose à faire en ce sens.

M. LE PRÉSIDENT. — Dans la fabrication des rails, on ne s'arrête pas à essayer chaque pièce; il faut aller vite. Si donc on faisait chaque jour des essais au choc et des mesurages des flèches obtenues, on aurait sinon une indication précise de l'allongement du métal, au moins une indication suffisante qui satisferait et le fabricant et le réceptionnaire.

M. FOULON. — C'est, d'ailleurs, la raison principale qu'on avait donnée. C'est en faveur du fabricant qu'on demande la suppression des essais de traction.

M. LE PRÉSIDENT. — Non, le fabricant ne demande pas la suppression de ces essais; mais il aime à satisfaire aux conditions acceptables que lui fixe le réceptionnaire. Or, toute simplification est un avantage pour tous deux.

M. ROUSSEL. — J'estime également qu'on peut supprimer les essais de traction pour les rails et les remplacer par l'imposition d'une flèche pour un choc déterminé.

On n'attache pas toujours une grande importance à la longueur du bout du rail qu'on soumet au choc.

Supposons qu'il s'agisse d'une longueur de 1 mètre entre appuis pour un rail de 6 à 9 mètres, les bouts restent naturellement d'une longueur très variable. Lorsque la longueur totale du bout de rail essayé dépasse 4 ou 5 mètres, les deux sections doivent être considérées comme sections d'encastrement; c'est la flexion d'une pièce encastrée aux deux extrémités. Si, au contraire, on met, sur les deux appuis, un bout de rail de 3 ou 4 mètres, c'est le cas de la pièce simplement appuyée sur deux appuis. Mais je n'insiste pas, j'appelle seulement votre attention sur ce point.

M. BELELUBSKY. — En Russie, la longueur des pièces à essayer est prévue. J'appelle l'attention du Congrès sur cette intéressante question.

Dans les conditions russes, suisses, autrichiennes et allemandes, il y a toujours pour les rails des essais faits à la flexion avec un poids correspondant à la limite élastique. Il n'en est pas question ici.

M. LE PRÉSIDENT. — A l'origine, on essayait toujours les rails à la flexion; il en était encore ainsi il y a vingt-cinq ans. Plus tard les fabricants ont constaté que les chemins de fer ont peu à peu supprimé ces essais, sans que je sache bien pourquoi.

M. BELELUBSKY. — En Bavière, tout récemment, en Suisse, en Autriche, on a demandé des essais à la flexion avec la charge correspondant à la limite élastique.

M. LE PRÉSIDENT. — C'est un essai pratique et rapide; mais les dernières prescriptions de Sandberg, dont l'opinion fait autorité par l'énorme quantité de rails qu'il a inspectés dans tous

les pays du monde, se résument presque exclusivement à des essais de choc. Sandberg demande des essais chimiques pour servir de première indication, mais c'est l'essai de choc qui, pour lui, est le déterminant de la qualité du rail, et je trouve qu'il a parfaitement raison.

M. RYCERSKI. — Il serait bon de tenir compte de la température, surtout dans les pays froids.

En Russie, les essais de flexion se font toujours à une température bien déterminée. Je ne vois rien d'indiqué sur ce point dans le travail américain.

Pour moi, j'ai fait beaucoup d'épreuves et j'ai trouvé, suivant la température, de grandes différences. Aux États-Unis, cependant, la température climatérique est très variée.

M. LE PRÉSIDENT. — Les observations de M. Rycerski sont très importantes et je partage ses opinions à propos de l'influence de la température sur les résultats d'essais.

M. CONSIDÈRE. — La résistance à l'usure est capitale pour les rails ; mais c'est là une grosse question, je me borne à la poser.

M. LE PRÉSIDENT. — Nous la laisserons, si vous le voulez bien, pour le Congrès des Chemins de fer. Nous sommes ici sur un terrain qui n'est pas tout à fait le nôtre.

M. ZANOTTA. — Une qualité essentielle de bons rails, c'est l'homogénéité ; or, ce défaut d'homogénéité ne peut pas toujours être révélé par les essais mécaniques. Sans avoir recours à l'analyse chimique, il me semble qu'il serait bon de recourir à l'épreuve préconisée par M. Tetmayer et plusieurs ingénieurs autrichiens.

Nous avons nous-même essayé des rails qui donnaient de bons résultats au point de vue mécanique et qui se sont brisés après peu d'années de service. La cause essentielle de rupture était un défaut d'homogénéité. Les essais auxquels je fais allusion sont faciles et peu coûteux, ils consistent dans la corrosion à l'acide ; je les recommande aux ingénieurs chargés de réceptions.

M. DEBRAY. — Il y a aussi les essais macrographiques dont il a été question à la première séance à propos du rapport de M. Frémont. Ces essais peuvent être complétés par des essais de flexion ou de choc, comme ceux que M. Frémont préconise ; mais je me permets de rappeler l'observation faite par M. le Président, à savoir que nous parlons là d'essais sur matériaux ayant une affectation spéciale, ressortissant à des Congrès spéciaux, comme celui des Chemins de fer. (*Assentiment.*)

M. ZANOTTA. — Il était question de rails d'acier ; j'ai cité la corrosion comme étant une méthode d'essai, ce qui est bien de notre compétence.

M. LE PRÉSIDENT. — Il en sera tenu compte au procès-verbal.

M. BELELUBSKY. — En Bavière, en Suisse, en Autriche, les essais à l'acide se pratiquent récemment.

M. LE PRÉSIDENT. — Je vous propose de nous en tenir là de notre examen. L'heure presse, et nous avons déjà accompli une longue tâche. (*Assentiment.*)

M. DE GENNES. — Je demande la permission de lire un rapport fait en mon nom personnel et qui n'a pas encore été imprimé.

M. Albert Ladd Colby a présenté tout à l'heure au Congrès un important travail, qu'un Comité américain, représentant tous les intérêts mis en jeu par la fabrication du fer et de l'acier, se propose de faire réglementer aux États-Unis, en octobre prochain, et il a bien voulu demander aux Membres du Congrès de faire un examen critique de son œuvre pour tenir compte, s'il y a lieu, des observations présentées.

J'ai eu l'honneur de lire un résumé en français de ce travail, au nom de M. Colby.

Je prends maintenant la parole, à titre de membre individuel, pour lui adresser une remarque et la soumettre à son attention et à celle du Comité qu'il représente.

Les spécifications présentées sont destinées d'abord aux États-Unis, et le Comité ci-dessus désigné espère qu'elles serviront de base à une entente internationale.

À ces deux titres, nous estimons qu'elles pourraient recevoir une importante amélioration, qui consisterait à prendre comme base le système métrique.

En effet, les chiffres de la brochure de M. Colby qui fixent les dimensions des éprouvettes sont, en nombres ronds, d'un système suranné, pieds, pouces, livres par pouce carré, etc., et l'on trouve en regard les mesures internationales en mètres, kilogrammes, etc.

Or, dans un voyage que nous venons de faire aux États-Unis, nous avons constaté que partout, dans le monde industriel, on désirait vivement l'adoption du système métrique, que certains ateliers ont même déjà mis en pratique pour leur usage personnel, tellement il simplifie le travail. Son adoption générale est une question de peu d'années, peut-être même de mois.

Les Américains ont donc tout intérêt à ne pas refaire leur travail une seconde fois et reprendre de nouvelles habitudes au moment où ce fait s'accomplira.

D'autre part, si, comme ils le désirent, leur travail doit servir de base à une entente internationale, la première chose qui s'imposera pour cette dernière sera de prendre un système international, c'est-à-dire le système métrique : et alors, de deux choses l'une :

Ou on écartera *a priori* leurs propositions, comme ne présentant pas des nombres internationaux d'adoption immédiatement possible ;

Ou on adoptera leurs conclusions, mais en modifiant leurs chiffres, et ils seront encore obligés de faire le changement si difficile que nous énoncions plus haut.

Pour ces diverses raisons, nous sommes persuadé que le Comité américain, avec le sens pratique de sa nation, s'épargnerait un travail ultérieur considérable et difficile, s'il faisait, *avant* d'adopter une base, ce que la nécessité des choses le forcera inéluctablement à faire *après*, et s'il prenait en considération la proposition suivante :

« Prendre dès maintenant comme chiffres types des nombres ronds du système métrique, « faciles à présenter à une entente internationale, quitte à employer pour eux-mêmes, pendant « l'espace de temps très court, espérons-le, qui les sépare de l'adoption du système métrique, « les chiffres ainsi adoptés traduits en chiffres de mesures actuellement en usage chez eux. »

Il sera nécessaire, il est vrai, de modifier les machines d'essai actuelles ; mais il faudrait le faire un peu plus tard, et cette modification sera évitée aux nouvelles machines dont une réglementation uniforme ne manquera pas de généraliser l'emploi.

Ainsi, tout en rendant service aux autres, ils s'épargneront à eux-mêmes du Travail et du Temps, ces deux facteurs de l'industrie moderne, et joindront ensemble, pour la plus grande utilité pratique, leur devise de : « Go ahead! », et la nôtre : « Prévoir et préparer ».

M. DE GENNES. — Je prendrai maintenant la parole pour lire les observations de M. Colby :

M. COLBY dit : « Au moment où cette discussion va se terminer, je tiens à répondre quelques mots aux critiques d'après lesquelles les spécifications proposées présenteraient des exigences trop nombreuses et trop sévères, spécialement en ce qui concerne la limite élastique, pour laquelle des chiffres assez élevés sont demandés dans certains cas.

D'autres orateurs ont déclaré, de leur côté, qu'à leurs yeux les conditions d'analyse chimique qui sont imposées dans dix de ces spécifications devraient être écartées.

En général, je puis dire que je suis entièrement d'accord avec les auteurs de ces critiques, car je suis fermement convaincu, d'après une expérience personnelle déjà longue, que les industriels américains fourniraient des aciers de qualité aussi bonne si les prescriptions d'analyse chimique étaient écartées desdits cahiers des charges visés.

C'est là, du reste, l'opinion admise par nombre d'ingénieurs que, dans l'état présent de la métallurgie de l'acier, une grande partie des conditions imposées par les spécifications existantes sont réellement superflues.

Cependant, les métallurgistes américains sont si désireux, toutefois, de voir des spécifications uniformes adoptées dans toute l'Amérique qu'ils ont tenu à se mettre d'accord avec ces ingénieurs dans la rédaction des spécifications dont le texte intégral est joint à ma communication, et ils ont consenti à y faire figurer toutes les conditions actuellement imposées, et cependant j'ai tout lieu de penser que, d'après la discussion qui vient d'avoir lieu ce matin, les industriels étrangers se refuseraient d'aller aussi loin.

Je remercie M. de Gennes d'avoir bien voulu rappeler aux Américains que, s'ils désirent voir leurs spécifications adoptées comme base des décisions internationales, et, d'une façon générale, s'ils tiennent à les voir appliquer par les industriels étrangers, il faut absolument qu'ils consentent à modifier légèrement leurs types d'éprouvettes de façon à les faire rentrer dans le système métrique.

Il serait, du reste, facile d'effectuer ce changement, puisqu'il suffirait de modifier légèrement les types de 2 et de 8 pouces pour les amener à représenter un nombre exact de millimètres sans aucune fraction, comme c'est le cas présentement.

Je suis certain que les industriels et ingénieurs américains consentiraient avec plaisir à cette modification, si elle devait assurer l'adoption de ces spécifications comme base de l'unification internationale.

L'un des orateurs ayant pris part à la discussion a parlé des dangers que peut présenter l'emploi d'aciers ayant une limite élastique trop élevée.

En Amérique, nous employons volontiers pour les moulages et les pièces de forge des aciers plus carburés qu'on ne le fait souvent dans les autres pays, et nous avons reconnu, d'ailleurs, par une expérience prolongée, que ces aciers fortement carburés, que nous avons toujours, d'ailleurs, le soin de recuire convenablement, nous donnent des pièces capables de supporter des chocs répétés.

M. le Président a bien voulu nous accorder cette séance entière pour la discussion des spécifications présentées par ma communication, et, sans vouloir vous retenir plus longtemps, je tiens cependant à exprimer tous mes remerciements à M. le Président, à M. le Secrétaire et aux personnes qui ont pris part à la discussion, car toutes les observations présentées sont d'un grand intérêt pour nous, et nous en tiendrons le plus grand compte dans la discussion finale que nous aurons en Amérique sur ces spécifications, pour en déduire des décisions qui devront devenir d'un usage général dans notre pays. »

Je vais traduire, en résumant tant bien que mal :

On a présenté plusieurs critiques aux spécifications américaines, notamment qu'elles étaient trop sévères, surtout pour la limite élastique. On a dit aussi que l'analyse chimique pourrait être abandonnée. Je suis complètement de cet avis, je suis convaincu que les fabricants pourraient fournir d'aussi bon acier sans qu'on leur impose ces exigences.

Je suis également d'accord avec M. de Gennes pour l'adoption du système métrique ; personnellement, je fais tous mes efforts pour sa propagation en Amérique, et je préconiserai, à la réunion d'automne, l'adoption de mesures en nombres ronds du système métrique pour les spécifications à adopter.

L'un des membres du Congrès a parlé du danger qu'il y avait à demander une limite élastique trop haute ; en Amérique, nous préférons nous servir d'acier chargé de carbone et recuit avec soin, aussi bien pour la fonte que pour le forgeage.

Nous sommes convaincus que cela nous permet d'obtenir un acier plus capable de résister aux efforts répétés.

Au nom des ingénieurs et fabricants américains, je remercie les membres du Congrès pour les judicieuses critiques qu'ils ont bien voulu faire aux spécifications américaines. (*Applaudissements.*)

M. SAUVAGE. — Je suis chargé de vous faire une communication d'ordre au nom de M. Webster, président du Comité américain.

Ce Comité a préparé un grand tableau comparatif de spécifications, qui présente beaucoup d'intérêt. Mais M. Webster n'a pas assez d'exemplaires pour en distribuer à chacun de nous ; il prie ceux des congressistes qui désireraient avoir la liste complète des spécifications américaines de lui remettre leurs cartes et il leur expédiera ce tableau d'Amérique. (*Applaudissements.*)

M. DE QUÉVÉDO. — J'ajouterai aux considérations qu'a présentées M. de Gennes qu'au Mexique nous attachons beaucoup d'importance à ce que les spécifications américaines soient établies d'après le système métrique. *Notre législation des poids et mesures est basée sur le système métrique, lequel est employé couramment* ; d'autre part, nous sommes les consommateurs peut-être les plus importants des États-Unis pour tout ce qui concerne le matériel des chemins de fer, notamment les rails.

Les spécifications américaines sont assujetties à un système de mesures qui n'est pas pratique et nous avons des difficultés constantes avec les fabricants américains, qui veulent conserver les anciennes mesures. J'appelle, sur ce point, l'attention des esprits pratiques des États-Unis de l'Amérique du Nord.

Nous faisons avec ce pays un grand commerce pour tout ce qui se rattache aux industries métallurgiques et de transport.

J'insiste sur ce point pour que les Membres du Congrès, délégués officiels des États-Unis, tiennent compte des indications que le Congrès et leurs clients leur donnent et engagent leur Gouvernement à se mettre le plus tôt possible au système métrique. (*Applaudissements.*)

M. LE PRÉSIDENT. — Il reste, à notre ordre du jour, deux communications.

Celle de M. Charpy (absent), sur *les Essais de trempe* peut être remise à demain.

M. Pourcel, qui est également absent, a présenté un travail sur un sujet plutôt didactique et théorique que pratique : *la Définition des fontes, aciers et fers*.

J'ai été mêlé moi-même à la question, il y a quelque vingt-cinq ans; je crois que nous pourrions la discuter jusqu'à ce soir et de ce soir à demain matin sans nous mettre d'accord sur les conclusions.

La définition qu'avait proposée le regretté M. Jordan, professeur à l'École centrale, me semblait si naturelle que je croyais autrefois la voir adoptée par tout le monde. Cette définition qui ne diffère pas de celle de M. Pourcel était aussi la mienne. (Je renvoie ceux que la chose intéresse à la *Revue universelle des Mines*, publiée à Liège.) Elle se résumait en deux mots que voici :

« On distingue les fers des aciers simplement par le procédé de fabrication ; »
« tout métal fondu malléable est de l'acier; tout métal non fondu et malléable est du fer. »

On ne saurait s'exprimer plus simplement; mais des nécessités douanières ont empêché certain pays d'adopter cette définition aussi nette des produits de la sidérurgie.

On a cru qu'on pouvait appeler « fers homogènes » des aciers obtenus par fusion et malléables; cela permettait de les faire passer à la douane comme fers avec une diminution de droit.

Mais la science est au-dessus de ces petites choses et un jour prochain verra l'accord s'établir sur cette classification des produits de la sidérurgie.

Primo, la *fonte, métal fondu non malléable* — je laisse de côté la fonte malléable, qui constitue une exception à la règle; — secundo, le *fer métal malléable non fondu*; tertio, l'*acier, métal fondu et malléable*.

En fait, la définition est déjà acceptée. Une fabrique de fer homogène s'appelle « aciérie » et le produit qui en sort est de l'acier: il est fondu et malléable.

Je ne sais par quel esprit de parti pris on a donné à ces termes des caractéristiques qu'ils n'ont pas; nous ferons bien de chercher à propager l'accord sur la définition si simple que M. Pourcel préconise dans son intéressante note.

Mais, je le répète, si nous ouvrons une discussion, nous ne pourrions la fermer et conclure. Le temps fera plus que nous pour la solution de la question. (*Applaudissements*.)

M. DEBRAY. — Je crois devoir vous signaler que l'ordre du jour de demain, vendredi, sera très chargé. Nous avons à y reporter la communication très intéressante de M. Charpy et celle de M. Hartmann, qui était prévue pour mardi soir.

On nous demande, de plus, l'inscription d'une question qui soulèvera de nombreuses observations : M. Schiel, ingénieur du bureau Véritas, chargé des essais de matériaux, propose que le Congrès examine la proposition suivante :

« Il serait à désirer que les machines à essayer les métaux, qui se trouvent dans les usines à la disposition des agents de réception, soient soumises, comme tous les appareils de poids et mesures, à la vérification des agents de l'Etat, et que les procès-verbaux de vérification soient mis à la disposition des personnes devant se servir des machines. »

Nous pourrions mettre cette question à l'ordre du jour de vendredi soir.

M. OLLIVIER a écrit à M. le Président la lettre suivante :

« Paris, le 12 juillet 1900.

« MONSIEUR LE PRÉSIDENT,

« J'ai l'honneur de porter à la connaissance du Congrès un fait que j'ai le regret de ne pouvoir lui présenter moi-même, étant obligé de quitter la séance avant que la discussion du « mémoire de M. Albert Ladd Colby ne soit arrivée à la partie relative aux *tôles d'acier*.

« Cette observation vient encore s'ajouter aux importantes déclarations des orateurs précédents qui trouvent insuffisantes les épreuves donnant la résistance à la traction et la mesure « des allongements afin d'établir la qualité du métal.

« Dans une récente expertise, j'avais à examiner les tôles d'acier d'une conduite d'eau qui « avaient crevé à différentes reprises.

« Le cahier des charges leur imposait :

« 40 kilogrammes de résistance ;

« 20 0/0 d'allongement.

« Par les essais habituels, je trouvai que les tôles non travaillées, ainsi que *celles qui avaient éclaté*, remplissaient bien les conditions spécifiées par l'acheteur : Le vendeur ne pouvait donc être responsable des dégâts causés, s'élevant à plus de 100.000 francs.

« Je m'adressai à M. Frémont, qui, en moins d'une heure, préleva de petits échantillons et me prouva avec sa machine *au choc* que les tôles non travaillées ou qui avaient résisté, exigeaient 24 kilogrammètres pour leur rupture, tandis qu'il n'en fallait que 4 pour celles qui avaient éclaté.

« J'avais ainsi immédiatement, par des essais bien plus rapides et bien moins onéreux que les anciens, l'explication de l'accident et la preuve qu'il fallait désormais tenir surtout compte de la **fragilité** du métal, puisque les essais sur sa résistance et son allongement ne dénonçaient pas toujours et suffisamment la mauvaise qualité d'un métal pour un emploi déterminé.

« Veuillez agréer, Monsieur le Président, l'assurance de ma haute considération.

« A. OLLIVIER,

« Ingénieur-expert près les tribunaux. »

En somme, M. Ollivier appelle notre attention sur la convenance de procéder, notamment pour les tôles, non seulement aux essais de résistance, mais aussi aux essais de fragilité préconisés depuis longtemps par M. Considère et auxquels le Congrès a manifesté à différentes reprises qu'il attachait une grande importance.

M. Nivet avait demandé à prendre la parole à la fin de la séance, s'il restait un peu de temps de libre, pour faire une petite conférence sur un appareil dont il est l'inventeur.

M. Nivet se tiendra demain à la disposition des membres du Congrès, dans une des salles spéciales du Palais, pour y présenter son appareil et faire sous nos yeux quelques expériences.

M. NIVET. — Les courbes déterminées par la flexion sur la surface des barres d'acier tendent à prouver ce que j'ai reconnu expérimentalement dans les essais d'agglomérants, c'est-à-dire que le plan des fibres neutres dans une pièce prismatique fléchie partage la hauteur du rectangle en proportion des racines carrées des coefficients de traction et de compression.

La séance est levée à midi.

SÉANCE DU VENDREDI MATIN, 13 JUILLET 1900

(SEPTIÈME SÉANCE)

PRÉSIDENCE DE MM. UNWIN ET ALPHERTS

Assistés de M. HATON DE LA GOUPILLIÈRE, comme Vice-Président
et de M. GUÉRARD, comme Secrétaire

La séance est ouverte à 9 heures et demie.

M. Unwin exprime ses vifs remerciements pour la désignation qui a été faite, de sa personne pour la Présidence et ajoute qu'en raison de son peu d'habitude de la langue française, il prie M. Alpherts de vouloir bien diriger la discussion.

M. DEBRAY. — Messieurs, comme nous devons nous y attendre, l'excursion à Fontainebleau présente quelques difficultés en raison de la promenade en voiture : nous avons, à l'origine, distribué des cartes à toutes les personnes qui nous en ont demandé ; mais nous pensons que quelques-unes n'ont pas l'intention de se servir de ces cartes. Il nous serait très agréable que toutes les personnes qui veulent faire cette excursion se fassent inscrire de nouveau au bureau. Nous prions surtout les personnes qui ont pris des cartes et n'ont pas l'intention de s'en servir d'en faire la déclaration, si elles veulent conserver leurs cartes comme souvenir. Nous avons 202 demandes et il n'y a place dans les voitures que pour 170 personnes. Il est impossible de faire la route autrement qu'en voiture, puisqu'il s'agit de faire 50 ou 60 kilomètres. D'autre part une quarantaine de personnes ayant des cartes n'ont probablement pas l'intention de les utiliser.

A la fin de la dernière séance, j'ai annoncé que M. Schiel, ingénieur du Bureau Veritas, demandait l'inscription à l'ordre du jour de la question suivante, qui paraît devoir donner lieu à d'assez vives discussions : « Il serait à désirer que les machines à essayer les métaux qui se trouvent dans les usines à la disposition des agents de réception, soient soumises, comme tous les appareils de poids et mesures, à la vérification et au contrôle des agents de l'État et que les procès-verbaux de cette vérification soient mis à la disposition de toutes les personnes devant se servir de la machine. »

M. Schiel annonce qu'étant obligé de quitter Paris, il ne pourra soutenir sa proposition. Nous vous proposons de la mettre à l'ordre du jour de lundi matin. Chacun aura ainsi le temps d'y réfléchir. (*Assentiment.*)

Nous avons à notre ordre du jour deux rapports sur les aciers au nickel. Les rapporteurs n'étant pas présents, je vous propose d'entendre M. Le Blant, qui nous parlera des entretoises des foyers de locomotives. (*Assentiment.*)

M. LE BLANT. — Messieurs, les parois de foyers de locomotives présentent d'assez grandes surfaces planes qui ne pourraient supporter la pression s'élevant jusqu'à 16 kilogrammes par centimètre carré, si on ne les armaturait pas solidement. Comme ces surfaces sont généralement voisines, on les relie au moyen de pièces filetées et percées qu'on visse et qu'on rive. Ce sont les entretoises, qui sont destinées, *a priori*, à supporter un effort de traction. Le nombre des ruptures d'entretoises, depuis surtout qu'on a mis en service, comme à la Compagnie de l'Est, des

machines à grand foyer, a assez augmenté pour motiver une étude qu'a prescrite l'Ingénieur en chef du matériel et de la traction de cette Compagnie. Je vais vous en exposer les résultats.

Vous avez ma note entre les mains ; il est inutile que je vous la lise, d'autant plus que le sujet est un peu spécial. Lundi prochain, la Compagnie sera heureuse de recevoir à son laboratoire les membres du Congrès ; je leur donnerai les renseignements que nous possédons, et il n'est pas nécessaire que j'insiste aujourd'hui.

En France, le métal qu'on emploie le plus pour faire les entretoises est le cuivre rouge. Mais, comme il a une limite d'allongement proportionnel très faible lorsqu'on le recuit et qu'il est pur, on est donc amené à l'employer à l'état écroui. D'après les résultats de nos expériences, il convient de ne pas pousser cet écrouissage trop loin. J'ai indiqué quel est, à mon avis, ce maximum : 25 kilogrammes par millimètre carré à la traction. De cette façon, on obtient un cuivre assez mou pour être rivé et assez dur pour être percé et fileté sans abîmer les outils. Mais l'opération de la pose donne lieu à des dilatations et contractions des entretoises ; les tôles fléchissent sous l'action des coups de marteau ; les entretoises prennent des mouvements ondulatoires et, finalement, on trouve après rivure des différences dans les deux sens ; certaines entretoises s'allongent, d'autres se raccourcissent. C'est une des causes du peu de durée des entretoises. La rivure est une mauvaise opération, à mon avis. Les locomotives sont timbrées à un plus grand nombre de kilogrammes ; on a augmenté la pression et la température. La question de la température est donc très intéressante pour les entretoises. Elle a été étudiée par M. Desgeans, ingénieur des ateliers d'Epernay, qui a trouvé que, dans les machines timbrées à 12 kilogrammes, la température des entretoises n'atteignait pas le point de fusion de l'étain : 226°. Dans ces conditions, il n'est pas exact d'attribuer à l'élévation de la température la rupture d'entretoises qui se produit au point le plus éloigné du foyer, contre l'enveloppe en acier qui détermine le contour extérieur de la chaudière. Dans ces conditions, l'étude caractéristique de la traction faite dans mon laboratoire perd de son intérêt. On l'a faite, et j'ai retrouvé la formule indiquée par M. Le Chatelier pour la diminution de la résistance du cuivre à haute température. Je n'ai pas obtenu la même formule exactement, parce que mes expériences ont été moins précises que celles de M. Le Chatelier : j'ai procédé sur des pièces percées et filetées, tandis qu'il opérait sur des éprouvettes de laboratoire.

La Compagnie de l'Ouest a indiqué, dans la *Revue générale des chemins de fer*, dès 1893, que le foyer, c'est-à-dire la partie en cuivre soumise directement à l'action des flammes, subissait des déplacements relatifs par rapport à la partie en acier que j'appelle la boîte à feu. Nous avons repris ces essais sur de grands foyers, puisqu'en 1893 ces machines à grands foyers ne faisaient que débiter. M. Desgeans a pu déterminer le maximum de flexion que subissait une entretoise par rapport à son encastrement dans la tôle d'acier. J'ai fait des essais à diverses températures, en encastrant une entretoise et en donnant un mouvement alternatif de flexion au moyen d'une machine à mortaiser à l'autre extrémité. Le résultat a été bien moins bon que celui que nous attendions : il est très difficile d'assurer un encastrement parfait sur une pièce fileté : le moindre mouvement perceptible à l'encastrement prolonge de beaucoup les oscillations. Il est cependant résulté de ces essais qu'en donnant à l'entretoise une forme analogue à celle d'un solide d'égale résistance travaillant à la flexion, on augmente de beaucoup le nombre des oscillations. C'était à prévoir.

La question de mouvement du foyer de la boîte à feu a préoccupé beaucoup les ingénieurs américains, qui ont fait depuis des expériences. J'ai entre les mains des articles de journaux américains. Les ingénieurs, d'après ce que j'ai vu, ont cherché à atténuer et même supprimer complètement les effets du cisaillement, soit au moyen d'artifices de montage, soit au moyen de formes appropriées, données à l'entretoise même. D'après M. Sanderson, l'entretoise idéale est définie par un câble métallique dont les extrémités feraient avec les tôles un assemblage étanche ; en Amérique, on est persuadé que c'est le cisaillement des entretoises qui les détruit. C'est aussi la conclusion à laquelle j'arrive.

Avant de parler des résultats en service, je crois devoir dire quelques mots sur la comparaison des essais de divers métaux susceptibles de faire des entretoises. Nous avons d'abord cherché un alliage ne subissant pas les influences des températures. L'industrie est arrivée à fabriquer un alliage de cuivre et de 5 0/0 de manganèse qui, à 250°, ne subit pas pratiquement l'influence de la température aux essais de traction et même de cisaillement. D'autre part nous avons cherché un métal résistant bien aux deux essais de cisaillement et de flexion ; nous

nous sommes arrêtés à un alliage de cuivre et d'aluminium, lequel étant très dur, résistait très bien aux essais de flexion sur encastrement. Mais, en service, il n'a pas donné de bons résultats : les entretoises se comportent moins bien que les métaux mous. J'ai attribué cet insuccès au rivetage qui cause des déformations permanentes au point d'encastrement de la tôle.

Mais le point saillant de la rupture en service, c'est que les pièces périssent par cisaillement et non par traction, comme on pourrait le supposer.

Je conclus. Au point de vue de la concordance des essais et de ce qui se passe en service, il n'est pas possible de préconiser l'emploi d'un métal nouveau; un alliage de cuivre et de manganèse résiste bien aux efforts de cisaillement et de traction, mais se corrode très vite sous l'action des flammes du foyer. Le meilleur métal jusqu'à présent est celui qu'on emploie couramment, le cuivre rouge. Sans vouloir donner de renseignements trop précis, on peut dégager des travaux qui ont servi à la préparation de cette note les conclusions suivantes :

Augmentation de la flexibilité des entretoises au point d'encastrement : par une forme et un montage appropriés ; augmentation de la longueur ; enfin diminution de diamètre, de façon à faire subir au cuivre rouge un travail à la traction de $3^{\text{kg}},8$ par millimètre carré.

M. LE PRÉSIDENT. — Je remercie M. Le Blant de son intéressante conférence.

La parole est à M. Guillaume pour nous entretenir des aciers-nickel.

M. Ch.-Éd. GUILLAUME. — Messieurs, ce qui me vaut l'honneur de vous présenter un rapport d'ensemble sur la question très actuelle des aciers au nickel, c'est un travail de physicien égaré dans la métallurgie. Si donc mon exposé est incomplet et si les phénomènes dont je vais vous entretenir ne sont pas de ceux auxquels s'adressent généralement les ingénieurs, c'est que la meilleure volonté du monde ne m'aura pas permis de sortir comme je l'aurais voulu de mon domaine. D'ailleurs, lorsqu'on s'adresse à un alliage aussi bizarre que l'acier au nickel, les méthodes des physiciens présentent un assez grand intérêt et elles permettent de caractériser les phénomènes dont nous allons nous occuper mieux que les méthodes couramment employées dans les usines.

Deux ordres de propriétés ont surtout contribué à nous faire comprendre ce qu'est l'acier au nickel : ce sont d'abord les propriétés magnétiques de ces aciers, ensuite de petites déformations qu'on peut reconnaître et mesurer par des procédés précis ; ces modifications paraissent à première vue négligeables ; mais, lorsqu'on sait les interpréter, elles donnent la clé d'un grand nombre de phénomènes.

Dans cet exposé très court, je ne tiendrai pas compte de l'ordre chronologique et j'irai directement aux faits. Cependant je ne veux pas entrer plus avant dans le sujet sans citer les investigations qui ont le plus contribué à étendre nos connaissances sur l'acier au nickel.

C'est d'abord le travail fondamental de J. Hopkinson, complété par les recherches de M. Le Chatelier, puis les travaux de M. Osmond, puis les recherches de M. Dumont sur les propriétés magnétiques de l'alliage ; enfin les expériences très importantes de M. Dumas, qui donnent un éclat définitif à la théorie de ces phénomènes.

Si bizarres qu'elles soient, les propriétés des aciers au nickel ne sont pas isolées entre elles : elles sont fonction les unes des autres, à tel point que, si l'on connaît bien l'une d'elles, on est déjà très renseigné sur toutes celles qui ont été examinées jusqu'ici. Nous pouvons donc prendre l'une de ces propriétés comme paramètre et en déduire les autres.

Je prendrai, comme premier type, les propriétés magnétiques, les plus faciles à étudier, et les premières dont les variations aient été constatées, et je décrirai ces variations en fonction de la température. Considérons d'abord les alliages jusqu'à 25 0/0 (nous verrons que cette limite n'a rien de rigoureux), et représentons les températures en abscisses et les propriétés magnétiques, c'est-à-dire la susceptibilité magnétique en ordonnées. A une température généralement élevée (*fig. 17*) nous voyons l'alliage perdre graduellement son magnétisme entre deux températures déterminées. Si l'on continue à chauffer, l'alliage reste non magnétique ; si l'on refroidit, on traverse le point F, sans constater de magnétisme et c'est seulement à une température bien plus basse que le magnétisme apparaît suivant une courbe ABC, laquelle vient se réunir à la droite CD observée pendant la chauffe. Si nous cessons de refroidir avant la transformation complète, et si nous chauffons, la droite BE viendra recouper la courbe supérieure DEF et nous verrons encore l'alliage perdre son magnétisme le long de cette courbe. De même, si l'on chauffe

jusqu'à une certaine température et si l'on cesse de chauffer, le magnétisme reviendra, par exemple, par la droite EB retrouver la courbe inférieure.

Il y a irréversibilité de la courbe, et c'est pourquoi on a nommé ces métaux *irréversibles*. La position des deux courbes ABC, DEF dépend surtout de la teneur en nickel.

Telle est l'apparence générale des phénomènes, qui sont, en réalité, un peu plus compliqués que je ne les indique.

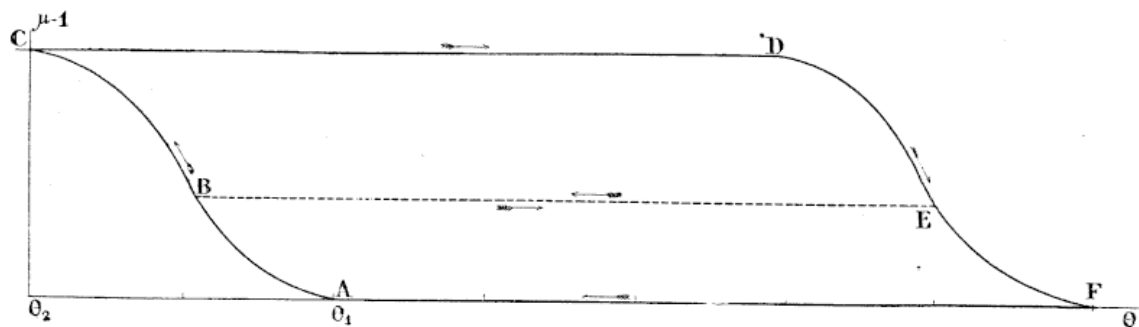


FIG. 17.

Le fer contient en germe les phénomènes décrits ci-dessus. Lorsqu'on le chauffe, son magnétisme reste constant ou va en décroissant lentement, puis disparaît assez rapidement, entre deux températures déterminées, pour reparaitre entre les mêmes températures; mais, si peu qu'il y ait de nickel ajouté au fer, la seconde courbe se sépare. Pour les alliages à 25 0/0 environ, elle peut descendre de plus de 500 degrés au-dessous de la courbe supérieure.

Le refroidissement n'est pas la seule cause de transformation des alliages; ils sont dans un état tel que toute action mécanique, martelage, tréfilage, laminage, les fait passer à la partie supérieure de cette courbe. Ce fait avait été déjà remarqué par Hopkinson, qui avait reconnu que, lorsqu'on lime un de ces alliages, à l'état non magnétique, la limaille est toujours magnétique.

Passons aux alliages de teneur supérieure à 25 0/0. Nous représentons les températures en abscisses, les propriétés magnétiques en ordonnées. Lorsqu'on chauffe, les propriétés magnétiques baissent suivant la courbe de la figure 18; si l'on refroidit, elles reviennent presque exactement suivant la même courbe. Ces alliages sont par conséquent très différents des précédents: ils sont *réversibles*.

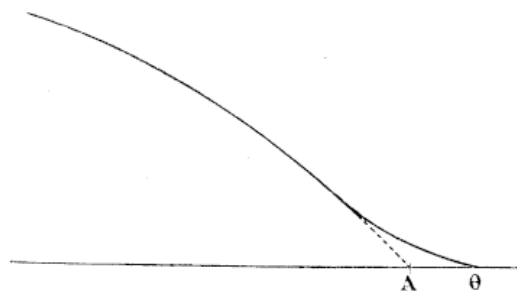


FIG. 18.

Quant à la position de ces diverses courbes sur l'échelle des températures, en fonction de la teneur en nickel, nous pouvons la représenter par le diagramme suivant (fig. 19):

Les courbes AB et CD représentent respectivement la première apparition du magnétisme, et sa disparition totale dans les alliages irréversibles (points A et F de la fig. 17); la courbe EF montre, pour les réversibles, à la fois l'apparition et la disparition des propriétés magnétiques. Voilà pour une première approximation de ces propriétés. En seconde approximation, les phénomènes se compliquent un peu. Je n'ai parlé que du ferro-nickel; mais vous savez qu'une addition de carbone au fer produit déjà un abaissement de la température de transformation et une séparation des deux courbes de transformation magnétique. Vous connaissez l'*austénite*, alliage de fer et de carbone non magnétique à la température ordinaire et magnétique à une température inférieure. Il en est de même de l'action du chrome et du manganèse; de plus, ces propriétés s'additionnent de telle sorte que, si nous ajoutons du chrome, du carbone ou du manganèse à l'acier-nickel, la courbe s'abaisse de plus en plus. Nous arrivons ainsi à refouler les transformations magnétiques bien au-dessous de 0°, au-dessous même de la température de l'air liquide. Avec des alliages de 22 0/0 de nickel et 3 0/0 de chrome, la courbe de transformation est inférieure à la température de l'ébullition de l'azote, en sorte que les transformations ne peuvent plus être pratiquement observées.

On peut se demander comment les deux courbes AB et EF du diagramme (*fig. 19*) se relient. Jusqu'à ces derniers temps, on était très peu renseigné sur ce point. Les récentes recherches de M. Dumas ont montré comment les choses se passent : Considérons un alliage de fer et de nickel, avec les quantités strictement nécessaires d'autres éléments pour permettre son traitement métallurgique ; les deux courbes se croisent au voisinage de 0°, et l'on peut, par refroidissement, produire un magnétisme permanent de part et d'autre du point d'intersection.

Prenons, par exemple, l'alliage à 28 0/0, faiblement magnétique à la température ordinaire : il l'est davantage au-dessous de 0°, mais redevient non magnétique lorsqu'on le chauffe modérément après l'avoir très peu refroidi. Lorsqu'on arrive à l'air liquide, au contraire, le magnétisme se conserve et ne se perd que suivant une courbe qui est le prolongement de CD.

J'ai dit que le carbone agissait fortement sur les alliages de la première catégorie ; il agit très peu sur ceux de la seconde. Ceci permet de mettre en évidence une relation que les premières expériences laissaient un peu douteuses. Nous pouvons abaisser la courbe AB, mais pas la courbe EF. Nous pouvons constater au-dessous de 25 0/0 un renversement du phénomène, c'est-à-dire que nous rencontrons d'abord au voisinage de 0° la transformation réversible, et, continuant à descendre, nous trouvons la transformation magnétique irréversible.

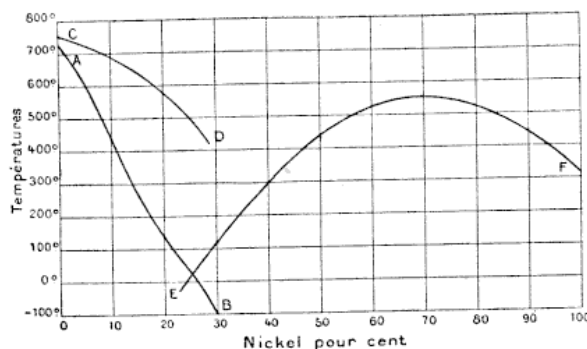


FIG. 19.

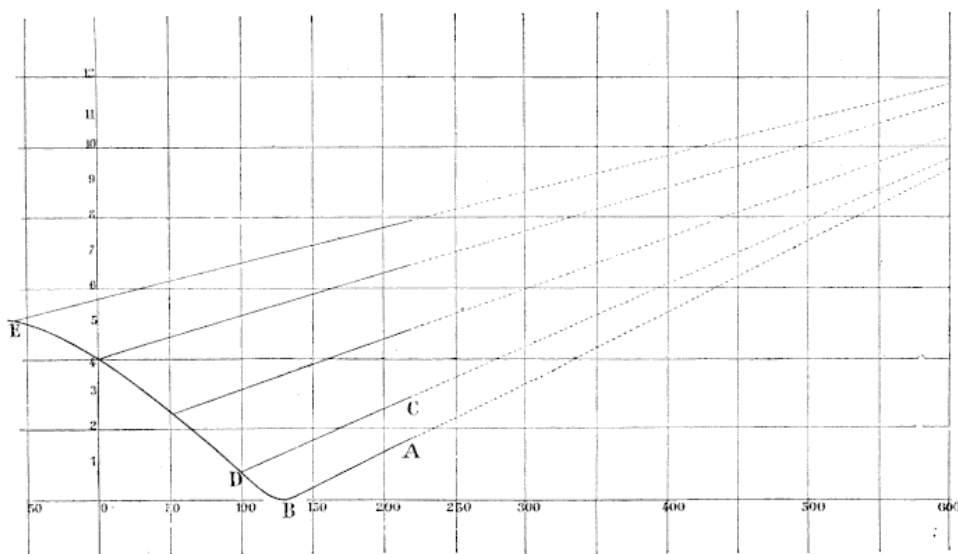


FIG. 20.

Je reviendrai dans un instant sur cette transformation ; j'insiste seulement sur ce point que les aciers-nickels de la catégorie irréversible sont généralement doux à l'état non magnétique, durs lorsqu'ils sont magnétiques. Il peut donc y avoir intérêt à déplacer le point de transformation. A Imphy, on a réalisé un alliage industriel appelé NC4, dont le point de transformation est fortement abaissé. Cet acier reste doux à une température basse et même lorsqu'il a subi une manipulation mécanique.

Le volume des aciers au nickel subit aussi des variations intéressantes qui rappellent dans leurs traits essentiels, les variations du magnétisme : nous trouvons deux classes d'alliages, les réversibles et les irréversibles, et nous voyons, dans chacun d'eux, les propriétés que nous avons rencontrées se reproduire identiquement sur les variations du volume.

Commençons par un alliage irréversible, préalablement refroidi, c'est-à-dire magnétique.

Si nous le chauffons, cet alliage va se dilater suivant une fonction approximativement

linéaire, dont le coefficient est de 10 à 14 millièmes. A une température élevée, il éprouvera un changement de volume, et, si nous le refroidissons, il se contractera encore linéairement, mais avec un coefficient égal à 18 millièmes. Puis, arrivé à une certaine température, il se dilatera suivant une courbe BDE (fig. 20), et, après son maximum d'expansion, commencera à se contracter de nouveau. Si nous réchauffons avant que la transformation soit complète, nous verrons l'alliage se dilater suivant un coefficient compris entre les extrêmes, et dont la valeur dépendra

du degré auquel la transformation est arrivée.

Les alliages réversibles ont une courbe unique de dilatation, se composant de trois parties, OA, AB, BC (fig. 21), dont deux sont approximativement linéaires, et l'autre fortement courbée.

Rassemblant, comme précédemment, ces résultats en un diagramme en fonction de la teneur prise comme abscisse, nous pourrions représenter la dilatation des alliages irréversibles par un point quelconque du rectangle ABCD (fig. 22), un alliage donné pouvant avoir une dilatation quel-

conque comprise entre les droites AB et CD, suivant sa transformation plus ou moins complète.

Les alliages réversibles présentent, au point de vue de la dilatation, une allure singulière, indiquée par la courbe EFG. Très forte au voisinage de 25 0/0, elle s'abaisse graduellement jusqu'au dixième environ de la dilatation du platine, puis se relève vers la dilatation du nickel. La dernière partie de la courbe, comprise entre 50 0/0 et le nickel pur, est encore inconnue.

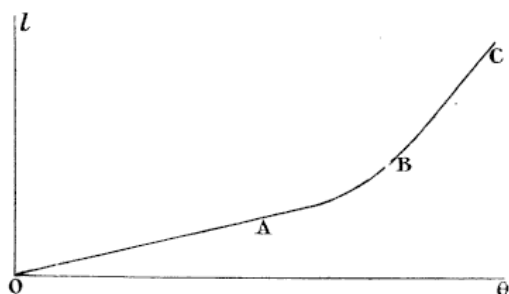


FIG. 21.

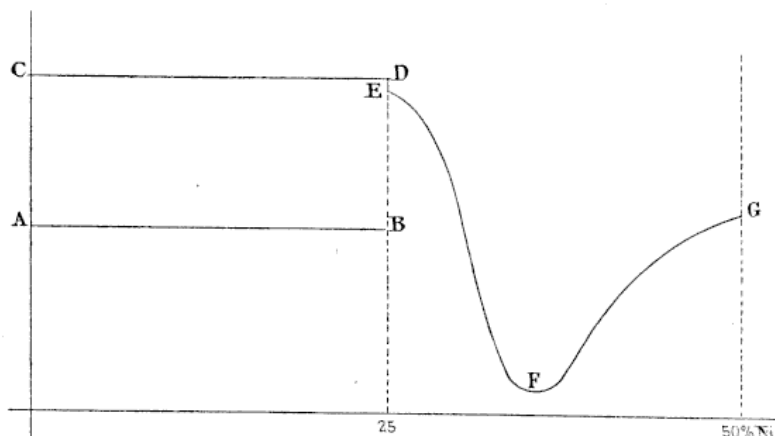


FIG. 22.

Il est intéressant de comparer entre eux les diagrammes que nous avons rencontrés dans cet exposé ; rapprochant les diagrammes 17 et 20, 18 et 31, nous constatons qu'ils possèdent une propriété commune : dans le premier cas, l'apparition du magnétisme est signalée par une augmentation du volume de l'alliage ; dans l'autre, elle est accompagnée par une forte diminution dans sa contraction au refroidissement. Ces phénomènes sont de même nature, et nous pouvons dire que l'apparition du magnétisme dans les aciers au nickel s'accompagne d'une augmentation du volume moléculaire.

Bien que ceci sorte un peu de nos préoccupations, je dirai que cette forme bizarre de la dilatation de l'acier-nickel a été immédiatement employée dans la science. Vous savez que la cause d'erreur la plus fréquente dans l'emploi des instruments de précision, c'est la dilatation ; elle nécessite des précautions particulières, et notamment l'exposition des instruments à une température uniforme. La découverte d'un alliage peu dilatable a permis de se libérer presque complètement de la détermination précise de la température dans les mesures de longueur.

Parmi les plus intéressantes parmi les applications de ces alliages, je citerai celle qui peut en être faite à la construction des instruments de géodésie ; aussi, dès que cet alliage eut été découvert, M. le général Bassot, directeur du Service géographique de l'Armée française, se préoccupait-il d'acquies pour son Service une barre de 4 mètres de cet alliage, destinée à la

mesure des bases au cours de l'expédition qui sera envoyée prochainement dans la République de l'Equateur. Cette règle est en construction et pourra accompagner l'expédition.

On s'est demandé quelles déformations permanentes produiraient les chocs que pourrait recevoir cette barre dans son transport à travers les Andes, dans des chemins peu praticables, à 4 000 mètres d'altitude. Voici une expérience qui doit nous rassurer : La règle, sortie rabotée des aciéries d'Imphy, avait subi une petite déformation au travail et présentait une flèche de 5 millimètres sur 4 mètres. Elle fut envoyée à la Société genevoise pour être achevée, et on dut commencer par la redresser; on essaya de le faire en la pinçant dans une mâchoire et en la fléchissant par l'extrémité libre pour lui donner une nouvelle déformation permanente. On a ainsi abaissé son extrémité de 1 mètre, et elle est revenue identiquement à sa première forme. C'est plus qu'on n'attendait de ce métal, qui n'avait pas été spécialement étudié au point de vue de la limite élastique.

Je donnerai maintenant quelques détails sur la déformation interne de ces alliages; nous sortirons un peu des préoccupations du Congrès; mais il me semble que, par l'étude de cette déformation, nous pourrions retirer des documents importants pour la constitution des alliages en général. Ce sont d'ailleurs des déformations qui ne sont pas spéciales aux aciers au nickel; elles ont été étudiées à propos du déplacement du point 0 du thermomètre à mercure, resté jusqu'à présent assez mystérieux.

Considérons l'acier-nickel le moins dilatable. Je suppose qu'il est revenu de la température de la forge, et qu'il n'a subi aucune déformation mécanique jusqu'à la température de l'expérience que nous allons faire. Elle consiste à exposer l'alliage à une température déterminée pendant un temps également déterminé, puis à le ramener brusquement à une température de repère à laquelle on mesure ses dimensions, et à revenir à l'ancienne température. De

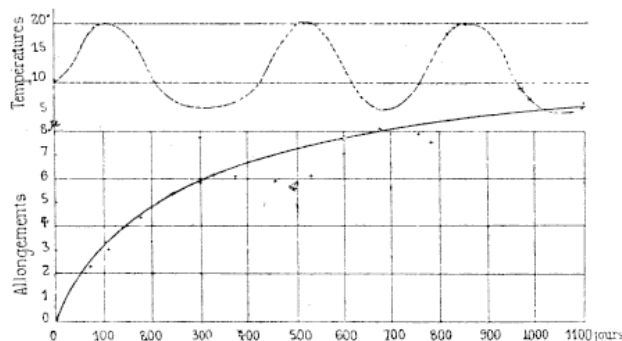


FIG. 23.

cette façon nous nous libérons des dilatations et nous étudions l'état d'avancement de recuit de l'alliage. Je représente le temps en abscisse, la longueur de la barre d'alliage en ordonnée et je suppose la règle revenue de la forge et ramenée à 100°; nous l'y laissons un certain temps, nous l'amenons brusquement à 15° pour la mesurer, puis nous la replaçons à 100°. La barre va s'allonger suivant une courbe exponentielle et cessera de varier après cent heures environ. Maintenant portons la règle à 50°; elle recommencera à s'allonger, et il lui faudra trois cents heures pour revenir à une longueur fixe. Mettons maintenant la règle à 0°; nous la verrons reprendre sa déformation, et, pour en voir la fin, il faudra plusieurs années. La courbe (fig. 23) montre la variation d'une règle de l'alliage peu dilatable pendant onze cents jours. La déformation totale n'a pas atteint 1/100 de millimètre par mètre. Cependant elle a pu être marquée par points d'une façon très exacte, ce qui montre la nécessité de mesures précises pour l'étude de pareils phénomènes.

Ramenons cette règle à 50°; elle se raccourcira, ou, à 100°, elle se contractera encore, et arrivera à la longueur qu'elle avait précédemment à cette température. Nous voyons qu'à toutes les températures l'échantillon tend à arriver à un état qui est atteint après des centaines d'heures à température descendante, tandis qu'il ne faut qu'une demi-heure, après la température la plus basse, pour produire la déformation complète à 100°.

Je n'insiste pas sur les variations de ces métaux, lorsqu'on les soumet à un traitement mécanique, comme le forgeage ou le tréfilage à froid. Les phénomènes se compliquent. Je dirai seulement qu'ils sont indépendants de ceux que je viens de décrire. Lorsqu'une règle a été étirée à froid et qu'on la chauffe à 100°, elle subit d'abord un allongement, puis une contraction correspondant à la disparition des tensions mécaniques. Si l'on refroidit, la règle s'allonge; mais la disparition des tensions est faite une fois pour toutes.

J'arrive à la partie de mon rapport qui devrait être la plus étendue et sera la plus courte; je veux parler des propriétés mécaniques de ces alliages. Le module d'élasticité a, pour les physiciens, une importance considérable, tandis que, pour les mécaniciens, elle ne vient qu'en

seconde ligne ; pour les constructeurs, ce qui importe, c'est la limite de déformation permanente, l'allongement et la charge de rupture.

En ce qui concerne le module d'élasticité, il a été fait deux séries de recherches : celles qui ont été exécutées par une Commission subventionnée par la *Société d'encouragement pour l'industrie en Allemagne*, en vue d'étudier les propriétés générales des aciers-nickels et celles que j'ai eu l'occasion de faire sur les alliages qui m'ont été obligeamment fournis par la Société de Commentry-Fourchambault.

Les aciers-nickels ont un module d'élasticité qui diminue d'abord lorsqu'on augmente la teneur en nickel, atteignent un minimum, et augmentent ensuite, passant, d'après la Commission allemande, de 20 à 12 tonnes par millimètre carré.

Des idées théoriques m'ont fait chercher plus loin les singularités de ces propriétés. Si nous considérons des alliages irréversibles, nous voyons le module d'élasticité s'abaisser pendant le passage à l'état magnétique, et conserver la valeur la plus basse lorsqu'on élève la température. L'alliage possède ainsi une série de modules d'élasticité qui peuvent varier de 18 à 22 tonnes par millimètre carré, suivant l'état de transformation. Chose bizarre, tandis que l'alliage durcit, son module d'élasticité s'abaisse.

Pour les teneurs plus fortes, nous retrouvons une réversibilité plus ou moins parfaite, et avec l'alliage de 36 0/0, de dilatation minima, nous passons par le minimum du module qui va rejoindre, par une courbe continue, le module d'élasticité du nickel.

Quant aux propriétés mécaniques de ces alliages, elles sont très intéressantes ; ceux qui contiennent très peu de nickel sont simplement des aciers supérieurs, homogènes, avec limite de déformation élevée et déformation permanente considérable avant rupture. Lorsqu'on élève la proportion de nickel, on arrive à des alliages assez malléables à l'état non magnétique, mais qui deviennent durs en passant à l'état magnétique ;

Quand il y a transformation magnétique complète, l'allongement de rupture est souvent très faible, 2 à 4 0/0 ; mais aussitôt qu'on passe à la deuxième catégorie, on revient aux grands allongements, et on trouve des alliages avec charge de rupture assez considérable et des allongements énormes, qui peuvent atteindre 50 et 60 0/0.

Les recherches de la Commission allemande ont donné des charges à la rupture relativement basses. Mais les recherches, faites sur des métaux de laboratoire ne contenant pas le peu de carbone, de manganèse et de silicium encore nécessaires pour la bonne métallurgie, donnent nécessairement des ruptures prématurées.

Le seul alliage industriel, sur lequel j'aie trouvé un document précis est l'alliage NC4 déjà cité et encore il n'est pas récent. J'ai dû me servir de publications datant de un ou deux ans.

Voici un alliage contenant 24 0/0 de nickel et 0,4 de chrome ; l'éprouvette de 100 millimètres a été allongée de 30 millimètres, puis recuite, puis allongée de 30^{mm},00, et ainsi de suite, jusqu'au dixième recuit, après lequel elle a donné encore un allongement de 42 0/0, puis une rupture. L'allongement total a été de 242 0/0, ce qui montre les qualités remarquables de ce métal au point de vue mécanique.

Quelques mots maintenant de la théorie possible de ces alliages ; il faut, pour l'établir, prendre l'ensemble des propriétés.

Nous avons montré déjà le parallélisme entre les propriétés magnétiques et les variations du volume. Nous venons de voir, de plus, que les propriétés élastiques suivent des lois analogues, et il ne serait pas difficile de superposer un troisième diagramme aux deux premiers.

Nous pouvons aller plus loin : Le retard de transformation, constaté dans les alliages réversibles, n'est autre que le retard de transformation dans le passage à l'état magnétique, ce phénomène, pour ainsi dire parasite, qui assure la très faible dilatation des alliages à 35 ou 36 0/0 de nickel.

En suivant la variation de volume de ces alliages, nous mesurons l'ensemble de deux phénomènes superposés : L'un devrait être normal, l'autre est parasite, concomitant des variations magnétiques, et produit cette très faible dilatation.

Qu'est-ce que ce phénomène ? Jusqu'ici nous n'avons pas fait de théorie ; je me suis contenté de superposer des diagrammes. Mais nous pouvons entrer dans les hypothèses. La première qu'on puisse faire est celle-ci : Nous savons que les propriétés magnétiques du fer, du nickel et du cobalt sont moléculaires et pas atomiques. Nous savons que ce sont ces propriétés qui disparaissent dans presque toutes les combinaisons chimiques ; c'est-à-dire que, lorsqu'un atome n'est plus dans une molécule de fer, mais dans une autre molécule, cet atome n'est pas magnétique ;

l'idée qui vient la première à l'esprit, idée probablement trop simpliste, est celle-ci : lorsque nous avons un mélange de fer et de nickel non magnétique, c'est que la molécule de fer et celle de nickel n'existent pas séparément ; nous avons une molécule de ferro-nickel, ce qui explique l'absence de magnétisme. Si, au contraire, nous avons dissocié les molécules de fer et de nickel, nous n'avons qu'un mélange.

Ce qui tendrait à appuyer pour cette théorie, c'est que, pour la dilatation des irréversibles non magnétiques, là où nous devons trouver 11, nous trouvons 18.

Que dirons-nous de la deuxième catégorie ? Qu'à chaque température un alliage déterminé de fer et de nickel est dans un état d'équilibre qui correspond à cette température ; si la température s'élève très peu, l'équilibre varie d'une quantité très petite dans un sens comme dans l'autre ; nous avons un équilibre chimique, variable avec la température. Et cette variation d'équilibre se produit pour 99/100 immédiatement, le reste suivant très lentement, à cause du frottement interne, dans des conditions que nous pouvons constater.

Lorsque j'ai émis cette théorie, elle a été très vivement, mais très courtoisement combattue par M. Le Chatelier. Je n'ai pas voulu alors me rendre à ses raisons ; je tenais à cette théorie qui me paraissait expliquer les phénomènes. Mais M. Le Chatelier attira dès le début l'attention sur ce fait que la théorie était trop précise : elle supposait des combinaisons indispensables de fer et de nickel, là où il fallait admettre plutôt une polymérisation et où il faudrait tenir compte des transformations du fer et du nickel pris séparément. En d'autres termes, il m'a fait cette objection : Vous prétendez que vous avez ici du fer et du nickel mélangés ; vous voulez dire par là que le fer et le nickel conservent dans l'alliage leurs propriétés individuelles, tandis que l'expérience enseigne qu'un certain nombre de propriétés du fer et du nickel n'y existent pas ; le fer et le nickel ne sont donc pas à l'état naturel dans l'alliage magnétique.

L'objection est sérieuse ; mais on pourrait la contourner et dire que les propriétés du nickel qui tendrait à se séparer du fer à certaines températures, ne peuvent pas se manifester d'une façon nette, lorsque ce nickel est mélangé dans trois ou quatre fois son volume de fer, en sorte que les molécules sont pour ainsi dire isolées et non libres de leurs mouvements ; mais ce qui m'a convaincu jusqu'à un certain point de l'exactitude de l'objection de M. Le Chatelier, c'est l'expérience récente de M. Dumas et plus encore les idées qui ont guidé les recherches de M. Dumas et finalement ont triomphé.

Nous avons vu (*fig. 31*) que les courbes de transformation des ferro-nickels irréversibles et réversibles se croisent, et que l'une peut être abaissée.

Nous savons, d'autre part, que toute addition d'un métal ou d'un métalloïde au fer abaisse sa région de transformation, et sépare généralement les courbes à température ascendante et descendante. Les additions faites au nickel, au contraire, laissent la transformation se faire sur une courbe unique. M. Dumas pense, dès lors, que la transformation irréversible est propre au fer, tandis que la transformation réversible est celle du nickel. Le fer et le nickel se transformeraient donc tous deux d'une façon indépendante, mais profondément modifiée par la présence de l'autre élément.

Ces idées de M. Dumas procèdent, jusqu'à un certain point, de celles de M. Le Chatelier, en les précisant sur un point important ; elles ne sont peut-être point définitives, et laissent quelques faits inexpliqués. Peut-être reprendra-t-on, dans la suite, quelques-unes des idées que j'avais cru pouvoir émettre à ce sujet.

Telle est, je crois, la direction de l'avenir ; il y aura, dans cette voie sans doute, un long chemin à faire pour être parfaitement au clair sur la théorie des aciers au nickel ; mais, lorsqu'on la possédera jusque dans ses détails, elle aidera puissamment à comprendre ce qui se passe dans les autres alliages.

M. HATON DE LA GOUPIILLIÈRE. — Je remercie vivement M. Guillaume, au nom de l'assemblée, pour son étude remarquable des aciers au nickel.

Les applaudissements des membres du Congrès vous ont déjà montré avec quel intérêt ils avaient suivi votre communication. Je vous en remercie de nouveau bien vivement en leur nom.

Comme l'heure presse, je vous propose de passer de suite à la conférence de M. Hartmann. (*Assentiment.*)

La parole est à M. le commandant Hartmann pour exposer sa communication sur les phénomènes qui accompagnent la déformation permanente des métaux.

M. LE COMMANDANT HARTMANN fait l'exposé de cette communication (Voir t. I, p. 95).

M. le Président remercie M. Hartmann de son intéressante communication, et prie MM. les Membres présents de vouloir bien présenter leurs observations, s'il y a lieu.

M. MESNAGER. — Une simple question. Quelqu'un a-t-il fait des expériences pour essayer de voir les lignes produites dans les métaux par les acides au-dessous de la limite d'élasticité? M. Hartmann a cité des expériences; mais il les a faites avec des appareils ne permettant pas de mesurer la valeur réelle des efforts.

M. HARTMANN. — J'ai fait des réserves sur ce point et vous les avez entendues. Les pièces essayées ne présentaient aucune trace de déformation permanente. Je ne dis pas qu'on n'ait pas dépassé la limite élastique. Je n'en sais rien, et j'ai demandé qu'on fit des expériences sur ce point.

M. MESNAGER. — J'ai essayé et je croyais que d'autres laboratoires avaient essayé de déterminer l'apparition de ces lignes dans des pièces bien recuites, n'ayant pas dépassé la limite élastique. J'ai fait prendre, en particulier, des barres d'acier qu'on a plongées dans un bain d'acide en les appuyant à leurs deux extrémités et en les chargeant au milieu d'une charge inférieure, mais très voisine de celles que, d'après le calcul, devait donner la limite élastique. Il nous a été impossible de déterminer aucune ligne; nous avons eu une attaque irrégulière. Au contraire, si l'on soumettait préalablement ces barres à des efforts dépassant la limite élastique de façon à faire apparaître des lignes, puis qu'on les effaçât et qu'on replongeât la barre sans lui faire subir d'autres efforts dans le bain, ces lignes réapparaissaient. De ces expériences il semble résulter que l'attaque ne révèle les lignes qu'autant que la limite d'élasticité a été préalablement dépassée.

Je ne dis pas que mon expérience soit concluante: elle ne porte que sur un petit nombre d'échantillons. Mais il serait à désirer que ces essais soient multipliés de façon à contrôler l'hypothèse de M. Hartmann. Car jusqu'ici il me semble qu'au-dessous de la limite d'élasticité ce n'est qu'une hypothèse.

Les déformations élastiques dans le fer vérifient la théorie de l'élasticité, rigoureusement on ne trouve aucune nappe ni apparence de nappe, telle que celles qu'on observe au-dessus de la limite d'élasticité, quand il y a déformation permanente.

Je présenterai une seconde observation. M. Hartmann a dit qu'il ferait des expériences sur sa théorie du frettage, parce que, jusqu'à présent, les expériences manquent.

M. HARTMANN. — Il y a celles du général Galezowsky. Son mémoire a 400 pages.

M. MESNAGER. — Je regrette de ne pas le connaître.

Un dernier point. En général, ces lignes ne sont bien nettes que lorsque la courbe de traction atteint son maximum. Quand on est dans le cas que M. Considère a montré correspondre à la localisation de l'effort. Le cuivre, en particulier, ne donne bien souvent de lignes bien visibles qu'aux environs de la striction; à ce moment, elles sont nettes. Dans l'acier, on voit bien les lignes, au contraire, aussitôt qu'on a dépassé la limite élastique. Cela me paraît tenir à ce que, dans ce métal, l'effort diminue aussitôt que la limite élastique est dépassée. On est passé par un maximum de la courbe.

M. HARTMANN. — Je compléterai ma conférence à ce sujet. Quand on attend la fin du phénomène pour examiner les lignes, on risque de ne rien voir. On prétend souvent qu'un essai de traction n'a rien produit; mais si, avec un appareil optique approprié, on examine la surface, on voit très bien les lignes dans tous les métaux usuels, comme l'a prouvé de façon ingénieuse le commandant Mengin, à la section technique de l'artillerie: on voit se produire des ondulations fugitives des deux systèmes qui se recouvrent, s'effacent et n'apparaissent qu'au moment où on les produit. De même, quand on jette une pierre dans l'eau, il ne faut pas attendre un quart d'heure pour regarder les rayons concentriques. Je suis reconnaissant à M. Mesnager de m'avoir donné occasion de parler de la durée du phénomène, question que j'avais oublié de signaler.

M. GROBOT. — A l'appui de la communication de M. Hartmann, je viens présenter quelques éprouvettes d'acier au nickel qui montrent l'intérêt qu'il peut y avoir à étudier chaque déformation par les lignes qui se produisent à la surface: on se rend compte ainsi des parties du métal qui travaillent et on peut étudier la meilleure forme à donner pour éviter les ruptures. J'ai

déjà fait, sur ce sujet, une communication au Congrès de métallurgie ; mais alors je n'avais pas apporté d'échantillons avec moi : voici quatre éprouvettes en tôle mince au nickel essayées avec des efforts de traction différents qui montrent le développement progressif des déformations à mesure que l'effort augmente. Avec ce métal à grand allongement, il n'est pas nécessaire de polir la barrette ; partout où une ligne se produit, elle fait tomber l'oxyde et devient aussitôt apparente.

Nous avons pu, au moyen de l'étude de ces déformations, étudier la meilleure forme à donner à ces éprouvettes pour que les résultats de l'essai de traction ne dépendent que des caractéristiques du métal.

Nos premières éprouvettes étaient faites avec une partie rectangulaire raccordée aux têtes par des arcs de cercle de 40 millimètres de rayon. Nous avons observé qu'elles cassaient très fréquemment au raccordement de la partie rectangulaire et des arcs de cercle : en même temps, on constatait que les lignes de déformation s'arrêtaient toutes brusquement sur une courbe légèrement convexe vers les têtes de l'éprouvette.

Nous avons supposé que ces ruptures fréquentes étaient dues à ce qu'on passait brusquement d'une région non déformée à une région déformée, et nous avons cherché à obtenir au voisinage des têtes des déformations progressives. Pour cela, nous avons, par tâtonnement, augmenté les rayons du cercle de raccordement jusqu'à ce que le nombre des lignes de déformation aille en diminuant d'une façon insensible sur 10 à 15 millimètres entre l'angle de l'éprouvette et la tête.

Finalement nous avons pris comme arc de raccordement un arc de cercle de 100 millimètres de rayon, se raccordant lui-même avec la tête par une forme grossièrement parabolique.

Grâce à cette nouvelle forme d'éprouvette, nous avons pu nous départir d'une partie des soins que nous prenions pour la confection des éprouvettes.

Nous avons pu les obtenir par le découpage, d'un seul coup, dans une matrice, à la poinçonneuse.

Nous avons seulement soin d'enlever ensuite à la lime une longueur de métal égale à peu près à la demi-épaisseur de la tôle pour faire disparaître la partie écrouie. Et nous n'avons plus eu de ruptures aux têtes.

En somme, l'observation des lignes qui se développent sur les éprouvettes au nickel semblent donner raison aux hypothèses de M. le commandant Hartmann, elles sont d'autant plus nombreuses que les déformations sont plus grandes.

J'ajouterai maintenant un mot de réponse à M. Mesnager, à propos de la limite élastique.

Je ne crois pas à l'hypothèse qu'il a faite que c'est uniquement dans le cas de déformation brusque qu'on obtient des courbes : l'acier au nickel ne présente pas ce phénomène ; on est obligé de mesurer la limite élastique en déterminant le moment où il y a allongement. Les charges vont croissant constamment.

M. MESNAGER. — Je suis d'accord avec les précédents orateurs en ce qui concerne les lignes qui n'ont pas de position absolument fixe ; ce que je disais s'applique à des lignes permanentes. J'avais eu occasion de voir au laboratoire de M. Mengin ces lignes qui se déplacent à la surface des éprouvettes. Je crois qu'on a des déformations non localisées dans le cas où la courbe ne passe pas un maximum. Ce que je voulais dire, c'est qu'en général on a des déformations bien nettes et localisées seulement dans le cas où la courbe de traction passe par un maximum.

M. LE CHATELIER. — Je dirai un mot au sujet d'une explication possible de ces phénomènes. De nombreuses tentatives ont été faites pour rattacher à certaines hypothèses relatives soit à l'élasticité, soit aux coefficients de frottement ou de glissement, la production de ces lignes de déformation, qui présentent une direction régulière par rapport à celle de l'effort.

Ces différentes théories ne visent que les corps isotropes ; or les métaux sont tous des corps cristallisés. Il n'y a évidemment pas impossibilité à ce qu'une théorie qui s'applique aux uns s'applique aux autres. Mais, avant tout, il faudrait s'assurer que les mêmes phénomènes se produisent dans les corps isotropes.

J'ai fait dans ce but quelques expériences sur le verre ; il ne m'a jamais été possible d'apercevoir une apparence quelconque de déformation localisée. J'ai pris du verre à 550° environ, température à laquelle il commence à se déformer ; ni par traction ni par flexion, je n'ai pu produire de lignes orientées ; je n'ai même pas observé cette déformation granuleuse, qui subsiste finalement dans tous les métaux.

Il semble donc bien qu'il s'agisse là d'une propriété essentielle des corps cristallisés. S'il en est ainsi, l'explication de ce phénomène doit être sous la dépendance immédiate des observations remarquables de Ewing et Rosenhain, qui ont montré que la déformation élémentaire d'un cristal métallique se fait toujours suivant un des plans de clivage du cristal, de préférence suivant celui dont l'orientation se rapproche le plus des directions perpendiculaires à la direction de l'effort. Ces déformations, qui sont irrégulières d'un cristal à l'autre, doivent être coordonnées de façon que le volume total ne change pas par la déformation. En considérant la série infinie de petits cristaux orientés de façon quelconque et en admettant que les déformations principales se font toujours dans les plans de clivage les plus voisins de la direction perpendiculaire à celle de l'effort, on doit arriver à établir que la direction des lignes fait un angle voisin de 45° , mais s'en écarte dans un sens déterminé.

Chose intéressante à signaler : il y a, parmi les métaux, deux constitutions différentes : il y a les métaux homogènes, comme le cuivre, formés de gros cristaux juxtaposés et identiques entre eux, sauf l'orientation : Ils ont au moins trois plans de clivage suivant lesquels les déformations peuvent se produire. Mais il y a aussi les alliages eutectiques, formés par empilement de lamelles ayant à peine un millième de millimètre d'épaisseur. Dans ce cas, les expériences de Ewing ont montré que les déformations se faisaient parallèlement aux surfaces des lamelles. Par conséquent la déformation globale doit être différente dans un métal à gros éléments, comme le cuivre, le fer et le laiton et dans un alliage eutectique, par exemple ceux alliages de plomb et d'étain ou autres ayant des températures minima de fusion. Dans ce cas, semble-t-il, l'orientation des lignes doit être différente. Il aurait donc deux groupes de métaux dont les angles caractéristiques seraient différents. Je souhaite que de nouvelles expériences viennent éclaircir ce point. (*Applaudissements.*)

M. MESNAGER. — M. Le Chatelier a dit qu'il considérait l'apparition des lignes comme ne pouvant se produire que dans les corps cristallisés. Cet après-midi, M. Thil nous soumettra d'intéressantes projections sur la déformation des bois, corps non cristallisés. Vous y verrez des lignes analogues.

M. LE CHATELIER. — J'ai parlé d'orientation géométrique.

M. MESNAGER. — Si nous envisageons l'orientation des cristaux, on peut répondre que, dans tous les métaux bien recuits, cette orientation varie dans toutes les directions possibles de l'espace. Il n'y a pas de direction moyenne.

Les lignes atteignent une étendue considérable dans le métal et traversent un nombre énorme de grains. On ne peut donc les considérer comme déterminées par l'orientation des cristaux.

M. LE CHATELIER. — Cette orientation résultante doit être la moyenne de celle des grains orientés de façon quelconque.

Si le glissement était également facile dans tous les sens, ce serait toujours par un angle de 45° que l'on observerait. Comme d'après les expériences, la direction la plus facile est celle qui se rapproche de la perpendiculaire de l'effort, la direction moyenne accusée par les lignes doit être différente de 45° .

M. HATON DE LA GOUPILLIÈRE. — Nous reprendrons cette discussion cet après-midi. (*Assentiment.*)

M. DEBRAY. — Il y aura deux séances : une qui aura lieu ici. On y entendra M. Marva y Mayer, dont la communication sur les épreuves de gélimité des pierres a été ajournée mercredi, à cet après-midi. Nous entendrons également M. Thil dans sa communication sur les fractures des bois.

Une autre séance aura lieu dans laquelle seront entendus MM. Ricour et Mesnager, dont les communications feront suite en quelque sorte aux observations qui viennent d'être échangées.

Pour cette séance qui devait avoir lieu dans la salle B, nous avons la bonne fortune de disposer de la salle E dont l'orientation permet d'espérer qu'il y fera moins chaud.

Enfin nous disposons toujours de la salle A : les membres du Congrès qui auraient des communications à faire non inscrites à l'ordre du jour pourront y réunir leurs collègues et faire devant eux les expériences qu'ils désireraient. (*Très bien !*)

La séance est levée à midi et quart.

SÉANCE DU VENDREDI 13 JUILLET 1900 (SOIR)

PRÉSIDENCE DE M. BELELUBSKY

Assisté de MM. L. SALAZAR et HAENSLER, comme Vice-Présidents
Et de MM. HERZENSTEIN et FERET, comme Secrétaires

Ont pris place au bureau : MM. Haton de La Goupillière, président du Congrès, et Quinette de Rochemont.

La séance est ouverte à deux heures un quart.

M. HATON DE LA GOUPILLIÈRE. — Messieurs, en l'absence de M. de Tetmajer, président de l'Association internationale, à qui nous avons réservé la présidence de cette séance, S. Ex. M. Belebubsky a bien voulu consentir à occuper le fauteuil de la présidence, tant en sa qualité personnelle que comme membre délégué du Comité directeur de l'Association internationale. (*Applaudissements.*)

M. DEBRAY. — La conférence de M. Tchernoff sur l'aviation, et les communications personnelles d'un certain nombre de membres du Congrès, seront faites à partir de quatre heures dans la salle A. Jusqu'à quatre heures, nous prions les Membres du Congrès de vouloir bien honorer de leur présence soit la séance qui se tient ici, soit celle qui a lieu en ce moment à la salle E.

M. LE PRÉSIDENT. — La parole est à M. Marva y Mayer, pour nous entretenir de sa communication sur des épreuves de gélimité des pierres.

M. MARVA Y MAYER. — Messieurs, je ne vous lirai pas tout mon rapport; la séance étant très chargée, je me bornerai à vous donner lecture des conclusions, qui sont ainsi conçues :

Conclusions. — Des expériences citées ci-dessus, on peut tirer les conclusions suivantes :

1. Il n'est pas indifférent pour le résultat des essais de gélimité d'employer la méthode de saturation par simple immersion ou celle du vide. Par le premier procédé, seraient déclarées comme résistantes à la gelée des pierres qui auraient été réputées gélimites si on les avait soumises à la saturation par le vide (Voir pierres L — I, tab. 9). L'unification des résultats des essais exige donc qu'on fixe le procédé de saturation et tous les détails qui pourraient influencer la quantité d'eau absorbée par les pierres et les effets de la congélation, tels que la dépression sous la cloche pneumatique, durée de cette dépression et de l'immersion, le nombre et la durée des gelées, intensité du froid, application graduelle ou brusque des basses températures, etc.

Si l'on admet qu'une pierre est gélimité quand sa résistance à la traction est moindre que la force d'expansion de l'eau qui remplit tous ses pores au moment de sa transformation en glace, il faudra que les éprouvettes soumises aux expériences de gélimité en soient aussi complètement saturées que possible, et que tous les détails opératoires de la gelée soient dirigés de façon à assurer la parfaite congélation de toute l'eau absorbée par les pierres, même celles qui contiennent les plus profonds des vases capillaires. Dans telle hypothèse, on pourrait régler les essais de gélimité comme il suit :

a) Dessiccation des éprouvettes à l'étuve, à 60° C., sans interruption, jusqu'à poids constant à 0^{gr},1 près, constaté par deux pesées successives.

b) Saturation par le vide. L'éprouvette, sortie directement de l'étuve, sera exposée sous la cloche pneumatique pendant trente minutes à 60 millimètres de vide; on y introduira de l'eau distillée jusqu'à l'immersion de la pierre et on maintiendra la même dépression pendant trente autres minutes. Immédiatement après, l'éprouvette sera immergée dans l'eau distillée hors de la cloche et cette immersion sera prolongée jusqu'à poids constant à $0^{\text{re}},1$ près, constaté par des pesées successives, à des intervalles de six jours.

c) Si l'on peut disposer d'une machine frigorifique, l'application du froid sera graduelle, et, à cet effet, on introduira les pierres dans le frigorifère lorsqu'il sera à une température un peu supérieure à 0° , et on fera fonctionner la machine jusqu'à ce qu'on obtienne de -10° C. à 15° C. La température sera maintenue dans ces limites pendant douze heures.

Pour les dégels, les pierres sorties du frigorifère seront exposées à l'air de la chambre une demi-heure, et puis immergées dans de l'eau distillée à $+15^{\circ}$ C. pendant deux à trois heures.

Chaque exemplaire sera soumis à vingt-cinq alternatives de gel et de dégel.

2. On peut se demander si les essais opérés d'après les règles précédentes ne sont pas trop forts.

Comme on vient de le voir, les plus violentes manifestations de la gélivité des pierres sont dues à la plus grande quantité d'eau qu'elles puissent absorber. On sait que la saturation par le vide produit des absorptions d'eau beaucoup plus considérables que la simple immersion prolongée pendant des mois. Remarquons encore qu'il suffit d'un jour d'exposition à l'air extérieur pour que les pierres perdent par évaporation une grande partie de l'eau dont elles sont imbibées.

Tout porte donc à croire que les pierres engagées dans les murs ou dans les voûtes, les corniches, plinthes et d'autres éléments de construction, ne pouvant absorber de l'eau que par une partie de leur surface, et étant exposées en plus à de continuelles pertes par évaporation, contiendront moins d'eau que les éprouvettes qui sont immergées pendant longtemps, et beaucoup moins que les échantillons saturés au moyen de la cloche pneumatique; et l'action de la gelée, bien qu'elle soit répétée un plus grand nombre de fois, sera moins intense.

Par contre, dans les constructions hydrauliques, barrages, bajoyers des écluses, piles et culées des ponts, etc., les pierres placées au niveau de l'eau, constamment baignées par le liquide et en contact avec l'air, se trouvent dans des circonstances aussi défavorables que les échantillons soumis aux épreuves de gélivité, puisque l'immersion prolongée indéfiniment déterminera une absorption d'eau similaire à celle que produit la machine pneumatique.

Il serait donc utile d'adopter une *échelle de gélivité* qui permettrait de ne pas rejeter absolument des pierres qui, possédant une relative résistance à la gélivité, pourraient être employées dans certains cas de constructions, bien qu'elles soient réputées gélives par les essais exécutés d'après les règles citées ci-dessus.

3. Les détails opératoires des essais de gélivité sont trop lents, et il serait utile de les abréger. Si l'on dispose d'une machine frigorifique similaire à la machine Douane, on peut geler préalablement, par immersion dans la saumure, les éprouvettes complètement saturées d'eau par le procédé du vide suivi d'immersion suffisamment prolongée. Si les éprouvettes supportent deux gelées prolongées pendant quatre à six heures, de -10° C. à -15° C., on peut affirmer la non-gélivité des pierres. Avant d'appliquer la deuxième gelée, il faut laver parfaitement l'échantillon et l'immerger pendant six jours dans un grand volume d'eau pour faire disparaître toute trace de saumure.

Si la pierre se fend, on peut alors appliquer aux éprouvettes restantes la méthode ordinaire des vingt-cinq gelées par le contact de l'air froid du frigorifère, afin de déterminer le degré de gélivité.

Il n'est pas nécessaire d'insister pour faire ressortir l'intérêt pratique qui s'attache aux recherches sur la gélivité des pierres. Il est utile de poursuivre ces études et il convient de multiplier les expériences jusqu'à ce qu'on obtienne des résultats assez concluants pour modifier, s'il y a lieu, les méthodes suivies jusqu'à présent et dicter des règles précises. (*Applaudissements.*)

M. LE PRÉSIDENT. — Les questions de gélivité des pierres sollicitent l'attention des ingénieurs depuis longtemps déjà; ils ont étudié la résistance à la gélivité au moyen des différents procédés, procédé chimique, méthode de Brard. C'est aux Conférences internationales de Munich et Dresde que la question a été posée pour la discussion, pour prendre une méthode vérifiée des essais à la gélivité.

MM. Bauschinger et Tetmajer avaient étudié cette question avant la conférence de Munich. La Commission française s'est aussi occupée de la question.

En Russie, cette question a aussi une grande importance, étant donné le climat qui y règne habituellement. Au Congrès de 1889, présidé par M. Durand-Claye, j'ai eu l'honneur de faire une conférence sur les essais de gélivité entrepris en Russie. Je me souviens que M. Durand-Claye avait alors appelé l'attention du Congrès sur les résolutions de Dresde, et décidé de changer le mode d'essai employé au Laboratoire des Ponts et Chaussées de Paris, en ce qui concerne la gélivité des pierres.

Le rapport de M. Marva y Mayer contient un historique de la question de la gélivité; et c'est un document des plus intéressants. Nous lui en sommes vivement reconnaissants. (*Applaudissements.*)

La parole est à M. Thil pour nous entretenir de son étude sur *les Fractures des bois dans les essais de résistance*.

M. ANDRÉ THIL. — Dans un rapport remis en 1899 à la Commission Française d'essai des matériaux, siégeant au Ministère des Travaux Publics, nous avons fait une étude de l'anatomie du bois au point de vue des essais de résistance; il était intéressant de rapprocher les conclusions théoriques de ce travail d'une série d'essais faits avec soin. MM. Debray et Mesnager, ingénieurs des Ponts et Chaussées, directeurs du laboratoire de l'avenue d'Iéna, à Paris, ont bien voulu, à deux reprises différentes, mettre à notre disposition non seulement toutes leurs éprouvettes ligneuses, mais encore autoriser M. Mercier, conducteur chargé des essais, à exécuter pour ce travail quelques expériences complémentaires destinées à faire ressortir des points intéressants.

Pour bien comprendre les faits relevés dans l'étude qui va suivre, il est nécessaire de rappeler les traits principaux de notre étude présentée en 1899.

Le bois est une matière plus ou moins cavernueuse composée de cellules de diverses formes agglutinées par une matière intercellulaire. L'étude de trois sections perpendiculaires entre elles (transversale, radiale et tangentielle aux accroissements de l'arbre) permet de discerner dans le bois un double réseau de cellules placé autour de la moelle dans deux directions perpendiculaires l'une à l'autre. Le premier réseau, ou les rayons médullaires, s'étend, perpendiculairement à l'axe, du centre à la périphérie de la tige, comme les rayons d'un cylindre, d'où son nom de rayons médullaires. Ses cellules s'étendent radialement; leurs groupes, généralement fusiformes, beaucoup plus hauts que larges, sont disposés en spirales tout autour de la moelle, et il en apparaît de nouveaux dans le tissu au fur et à mesure que le diamètre de la tige s'accroît, de sorte que leur espacement reste le même dans toute la matière ligneuse formée.

Le second réseau remplit les secteurs laissés entre les rayons, d'où son nom de secteurs fibrovasculaires. Ses cellules s'étendent parallèlement à l'axe de croissance, elles s'infléchissent plus ou moins au-dessus des rayons médullaires pour venir s'accoler exactement à leurs voisins.

Les formes de ces cellules peuvent se classer en trois catégories :

1° Les fibres, généralement fusiformes, à parois épaisses, de petit diamètre et de grande longueur, qui sont l'élément de résistance de la tige ligneuse;

2° Les vaisseaux, composés d'une longue file de cellules de grand diamètre dont les parois en contact sont plus ou moins résorbées, de façon à former dans toute la tige une sorte de canalisation portant les eaux du sol jusqu'à l'extrémité des rameaux;

3° Le parenchyme, cellules arrondies ou rectangulaires, souvent très irrégulières par suite de la compression des vaisseaux et des fibres qui constituent avec les rayons médullaires formés de cellules de même nature les magasins de réserve ou de dépôt des diverses matières élaborées par la vie végétale.

Ces diverses sortes de cellules se combinent quelquefois deux à deux entre elles de manière à former des cellules mixtes si voisines des unes ou des autres qu'il est difficile alors d'assigner une limite aux unes ou aux autres.

Ce fait oblige, en particulier, à diviser toute étude du bois en deux parties, par suite de la constitution spéciale des bois résineux, dans lesquels on ne distingue plus le vaisseau confondu avec les fibres en une cellule mixte nommée *trachéide*; le parenchyme lui-même est rare et très localisé, de sorte que la section transversale a l'aspect muriforme. Mais cet aspect n'est pas

absolument régulier, car on remarque dans chaque période d'accroissement une décroissance plus ou moins grande sur le diamètre radial des trachéides et une augmentation progressive de l'épaisseur des parois. Il en résulte que tout accroissement résineux est composé de deux parties bien différentes, l'une tendre, connue sous le nom de bois de printemps, et l'autre dure, appelée bois d'automne; ces deux parties ne sont pas réparties proportionnellement, mais de façons très diverses suivant les espèces botaniques et les conditions de végétation; cependant, lorsque les conditions de sol ou de climat favorisent le développement de la tige, l'augmentation de diamètre se produit surtout sur le bois de printemps, l'épaisseur du bois d'automne le plus résistant restant moins variable.

Le parenchyme des bois résineux prend le nom de cellules ou de canaux résinifères, soit qu'il soit isolé, soit qu'au contraire il forme des groupes; cette partie du tissu est anatomiquement une partie faible; mais, d'un autre côté, par suite des sécrétions résineuses qu'elle produit, elle peut améliorer, dans certains cas, soit les qualités de résistance, soit celles de durée du bois.

L'anatomie des bois feuillus est beaucoup plus compliquée que celle des bois résineux. Les vaisseaux ou pores des praticiens ponctuent de différentes façons de leurs larges lumens les sections transversales. Tantôt ils sont répartis également sur toute la section, tantôt inégalement; de plus, le diamètre de leur lumen varie plus ou moins pendant la période de végétation, les plus grands lumens correspondant aux périodes plus actives de croissance. Le bois formé au printemps est, pour cette raison, plus poreux que celui d'automne, mais, dans cette classe de bois, le développement végétal se portant surtout sur le bois d'automne, la partie la plus compacte du tissu augmente avec la rapidité de la croissance. Les fibres, dans cette classe de végétaux, varient peu de diamètre dans l'épaisseur d'un accroissement; c'est à peine si, dans quelques espèces, on discerne la limite de l'accroissement par une diminution de leur dimension. Mais, lorsque le diamètre des vaisseaux augmente, leur nombre diminue en conséquence dans le secteur. Ces fibres à section polygonale sont, du reste, réparties des façons les plus diverses suivant les espèces, ce qui modifie beaucoup les qualités des divers tissus.

Le parenchyme est anatomiquement, dans ces bois, une cause de faiblesse ou d'élasticité, il peut prendre rang, dans certains cas, comme chez les résineux, parmi les éléments de résistance et de durée, lorsqu'il sécrète d'abondants produits de remplissage des lumens et de conservation des tissus.

Les rayons médullaires ont beaucoup plus d'importance dans cette classe. Leur hauteur varie autant que leur largeur, de sorte que la rectitude des secteurs en souffre.

Dans les deux classes, toutes ces cellules sont d'autant mieux agglomérées entre elles que la matière intercellulaire remplit mieux l'intervalle qui les sépare, et que leurs faces tangentes sont plus rapprochées les unes des autres. Cette matière a une épaisseur spécifique définie autour de la paroi, de sorte que, si deux parois voisines sont trop arrondies, il existe un méat ou vide dans l'épaisseur de la couche conjonctive. Ces méats sont une cause de faiblesse d'autant plus grande que la matière intercellulaire, en séchant, devient de plus en plus friable et sert de point de départ aux diverses ruptures examinées. Cette matière paraît moins abondante chez les feuillus que chez les résineux, surtout dans les groupes de fibres, ce qui tient à la forme et à la petitesse de ces éléments.

Enfin, le plus souvent, dans les bois de construction, la tige se compose de deux parties: l'une extérieure, dite aubier; l'autre, intérieure, nommée bois parfait. La première de ces deux parties est moins colorée que la seconde, les dépôts végétaux y sont moindres ou de nature fermentescible, c'est-à-dire facilement assimilables par les végétaux inférieurs ou les animaux, ce qui nuit à ses qualités de conservation. La seconde, plus colorée, est mieux lignifiée, la croissance des cellules y est complètement arrêtée, et les matières résiduelles plus abondantes que les lumens renferment, sont peu fermentescibles, même souvent antiseptiques; aussi cette partie de la tige est-elle d'un meilleur usage et plus résistante que la première.

Cet exposé préliminaire terminé, je vais vous présenter quelques projections, qui vous feront comprendre la différence que présentent ces bois.

Voici une première projection, qui vous montre un tissu de bois de bruyère. Au centre, vous voyez que la moelle est creuse. Autour de la moelle vous voyez des rayons médullaires partant de ce premier cercle; vous voyez également un petit cercle indiquant la première pousse.

Sur ce cercle même, vous voyez l'augmentation des rayons au fur et à mesure de l'augmentation du diamètre de la tige.

A l'intérieur du second accroissement, vous voyez encore ces rayons augmenter, de façon que la différence entre deux rayons reste la même dans toute l'épaisseur.

Voici maintenant une coupe tangentielle de genévrier. J'ai voulu, en vous montrant cette figure, vous indiquer la disposition des secteurs; ils sont très nombreux, puisque, entre chaque trachéide, on peut dire qu'il y a un rayon médullaire. Les rayons médullaires sont ces groupes de petites cellules que vous apercevez en travers. Les trachéides sont ces grandes cellules qui s'allongent dans toute la longueur. Ces cellules sont réunies et viennent contourner les rayons médullaires.

J'attire votre attention sur ce point que, sur la projection, une partie paraît plus noire, plus dense; elle est composée d'une matière friable intercellulaire, qui va intervenir dans toutes les fractures que nous aurons à examiner.

Voici l'aspect d'un bois résineux, du mélèze. Vous voyez les secteurs composés d'une section de quatre trachéides environ. Toutes les trachéides forment l'ensemble de la coupe. Si vous partez de l'accroissement du haut, vous voyez les trachéides de printemps avec une paroi très étroite; au contraire, dans le bas, elles sont beaucoup plus épaisses.

Les rayons médullaires sont ces lignes que vous apercevez en hauteur. Les trois parties rondes du milieu sont les canaux résinifères du mélèze.

Voici encore un morceau du même bois, dont la section est tangentielle. Vous apercevez les rayons médullaires, et une série de petites lentilles rondes très étroites entre les trachéides; elles sont remarquables; ce sont les trachéides du bois d'automne. Vous voyez, à l'intérieur, des stries sinueuses, qui viennent augmenter dans le mélèze la force de résistance du bois.

Voici maintenant du mélèze en section radiale; cette projection vous indique la différence de résistance entre la partie basse et la partie haute.

Voici une coupe de hêtre; elle est remarquable par son homogénéité; les vaisseaux sont presque de même grandeur et de même étendue; les fibres ont partout la même valeur, et le parenchyme est répandu très régulièrement dans toute son épaisseur; s'il n'avait pas l'inconvénient de pourrir aussi facilement, ce bois pourrait servir à tous les emplois. Malheureusement, il ne sécrète aucun produit antiseptique, il se décompose rapidement à la chaleur et à l'humidité.

Voici maintenant un chêne indigène, remarquable par ses grands vaisseaux; cette projection est prise à l'extrémité d'un accroissement. Vous voyez la différence entre le bois d'automne et le bois de printemps; d'un côté, il y a des vaisseaux énormes et, tout autour du parenchyme, des parois peu épaisses; dans le bois d'automne, au contraire, les vaisseaux sont beaucoup plus petits, le parenchyme est serré et la masse est composée de tubes résistants.

Là encore nous aurons une explication de bien des fractures.

Voici un morceau d'orme. Cette section a pour but de montrer la disposition très différente que prennent les vaisseaux. Cette disposition est importante au point de vue pratique, parce que, dans certains cas, nous verrons la brisure se produire sur ces zones. Au premier abord, on se demande pourquoi la brisure est aussi régulière; lorsqu'on a vu la projection, on se l'explique; on voit que la fracture a suivi ces zones.

Ceci est du bois de philaria; j'aurais voulu vous montrer des sections de karri ou de jarrat, n'ayant pas préparé d'échantillon, je vous sou mets celui-ci, qui s'en rapproche un peu. C'est une section perpendiculaire aux accroissements; au travers, vous voyez courir les zones de vaisseaux et de parenchyme mélangés. Entre ces zones, il y a un tissu, qui est composé presque exclusivement de fibres. Si la brisure se produit, elle se produit dans toutes ces zones, ce qui donne un aspect singulier aux fractures. Nous verrons tout à l'heure des échantillons de bois karri et de jarrah se briser d'une façon anormale en apparence, mais qui s'explique par ses vaisseaux, qui ont un aspect à peu près pareil. Dans chaque accroissement, il y a, en général, une partie faible formée par la zone de vaisseaux, qui complique la fracture.

Voici maintenant du bois de hêtre. Vous voyez l'influence des rayons médullaires au point de vue de la direction des fibres; vous voyez des parties un peu sombres; ce sont des rayons médullaires très nombreux et très gros. De là une grande inflexion dans la direction des fibres des secteurs; cette consistance occasionne dans le hêtre des fractures généralement courtes.

Nous passons aux expériences de laboratoire sur la compression.

Lorsqu'on comprime du bois, on n'obtient pas une fracture en deux parties; on obtient une

sorte de plissement variable avec l'espèce; mais le phénomène suit certaines lois. Examinons la partie supérieure; nous voyons là une fracture oblique dans le sens tangentiel; dans l'autre sens, au contraire, elle est presque radiale; je dis presque, parce que, le bois n'étant pas une matière formée mathématiquement, les directions ne sont jamais mathématiques.

Dans l'échantillon à gauche de la projection, vous voyez encore un aspect tangentiel et un aspect radial; dans une autre éprouvette, vous voyez une ligne droite avec un ressaut, une entaille dans le bois, qui a fait abaisser la fracture.

Dans l'échantillon de ce côté, vous voyez une première direction oblique, puis une fente, et un plissement s'étendant obliquement.

L'échantillon qui est plus à gauche est un morceau de chêne; vous voyez une fracture qui a rencontré une fente au milieu. Le plissement est indiqué dans le sens radial.

Tout à fait à droite, vous voyez un échantillon de bois de liem, qui a un aspect particulier. Au printemps, lorsque la végétation se développe, les zones de cellules s'infléchissent fortement; peu à peu, la direction se redresse, et, en automne, elle est verticale. Ce bois est très différent des autres comme résistance et comme composition; cela se voit dans toutes les fractures, de formes plus ou moins particulières; vous ne voyez plus apparaître le plan de plissement oblique; il ne peut plus se produire; le rayon médullaire, qui a déterminé l'obliquité de glissement, ne peut plus agir dans la même zone; il est contourné avec la fibre, et ne suit plus la direction droite.

L'influence principale est celle de la matière intercellulaire. Nous voyons le bloc se comporter sous l'effet de la pression comme un échantillon de cristal. Il s'y forme des espèces d'esquilles longues, ce qui tient aux gommés durs qui imprègnent et remplissent les lumens.

Voici six autres échantillons de bois résineux; les lois sont les mêmes: obliquité sur la tranche tangentielle et direction presque radiale.

Je vous signale un phénomène qui se produit aussi bien dans les bois résineux que dans les bois feuillus. Au fur et à mesure que le bois prend de la densité, le plan de plissement s'abaisse.

Dans la partie haute de la projection, vous voyez du pin maritime et du pitchpin d'Amérique. L'inclinaison est très forte. Elle est moindre dans l'échantillon de sapin. Enfin, dans l'épicéa, bois très tendre, elle est presque horizontale; la ligne de plissement s'abaisse; dans tous les échantillons, suivant la densité et suivant la compacité, nous trouvons le même affaissement de cette ligne.

Voici deux autres échantillons très intéressants, dans lesquels on voit très bien le plan oblique; dans la situation où ils sont placés, nous avons devant nous le plan tangent aux accroissements.

L'examen de ces échantillons nous a amené à faire des études sur des échantillons pris au centre même des arbres pour déterminer la direction générale des fractures.

M. Mercier a bien voulu faire façonner, — ce qui n'était pas facile, — des échantillons pris au centre des arbres. Vous allez voir les plans obliques se produire tout autour de l'échantillon.

Voici ces échantillons. Sur plusieurs d'entre eux, vous voyez des hélices, qui sont doubles dans certains bois. L'inclinaison de l'hélice n'est pas la même dans les deux sens. Cela tient aux rayons médullaires. Ils s'infléchissent autour de la moelle de deux façons.

Vous pouvez remarquer que je ne vous ai parlé que d'un plan de glissement; mais il en existe d'autres. Nous voyons, en effet, toute une série d'hélices plus petites autour de l'hélice principale, ce qui indique bien que ce sont des hélices d'affaiblissement autour de la moelle.

Certains échantillons n'ont pas pris la même forme sous la compression; ces échantillons sont pris dans des bois très denses. Vous voyez aussi, ici, une forme ventrue; elle tient à ce que l'homogénéité du bois est très grande; il y a répartition égale de tous les éléments; la flexion aussi a plus de difficulté à se produire; le plissement se fait sur des anneaux de printemps.

Dans les exemplaires partagés, vous voyez que le plissement est régulier; mais, là encore, en regardant de près, on aperçoit très bien la réapparition de l'hélice.

Dans la partie basse, nous avons réuni des échantillons pris sur des bois verts, pour montrer la plasticité de la matière intercellulaire. En regardant de près, vous verriez à l'intérieur comme des mèches de soie. Ce sont des fibres arrachées de la matière intercellulaire. Les fibres n'ont pas cédé. Seule, la matière intercellulaire a cédé et s'est dissociée.

Pour bien démontrer l'influence des rayons médullaires, M. Mercier a fait des essais sur des échantillons de bambou, dont vous voyez ici la figure. Dans ce cas, il n'y a pas de fracture en hélice, mais des fractures horizontales.

Le bambou est composé de faisceaux cellulaires sans rayon. Il n'y a donc pas de raison d'obtenir des fractures en hélice ; nous avons obtenu des fractures horizontales.

Voici une autre projection, qui montre différents plissements dans le plan du bois. Dans la partie haute, vous voyez qu'il y a une très grande obliquité. A côté, vous voyez jusqu'à huit plans de plissement ; dans le premier échantillon, il n'y en avait que deux. Vous voyez la différence entre les espèces ; dans un échantillon, le plan est incliné ; dans l'autre, il l'est beaucoup moins.

L'échantillon à côté a pour but de vous montrer les inconvénients qu'il y a à ne pas prendre des échantillons bien parallèles à la direction des fibres ; l'échantillon présente une fracture verticale ; c'est l'obliquité qui a produit cette fracture.

Dans la ligne des échantillons du milieu, il y en a un plus grand, qui représente les différents plans de glissement dans le chêne. Je n'ai pas eu assez d'échantillons à ma disposition ; et je ne peux pas vous montrer tout ce que j'aurais voulu. Le chêne rouvre donnerait deux plans de glissement, tandis que le chêne ordinaire n'en donnerait qu'un ; mais le point est à élucider. Lorsque le bois est très homogène, le plan de plissement augmente de largeur. Vous voyez ici, par exemple, deux échantillons d'érable. Le bois d'érable est très plastique ; d'autre part, il est homogène.

Dans la partie basse de la projection, vous voyez des échantillons de bois tendres.

Voici encore des échantillons, qui ont pour but de vous montrer les effets de la compression tangentielle et radiale. Vous voyez, au milieu, un échantillon de karri, soumis à la pression tangentielle, c'est-à-dire perpendiculaire à la circonférence. La fracture se fait suivant quatre plans principaux ; ces plans forment une série de plans très fins entre-croisés.

La pression a réduit la hauteur de l'éprouvette d'à peu près $\frac{1}{5}$. Vous voyez que les côtés se sont infléchis en formant une courbe ; cette fracture est parallèle à la direction des fibres. Ici, nous avons affaire à un corps fibreux et prismatique.

Sur le côté, nous trouvons un exemple de compression radiale. Vous remarquerez sur la droite un échantillon de peuplier ; le côté est sinueux. C'est le bois de printemps qui forme ces sinuosités.

Dans le chêne, dont vous voyez un échantillon de l'autre côté, vous voyez des fractures sur les rayons médullaires, et une série d'affaissements sur le bois de printemps. Dans l'échantillon du haut, la pression a été radiale ; l'affaissement du bois a été moindre ; le bois s'est comporté de tout autre façon.

Dans le bois de peuplier l'affaissement a été complet, avec des petites sinuosités ; ce sont les rayons médullaires qui ont maintenu le bois. Dans l'échantillon en chêne du milieu, le bois de printemps s'est affaissé ; dans les derniers échantillons, les fissures sont encore mieux indiquées.

De toutes ces observations, il résulte que, lorsqu'on étudie un bois, il est d'un grand intérêt d'examiner aussi ses qualités anatomiques.

Voici maintenant des éprouvettes de traction ; la fracture en est très différente, suivant la nature des bois. Le premier échantillon, que vous voyez dans le bas, est du bois de fer de Bornéo. Il y a un point faible, l'agglomération des vaisseaux ; c'est là que la fracture s'est faite.

Les deux échantillons à côté sont du bois de liem. Vous voyez que la fracture a suivi la direction de la fibre.

L'échantillon suivant est du bois de chêne ; la fracture s'est logée dans le bois de printemps.

Voici encore différents échantillons, avec fracture soit sur le bois de printemps, soit sur les rayons médullaires.

Pour montrer l'influence de ces zones, j'ai mis dans la projection différentes éprouvettes dont on voit la section transversale.

L'échantillon de droite est du pitchpin. Il s'est produit une fracture presque carrée sur le plan d'accroissement et sur les rayons.

Il y a, à côté, un échantillon de pin sylvestre de Norvège. La fracture s'est faite dans les mêmes conditions ; mais elle se rapproche davantage de la forme ronde.

Le dernier échantillon est du bois de cornouiller mâle. C'est un bois homogène, qui a donné des arrachements ronds, semblables à la forme de la tige de l'éprouvette.

Voici une autre projection, qui représente des brisures assez longues. Le premier échantillon avait 10 centimètres, tandis que ceux-ci en ont 26 et plus. Au milieu est un échantillon

de sapin, qui s'est cassé dans le plan d'accroissement, puis perpendiculairement aux rayons.

Un mot maintenant des essais de cisaillement. On les fait avec des cylindres sur lesquels s'appuient deux matrices perpendiculaires l'une à l'autre, matrices qui ont la même dimension et la même forme.

Les brisures sont encore différentes. Le plus intéressant échantillon serait celui du bois de chêne ; mais la photographie est mal venue ; sans cela, vous verriez, en haut et à gauche, un plan de fracture qui s'y est parfaitement formé sur le bois de printemps.

Dans l'échantillon à côté, il s'est formé un éclat qui s'infléchit suivant la flexion des vaisseaux et du parenchyme. Dans l'échantillon de chêne que vous voyez plus loin, il s'est formé un éclat courbe qui est limité par deux zones d'accroissement.

Voici les mêmes échantillons vus sur l'autre face, dans le sens radial ; les éclats se sont faits sur les rayons médullaires ; au milieu, il y a des plans d'arrachements irréguliers, qui indiquent une grande faiblesse dans ce sens ; la déchirure a eu lieu suivant des plans moins réguliers que ceux des rayons médullaires, ce sont les alignements de vaisseaux et parenchyme.

Voici une dernière projection, dans laquelle je veux vous montrer la forme de l'éclat. Suivant les espèces et les bois, l'éclat a été s'allongeant ou se rétrécissant. Le bois est soumis à plusieurs efforts ; il y a d'abord l'effort de traction ; il se forme une sorte de petit tampon, qui tend à écarter les deux bras ou à les comprimer dans le sens perpendiculaire ; de plus, sur ce plan, il y a une charge de traction en sorte que l'éclat est produit à la fois par une charge de compression, une charge de traction, et une charge d'écartement, ce qui donne une grande variabilité aux différents résultats.

La troisième éprouvette, que vous voyez en bas, est très élargie ; c'était du bois de printemps, sans résistance ; il s'est laissé déchirer, en formant un éclat absolument triangulaire.

J'aurais voulu vous donner quelques chiffres ; mais le temps presse, et vous avez encore de nombreuses communications à entendre, et vous pourrez trouver du reste tous ces détails dans le rapport qui vous a été distribué. (*Applaudissements.*)

M. LE PRÉSIDENT. — Nous remercions M. Thil de sa communication si intéressante et si étudiée. Il est à désirer que des dessins explicatifs soient intercalés dans son rapport imprimé.

Au nom du Congrès, je le remercie de nouveau pour cet important travail. (*Applaudissements.*)

La parole est à M. Considère, pour nous entretenir de sa communication sur une *Méthode d'épreuve des constructions en béton armé*.

M. CONSIDÈRE. — Messieurs, je crois inutile de chercher à établir ici l'utilité et l'importance de la question des bétons armés ; de nombreuses constructions ont été faites avec ces nouveaux matériaux ; dans l'Exposition même, il y en a de nombreux exemples, qui nous indiquent suffisamment l'importance de cette question. Il n'est pas davantage nécessaire de montrer les dangers de ce genre de constructions. Il a donné lieu à quelques échecs assez retentissants ; et, indépendamment de ceux que nous connaissons tous, il y a un certain nombre d'ouvrages qui ont présenté des fissures et des vices de nature certainement à en diminuer la durée. La question est très complexe, et je n'ai nullement la prétention de l'étudier dans son ensemble.

Je m'en occuperai uniquement au point de vue des méthodes d'essai, c'est-à-dire au point de vue des épreuves.

Les constructions en béton armé diffèrent des constructions métalliques à ce point de vue que, pour les constructions purement métalliques, lorsqu'on s'est assuré par un essai préalable de la qualité des fers et des aciers qui y entrent, et qu'on les a surveillées convenablement, on est presque sûr d'avoir de bons résultats. Les mesures de flèches donnent un supplément de garantie, mais ne font généralement que vérifier l'exactitude des calculs. Il en est tout autrement pour les bétons armés ; on peut faire de très mauvaises constructions avec d'excellent ciment, d'excellent sable et d'excellent métal.

Par conséquent, il importe de faire les essais sur les constructions elles-mêmes. On en fait déjà ; mais, jusqu'à présent, on manque de termes de comparaison ; on dit que l'on a observé telle flèche pour telle portée, et on se contente de constater qu'on est dans les conditions ordinaires, sans se rendre compte que le rapport de la flèche à la portée peut varier dans des limites considérables suivant les cas.

Il importe donc, pour apprécier la valeur de pareilles constructions, de calculer d'abord les déformations qui doivent se produire. Les hypothèses qui ont été faites jusqu'ici se sont trouvées parfois en contradiction avec les faits. Je ne m'y attarderai pas, je me réserve de le démontrer un peu plus loin.

Pour connaître les déformations d'un ouvrage métallique, il suffit de connaître les efforts subis par les éléments qui le composent. Le fer et l'acier employés ne travaillent chacun qu'en dessous de leur limite d'élasticité; par conséquent, les déformations sont proportionnelles aux efforts.

Il en est tout autrement pour le béton qu'on emploie dans les constructions armées. Jusqu'à ces derniers temps, on croyait que la loi des déformations du béton travaillant par traction était très simple, et qu'il se produisait un allongement proportionnel à la charge, allongement qui ne pouvait guère dépasser, dans le mortier, $\frac{1}{10}$ de millimètre par mètre.

J'ai communiqué à l'Académie des Sciences, en octobre 1898, un mémoire, dans lequel j'ai établi que le mortier et le béton pouvaient, au contraire, prendre un allongement considérable.

Ce fait a été établi de la façon suivante: un prisme, qui avait été soumis à des flexions, lesquelles avaient déterminé un allongement de 2 millimètres par mètre, c'est-à-dire 20 fois plus que ce qu'on admet habituellement, et qui avait subi un grand nombre de fois la répétition d'allongement ne dépassant pas 1^{mm},27 par mètre, a été scié de façon à en détacher une partie, qui avait travaillé par traction.

D'abord, le fait seul qu'on a pu les scier et détacher l'armature prouvait qu'elles ne s'étaient pas brisées auparavant; on les a ensuite soumises à des essais de flexion, et on a vu qu'elles donnaient une résistance égale et même quelquefois supérieure, à la résistance à la traction du béton non armé.

Nous avons établi, par conséquent, que, au moins dans certaines conditions, le mortier pouvait éprouver un allongement supérieur à celui qu'on lui demandait généralement, sans se rompre. J'ai répété souvent l'expérience.

Il ne suffisait pas d'établir que ce mortier ne se brisait pas pour certains allongements; il fallait aussi trouver sa loi de déformation, c'est-à-dire la loi qui lie les déformations aux efforts.

Dans la communication que j'ai faite à l'Institut, j'ai étudié cette loi sur des prismes essayés par flexion, parce que c'est ainsi qu'on éprouve d'habitude les bétons armés; mais on m'a dit, avec beaucoup de raison, que, la flexion étant une déformation complexe, il valait mieux établir cette loi au moyen de prismes travaillant par traction. J'ai fait des expériences sur des prismes armés de façon symétrique au moyen de tiges d'acier longitudinales et soumis à la traction, et j'ai retrouvé la même loi de déformation.

J'ai mesuré, pour chaque charge imposée au prisme, l'allongement que présentait le fer, et j'ai multiplié cet allongement par la section totale des barres de fer et par leur coefficient d'élasticité. On a eu ainsi la résistance donnée par le fer. Par conséquent, en retranchant cette résistance de la tension totale, j'avais, par différence, la tension supportée par le mortier.

La loi des déformations constatée a été la suivante: en prenant pour abscisses les allongements et pour ordonnées les efforts, celles-ci montent rapidement pendant une période correspondant à un allongement de $\frac{1}{10}$ de millimètre. Ensuite elles augmentent de façon presque insignifiante, jusqu'à un allongement qui, comme je l'ai dit, s'est, dans certaines éprouvettes, élevé jusqu'à 2 millimètres; on obtient donc une courbe très convexe.

Le phénomène qui se produit pour les mortiers et bétons, lors du premier chargement, est donc analogue à celui qu'on observe pour les métaux. Il en est tout autrement des chargements répétés dans la limite d'un premier maximum. La courbe de déformation présente alors l'aspect d'une ligne presque droite; mais, à l'encontre de ce qui se produit dans les métaux, l'inclinaison de cette ligne sur l'horizontale, fort inférieure à celle du premier chargement, diminue d'autant plus que l'épreuve maximum précédente a été poussée plus loin.

Dans la note soumise au Congrès, j'ai montré comment la connaissance ainsi acquise de la courbe de déformation du béton, jointe à celle de la courbe analogue du métal, permet de déterminer complètement les efforts et les déformations qui se produisent dans les constructions armées. On ne peut obtenir des chiffres rigoureusement exacts que par tâtonnements graphiques; mais l'emploi de l'algèbre fournit le moyen d'établir, en une journée de travail, des barèmes ou des épures permettant de déterminer instantanément, avec une approximation plus que suffi-

sante, les efforts et les déformations qui peuvent se produire dans des pièces quelconques formées de mortier et métal de qualités données.

Il importait de soumettre ces déductions théoriques au contrôle de l'expérience. Les résultats de cette vérification ont été donnés dans ma note imprimée. Les essais dont il a été rendu compte concordent très bien avec les formules que j'ai établies et sont, au contraire, en complet désaccord avec les résultats des deux seules hypothèses faites jusqu'ici : conservation indéfinie du coefficient d'élasticité du béton ; suppression dans les calculs de la résistance du béton tendu.

On devait être et on a été surpris d'entendre dire que les mortiers et bétons armés peuvent supporter, sans se rompre, des allongements dix à vingt fois plus grands que ceux qui brisent les bétons non armés. J'ai expliqué que les armatures ne donnent pas au béton une propriété nouvelle, mais uniformisent les déformations qu'il prend et étendent à toutes les parties tendues les allongements qui, dans le béton non armé, ne se produisent que sur une longueur infiniment petite et ne peuvent, par suite, être constatés par des instruments, si précis qu'ils soient.

Nous allons voir maintenant que la déformation du mortier peut être influencée par un grand nombre de causes ; je parlerai d'abord de l'influence que la dilatation et le retrait produisent dans le mortier, suivant qu'il est exposé dans l'eau ou à l'air.

La plupart des ingénieurs considéraient, il y a quelques années, les effets de la dilatation comme sans importance. Cependant, divers auteurs, en particulier en Allemagne, ont publié des mémoires à ce sujet. L'École des Ponts et Chaussées a fait des essais, elle aussi ; mais ils n'ont pas été publiés. Quoi qu'il en soit, il a été reconnu que les ciments qui font prise dans l'eau, peuvent prendre un allongement atteignant jusqu'à 2 millimètres par mètre ; ceux qui font prise dans l'air, prennent un retrait équivalent. Les mortiers prennent naturellement un retrait et une dilatation moindres ; et, pour les mortiers de dosage ordinaire, on peut admettre que ce retrait et cette dilatation sont environ du tiers au cinquième des chiffres que j'ai indiqués ; ils sont de 4 à 5 dixièmes de millimètre, ce qui est encore considérable.

Naturellement, lorsque le mortier est libre, il n'en résulte aucune espèce de tension, et il prend une longueur qui résulte du traitement auquel il est soumis. Il en est autrement si le mortier est associé à une armature ; lorsque le mortier est immergé dans l'eau, il tend à se dilater, les barres intérieures résistent, et il s'établit une espèce d'équilibre, dans lequel le fer est en tension et le mortier en compression. J'ai publié, l'an dernier, sur ce point, un mémoire. J'avais alors fait des essais pendant trois mois seulement ; je les ai continués depuis. Les efforts, produits dans les éprouvettes que j'ai préparées se sont élevés jusqu'à 12 kilogrammes par millimètre carré.

Naturellement, il se produit un phénomène inverse dans le mortier laissé à l'air ; mais on n'arrive jamais à une charge aussi forte que dans les mortiers immergés, par la raison très simple que le mortier ne peut jamais exercer une traction supérieure à sa résistance à la rupture. Cependant, on obtient encore 6 et 7 kilogrammes par millimètre carré du fer, et les déformations sont influencées par ces efforts extérieurs.

J'ai donné, dans mon rapport, l'indication du calcul des déformations ; mais je ne crois pas devoir rentrer dans ces détails, pour ne pas retenir trop longtemps votre attention.

Les renseignements donnés par les épreuves se déduisent de la comparaison des déformations observées pendant les différentes phases de l'épreuve et des déformations prévues par le calcul. Ces renseignements sont très variés. Tant que l'allongement du mortier n'a pas dépassé l'allongement élastique, tout se passe comme dans un corps élastique ; par conséquent, la première partie de la déformation, celle qui correspond à cette partie de la courbe que j'appellerai la partie élastique, donne des renseignements sur les coefficients d'élasticité du mortier.

Il est donc aussi facile, d'apprécier la limite d'élasticité ; quand la courbe change d'inclinaison, c'est que le mortier a atteint la limite d'élasticité ; par conséquent, — second renseignement, — en prenant l'abscisse de ce point, on a la limite d'élasticité du mortier travaillant par tension.

Enfin, la courbe est parallèle à celle qu'on obtiendrait si le mortier ne produisait pas de tension et la distance entre cette partie de courbe et la parallèle menée par l'origine de la courbe, est proportionnelle à l'effort du mortier.

Comme, d'autre part, j'ai établi que le mortier travaillait, dans toute cette période non élastique, à sa tension maxima, il en résulte qu'on a là la mesure de la résistance à la traction du métal, sans pousser l'épreuve jusqu'à une limite dangereuse.

Comme on sait, d'autre part, que la résistance à la compression du mortier est, en général, de 8 ou 12 fois sa résistance à la tension, il en résulte qu'on a des notions très approchées sur tous les éléments qui peuvent avoir quelque intérêt. Sans m'appesantir sur ces détails, je ferai remarquer que ces renseignements peuvent mettre sur la trace des malfaçons du mortier, car les différents éléments n'influencent pas de la même manière; ainsi, quand on augmente trop la quantité d'eau, c'est surtout le coefficient d'élasticité qui s'abaisse, plus encore que la résistance à la tension; celle-ci diminue aussi, mais bien moins. En augmentant à dessein la quantité d'eau, j'ai réduit le coefficient d'élasticité de moitié, tandis qu'au contraire la résistance à la tension s'abaissait beaucoup moins. Lorsque, au contraire, on diminue le dosage en ciment, en conservant la même quantité de sable, on a une grande diminution de la résistance à la tension et une diminution du coefficient d'élasticité peu considérable; c'est donc l'inverse qui se produit.

Vous le voyez, le champ est ouvert aux observations, à la condition de se rendre compte des différentes influences qui se produisent.

Ce que j'ai dit a rapport aux pièces qui n'ont qu'une armature. On peut être amené à employer des pièces ayant aussi des armatures qui travaillent à la compression. Je n'y veux pas insister; ceux que cela pourrait intéresser liront mon rapport, où j'ai traité la question. Les diagrammes très simples qui servent à calculer les éprouvettes à une armature, peuvent servir à calculer les éprouvettes à double armature, à la condition d'avoir des chiffres de correspondance, indiquant que telle armature double correspond à telle armature simple.

Jusqu'à présent, — je ne me suis occupé que de l'allongement qui se produit sur une faible longueur, tel qu'on peut le mesurer avec l'appareil Manet-Rabut, et en général, on s'est peu occupé de la mesure de ces déformations, sauf M. Rabut, dont les expériences n'ont pas encore été publiées, et on n'a publié que les flèches obtenues; ce sont les résultats de déformations complexes; la flexion elle-même est déjà le résultat des déformations de fibres qui sont toutes soumises à des efforts et à des déformations différents. Et, en plus, la flèche est le résultat des déformations qui se produisent dans des sections soumises à des efforts différents. Par conséquent c'est un élément long à calculer et très complexe.

Néanmoins j'ai indiqué dans mon mémoire comment on le calcule facilement; mais je ne crois pas qu'on arrive, au moyen des flèches, à la précision qu'on obtiendrait au moyen de la mesure des déformations, entre deux sections rapprochées.

Dans la note soumise au Congrès, je n'ai parlé des fissures du béton dans les pièces armées que pour dire qu'elles n'exercent pas d'influence appréciable sur les déformations mesurées sur des longueurs suffisantes et que, par suite, leurs effets peuvent être négligés dans les épreuves. Mais il est intéressant d'indiquer leur importance au point de vue des efforts qu'elles développent dans les constructions armées.

Il est évident tout d'abord que puisque le béton tendu peut être fissuré, les armatures qui le traversent doivent être assez fortes pour supporter la totalité des tensions. La question est plus délicate pour la fatigue du béton comprimé.

Les pressions produites par le couple de flexion sont supportées par les fibres de béton comprises entre l'axe neutre et la surface opposée aux armatures; par suite, les pressions par centimètre carré sont d'autant plus fortes que l'axe neutre est moins éloigné de cette surface. Or l'axe neutre s'en rapproche au droit des fissures, où les armatures privées du concours du béton tendu doivent prendre une plus forte tension qu'ailleurs et, par suite, un plus grand allongement.

La fatigue du béton comprimé est donc augmentée au droit des fissures.

Il importe de remarquer que ce fâcheux effet des fissures est d'autant plus marqué que le métal est concentré en un plus petit nombre de grosses armatures. En effet, la différence des tensions que l'ensemble des armatures produit, d'une part, en section courante, d'autre part, au droit des fissures, a toujours une même valeur égale à la tension du béton dans les parties saines. Par suite, l'adhérence doit transmettre le même effort des armatures au béton et inversement au passage de chaque fissure. L'effort d'adhérence demandé à la gaine de béton qui entoure une barre de diamètre D est donc proportionnel à sa section et, par suite, à D^2 . Le périmètre de la barre sur lequel s'exerce cet effort, étant proportionnel à D , la longueur nécessaire pour la transmission est proportionnelle à $\frac{D^2}{D} = D$. Le glissement des armatures dans le béton donne évidemment une ouverture des fissures, d'autant plus grande qu'il se produit sur

une plus grande longueur, et l'ouverture des fissures détermine l'importance du déplacement de l'axe neutre et, par suite, des suppressions qui en résultent pour le béton comprimé. Les fissures augmentent donc les pressions que supporte le béton, non pas d'une quantité toujours identique, mais dans une proportion d'autant plus grande que les armatures sont relativement plus grosses et moins nombreuses.

Il est probable que, lorsque les armatures ont de fortes dimensions transversales, les pressions qui se produisent au droit des fissures sont supérieures à celles que donne le calcul fait, en supposant que le béton tendu ne produit aucun effet, car la courbure des pièces fissurées est discontinue et présente, par places, des valeurs supérieures à la courbure régulière des pièces continues, alors même que celles-ci sont plus faibles.

Il y a là des questions importantes qu'*a priori*, on ne peut que poser et préciser, et que l'expérience seule pourra trancher.

Je serais très heureux si des objections m'étaient faites; je m'efforcerais d'y répondre dans les études que je continuerai à faire; car il y a bien d'autres questions à envisager en ce qui concerne les bétons, par exemple les glissements. Il y aurait de longues expériences à entreprendre; il faudrait, en outre, éclairé par ces aperçus que je viens d'ouvrir, examiner les avaries qui se sont produites dans les constructions existantes. Il y a encore beaucoup à faire, et je souhaite que la solution ne se fasse pas attendre. (*Applaudissements.*)

M. LE LIEUTENANT-COLONEL LEROSEY. — Je demande la parole.

M. LE PRÉSIDENT. — La parole est à M. le lieutenant-colonel Lerosey.

M. LE LIEUTENANT-COLONEL LEROSEY. — J'ai applaudi avec vous, Messieurs, et de toutes mes forces, le rapport si intéressant de M. l'ingénieur en chef Considère, dont les communications sont attendues avec impatience par tous ceux qui s'occupent des constructions en béton armé. Je demanderai, toutefois, la permission de présenter une réserve au sujet de la dernière conclusion de son rapport.

Je crains qu'il ne soit excessif, tout au moins pour les constructions les plus ordinaires, c'est-à-dire pour les planchers, d'exiger, en outre de l'épreuve de la surcharge et de la mesure des flèches, la mesure des déformations locales.

Cette mesure, c'est-à-dire la mesure directe des allongements et des raccourcissements, me paraît bien délicate pour qu'on puisse l'imposer comme épreuve de réception des constructions en béton armé, alors qu'elle ne figure pas, du moins je le crois, dans les essais réglementaires des ponts métalliques, où, cependant, les efforts secondaires prennent parfois tant d'importance.

La mesure de la flèche sous la charge d'épreuve me paraît devoir suffire. En effet, si, en quelques points, les déformations atteignent des valeurs dangereuses, elles seront accusées par une augmentation anormale de la flèche : la flèche constatée dépassera la flèche calculée. Et, à l'avenir, la seule observation de la flèche me paraît devoir être d'autant plus rassurante que, désormais, les constructeurs pourront la calculer à l'avance bien plus exactement en partant précisément des lois de la déformation du béton armé, exposées par M. Considère. A cet égard, il sera très intéressant de comparer, pour les constructions existantes déjà éprouvées, les différences entre les flèches ainsi calculées et les flèches constatées.

Bien entendu, dans le calcul de la flèche, il faudra tenir compte de la continuité des poutres et, s'il y a lieu, de leur encastrement plus ou moins complet.

Sous le bénéfice de ces observations, la mesure de la flèche, sous la charge d'épreuve, laissée un temps assez long — peut-être même remise après déchargement — me paraît devoir être suffisante. Et, dès lors, il convient de s'y tenir, car il importe que les épreuves de réception, surtout pour des constructions d'un emploi aussi répandu que les planchers en béton armé, soient aussi simples que possible et qu'elles ne puissent pas prêter lieu à discussion.

Je crois donc qu'il convient de réserver la mesure directe des déformations locales, surtout pour les recherches scientifiques sur les propriétés du béton armé, telles que celles qui ont été exécutées l'année dernière sous la direction de M. l'ingénieur en chef Rabut. Bien entendu, on n'en saisira pas moins toutes les occasions de faire ces mesures dans les constructions en béton armé quand les circonstances s'y prêteront. Personnellement, je n'y manquerai pas, mais je crois qu'il serait fâcheux de les imposer dans tous les cas, car, en exigeant ces épreuves un peu délicates, on risquerait d'entraver l'essor des constructions en béton armé, ou, plus vraisemblablement,

blement, ce qui serait tout aussi regrettable, on s'exposerait à faire abandonner, comme trop difficiles à exécuter, les épreuves de réception des ouvrages en béton armé que je juge, au contraire, d'accord avec M. Considère, absolument nécessaires.

M. CONSIDÈRE. — En ce qui concerne la mesure des flèches, il me semble que M. le colonel Lerozey m'a donné lui-même la réponse à lui faire. Il dit qu'il peut y avoir souvent un encastrement, qui n'est pas calculé, ou qui n'est pas conforme aux prévisions. Or, si on mesure la flèche, on arrivera à des conclusions inexactes, précisément par suite de l'encastrement, qui peut la réduire dans une mesure considérable. Telle poutre, faite dans de mauvaises conditions, peut alors paraître excellente. Il semble donc que c'est bien le cas de faire la mesure des déformations locales, et que cette mesure conduira à savoir où sont les sections qui travaillent par flexion dans tel ou tel sens et celles qui ne travaillent pas. Ce faisant, on avancera beaucoup dans la connaissance du béton armé employé dans les constructions.

J'admets que, lorsqu'il y a une série de pièces analogues, on ne fasse de tels essais que sur une seule et qu'on procède par la mesure simple des flèches pour les autres; il y a là, en quelque sorte, une période de transition; il faut apprendre son métier; il est possible qu'on arrive à résoudre une question aussi complexe par un certain nombre de coefficients pratiques; mais, pour le moment, il serait bon de faire des essais scientifiques, et de voir ce qui se passe dans la matière. Ce n'est que par ce moyen qu'on pourra un jour arriver à des résultats certains par des épreuves pratiques.

M. LE LIEUTENANT-COLONEL LEROSEY. — Je crois, comme M. Considère, que des essais répétés n'apprendront rien quand l'ouvrage aura été bien exécuté à tous les points de vue, mais qu'ils pourraient, mieux qu'une épreuve unique, déceler des vices de constitution ou des mal-façons.

A cet égard, la mesure directe des allongements préconisée par M. Considère serait très intéressante puisqu'elle pourrait donner quelques indications sur la fabrication du béton. M. Considère a dit, en effet, qu'on avait des courbes différentes, suivant qu'on avait employé trop d'eau, pas assez, ou que le béton était plus ou moins bien fait. Par conséquent, d'après les déformations données par l'appareil, on aurait des renseignements sur la qualité du béton, mais je craindrais qu'ils ne soient pas assez nets pour qu'on puisse rejeter un ouvrage d'après cette seule indication.

D'autre part, je crois que, pour les petits ouvrages, tout au moins, la mesure des déformations serait une bien lourde exigence imposée aux entrepreneurs.

M. CONSIDÈRE. — Je ne partage pas complètement cet avis. Car un ouvrage qui a supporté l'épreuve peut présenter des dispositions vicieuses qu'aurait révélées la mesure des déformations locales et qui produiront leurs effets plus tard.

M. LE LIEUTENANT-COLONEL LEROSEY. — Je regrette ce léger désaccord avec M. Considère, mais qu'il me permette de lui répéter en terminant que tous ceux qui s'occupent de constructions en béton armé, attendront avec impatience la publication de ses nouvelles recherches sur ces questions délicates qu'il élucide d'une façon si magistrale.

M. CONSIDÈRE. — M. le Président me pose la question suivante: Est-il plus avantageux d'avoir une armature double qu'une armature simple?

C'est une grosse question, une question d'économie avant tout; cela dépend du prix relatif de la matière; on ne peut répondre *a priori*. Mon impression personnelle est que, dans la plupart des cas, il ne faut pas imposer une armature double, sauf si la pièce est susceptible de subir des flexions en sens inverse.

Ainsi, dans les planchers, je comprendrais une armature double sur la longueur.

M. TRÉLAT. — Ce doit être un principe fondamental dans les constructions, que chaque organe soit capable de résister aux causes normales de destruction et aux causes inverses.

C'est la considération qui commande la double armature.

M. CONSIDÈRE. — Si une poutre, posée simplement sur deux appuis, est indépendante, elle ne peut pas être exposée à des flexions dans les deux cas.

M. TRÉLAT. — Il n'y a pas de construction qui ne vibre. Le bien faire est de réduire au minimum ces vibrations.

M. CONSIDÈRE. — Nous pourrions rester ici plusieurs jours sans résoudre la question. (*Très bien! Très bien!*)

M. TRÉLAT. — C'est parce que j'estime beaucoup votre travail que je me suis permis d'en dire un mot. J'ai professé et travaillé pendant quarante ans, pour savoir comment on doit construire solidement avec le moins d'argent possible.

Ce qu'on recherche avant tout, c'est de faire des constructions qui vibrent peu et qui durent longtemps.

Je vous demande pardon de cette digression.

M. LE PRÉSIDENT. — Au nom de l'Assemblée, j'adresse nos bien vifs remerciements à M. Considère pour son très remarquable travail. (*Applaudissements.*)

Permettez-moi maintenant, Messieurs, de vous faire une communication sur le Laboratoire de Mécanique de l'Institut des Voies et Communications de Russie, communication qui traite, sauf l'aperçu général, particulièrement de l'essai des ciments et des conditions imposées par nos cahiers des charges. Pendant ce temps, M. Haensler voudra bien prendre la présidence (voir à l'Annexe, p. 494).

M. LE PRÉSIDENT. — Je donne la parole à M. Rebuffat pour exposer sa communication sur *les Mortiers à pouzzolane dans les constructions maritimes*.

M. REBUFFAT fait l'exposé de cette communication (voir t. II, deuxième partie, p. 91).

Je dirai maintenant un mot en réponse aux observations présentées mercredi par M. Feret, sur mes essais par l'eau sucrée en vue de déterminer la constitution chimique des composés hydrauliques. Je crois que les résultats obtenus par M. Feret sont en majorité dus à des imparfaites conditions d'expérimentation.

D'ailleurs, nous avons causé de ces questions avec M. Feret à l'issue de sa communication, et je crois que nous ne sommes pas loin de nous entendre. En tout cas, il conviendrait de faire de nouvelles expériences. (*Applaudissements.*)

M. CAMERMAN. — Si j'ai bien compris la conférence de M. Rebuffat, le mortier sur lequel il a opéré était immergé dans de l'eau de mer très chargée d'acide carbonique, telle qu'il en existe aux environs de Naples; mais je crois que les résultats qu'il a obtenus, et qui sont la conséquence surtout d'une élimination anormale de la chaux, sont dus, non pas à l'action des sels contenus dans l'eau de mer, mais à l'action de l'acide carbonique.

Nous avons un exemple frappant de mortier siliceux et calcaire, décomposé par l'acide carbonique, dont le rôle, quand il se présente en grand excès, comme c'est le cas dans des régions volcaniques, est, vous le savez, de former du bicarbonate de chaux soluble. On avait construit des réservoirs en mortier de ciment pour une eau ainsi chargée d'acide carbonique: au bout de quelque temps, tout le mortier s'est trouvé réduit à l'état boueux: la chaux était éliminée, et le mortier présentait une composition analogue à celui dont vient de parler M. Rebuffat.

Il aurait été préférable que M. Rebuffat employât de l'eau de mer non chargée d'acide carbonique.

M. REBUFFAT. — Je n'ai pas exagéré mes calculs à l'eau de mer. Le mortier employé à l'eau de mer ne contient que très peu de chaux, tandis que le mortier fait dans les laboratoires en contient beaucoup plus, qui a été fixée par l'acide carbonique. L'acide carbonique n'a pas désagrégé le mortier; mais il a fixé dans le mortier une certaine quantité de carbonate de chaux.

Vous avez vu — page 92 de mon rapport, — une analyse des mortiers; vous voyez qu'ils contiennent très peu d'acide carbonique et peu de chaux.

M. CAMERMAN. — Une grande partie de l'acide carbonique peut avoir été transformée en bicarbonate. En général, l'eau de mer ne contient presque pas d'acide carbonique; mais, à l'endroit où le mortier dont vous parlez était immergé, elle en contenait peut-être beaucoup?

M. REBUFFAT. — Il s'agit de la mer des environs de Naples. J'ai, d'ailleurs, mis dans mon eau de mer artificielle employée au laboratoire trop d'acide carbonique; mais cette addition n'a pas désagrégé le mortier.

M. CAMERMAN. — En tout cas, nous serions tous heureux de voir M. Rebuffat reprendre ses expériences avec de l'eau de mer ordinaire.

M. REBUFFAT. — Je le ferai à mon retour.

M. CAMERMAN. — M. Rebuffat nous dit également que l'aluminate de chaux est entièrement décomposable par le chlorure de magnésie. Il serait intéressant d'approfondir la question.

M. REBUFFAT. — La question est très délicate. Je tâcherai d'en poursuivre la solution. (*Applaudissements.*)

M. LE PRÉSIDENT. — La parole est à M. Tavernier pour son rapport sur *les Joints métalliques coulés dans les maçonneries*.

M. TAVERNIER. — Messieurs, je m'expliquerai très rapidement; la séance a été très longue et vous avez hâte d'en finir.

Vous savez que, dans les maçonneries, les joints ordinaires de mortier de ciment ou de chaux, tout en étant plus résistants que ces matières écrasées en cubes, le sont cependant beaucoup moins que les pierres elles-mêmes, pour peu qu'elles soient de bonne qualité. Aussi y aurait-il un avantage considérable à remplacer ces joints par des joints aussi durs ou plus durs que les pierres, dans les maçonneries ayant à supporter de fortes pressions.

On est arrivé à ce résultat, en coulant à chaud des joints métalliques dans les maçonneries, le métal en fusion, épousant toutes les sinuosités et anfractuosités de la pierre, et formant des joints aussi compacts que ceux du mortier de chaux ou de ciment.

J'ai élucidé successivement trois questions, dont j'ai rendu compte dans mon mémoire.

Est-il possible de faire des joints métalliques de grande surface? Quelle est la résistance de ces joints par rapport à celle de la pierre? Quelle est la résistance des joints ordinaires par rapport aux pierres et aux joints métalliques?

En ce qui concerne les essais de coulée en grande surface, j'ai employé des pierres ayant jusqu'à 1^m,50 de hauteur, afin d'avoir des joints aussi grands que ceux qu'on peut trouver dans la pratique. Il est nécessaire que les pierres soient fortement butées les unes contre les autres, puisqu'en raison de la densité des métaux employés avec des joints de 1^m,50, on a au bas du joint des pressions de 18 à 20 mètres; mais il n'y a dans la pratique aucune difficulté à réaliser cette butée. Il faut aussi assurer la fermeture des joints inférieurs et latéraux, sans quoi le métal s'échapperait. Pour cela j'ai employé le fer ou le bois, et j'ai bouché les interstices avec de la glaise.

Sur le joint supérieur se place un entonnoir de coulée. Voici celui qui m'a servi dans mes expériences. De chaque côté j'ai laissé un espace libre, suffisant pour l'échappement des gaz pendant la coulée.

Pour que le métal en coulant ne produise pas d'éclats sur les parements de la pierre, il est nécessaire que la pierre non seulement ne soit pas mouillée, mais encore soit exempte d'humidité à l'intérieur. Cette condition est facile à remplir, car il suffit de faire la coulée après quelques jours de temps beau et sec ou de chauffer artificiellement la pierre par un procédé quelconque.

Au point de vue de l'épaisseur, je n'ai pas trouvé de grandes différences entre les métaux essayés; et pour les joints de 1^m,50 de hauteur, j'ai constaté qu'il suffisait de leur donner une épaisseur de 3 millimètres; quand on donne une épaisseur moindre, le métal ne pénètre pas jusqu'au fond.

Je vous montre un morceau, pris à la partie inférieure d'un joint de 1^m,50 de hauteur. Vous voyez que le joint est parfaitement compact.

Il n'y a pas de grandes précautions à prendre pour faire les joints. Il convient seulement que la quantité de métal fondu soit assez grande pour faire la coulée en une seule fois. Si la surface du joint était trop grande, on pourrait la fractionner au moyen de cales verticales.

Je donne dans mon mémoire le résultat des essais effectués sur la compressibilité des métaux employés, cette compressibilité ayant une grande importance au point de vue de l'action des joints sur les pierres.

J'ai adopté dans mes essais l'épaisseur uniforme de 3 millimètres, la plus faible qui puisse être réalisée dans la pratique.

Pour déterminer la résistance des joints, j'ai coulé divers métaux ou alliages entre de petits cubes de pierre de 0^m,06 d'arête, la plus grande dimension que m'ait permis le matériel de l'Ecole des Ponts et Chaussées; et j'ai opéré sur quatre pierres, ayant comme résistance approximative, 1.900, 1.400, 1.300 et 800 kilogrammes, afin d'avoir une gamme aussi complète que possible et d'en tirer une loi générale.

Pour les métaux tendres, tels que l'étain ou le plomb, les résultats ont été très mauvais. Le plomb comprimé tend à sortir du joint et, en entraînant avec lui, le pourtour détermine l'écrasement des cubes de pierre pour des pressions relativement peu élevées.

Au contraire avec le zinc, les résultats ont été très satisfaisants et peuvent se résumer comme il suit :

Pour les pierres, dont la résistance ne dépasse pas 1.200 à 1.300 kilogrammes par centimètre carré, la présence d'un bourrelet métallique sur tout le pourtour du joint augmente d'une manière très appréciable la résistance des pierres.

Avec les pierres dont la résistance ne dépasse pas 1.000 kilogrammes, les joints de zinc avec bourrelets donnent une résistance sensiblement égale à celle des pierres.

Avec des pierres dont la résistance varie de 1.000 à 1.200 ou 1.300 kilogrammes, la résistance de ces joints atteint environ 85 0/0 de celle des pierres.

Avec des pierres plus dures, la résistance proportionnelle donnée par les joints de zinc diminue, tout en restant encore satisfaisante. Pour augmenter cette résistance, il faudrait employer des métaux ou alliages encore moins compressibles que le zinc. Comme la plupart des applications industrielles ont leurs alliages propres, comme, en métallurgie, l'addition de petites quantités de nickel, de chrome, de tungstène améliore d'une manière considérable les qualités de l'acier, il n'est pas téméraire de penser qu'on pourrait trouver un alliage qui donnerait des résultats encore supérieurs à ceux du zinc.

On voit par là combien les résultats trouvés sont intéressants pour les maçonneries ayant à supporter de fortes pressions.

Mais ils le deviennent encore davantage, si on les compare à ceux que donnent les joints ordinaires.

Les essais ont été faits avec les mêmes pierres que les précédents, pour les rendre comparables avec le ciment Vicat artificiel employé pur ou en mortier, et avec le mortier de chaux du Teil.

Le ciment pur a été employé en pâte plastique, avec addition de 23,5 0/0 d'eau; le coulis de ciment, avec addition de 50 0/0 d'eau sous charge de 1 mètre; le mortier de ciment au dosage en poids de 1 de ciment et de 3 de sable à consistance plastique; le mortier de chaux, au dosage de 1 de ciment et de 4 de sable. Les mortiers ont été employés sans pression ou sous une pression de 1 kilogramme par centimètre carré.

Nos essais ont porté successivement sur des épaisseurs de 10 et 15 millimètres, sauf pour le coulis de ciment, avec lequel les épaisseurs pourraient être en pratique plus faibles et pour lequel par conséquent j'ai adopté des épaisseurs de 5 et 10 millimètres. En outre le ciment pur a été employé avec une épaisseur d'une fraction de millimètre, en frottant les blocs l'un contre l'autre.

Comme les joints augmentent de résistance avec les durées de prise, j'ai effectué mes expériences pour des durées de 28, 84 jours, 6 mois et un an.

Dans mes essais, les joints ont commencé à se fissurer, puis se sont écrasés, et ensuite les pierres se sont elles-mêmes fissurées et écrasées pour des pressions croissantes.

Ce sont, à mon avis, les premières fissures des joints qui doivent être prises en considération; car, lorsque les joints commencent à se fissurer, il est probable qu'en pratique, sous l'action de l'eau et des gelées, les joints se détruiraient peu à peu, sans augmentation de pression, en entraîneraient finalement l'écrasement au moins partiel des pierres.

Les conclusions suivantes s'appliquent donc aux premières fissures :

1° D'une manière générale, tous les joints donnent une résistance supérieure à la résistance intrinsèque des joints donnée par des cubes ou même, en général, par des briquettes; mais, sauf pour les joints de ciment pur d'une fraction de millimètre, cette résistance est très inférieure à celle de la pierre;

2° D'une manière générale dans les joints de coulis de ciment, de ciment pur, de mortier de ciment et de chaux, la résistance diminue quand l'épaisseur augmente, dans une proportion moindre que l'épaisseur, mais néanmoins très sensible;

3° Les résistances les plus fortes sont données par le ciment pur d'une fraction de millimètre d'épaisseur, en frottant l'une sur l'autre les faces des cubes recouvertes au préalable d'une petite couche de ciment. Ce sont les seules qui soient comparables à celles données par le zinc. Mais, pour pouvoir compter sur les résistances trouvées, il faudrait s'astreindre, dans la

pratique, à frotter les unes sur les autres les faces des pierres préalablement taillées avec une grande perfection, de manière à ce que l'épaisseur des joints ait une fraction de millimètre, ce qui serait d'une exécution difficilement réalisable et, en tout cas, très dispendieuse ;

4° Les joints de ciments sont plus résistants que les joints de coulis ou de mortier de ciment ; mais il y a lieu de remarquer qu'en pratique il serait très difficile d'éviter avec le ciment pur la présence de bulles d'air emprisonnées dans la pâte, qui diminueraient certainement la résistance des joints et la feraient descendre peut-être au-dessous de celle des joints de coulis de ciment ou de mortier de ciment ;

5° Après le ciment pur, c'est le coulis de ciment qui donne les plus fortes résistances. Mais ces résultats doivent être attribués non pas à la résistance intrinsèque du coulis, mais bien à ce que j'ai essayé ce coulis avec des épaisseurs moindres, pensant, comme je l'ai dit, qu'en pratique, on pourrait donner aux joints de coulis de ciment des épaisseurs moindres qu'aux autres joints.

Avec une épaisseur de 10 millimètres, les joints de coulis de ciment et de mortier de ciment à 1 de ciment pour 3 de sable ont sensiblement la même résistance ;

6° Les résistances des joints de mortier de chaux sont notablement inférieures à celles des joints de ciment et de mortier de ciment.

D'une manière générale, même en escomptant largement les augmentations de résistance données pour les durées croissantes de prise, les résistances des joints de coulis de ciment et de mortier de ciment et de chaux sont toujours très inférieures aux résistances propres des pierres et à celles des joints de zinc.

En dehors de la supériorité des joints métalliques que mettent en évidence les expériences de laboratoire, il faut tenir compte de ce fait que la résistance des joints métalliques d'un ouvrage ne peut pas être sensiblement moindre que celle trouvée dans un laboratoire, puisque ces joints acquièrent immédiatement toute leur résistance, tandis qu'avec le ciment et les mortiers ordinaires, les conditions atmosphériques dans lesquelles s'opère leur durcissement, si elles sont mauvaises, comme cela arrive souvent dans la pratique, réduisent dans des proportions très importantes la résistance des joints.

Une des applications les plus fréquentes des joints métalliques pourrait être faite aux arches en maçonnerie de grande ouverture.

Dans un mémoire publié dans les *Annales des Ponts et Chaussées*, j'ai comparé, au point de vue de la dépense, ces joints aux joints ordinaires dans des arches de 50 et 100 mètres d'ouverture de divers systèmes. Je rappellerai brièvement, à titre de simple indication, les résultats auxquels je suis arrivé.

Pour réduire autant que possible le poids des voûtes, j'ai supposé, pour les joints métalliques, des voûtes à triple articulation, avec plaques d'appui et rotules métalliques, et des tympans éligés au moyen d'arcades supportées de distance en distance par des pylônes.

La pression maximum adoptée a été de 100 kilogrammes pour les joints métalliques et de 40 kilogrammes pour les joints de mortier de ciment. Ces derniers ont été considérés soit avec des voûtes à triple articulation, soit avec des voûtes ordinaires sans articulation.

Comparées à celles des voûtes articulées avec joints métalliques prises comme unités, les dépenses des diverses voûtes ou tabliers métalliques étudiés varient de 1,39 à 2,77.

L'économie donnée, avec les joints métalliques, par la diminution du poids des maçonneries, l'emporte donc de beaucoup sur l'augmentation de dépense, variant de 4 à 8 0/0, résultant de la substitution des joints métalliques aux joints ordinaires.

Ces résultats suffisent pour montrer le grand avantage que donnerait l'emploi des joints métalliques, sans vouloir d'ailleurs généraliser ces résultats et les étendre à toutes les hypothèses.

En terminant, permettez-moi de vous faire connaître que, peu de temps avant sa mort, le regretté M. Bourdelles, directeur des Phares, m'avait exprimé le vœu de voir réaliser un essai de construction d'une voûte en maçonnerie à articulations et avec joints métalliques. Il y aurait là, je crois, une expérience intéressante à faire.

Je regrette d'avoir été un peu bref dans mon résumé ; mais cela était nécessaire pour ménager votre temps. (*Applaudissements.*)

M. SKOUGAARD. — Ce système est-il employé dans quelques constructions, en France ou ailleurs ?

M. TAVERNIER. — Je viens, par avance, de répondre à la question qui m'est posée. Aucune application du système de joints métalliques n'a encore été faite, mes expériences ne recevant de publicité qu'au présent Congrès. On ne peut que former le vœu qu'une application en soit réalisée.

M. LE PRÉSIDENT. — La parole est à M. Henry pour nous entretenir d'une communication, qu'il a préparée de concert avec M. Brüll, sur *le Ciment de laitier*.

M. HENRY. — Messieurs, je ne vous demande que quelques minutes, à cause de l'heure avancée, pour vous soumettre le rapport que nous vous avons présenté au sujet du ciment de laitier.

Il ne s'agit pas du ciment de laitier fabriqué par cuisson, mais du ciment obtenu par un mélange à froid de chaux éteinte en poudre et de laitier granulé de haut fourneau très finement broyé.

Le laitier doit être granulé, c'est-à-dire qu'au moment où il sort du haut fourneau il faut qu'il soit refroidi brusquement, au moyen d'un courant d'eau. Cette opération développe ses propriétés pouzzolaniques, lesquelles sont presque nulles quand le refroidissement du laitier se fait lentement. Le laitier, en cet état, est un sable grossier qui ne renferme presque pas de poussière. Débarrassé de son eau (et il en contient une quantité considérable qu'on est obligé d'expulser par la chaleur), il pèse de 800 à 1.000 kilogrammes le mètre cube. Quelquefois, quand il est siliceux et obtenu à une allure très chaude, le poids descend jusqu'à 300 kilogrammes ; mais c'est l'exception.

Tous les laitiers ne sont pas propres à la fabrication du ciment ; il faut qu'ils soient basiques et qu'ils renferment une certaine quantité de chaux et même d'alumine. Il faut qu'ils soient obtenus en allure chaude.

Je passe sous silence les opérations de la fabrication, qui se réduisent au séchage du laitier, à la pulvérisation de cette même matière et au mélange du laitier moulu et de la chaux.

Je résume les propriétés du ciment de laitier :

Il est de couleur claire comme le laitier dont il provient (on l'appelle souvent ciment blanc). Cette couleur du laitier est un indice de sa bonne qualité ; dès qu'elle devient foncée, par suite d'un changement d'allure du haut fourneau, le laitier se granule mal et ne convient plus à la fabrication du ciment.

Le poids spécifique n'est que d'environ 2,7. Le poids apparent est très faible ; le mètre cube ne pèse guère plus de 1.100 kilogrammes.

La finesse est une condition presque essentielle de qualité, et la proportion de résidu sur le tamis de 4.900 mailles est à peine de 15 0/0.

La composition chimique peut varier, suivant la nature du laitier, dans des limites étendues, sans que la qualité en soit atteinte ; cependant cette composition est bien régulière pour un haut fourneau donné.

La nature de la chaux a aussi son importance. La chaux hydraulique donne un produit qui se comporte mieux à l'air ; mais la résistance qu'on obtient par l'emploi de la chaux grasse est généralement supérieure.

Le ciment de laitier n'exige pas de silotage, comme d'autres ciments, il peut être employé aussitôt après sa fabrication.

Il supporte les essais que les cahiers des charges imposent aux ciments lents. La prise ne commence pas ordinairement avant une heure et se termine en huit heures.

Ce produit est excellent à l'eau et à l'humidité ; il s'emploie bien dans les souterrains, les égouts, les fondations de machine, etc. On s'en sert pour la fabrication des tuyaux, des carreaux, des briques, etc. Quand il est sec, il supporte la peinture.

Son emploi se répand de jour en jour.

Cette industrie a pris naissance, il y a vingt ans environ, et elle est représentée maintenant dans tous les pays d'Europe et aux Etats-Unis. (*Applaudissements.*)

La séance est levée à six heures un quart.

SÉANCE DU VENDREDI 13 JUILLET 1900 (APRÈS MIDI)

(SALLE E)

PRÉSIDENCE DE M. REJTÖ

Assisté de MM. HANNOVER et BRÜLL, comme Vice-Présidents,

Et de MM. JUST et RATEAU, comme Secrétaires.

La séance est ouverte à deux heures un quart.

M. LE PRÉSIDENT. — La parole est à M. Ricour, auteur de l'*Etude sur la constitution moléculaire des corps*.

M. RICOUR. — Messieurs, le sujet que j'ai traité est très vaste et assez compliqué. Je vais donc tâcher de résumer, en quelques paroles aussi brèves que possible, non pas l'ensemble des considérations qui se trouvent dans cette *étude*, mais au moins l'idée directrice d'où elles émanent et qui les relie entre elles.

L'idée directrice est la suivante : les lois de la géométrie et de la mécanique suffisent pour expliquer tous les phénomènes de la matière et permettent de substituer les notions de *quantité* à celles de *qualité* : les notions de quantité se réduisent, d'ailleurs, à trois termes irréductibles et indissolubles : *longueur, nombre et mouvement*, ou bien *distance, atome et force*.

L'état naturel des corps est l'état cristallin, et, lorsqu'un corps ne se présente pas sous la forme cristalline, c'est que des circonstances extérieures ont orienté les plus petites particules non pas au hasard, mais suivant des surfaces courbes, en les déviant des alignements droits et des surfaces planes de l'état cristallin.

Je m'arrêterai aux corps qui cristallisent dans le premier système, c'est-à-dire dans le système cubique — et tous les métaux à peu près sont dans ce cas ; — par conséquent les considérations qui suivent auront un caractère tout à fait général pour les corps métalliques.

Les molécules chimiques sont des assemblages d'un nombre très limité d'atomes chimiques ; ces atomes ont des poids relatifs rigoureusement déterminés, et personne aujourd'hui, je crois, ne met en doute que leur forme est polyédrique. Les molécules chimiques sont nécessairement *polaires*. De ce mot « polaire », je donnerai une explication extrêmement simple : lorsque deux molécules sont absolument sphériques, leurs attractions ou répulsions mutuelles se font nécessairement suivant la ligne des centres, c'est-à-dire que la distance seule intervient pour régler les positions mutuelles. Au contraire, lorsque les molécules sont polyédriques, il faut pour en étudier les mouvements recourir non pas à ce qu'on appelle la résultante de l'ensemble des forces, mais aux forces élémentaires qui constituent cette résultante ; ces forces élémentaires donnent naissance à un couple imprimant aux molécules une orientation déterminée : c'est la *polarité*. Cela devient plus clair lorsqu'on considère non pas les molécules chimiques isolément, mais les groupements spéciaux suivant lesquels ces molécules s'assemblent pour constituer des *molécules d'un ordre supérieur*, assemblages complexes qui jouent un rôle prépondérant en physique et dont l'existence est mise en évidence par les lois de la cristallographie et aussi par les phénomènes lumineux et notamment par la dispersion et par la polarisation rotatoire.

Il faut considérer maintenant *cette molécule d'ordre supérieur* que je désigne sous le nom d'*atome mécanique* et qui n'est autre chose que la *particule intégrante* de la cristallographie : et, je le répète, cette particule n'est pas identique avec la molécule chimique, elle constitue un polyèdre particulier, assemblage géométrique d'un grand nombre de ces molécules. Si les particules cristallines étaient identiques avec les molécules chimiques, la cristallographie tomberait ; elle serait réduite au rôle d'un simple catalogue, elle cesserait d'être une science reliant logiquement les uns aux autres un ensemble de faits et d'observations.

Les atomes mécaniques ou particules cristallines sont donc des assemblages d'un nombre déterminé n , nombre considérable, — mettons un million, — de molécules chimiques. Les molécules chimiques sont par elles-mêmes *polaires*, puisqu'elles sont composées d'un petit nombre d'atomes. Voici une molécule chimique fixe, composée de quatre atomes par exemple ; mettez-en une autre en regard, celle-ci se tournera, ou s'orientera, jusqu'à ce qu'elle arrive à une position d'équilibre ; il peut même y avoir *diverses positions d'équilibre* plus ou moins stables ; il y a une double action : l'action due à la distance des molécules, qui rapproche ou écarte les centres de figure et l'action due à la position relative des atomes chimiques dans les molécules, qui détermine l'orientation de celles-ci. Les molécules chimiques, en nombre déterminé n , régulièrement orientées et distribuées comme les nœuds d'un réseau forment pour *chaque position d'équilibre* un polyèdre géométrique dont les axes de symétrie caractérisent le système cristallin et du polyèdre lui-même et du corps dont il est un élément.

Nous voici donc maintenant en face d'un petit polyèdre, d'une petite particule cristalline. Haüy, Ampère et d'autres physiciens lui ont donné des noms différents ; je l'ai appelée *atome mécanique*, pour les raisons suivantes : quand on ébranle un corps et qu'on le brise, les surfaces de rupture ne sont pas distribuées au hasard, elles laissent toujours entières les particules cristallines, qui sont dès lors des ATOMES MÉCANIQUES, c'est-à-dire des particules qu'on ne peut pas couper mécaniquement. Nous verrons, en outre, que les atomes mécaniques et les atomes chimiques présentent de nombreuses analogies. Je voudrais

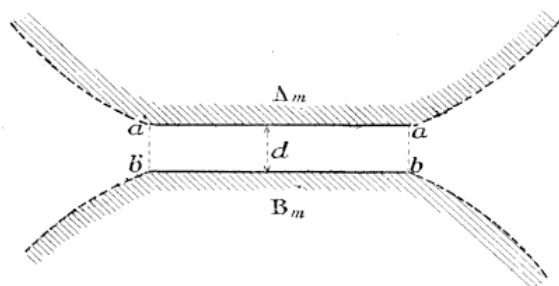


FIG. 24.

bien faire entrer cette idée dans vos esprits : un atome mécanique est un polyèdre formé d'un nombre considérable (n) de molécules chimiques ; le nombre n est considérable, mais il est fixe pour chaque corps simple. Pour les corps qui cristallisent dans le système cubique, le polyèdre est inscriptible dans une sphère : le rayon de cette sphère est fixe aux très basses températures comme le nombre n .

Convenons de désigner l'atome mécanique par le signe particulier A_m . Vous voyez bien quelle est sa composition ; c'est un polyèdre, puisqu'il est composé de molécules chimiques, et que les molécules chimiques, étant polaires, se disposent suivant des files rectilignes lesquelles se groupent en réseau : c'est donc un polyèdre géométrique. Voici maintenant deux de ces atomes mécaniques, A_m et B_m , mis en regard (fig. 24).

Les deux facettes aa' et bb' sont orientées de la même manière, et, à une distance déterminée d , elles sont en équilibre ; les lignes pointillées de la figure correspondent à la sphère idéale circonscrite à chaque polyèdre.

Vous voyez bien cette facette bb' , elle paraît continue comme un plan géométrique : en réalité, elle est constituée par un nombre très grand de molécules chimiques, équidistantes, disposées en réseau ; il en est de même de la facette aa' . Qu'advient-il si l'équilibre est dérangé ? Pour se rendre compte des mouvements relatifs, il faut, non plus considérer l'attraction ou la répulsion, les forces attractives ou répulsives de la masse A_m et de la masse B_m ; mais il faut considérer les petits efforts isolés émanant de chaque molécule chimique des masses A_m et B_m .

Le cas le plus simple est celui d'un déplacement suivant la normale commune aux deux facettes aa' , bb' , d étant la distance d'équilibre entre les deux facettes ; si vous rapprochez les atomes A_m , B_m , vous diminuez la distance d , et, immédiatement, il se développe une force de répulsion considérable. Si, au contraire, vous les écartez, il se développe une force d'attraction, qui croît d'abord, atteint un maximum, puis décroît rapidement.

La distance d des facettes aa' , bb' étant immense par rapport à la distance χ des molécules

chimiques dans chacune de ces facettes, il suffit, pour l'objet que nous avons en vue, de considérer le mode de variation de la force φ (attraction ou répulsion) en fonction de la distance des centres de figure des molécules chimiques, lorsque cette distance est de l'ordre de grandeur d .

Voici une courbe qui représente ces variations (fig. 25) :

Je marque ici la distance δ , peu différente de la distance d , à laquelle il n'y a ni attraction, ni répulsion ; voici la courbe : les abscisses sont les distances, les forces sont figurées par des ordonnées verticales ; la branche inférieure est asymptotique de l'axe des abscisses dès qu'elle s'éloigne du point d'intersection O, elle peut s'appeler la branche newtonienne : les ordonnées varient en raison inverse du carré des distances. Les forces répulsives, au contraire, augmentent extrêmement vite à partir de ce point O, et la tangente à la courbe se rapproche de la verticale.

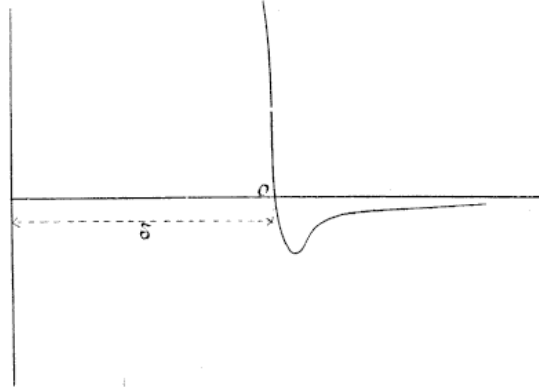


FIG. 25.

Il en résulte que, si vous diminuez un peu la distance δ , vous développez immédiatement des répulsions considérables ; si, au contraire, vous l'augmentez, les attractions sont incomparablement moindres. Si l'on se reporte maintenant aux atomes mécaniques A_m et B_m , on voit immédiatement que les forces répulsives de A_m sur B_m proviennent de zones de faible épaisseur ε à partir des surfaces terminales de A_m et de B_m , comme le montre la figure 26, qui n'est autre que la figure 24 agrandie : pour les distances supérieures à $d + \varepsilon = \delta$, les forces sont attractives. Si donc vous voulez rapprocher les atomes mécaniques, vous obtenez un rappro-

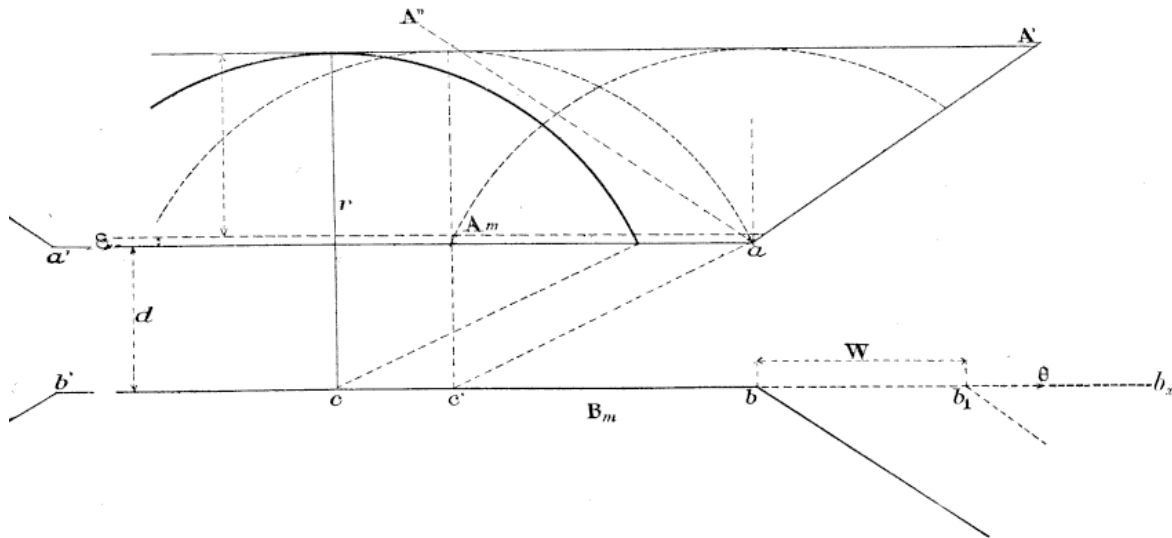


FIG. 26.

chement très faible pour un effort très grand ; lorsque vous les écartez, au fur et à mesure que l'écartement augmente, l'attraction moléculaire va en croissant, mais atteint rapidement un maximum T_m . Jusque-là, l'équilibre est stable, mais la moindre augmentation de l'effort extérieur au delà de T_m provoquera une augmentation de distance illimitée ; l'équilibre stable sera dépassé.

Le point capital à retenir, c'est que, dans le cas d'équilibre, les forces répulsives proviennent de zones d'une très faible épaisseur ε , tandis que les forces attractives proviennent de zones d'une épaisseur beaucoup plus grande.

Voilà pour ce qui concerne les déplacements normaux aux facettes aa' , bb' . Cherchons maintenant à nous rendre compte des forces moléculaires corrélatives aux déplacements latéraux ou de glissement.

Revenons au cas où nulle force extérieure ne trouble l'équilibre des atomes A_m et B_m ;

comme je le disais tout à l'heure, les forces répulsives proviennent d'une zone d'épaisseur ε , presque négligeable; au contraire, les forces attractives des molécules chimiques de A_m sur celles de B_m qui se trouvent à une distance supérieure à ε ont un rayon relativement étendu. Il ne faut pas oublier que ces attractions diminuent très rapidement.

J'appelle r la distance à laquelle on peut considérer les ordonnées comme négligeables.

Voici une molécule chimique c formant partie de la facette bb' ; avec un rayon r , décrivons une sphère ayant pour centre c : cette sphère découpera dans l'atome mécanique A_m une calotte sphérique comprenant toutes les molécules chimiques de A_m exerçant sur la molécule chimique c des forces appréciables: pour des raisons de symétrie, toutes ces forces élémentaires ont une résultante unique, laquelle est nécessairement perpendiculaire à la facette bb' ; mais, dès que la calotte sphérique dépasse les limites de l'atome A_m , ce qui arrive lorsque le centre c se rapproche du bord b de la facette bb' , les choses changent; la résultante s'incline, une composante tangentielle prend naissance; choisissons, par exemple, une molécule chimique placée en b comme centre de la calotte sphérique.

Je mène par l'arête a un plan aa'' faisant avec la facette aa' un angle $a'aA''$ égal au supplément de l'angle dièdre $a'aA'$. Vous voyez que la molécule chimique placée en b va se trouver soumise aux forces élémentaires émanant de toutes les molécules qui sont comprises dans l'angle dièdre $A'aA'$. La résultante de toutes ces forces est nécessairement verticale; de ce côté-ci, à droite, vous sortez de l'atome A_m , vous n'avez plus de matière, et partant plus aucun effort; du côté opposé, vous avez un angle dièdre $a'aA''$, et toutes les molécules dans cet angle dièdre exerceront sur la molécule chimique b des forces élémentaires obliques, lesquelles donneront une résultante finale, qui sera inclinée par rapport à la facette bb' ; cette résultante peut être remplacée par deux composantes, l'une normale à la facette bb' , et l'autre parallèle ou tangentielle. Par conséquent, vous voyez que, vers les extrémités de la facette bb' , il se développe des forces tangentielles. A l'état normal d'équilibre, les forces tangentielles développées aux deux extrémités sont exactement égales et contraires, de sorte que leur résultante générale est nulle.

Ainsi, deux facettes en regard l'une de l'autre, en équilibre, sont sollicitées par des forces normales à leur plan et par des forces tangentielles.

Qu'arrivera-t-il lorsqu'une force extérieure θ parallèle à la facette bb' déplacera l'atome mécanique B_m et le fera glisser par rapport à A_m ? C'est une question intéressante, car elle donne la clef de la théorie géométrique de l'élasticité et du frottement.

Supposons l'atome mécanique A_m immobile et suivons l'atome mécanique B_m dans sa marche sous l'influence de la force extérieure θ .

A mesure que la facette bb' s'avance dans cette direction vers b_1 , vous voyez qu'il se développe des forces tangentielles non équilibrées; de l'autre côté, au contraire, les forces

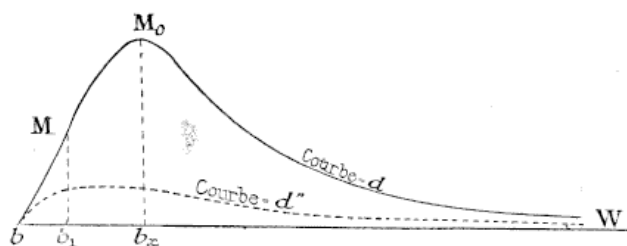


FIG. 27.

tangentielles dont nous avons expliqué l'origine diminuent et tendent à disparaître. Lorsque l'arête b atteint une certaine position b_x telle que la sphère de rayon r décrite de b_x comme centre soit tangente extérieurement à la facette aa' de l'atome A_m , il n'y a plus aucun effort additionnel pour la plus petite augmentation du déplacement. La calotte sphérique tombe entièrement dans le vide, et,

pour tout mouvement ultérieur, les forces tangentielles préexistantes disparaissent successivement; par conséquent, la résultante tangentielle de l'atome B atteint un maximum M_0 . Je vais tâcher de vous représenter ceci par la figure 27.

Je désigne par W le déplacement relatif des facettes aa' , bb' . Je porte les déplacements sur l'axe des abscisses de la courbe ci-contre. La résultante tangentielle M est une fonction de W . M est nul pour $W = 0$; pour les petites valeurs de W , M croît proportionnellement à W ; à partir du maximum M_0 , les ordonnées décroissent rapidement.

La courbe à traits pleins correspond au cas où les facettes aa' , bb' sont à la distance normale d ; cette distance d est presque irréductible, comme nous l'avons dit, sous les plus fortes pressions; elle peut, au contraire, augmenter indéfiniment sous un effort croissant de traction.

Il en résulte que la courbe des forces tangentielles M varie peu sous une pression plus ou moins grande et qu'elle tend à s'aplatir sous un effort de traction qui fait croître la distance d ; c'est ce que montre la courbe pointillée qui correspond à une distance d'' supérieure à la distance normale d .

Les attractions obliques se rapprochent, en effet, de la normale aux facettes à mesure que la distance d augmente, et, par suite, les composantes tangentielles diminuent en valeur absolue.

En résumé, M part de zéro, varie dans le même sens que W et en sens inverse de la distance d , atteint un maximum M_0 et décroît ensuite rapidement comme le montre la courbe. C'est une force extérieure θ qui produit le déplacement W ; aussi longtemps que cette force θ ne dépasse pas le maximum M_0 de notre courbe l'équilibre est stable; si je supprime la force, immédiatement les atomes reviennent vers leurs positions initiales; et j'ai ce qu'on appelle un mouvement élastique, un déplacement réversible; dès que θ dépasse M_0 , si peu que ce soit, en conservant une valeur constante, l'équilibre stable est impossible, il y a déplacement permanent, la limite élastique est franchie. Mais si la force extérieure θ n'est pas une force indépendante du système, si elle est en relation avec les déplacements relatifs des facettes aa' , bb' , il peut arriver (et c'est le cas, général) qu'elle diminue plus rapidement que M , après avoir atteint le maximum M_0 ; dans ce cas, la force extérieure θ croît d'abord avec le déplacement W : elle atteint le maximum M_0 , puis elle diminue et l'équilibre instable a lieu pour un déplacement supérieur à celui qui correspond à la force maximum M_0 , sous un effort bien inférieur à ce maximum. Nous reviendrons sur ce point.

Il s'agit maintenant d'arriver à définir la manière d'être, l'état particulier des corps que nous désignons sous le nom d'*homogénéité*, ce mot étant pris dans le sens d'*isotropie*, sans aucune apparence extérieure de cristallisation. Voici comment on peut, d'une manière relativement simple, se représenter une image de cet état. Nous avons dit que l'atome mécanique est inscriptible dans une sphère. L'assemblage d'atomes de cette espèce offre une grande analogie avec l'assemblage de boulets qu'on met en piles.

Voici une figure, où je représente une foule de petites sphères assemblées comme des boulets en piles (fig. 28).

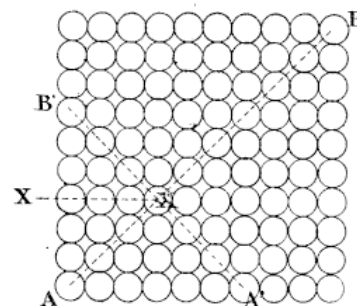


Fig. 28.

Dans chacune de ces sphères idéales, il faut voir un atome mécanique libre de tourner autour du centre. Les atomes qui, nous l'avons dit, sont de véritables polyèdres ayant des éléments de symétrie plus ou moins nombreux et plus ou moins complets tournent en effet et s'orientent de manière à mettre en regard des facettes identiques aa' , bb' dans les sphères contiguës.

Dans une pile de boulets, si l'on désigne par D le diamètre des boulets, la distance des couches est égale à $\frac{D}{\sqrt{2}}$. Cela se voit clairement sur la figure ci-contre, qui donne la coupe AB de deux couches superposées. On voit, en même temps, qu'un atome quelconque X appartient



Fig. 29.

à trois couches identiques se coupant à angle droit. L'atome X est à la fois dans la couche horizontale du plan de la figure 28 et dans les deux plans verticaux AB et A'B', dont l'intersection passe par le centre de l'atome X.

Si les atomes mécaniques, au lieu de s'assembler suivant des couches planes avec une orientation absolument fixe, disposition caractéristique de tout cristal, si, disons-nous, les atomes se rangent suivant des couches légèrement courbes (fig. 30) dans lesquelles les rayons de courbure sont immenses par rapport à la distance de deux atomes mécaniques contigus, et si les couches successives se superposent comme les boulets d'une pile, le caractère cristallin disparaît pour faire place à l'homogénéité.

Pour bien saisir cette transformation, il importe de connaître la distance de centre à centre de deux atomes mécaniques contigus.

Beaucoup d'expériences ont été faites dans ce but, et toutes ces expériences ont à peu près abouti à la constatation du fait suivant: la distance de centre à centre de deux atomes contigus est de l'ordre du millième de micron. Elle varie avec les corps, mais dans des limites assez

étroites : on peut adopter comme valeur moyenne 20 millièmes de micron ; en d'autres termes, il y a environ 50.000 atomes mécaniques dans la longueur de 1 millimètre.

Les mesures les plus précises nous paraissent être celles qui ont été déduites de l'étude de la dispersion de la lumière dans les corps transparents.

En reprenant la comparaison du groupement des atomes mécaniques avec la pile de boulets, on voit que les couches successives, qui sont planes dans un cristal, peuvent se transformer en zones courbes, limitées par des surfaces continues telles que deux éléments de surface situés à

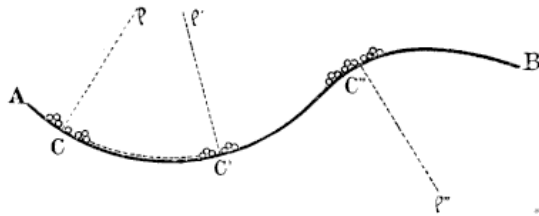


FIG. 30.

une distance d'un dixième de millimètre forment un angle appréciable. Veuillez remarquer que la plus légère déformation des atomes mécaniques dans le travail auquel ont été soumis les métaux, le fer par exemple, suffit pour expliquer cette courbure. Rappelez-vous, en effet, que les atomes mécaniques sont des polyèdres qui n'ont la perfection géométrique que dans le cas où nulle circonstance extérieure n'en a troublé

la formation ; si vous leur donniez, dans une représentation à grande échelle, les dimensions d'un décimètre cube, le 1/10 de millimètre serait remplacé par une longueur de 500 mètres. Voyez combien légère paraîtrait la courbure, si, pour les 5.000 polyèdres répartis sur une pareille longueur, les facettes extrêmes formaient un angle de 10°, par exemple.

L'homogénéité ainsi définie conserve au corps quelque chose de son état cristallin. Les couches sont courbes, mais les atomes mécaniques qui les constituent sont restés polyédriques. En outre, chaque atome mécanique appartient, en réalité, à trois couches se coupant à angle droit, exactement comme dans un cristal, de sorte que tout est ordonné géométriquement dans un corps homogène, à part les pailles ou autres défauts.

Le calcul appliqué à un corps ainsi défini démontre que les déplacements relatifs des atomes mécaniques sous l'influence d'une traction τ ou d'une compression π atteignent leur maximum dans les couches qui font un angle déterminé avec la direction de la force extérieure. Si l'on appelle α l'angle qui correspond à la traction, et β l'angle qui correspond à la pression, ces angles sont toujours complémentaires en un même point du corps, parce qu'ils correspondent à des couches se coupant à angle droit. Les forces moléculaires tangentielles M que nous avons figurées précédemment et dont nous avons désigné la valeur maximum par la lettre M_0 , jouent un rôle prépondérant. C'est dans les couches où ce maximum est atteint en premier lieu que l'équilibre est sur le point de devenir instable.

Nul doute que si, à cet instant, la force extérieure (τ pour la traction, ou π pour la compression) subissait la plus légère augmentation, il y aurait rupture définitive d'équilibre dans les couches à inclinaison α ou β .

C'est l'hypothèse que nous avons admise dans les considérations développées dans la séance du 3 février 1899 de la Commission des Méthodes d'essai. L'exposé de la théorie avec calculs à l'appui se trouve annexé au procès-verbal de cette séance. Nous ne reproduirons pas ici ces calculs : mais certaines machines d'essai permettent de constater ce qui se passe, lorsque les forces extérieures τ ou π suivent exactement les variations de la force M au delà du maximum. Il est intéressant d'examiner ce cas, et de vérifier si les considérations théoriques sur lesquelles nous nous sommes appuyé ne sont pas en défaut.

Supposons, pour préciser, qu'il s'agisse d'une tige métallique très mince et polie. La tige est soumise à une traction τ parallèle à l'axe.

Les couches d'atomes mécaniques (fig. 31) ont, en chaque point de la tige, une orientation déterminée. Nous considérons spécialement les couches formant avec l'axe de la tige l'angle caractéristique α , dans lesquelles la force moléculaire maximum M_0 se réalise en premier lieu. La

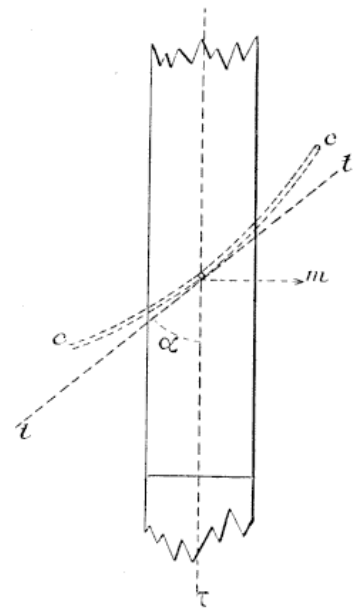


FIG. 31.

transmission de la force extérieure τ à lieu d'atome à atome mécanique, de couche en couche dans l'intérieur du corps. Les déplacements relatifs sont, pour deux couches contiguës, en correspondance exacte avec la force actuelle τ , et ces déplacements relatifs, très variables avec les inclinaisons des couches, sont néanmoins, pour chaque inclinaison, à peu près proportionnels à τ , de sorte que la déformation totale se traduit par un allongement à peu près proportionnel à τ . C'est bien ce que l'expérience accuse, mais quelque chose de particulier se produit au moment précis où, dans les couches d'inclinaison α , la force moléculaire M_0 atteint son maximum. Nous voulons faire comprendre comment, à cet instant, pour des allongements croissants, la force extérieure τ cesse de croître, puis diminue plus rapidement que la réaction moléculaire dans les couches ayant l'inclinaison α , et comment, grâce à cette diminution de τ , l'équilibre reste stable et ne se rompt que bien au delà du déplacement qui correspond à M_0 .

Augmentons, en effet, d'une quantité infiniment petite, le déplacement relatif W des deux couches pour lesquelles le maximum M_0 est atteint.

Ce déplacement relatif laisse M_0 invariable, puisque, par hypothèse, $\frac{dM}{dW} = 0$. Mais M_0 est lié aux déplacements relatifs des couches voisines : M_0 restant invariable, ces déplacements relatifs conservent eux-mêmes leur valeur initiale : dès lors, la force extérieure τ reste invariable, et, cependant, il s'est produit un déplacement relatif dans les couches à inclinaison α et, par suite, un allongement très petit de la tige. C'est le caractère d'un maximum de la force τ coïncidant avec le maximum M_0 . Malgré cet allongement, l'équilibre est stable. Il continue à être stable pour une série plus ou moins grande de nouveaux petits allongements, dont nous allons déterminer la limite.

Arrêtons-nous un instant avant que cette limite soit atteinte, et laissons la longueur de la tige invariable. Imaginons qu'on augmente d'une quantité Δw le déplacement relatif des couches A et B où la force tangentielle M correspond à une abscisse légèrement supérieure à celle du maximum M_0 : dans la courbe $M = f(w)$, l'ordonnée M correspond à la branche des valeurs décroissantes de M , $\frac{dM}{dw} \Delta w$ est négatif : la force M tend constamment à diminuer l'écart w : la force extérieure τ qui empêche les couches A et B de revenir à leur position primitive est rigoureusement en équilibre avec la force M avant le déplacement virtuel Δw . Après ce déplacement, la force τ a diminué, car, la longueur λ de la tige étant maintenue constante, les déplacements relatifs des couches autres que A et B ont nécessairement diminué. Or nous savons que $\frac{d\tau}{d\lambda}$ est pour une tige déterminée une quantité à peu près constante. En effet, le déplacement virtuel Δw forme avec l'axe de la tige un angle fixe α : il correspond dès lors à une variation positive $\Delta\lambda$ de la longueur de la tige, et l'on a :

$$\Delta\lambda = \Delta w \cos \alpha$$

D'autre part, dans les portions de la tige où le maximum M_0 n'a pas été atteint, l'expérience démontre, d'accord avec la théorie, que l'on a approximativement :

$$\Delta\tau = k\Delta\lambda$$

k étant une quantité constante.

On a donc simultanément :

$$\Delta\lambda = \cos \alpha \Delta w \text{ et } \Delta\tau = k\Delta\lambda$$

On en déduit :

$$\Delta\tau = k \cos \alpha \Delta w, \quad \text{ou} \quad \lim \frac{\Delta\tau}{\Delta w} = \frac{d\tau}{dw} = k \cos \alpha$$

On voit que l'équilibre est stable, aussi longtemps que l'on a $\frac{d\tau}{dw} > \frac{dM}{dw}$ en valeur absolue (ce qui a toujours lieu dans le voisinage de M_0), puisque la force τ diminue plus rapidement que la force tangentielle M . Mais, d'autre part, à mesure que l'écart w augmente, $\frac{dM}{dw}$ prend une valeur négative rapidement croissante, tandis que $\frac{d\tau}{d\lambda}$ reste à peu près constant. L'équilibre

devient instable au moment où

$$\frac{dM}{dw} = \frac{d\tau}{dw} = k \cos \alpha,$$

et la déformation permanente se produit dans les couches qui, dans la tige, forment avec l'axe de cette tige l'angle α .

On voit clairement, d'après ce qui précède, que la force extérieure τ croît d'abord proportionnellement à l'allongement de la tige, puis atteint la valeur maximum τ_m (fig. 32) en même temps que M atteint le maximum M_0 dans les couches à inclinaison α .

La traction τ décroît ensuite à mesure que la tige continue à s'allonger, jusqu'à ce que, l'équilibre instable se produisant dans les couches à inclinaison α , une déformation permanente est réalisée. Cette déformation permanente est le résultat d'un rangement nouveau des atomes

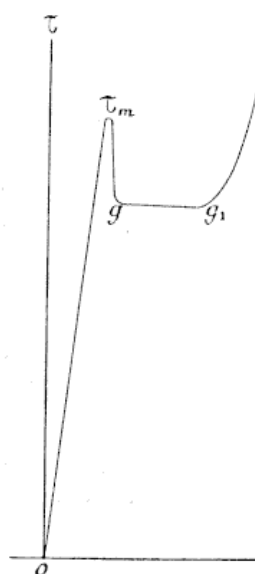


FIG. 32.

mécaniques formant les couches ébranlées : ce rangement nouveau, se propageant de proche en proche dans toute l'étendue de la tige, fait disparaître les couches à inclinaison α . Après cet ébranlement qui a fait disparaître les couches à inclinaison α , la force extérieure τ , qui a conservé une valeur constante gg_1 pendant l'ébranlement, reprend une marche ascendante avec toutes les particularités que nous avons exposées dans la séance du 3 novembre 1899, et qui sont inscrites avec calculs à l'appui dans l'annexe du procès-verbal de cette séance. Certaines tiges éprouvent une striction illimitée (ce sont celles dans lesquelles l'ébranlement des couches a fait disparaître les inclinaisons supérieures à l'angle α); d'autres se rompent normalement à l'axe (ce sont celles dans lesquelles l'ébranlement a fait disparaître les inclinaisons inférieures à l'angle α en imprimant à toutes les couches des inclinaisons sur l'axe supérieures à l'angle α). Les combinaisons de ces deux ordres de tiges expliquent toutes les formes que présentent les cassures des éprouvettes ordinaires envisagées comme des assemblages ou des faisceaux de ces deux ordres de tiges élémentaires.

La théorie de l'élasticité basée sur les déplacements relatifs des atomes mécaniques est absolument d'accord avec les expériences connues de M. Hartmann (inclinaisons α et β des couches ébranlées) et avec celles que MM. Charbonnier et Galy-Aché vont nous faire connaître dans quelques instants (forme réelle de ce qu'on appelle *palier* pour les éprouvettes en fer soumises à la traction ou à la compression).

Nous devons cependant signaler une circonstance assez singulière, qui, pour nous, est actuellement une énigme : d'après tous les calculs, lorsqu'on arrive à la rupture d'équilibre par compression, il faut théoriquement une force notablement supérieure à celle qui correspond à la rupture par traction; or, en pratique, avec les éprouvettes ordinaires, on constate qu'il n'y a pas une grande différence, c'est-à-dire que la déformation par voie de compression exige une force qui ne s'éloigne pas beaucoup de celle qui produit la déformation par traction. Les expériences de MM. Charbonnier et Galy-Aché paraissent décisives à cet égard.

Le calcul n'est plus, dans ce cas-là, applicable dans sa rigueur. Nous avons supposé dans tout ce qui précède que, lorsqu'on a une tige élémentaire, une tige extrêmement mince soumise à une traction τ , la force τ se répartit d'une manière uniforme sur les divers atomes mécaniques qui constituent un élément de couche à inclinaison constante.

Or, cela cesse d'être vrai lorsqu'on considère un assemblage de tiges élémentaires constituant une éprouvette. Il se produit entre ces tiges des réactions mutuelles, qui font que la répartition de la force n'a pas lieu suivant l'hypothèse indiquée; il y a là un problème à résoudre; il faut rechercher et pour quel motif la répartition à la compression n'a pas lieu de la même façon qu'à la traction. Je pose la question sans la résoudre.

Cela étant dit pour l'élasticité des corps, je veux dire un mot du *frottement*.

Je considère des corps polis; voici une surface plane d'un corps A , que je suppose bien polie; les atomes mécaniques sont disposés ici suivant une couche, ainsi que je l'ai déjà dit; voici une autre surface plane d'un corps B , également polie; lorsque ces deux corps sont à une distance assez grande, ils n'ont aucune réaction appréciable l'un sur l'autre;

mais, lorsque vous approchez les deux surfaces polies à la distance que j'appelle toujours d , les réactions mutuelles sont en pleine activité; si les deux surfaces polies étaient absolument planes, vous atteindriez la distance d , sans effort appréciable; mais, ensuite, quelque grandes que fussent les forces exercées, elles ne pourraient plus guère diminuer la distance d . Les choses ne se passent pas ainsi; il est impossible de dresser un corps homogène suivant un plan géométrique, une surface dite plane en pratique est toujours une surface extrêmement ondulée, vallonée, dans laquelle les creux et les saillies dépassent quelques millièmes de micron, c'est-à-dire des valeurs comparables aux plus grandes dimensions des atomes mécaniques.

Il en résulte que, quand vous approchez vos deux surfaces, vous n'arrivez pas du tout à avoir une distance constante d entre les deux; vous arrivez tout d'abord au contact apparent de trois points (le contact apparent répond à la distance d); mais, si vous voulez en atteindre un quatrième, il faut exercer une pression; plus la pression sera grande, plus grand sera le nombre de petites surfaces en contact apparent.

Je vais considérer ce qui se passe à l'égard d'une petite surface de contact; je la suppose réduite à deux atomes mécaniques en regard; pour simplifier la question, je suppose qu'ils se présentent face à face, de manière que l'action soit dans le plan même du tableau, entre les facettes $a'a$, $b'b$ (fig. 33).

Le plus léger déplacement relatif w parallèle au tableau développera ce que nous avons appelé tout à l'heure la force tangentielle M ; faisons croître le déplacement, la force M atteindra la valeur maximum M_0 et, au même instant, la force extérieure θ qui produit le déplacement relatif sera égale à M_0 et passera par la valeur maximum θ_m . Les conditions d'équilibre sont tout à fait analogues à celles que nous venons d'exposer à propos de la déformation permanente des corps homogènes. La rupture d'équilibre a lieu pour une valeur de la force θ notablement inférieure à θ_m ou M_0 .

Nous ne reproduisons pas les calculs qui se trouvent dans le mémoire imprimé dont vous avez une épreuve entre les mains; il nous suffit d'avoir indiqué le point capital du phénomène.

Il y a perte de travail au moment où la limite d'équilibre stable entre les atomes A et B est dépassée; et cette perte de travail se traduit par une série d'oscillations extrêmement rapides, dont l'amplitude est de quelques millièmes de micron; quand un nouvel équilibre s'est établi, on constate la production d'une certaine quantité de chaleur, en rapport avec le travail perdu. Dans les expériences sur l'élasticité, un développement de chaleur analogue se manifeste au moment où les déplacements relatifs des couches provoquent les équilibres instables suivis de la déformation permanente des corps: comment ce travail qui disparaît reparait-il sous la forme de chaleur? Cette question est traitée et, je crois, résolue dans la seconde partie de mon mémoire.

Je vous demande la permission de m'arrêter là, parce que je crains de prendre trop de temps, et de fatiguer votre bienveillante attention. (*De toutes parts : non, non continuez !*)

C'est cette seconde partie que je crois la plus intéressante. La première répond à des faits déjà bien connus, elle en donne seulement une explication mathématique; la seconde partie répond, au contraire, à un ordre d'idées qui est nouveau; je mettrai au moins le point principal en évidence, en deux mots: c'est que les modes vibratoires, tels qu'ils ont été calculés jusqu'à présent, l'ont été par les méthodes du calcul intégral; vous savez que, pour le calcul intégral, il faut opérer sur des quantités continues, et non sur des quantités qui passent brusquement d'une valeur à une valeur tout à fait différente.

Si vous considérez simplement, par exemple, une tige métallique, le calcul, tel qu'on l'applique, vous fera voir que cette tige vibrera suivant un mode ondulatoire bien connu dans les théories de l'acoustique. Mais il y a un autre système de vibrations qui n'a pas été étudié; voici en quoi il consiste: considérons une tige composée d'une série de couches perpendiculaires à l'axe: quand la première couche se rapproche de la seconde d'une quantité extrêmement petite, la seconde s'écarte de la troisième d'une quantité de même ordre, également extrêmement petite; les déplacements sont alternativement positifs et négatifs.

Vous voyez qu'il y a discontinuité, et que le calcul intégral est inapplicable; il faut faire intervenir le calcul aux différences finies. On met ainsi en évidence un mode vibratoire dont personne, à ma connaissance, n'a étudié jusqu'à ce jour les propriétés.

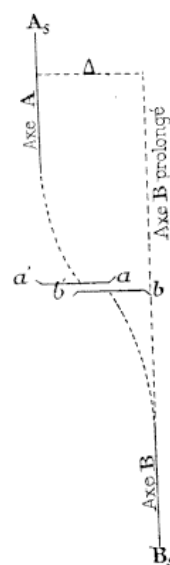


FIG. 33.

Ce nouveau système vibratoire, où les couches contiguës ont des mouvements contraires, présente néanmoins de grandes analogies avec les modes vibratoires de l'acoustique.

Dans les deux systèmes, on trouve des ventres, des nœuds et un travail intérieur; mais voici où git la différence : dans la vibration ordinaire, le travail intérieur est, comme vous le savez, extrêmement petit, et les extrémités d'une tige libre sont des ventres. Dans l'autre mode vibratoire, que je désigne sous le nom de *frémissement*, les extrémités libres forment des surfaces nodales, et, pour des vibrations de même amplitude dans les deux systèmes, le travail est $4N^2$ fois plus grand dans le cas du *frémissement*, N étant le nombre de couches mises en vibration.

Or, vous savez que, dans la longueur d'un décimètre d'une tige métallique, il y a plus de cinq millions de couches d'atomes mécaniques; vous voyez donc que N^2 est tellement grand qu'on peut dire que le travail nécessaire pour faire vibrer une tige suivant le mode ordinaire est presque nul en comparaison du travail qui correspond au second mode vibratoire, au *frémissement*. Dans une tige métallique formée par une série de couches d'atomes mécaniques, le frémissement s'évanouit très rapidement. On voit, en effet, que, dans leurs mouvements alternativement contraires, les couches contiguës produisent entre elles de véritables chocs. Or, les atomes mécaniques qui constituent ces couches sont par essence, nous l'avons montré dès le début, des appareils vibratoires d'une grande perfection qui absorbent pour ainsi dire instantanément le travail de frémissement de la tige.

Les atomes mécaniques se mettent à frémir à leur tour, et, comme, dans ce frémissement de second ordre, les surfaces des appareils vibratoires sont des surfaces nodales, le travail absorbé se trouve en quelque sorte condensé dans la partie centrale de chaque atome mécanique, où, par suite, l'agitation atteint son maximum. Ce travail vibratoire central, au fur et à mesure qu'il s'accumule, donne lieu, dans chaque atome mécanique, à une dilatation progressive et à des tensions qui se transmettent aux surfaces polyédriques en modifiant lentement, suivant les lois de l'élasticité, la forme même des atomes mécaniques. Ces tensions, en croissant, atteignent des limites où les enveloppes polyédriques des atomes subissent des ruptures d'équilibre et des déformations permanentes analogues à celles que produisent dans les corps homogènes les déplacements relatifs des atomes mécaniques. Alors se manifestent une foule de phénomènes : dilatation, liquéfaction, vaporisation, dissociation des molécules chimiques, allotropie de nombre, allotropie de position, etc., etc., phénomènes absolument distincts de l'élasticité : celle-ci est due aux *déplacements relatifs* des atomes mécaniques, ceux-là sont provoqués par le *changement de forme* de chaque atome considéré individuellement.

Si je pouvais entrer dans quelques développements sur cette seconde partie, vous verriez combien cette étude soulève de questions intéressantes : la liquéfaction, la vaporisation, l'allotropie s'expliquent par des équilibres successifs; la chaleur, la lumière, l'électricité, toutes les manifestations de l'énergie, en définitive, sont ramenées à des mouvements vibratoires d'assemblages divers, superposés les uns aux autres. Je n'ai pas parlé, dans le mémoire que vous avez entre les mains, du mécanisme particulier de l'énergie électrique : c'est une question réservée, dont je dirai cependant quelques mots dès à présent, dans le but de faire saisir par les yeux de l'esprit les liens qui existent entre les assemblages géométriques dont il vient d'être question et les phénomènes d'ordres divers qui ébranlent nos sens.

Nous avons vu que l'atome mécanique est un assemblage de molécules chimiques, et ce premier assemblage, soit par ses déplacements en bloc, soit par ses vibrations intérieures, est en quelque sorte le substratum de tous les phénomènes physiques.

La molécule chimique est un assemblage d'atomes chimiques et les groupements divers de ces atomes en molécules constituent toute la science chimique.

L'atome chimique, à son tour, est un assemblage de molécules infrachimiques auxquelles je donne le nom de molécules étherergiques, et les mouvements intérieurs de cet assemblage permettent d'établir une différence caractéristique entre la chaleur et la lumière et d'expliquer tous les phénomènes de la spectroscopie. Les notes de la musique et les raies du spectre offrent de remarquables analogies. Les molécules étherergiques forment le point de départ de la polarité dans les corps, parce qu'elles sont l'assemblage d'un nombre limité d'atomes de même nom, d'atomes étherergiques. Ces atomes étherergiques sont de véritables appareils vibratoires de forme sphérique, noyés dans l'éther, mais impénétrables à l'éther. Par leurs vibrations et leurs oscillations, ils font naître dans l'éther des mouvements alternatifs d'un ordre particulier qui correspondent à l'électricité et au magnétisme. Pour se faire une première idée de ces mouvements,

il suffit de se reporter aux remarquables analogies découvertes par MM. Bjerknes entre les mouvements de *sphères pulsantes* noyées dans un fluide incompressible et les phénomènes électriques et magnétiques. Les *atomes étherergiques* sont les sphères pulsantes, l'éther est le fluide incompressible qui les entoure.

En continuant de pénétrer plus avant dans la constitution de la matière, on aboutit à un dernier assemblage d'atomes simples, d'atomes *sans forme*, ou, si l'on veut, d'atomes *sans étendue*.

Comme des atomes sans forme ne peuvent se concevoir qu'à titre d'unités dans un assemblage (d'où naît la forme) et comme un assemblage comprend à la fois ces unités et les distances qui les séparent, la *distance* et l'*atome* sont deux termes inséparables, deux *sortes d'être* qui s'imposent au même titre à l'intelligence. On peut dire en réalité que la distance engendre l'atome, en ce sens que, sans la distance, l'atome ne peut exister.

Distance et atome suffisent pour constituer des assemblages de forme géométrique quelconque et pour permettre à l'intelligence de concevoir une figure géométrique de l'Univers : mais l'Univers n'est pas une simple figure géométrique : il est à la fois figure et mouvement. Ni la distance ni l'atome n'expliquent les incessantes variations des figures de l'Univers et l'ordre admirable qui les gouverne : un troisième terme est nécessaire pour fournir une base au mouvement, c'est-à-dire à la variation des distances et à l'énergie actuelle des atomes : ce troisième terme est la *force*. La force est liée à la fois à la distance et à l'atome, elle procède de l'une et de l'autre, et c'est l'union indissoluble de ces trois termes, de ces trois *sortes d'être* : *distance*, *atome* et *force*, qui constitue la matière. (*Vifs applaudissements.*)

M. LE PRÉSIDENT. — Le rapport de M. le directeur Ricour contient une théorie non seulement intéressante, mais qui a déjà reçu une sanction pratique. Je crois être l'interprète de la section en exprimant nos sincères remerciements et félicitations à M. Ricour. (*Vifs applaudissements.*)

M. RICOUR. — Je vous remercie, Messieurs, et je m'excuse de l'obscurité que j'ai pu mettre dans ce que j'ai dit ; j'espère qu'elle se dissipera à la lecture du rapport.

M. LE PRÉSIDENT. — La parole est à M. Mesnager.

M. MESNAGER. — Il ne m'est pas aisé de prendre la parole après la magistrale exposition que vient de vous faire M. Ricour.

Je me bornerai à étudier quelques points de détail des phénomènes qu'il a envisagés, ceux de la déformation des solides sous les efforts.

Il y a lieu de distinguer dans cette étude les déformations élastiques et les déformations permanentes.

Je commence par les déformations élastiques. Dans ces derniers temps, on a attaqué assez vivement la théorie dite de l'élasticité. Ce matin, M. le commandant Hartmann vous a expliqué qu'à son avis, dans la déformation élastique comme dans la déformation permanente, les forces se transmettaient suivant des nappes discontinues à l'intérieur des solides. Je ne crois pas qu'il soit possible d'admettre cette hypothèse. Je me baserai sur quelques expériences de polarisation.

D'un autre côté, le capitaine Duguet avait signalé, dès 1882, que, dans la déformation permanente, on ne peut pas dire que les effets des forces soient indépendants les uns des autres. Ainsi, connaissant des déformations permanentes produites par un système de forces, et connaissant les déformations permanentes produites par un deuxième système de forces, il n'est pas permis de dire, même quand les déformations sont infiniment petites, que ces deux systèmes, agissant simultanément, produiront des déformations qui seront la somme algébrique de celles de chacun des deux systèmes.

Par exemple, si l'on prend un cube de matière susceptible de déformation permanente, et qu'on le soumette à une égale pression en tous sens, comme à l'intérieur d'un liquide, on n'obtiendra aucun écrouissage, quelle que soit la valeur de la pression. Au contraire, en faisant agir successivement les mêmes forces horizontales et les mêmes forces verticales, on obtiendrait deux déformations permanentes successives et un fort écrouissage.

Le principe de l'indépendance des effets des forces est-il néanmoins applicable au-dessous de la limite d'élasticité, comme le suppose la théorie de l'élasticité ?

Lorsqu'on place un analyseur et un polariseur à angle droit l'un sur l'autre, aucune lumière ne traverse, puisque la lumière, polarisée dans une certaine direction, verticale par exemple, par le polariseur, est arrêtée par l'analyseur, qui ne peut laisser passer que les rayons vibrant dans une direction perpendiculaire.

Lorsqu'on introduit entre ce polarisateur et cet analyseur un morceau de verre bien recuit, la lumière ne passe pas davantage; mais, si l'on vient exercer des efforts dans une direction *oblique* par rapport à la direction des vibrations lumineuses, la lumière reparait. Ce procédé permet de reconnaître la direction des axes principaux de l'ellipsoïde d'élasticité d'un morceau de verre soumis à des forces uniquement perpendiculaires à la direction du rayon lumineux. Quand ces axes sont parallèles aux plans de polarisation, la lumière ne passe pas.

La coloration que l'on obtient est fonction de la différence des deux axes principaux de l'ellipsoïde des efforts. Cette coloration permet donc d'obtenir la différence de ces axes.

Au moyen d'une troisième mesure, celle de la variation d'épaisseur au point considéré, on peut déterminer la somme des axes. On détermine ainsi en grandeur et direction tous les efforts normaux au rayon.

M. Flamant, inspecteur général des Ponts et Chaussées, dans une remarquable étude trop peu connue, qui figure dans les *Annales des Ponts et Chaussées* et dans les *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, est parvenu aux résultats suivants. Si l'on considère un solide élastique indéfini limité par deux plans parallèles, chargé uniformément le long d'une ligne tracée sur sa surface supérieure et normale à ces plans, les forces se transmettent à l'intérieur suivant des directions parallèles aux faces et dirigées de la droite chargée vers le point considéré.

Il en résulte l'existence de véritables tubes de force, au sens qu'on donne en physique à ce mot. La force principale en chaque point se trouve avoir pour expression :

$$v_1 = \frac{2P}{\pi e r} \cos \alpha$$

P étant la charge totale suivant la ligne supérieure; e , l'épaisseur; r , la distance du point à la droite suivant laquelle est appliquée la charge; et α , l'angle d'inclinaison sur la verticale d'un plan passant par le point considéré et la droite sur laquelle est appliquée la charge.

Cette formule indique que, sur des cylindres circulaires droits tangents à la surface suivant la ligne chargée, les efforts v_1 sont tous égaux; par conséquent, on doit avoir des cercles d'égale coloration lorsqu'on se placera entre l'analyseur et le polariseur.

C'est le phénomène bien connu sous le nom d'œil de paon. Cette apparence s'obtient dans tous les cas où une feuille de verre est soumise à une extrémité à des charges variant brusquement d'un point à l'autre.

En lumière monochromatique, les cercles sont alternativement blancs et noirs; et les rayons de ces cercles, suivant la formule, doivent varier comme $\frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \frac{1}{4}$, etc., le nombre croissant d'une unité en dénominateur. L'expérience confirme encore cette déduction.

Si on observe des barreaux de verre soumis à la flexion sous un moment constant, on constate des lignes d'égale coloration parallèles à la fibre neutre, ce qui est absolument conforme à toute la théorie qui sert de base à la résistance des poutres métalliques.

Si, aux efforts de flexion, on joint des efforts de cisaillement, on peut avoir le cas d'une poutre chargée en son milieu. La théorie permet de déterminer les courbes représentant la direction des efforts principaux en des points éloignés des efforts extérieurs. L'expérience donne les mêmes courbes que la théorie. C'est un cas bien net de superposition d'effet des forces. Le *Philosophical Magazine*, de décembre 1891, expose les expériences faites à ce sujet par M. Carus Wilson.

En résumé, la théorie de l'élasticité est beaucoup trop décriée; elle correspond exactement aux phénomènes que nous observons dans la polarisation de la lumière. Dans ces expériences, on ne voit nulle part trace de transmission des efforts par nappes.

Le verre ne subit que des déformations élastiques; si l'on augmente les efforts, il casse.

Un cube de verre, comprimé par deux forces verticales, entre les deux plateaux d'une presse, par exemple, se divise, non pas, comme les pierres tendres, suivant des plans obliques

par rapport à la direction de l'effort, mais suivant des surfaces qui sont exactement dans la direction de l'effort, ainsi que vous pourrez le voir sur celui que j'ai apporté ici. Les pierres cassantes en font autant.

Il semble que, dans ces corps sous une compression, il se développe des efforts transversaux, qui tendent à les séparer en lames suivant des plans parallèles à l'effort de compression. On dit généralement que les corps soumis à des pressions se rompent lorsque la dilatation atteint une certaine valeur ; cela me paraît l'expression d'un fait, mais non une explication. Pour comprendre l'éclatement par compression, il me semble indispensable d'admettre la production d'une force normale à la direction de la compression. Cette force produit la rupture comme dans l'arrachement par extension des mêmes corps cassants, qui se rompent normalement à la direction de la tension.

En admettant que cette force intérieure transversale soit dans le même rapport avec les dilatations produites que les efforts extérieurs avec les dilatations produites dans le sens où ils agissent, on obtient la formule de résistance :

$$\pi \geq \frac{\nu_3}{1 - \eta} - (\nu_1 + \nu_2 + \nu_3) \frac{\eta}{1 + \eta}$$

dans laquelle η est le rapport de la compression verticale à l'allongement transversal et ν_1, ν_2, ν_3 sont les tensions principales. Elle suffit seule si ν_3 est la plus grande tension.

Passons maintenant aux déformations permanentes. Je suis obligé de vous dire quelques mots très rapides des courbes de traction pour nous entendre sur les mots. Vous savez tous que, lorsqu'on soumet un corps à la traction, si on porte sur une droite horizontale les allongements, sur une droite verticale les tensions, on obtient comme résultat une courbe qui est celle que donnent les enregistreurs. On sait également qu'en s'arrêtant en un point Q de la courbe et déchargeant le corps, on peut décrire la ligne QR, sensiblement parallèle à la verticale à l'échelle de la figure, mais qui, en réalité, est une ligne inclinée suivant un angle dépendant du coefficient d'élasticité.

Ainsi que l'a établi M. Considère, quand on passe par le maximum N de la figure, la striction commence ; les allongements sont dès lors localisés. Il faut donc, pour avoir une courbe qui représente réellement la relation entre les allongements et les efforts, calculer ce que serait l'allongement brut s'il se produisait sur toute la longueur de l'éprouvette. Cette courbe ne donne pas, en réalité, les efforts par unité de surface du corps. Si l'on réduit les ordonnées dans un rapport constant, elle peut représenter la relation entre les allongements et les efforts par unité de surface initiale du corps.

En multipliant les ordonnées de cette courbe par $1 + \lambda'$, λ' étant l'allongement en un point quelconque, on obtient une nouvelle courbe qui représentera l'effort par unité de surface à chaque instant.

La courbe ainsi obtenue est constamment ascendante. Il en résulte que la résistance des métaux à la déformation permanente va constamment en croissant, même pendant la striction. Ce matin, M. le commandant Hartmann vous a signalé des expériences très intéressantes qui montrent nettement cette augmentation de résistance pendant la striction.

Cette courbe a un inconvénient. Si l'on prélève deux éprouvettes dans le même métal, la première sans lui avoir fait subir d'altération, la seconde après lui avoir donné un certain étirage, les courbes obtenues ne sont plus superposables. Les mêmes allongements ne sont pas, en effet, rapportés à la même unité de longueur. Dans un cas, c'est l'unité de longueur du métal dans son état initial ; dans le second, c'est l'unité de longueur allongée par l'étirage. Il faut donc prendre chaque élément de l'allongement brut, le diviser par la longueur de l'éprouvette ; au même moment, on a ainsi l'allongement réel par unité de longueur. On trouve pour abscisse dans ce cas :

$$x = \int \frac{d\lambda'}{1 + \lambda'} = \text{Log nép } (1 + \lambda').$$

Les allongements λ' sont remplacés par les logarithmes des longueurs $1 + \lambda'$. On obtient une courbe qui diffère peu de la précédente, dans les limites ordinaires d'allongement, et qui exprime réellement l'effort par unité de surface, en fonction de l'allongement à chaque instant.

Lorsqu'on examine des barrettes minces d'essai soumises à la traction, on constate que, quand elles ne présentent qu'une ligne de déformation, les deux parties de l'éprouvette séparées par cette ligne sont désaxées. Elles ont glissé l'une par rapport à l'autre, suivant cette ligne.

Le phénomène est encore plus curieux lorsque, l'une des lignes étant produite, une autre ligne vient se superposer à la première; les deux parties de la première ligne se désaxent l'une par rapport à l'autre.

Il y a donc bien glissement d'une partie de l'éprouvette par rapport à l'autre. Dans le bois soumis à la compression, on constate avec une bien plus grande intensité encore ce déplacement; le bois se couvre de lignes et celles qui sont plus fortement marquées sont visiblement le siège d'un glissement.

Seulement, les éprouvettes de bois présentent une différence très notable avec les éprouvettes de métal. Dans les éprouvettes de métal, il semble que les surfaces suivant lesquelles se produit ce glissement sont en chaque point normales à la surface libre et inclinées du même angle sur la direction de la traction. Dans le bois, les rayons médullaires, qui partent de l'axe, et qui forment des lignes rigides à l'intérieur du bois, déterminent des orientations différentes. Les glissements s'y produisent suivant des plans passant par les rayons médullaires. Si donc on prend des pièces de bois assez éloignées de l'axe, on a comme surface de déformation des plans sensiblement parallèles à une direction fixe, et faisant un angle constant avec la direction de traction. Dans les cylindres circulaires droits pris autour de la moelle comme axe, les rayons médullaires sont dirigés suivant des normales à la surface, et l'on obtient des hélices. Voici des échantillons, où l'on remarque deux hélices, l'une sinistrorsum et l'autre dextrorsum. Le glissement se fait suivant des surfaces de vis à filet carré.

Dans les cylindres de métaux soumis à des efforts parallèles à l'axe, M. Hartmann vous a fait remarquer, ce matin, qu'on obtenait des hélices.

Les surfaces de glissement y sont analogues à celles des échantillons de bois que je viens de vous montrer.

M. Hartmann m'a paru, dans la dernière page de son rapport, mal interpréter ce que j'ai écrit à ce sujet.

Il semble, par conséquent, qu'il y ait une étroite analogie entre la déformation des bois et la déformation des métaux. La déformation permanente se produit, dans les uns et les autres, suivant des surfaces inclinées d'un angle déterminé sur la direction de l'effort.

Ces phénomènes s'expliquent fort bien en appliquant les idées émises par le capitaine Duguet, en 1882.

Soit un effort F vertical agissant sur un cylindre à génératrices verticales; S , sa section droite.

Une section oblique a pour surface $\frac{S}{\cos \varphi}$. L'effort pourra se décomposer en deux, un normal à cette section oblique, un autre tangentiel. L'effort tangentiel par unité de surface est

$$\frac{F \sin \varphi \cos \varphi}{S}.$$

On voit immédiatement que l'effort tangentiel maximum se produit dans la section inclinée à 45°. La condition d'équilibre serait :

$$G \geq \frac{1}{2} \frac{F}{S},$$

G étant la résistance au glissement.

Les glissements devraient toujours se produire suivant des surfaces inclinées à 45° sur la direction de la traction. Le fait expérimental est contraire à cette déduction théorique. C'est donc que, dans la théorie, on a omis quelque chose. Il n'y a qu'une quantité susceptible de modifier l'action de l'effort tangentiel, c'est l'effort normal N . Tant que les déformations sont élastiques, tout est proportionnel aux efforts; donc, la quantité modificatrice doit être proportionnelle à N , l'effort normal. J'appelle N/f l'accroissement de résistance au glissement dû à un effort normal, f étant un coefficient constant.

La condition d'équilibre devient :

$$G \mp Nf \leq \frac{F}{S} \sin \varphi \cos \varphi,$$

le signe à prendre variant suivant qu'il s'agit d'extension ou de compression.

Cette formule montre que toujours le glissement doit se produire, dans le cas d'une traction, sous un angle plus grand de 45° , et, dans le cas d'une compression, sous un angle complémentaire du précédent et $< 45^\circ$: ce fait est absolument vérifié par l'expérience.

Cette théorie conduit, quand on la laisse telle qu'elle est, à cette conclusion que la limite d'élasticité à l'extension est à la limite d'élasticité à la compression dans le rapport $\operatorname{tg}^2 \alpha$, α étant l'angle des lignes qui se produisent à la surface d'un solide avec la direction de la traction.

Ce rapport paraît notablement supérieur à celui qu'on constate expérimentalement.

Si nous supposons que, dans les solides élastiques, tout se passe comme dans le verre, que chaque effort normal développe des efforts transversaux, et si nous faisons entrer en ligne de compte dans la formule ces efforts transversaux, nous rapprochons considérablement les deux limites d'élasticité; en fait, on n'arriverait à les trouver rigoureusement égales que si le coefficient τ se trouvait égal à 0,5. Il serait extrêmement intéressant de vérifier soigneusement l'égalité des deux limites d'élasticité. Vous entendrez tout à l'heure une communication de MM. Charbonnier et Galy-Aché, dans laquelle ils établissent que, sur un certain nombre de corps, les deux limites d'élasticité ont été trouvées rigoureusement égales. Un grand nombre d'autres personnes ont trouvé des chiffres très différents; M. le professeur Rejtö, en particulier, a indiqué des limites d'élasticité très différentes à la compression et à la traction. C'est évidemment à l'expérience seule qu'il faut s'adresser pour élucider cette question très intéressante.

MM. Galy-Aché et Charbonnier ont établi qu'un corps qu'on soumet à des déformations, reste isotrope en chacun de ses points, qu'il a la même limite d'élasticité dans tous les sens. En partant de là, on peut, au moyen de la seule courbe de traction d'un corps, arriver à établir les courbes de compression et les courbes de flexion.

Comprimons un solide de façon à le faire changer de forme, nous trouverons, après une déformation, qu'il a atteint une nouvelle limite élastique, supérieure à la précédente. Si, au contraire, le reprenant dans son état primitif, on le soumet à une extension, quel allongement faudra-t-il lui donner pour obtenir la même limite élastique?

M. Rejtö a indiqué des relations pour y parvenir dans son ouvrage *Die inner Reibunge*. Celles que je vais vous donner sont notablement différentes.

Considérons un cube. Nous pouvons supposer qu'on ne permette d'abord le mouvement que dans un seul sens, dans le sens parallèle à un plan, celui d'une face verticale, par exemple. Dans ce cas, une compression verticale déterminera la formation de glissements, suivant des directions déterminées. Si, au lieu de cette compression, nous avons exercé une extension horizontale parallèle au plan directeur des déplacements, nous aurions obtenu des glissements suivant les mêmes plans; nous aurions eu identité de déformation, donc même écrouissage dans les deux cas, pourvu que l'allongement des arêtes horizontales ait été le même.

Donc un raccourcissement $-\lambda'_2$ par compression ou un allongement $+\lambda'_1$ pouvant coexister dans le solide donneront même accroissement de la limite élastique. La relation entre ces deux déformations est :

$$(1 + \lambda'_1)(1 - \lambda'_2) = 1.$$

C'est la loi de l'invariabilité de volume.

Si, maintenant, au lieu d'être astreinte à ne se faire que parallèlement à un plan, la déformation se fait librement, nous pourrions la décomposer en éléments de déformation infiniment petits dirigés successivement dans tous les plans passant par l'effort.

L'accroissement de la limite élastique sera indépendant de l'orientation de ces plans.

Donc, la somme des accroissements sera la même que quand ils se faisaient tous parallèlement à un plan.

La relation précédente combinée avec la courbe des limites élastiques par unité de surface restante en fonction des allongements par traction permet d'obtenir la courbe des mêmes limites

élastiques en fonction des raccourcissements par compression. On obtient une courbe qui s'éloigne à l'infini, lorsque la longueur se réduit à 0.

De cette courbe, on peut tirer, par les procédés connus, l'effort brut en fonction des raccourcissements.

Ces courbes permettent de calculer la résistance à la flexion d'une barre rectangulaire. Ce calcul, en partant d'une courbe, la courbe de résistance à l'allongement donnée par M. Considère, et en supposant les deux limites d'élasticité égales, ce qui devait être sensiblement vrai dans l'acier doux en question, d'après les expériences de M. Dupuy sur des aciers analogues, m'a conduit, pour l'accroissement de résistance de flexion et pour la fibre neutre, à des valeurs peu différentes de celles qu'a indiquées M. Considère.

En somme, la théorie de l'élasticité me paraît jusqu'ici résister victorieusement aux attaques dont elle a été l'objet. Dans tous les cas où on essaye de la vérifier par les phénomènes de lumière polarisée, on obtient exactement les résultats qu'elle indique.

Au-dessus de la limite d'élasticité, il paraît se produire dans les solides des glissements suivant des directions passant par l'axe moyen de l'ellipsoïde des tensions, et faisant avec le plus grand axe un angle α . Il y aurait donc, semble-t-il, intérêt à diriger les expériences dans le but d'arriver à avoir pour chaque corps l'angle α , qui est une des caractéristiques du corps, la cohésion du corps, qui est une autre caractéristique, et la courbe des tractions, qui paraît être une troisième caractéristique. Avec ces trois caractéristiques, on doit pouvoir prévoir absolument tous les cas de déformation, pourvu qu'on connaisse également la loi qui relie les limites élastiques à la compression et à l'extension. Tout le monde est d'accord pour reconnaître que ces limites doivent être dans un rapport constant. Il s'agit de démontrer expérimentalement si ce rapport constant est toujours égal à 1, ou s'il en diffère et, dans ce cas, de déterminer sa valeur pour chaque corps. (*Vifs applaudissements.*)

M. LE PRÉSIDENT. — Monsieur Mesnager, je crois que, si vous travaillez dans ce sens, vous contribuerez à supprimer les divergences qui existent actuellement entre les savants sur ce point; nous en serons très heureux; et je vous prie d'accepter nos sincères remerciements. (*Vifs applaudissements.*)

Je donne la parole à M. Brüll.

M. BRÜLL. — Messieurs, je suis très heureux de l'honneur qu'on m'a fait en m'autorisant à m'asseoir à ce bureau à côté de notre honorable président d'honneur, M. Rejtö, professeur à l'Ecole Polytechnique de Budapest; et je me permets de profiter de cette circonstance pour placer une très légère observation sur le travail des plus importants qui vient de vous être exposé, et que vous venez d'applaudir.

M. Mesnager a appuyé ses explications en grande partie sur des phénomènes d'interférence constatés par des recherches qu'il a citées comme provenant de M. Carus Wilson, aux États-Unis à la date de 1883, je crois. Je suis bien aise de lui signaler que, bien antérieurement à cette date, en 1877, un ingénieur français, M. Léger, ancien président de la Société des Sciences industrielles et de la Société d'Agriculture de Lyon, a présenté à la Société des Ingénieurs civils de France, dans sa séance du 19 octobre 1877, un mémoire sur *la Constitution des corps trempés*.

Dans ce mémoire, M. Léger a exposé l'emploi qu'il avait fait de la lumière polarisée pour étudier, dans un barreau de verre, la contraction et la dilatation des molécules. Le verre à étudier était placé entre un analyseur et un polariseur.

M. Léger a étudié par ce moyen les effets de la compression sur des prismes de sections transversales diverses. Son mémoire est accompagné de figures en couleur montrant clairement les résultats obtenus.

Plus tard, dans la séance du 15 mars 1878, M. Léger a exposé à la Société des Ingénieurs civils ses recherches, basées sur les mêmes moyens d'investigation, sur la transmission des forces extérieures à travers les corps solides.

Ces travaux ont été récompensés par la Société, qui a imprimé les travaux de M. Léger dans ses *Comptes Rendus*.

Je crois que, si M. Mesnager n'a pas connu le travail dont je parle, il aura grand intérêt à le consulter; il y verra des observations tendant, je crois pouvoir le dire, à confirmer toutes ses

vues sur ces questions; et ceux d'entre les Membres du Congrès qui liront le savant travail de M. Mesnager seront bien aises aussi de pouvoir recourir à cette antériorité en matière d'étude de l'élasticité à l'aide du jeu de la lumière polarisée dans le verre.

M. MESNAGER. — Je connaissais, en effet, les travaux de M. Léger; je n'ai pas pu citer tous les travaux qui ont été faits sur cette matière. C'est Fresnel qui, le premier, a fait connaître l'action du verre comprimé sur la lumière polarisée et a donné la théorie du phénomène.

Après lui, Wertheim a publié, — je l'ai indiqué dans mon mémoire, — dans les *Annales de Physique et de Chimie*, en 1851, une étude à ce sujet, et a donné la formule qui relie les différences des efforts aux colorations.

M. Léger a fait des expériences très intéressantes dont il a donné des figures; mais ces figures sont malheureusement trop peu précises pour qu'il soit possible d'y faire des mesures. En outre, il a donné des explications incomplètes et parfois inadmissibles des phénomènes. Probablement absorbé par des occupations trop pressantes, il n'a pu approfondir suffisamment la question.

M. Carus Wilson, au contraire, a donné des mesures assez précises pour servir à des vérifications et des interprétations justes.

M. LE PRÉSIDENT. — Je donne la parole à M. Rateau.

M. RATEAU. — Je demande la permission de présenter une observation sur la manière dont on entend la théorie mathématique de l'élasticité; il me semble qu'on en abuse quand on l'étend, comme on le fait souvent et comme le voudrait aussi M. Mesnager, aux corps hétérogènes, et voici pourquoi.

Pour réduire les coefficients qui entrent dans les formules générales, on considère un élément du corps, tétraèdre ou cube infiniment petit ou non infiniment petit; et on raisonne de la manière suivante: sur chacune des faces d'un tétraèdre, sur la face ABC, par exemple, se développent des forces, et toutes ces forces admettent une résultante OF appliquée en un certain point O de la face triangulaire ABC; de même, on dit: sur la face MNPQ d'un cube, il y aura des efforts admettant une résultante OF appliquée en un certain point O, qui sera le centre de la face MNPQ.

On décompose cette force OF, dans un cas comme dans l'autre, suivant une direction perpendiculaire à la face et suivant des directions tangentielles; et puis, en projetant les forces sur les axes, ou en prenant les moments par rapport aux axes, on déduit des relations entre les composantes de ces forces suivant les différentes faces.

C'est là-dessus que je désire appeler votre attention; cette manière de raisonner suppose une hypothèse restrictive qu'il importe de mettre en lumière, car elle limite extraordinairement l'application rigoureuse de la théorie mathématique de l'élasticité.

On dit: les efforts appliqués à la face ABC admettent une résultante;

Non, ces efforts n'admettent pas en général une résultante; ils admettront bien une résultante si la matière est continue, si les efforts eux-mêmes sont continus, s'il n'y a pas de discontinuité non seulement dans leur direction, mais aussi dans leur grandeur. Lorsque, en effet, il n'y a pas de discontinuité dans leur grandeur ni dans leur direction, et lorsque la face ABC envisagée est infiniment petite, les efforts élémentaires sont eux-mêmes, dans toute l'étendue de la face, sensiblement les mêmes; ce sont des forces parallèles, qui admettent une résultante; mais, si la face est finie, il n'en est plus de même, en général, à cause de la variation de la direction des efforts élémentaires. Quand on compose entre elles ces forces, elles donnent lieu non seulement à une résultante, mais aussi à un *couple résultant*; et, dès lors, la composition des forces suivant les axes, de même que le théorème des moments ne donnent plus du tout le résultat simple qui a lieu lorsque les couples résultants sont nuls ou d'ordre supérieur. Vous voyez, d'autre part, que même dans le cas où l'élément considéré est infiniment petit, s'il y a des surfaces de discontinuité qui traversent l'élément et que les efforts sautent brusquement d'une valeur à une autre, ce qui existe évidemment en général quand il s'agit de matières hétérogènes comme un mortier ou un béton composés de grains empâtés dans un ciment, vous aurez, sur la face ABC d'un côté de la surface de discontinuité des efforts dirigés d'une certaine manière, et, de l'autre côté, des efforts dirigés d'une autre manière; il y aura alors un couple résultant; et on n'aura pas le droit de dire que la face ABC est soumise à une force unique OF appliquée en un point O de cette face.

Voilà la simple observation que j'avais à présenter à cet égard, et qui me paraît limiter les applications de la théorie mathématique de l'élasticité; ou qui, du moins, fait que cette théorie mathématique n'est qu'approximative dans bien des cas où on la croit ordinairement rigoureuse; il semble, notamment, que l'on doive user de précaution, quand on applique cette théorie mathématique de l'élasticité, aux corps tels que le fer et l'acier, composés, comme on le sait, de grains, de cristaux, soudés entre eux par un ou plusieurs ciments.

Je désire aussi présenter une autre remarque, relativement à l'intérêt qu'il y aurait, suivant moi, à expérimenter sur des éprouvettes creuses.

L'autre jour, j'avais essayé d'analyser par la théorie ce qui doit se passer approximativement dans une barre cylindrique soumise à la torsion; je n'ai pas insisté, mais ces considérations s'étendent aussi, — elles ont été étendues par M. le commandant Hartmann, — aux barres fléchies, ou bien encore à un corps quelconque soumis à des forces quelconques. Mais j'avais dit, dans mon court rapport sur la torsion, qu'il y aurait intérêt à faire des épreuves de résistance de matériaux, non pas seulement sur des tiges pleines, comme on semble l'avoir fait uniquement jusqu'ici, mais aussi sur des tiges cylindriques creuses, soit à la torsion, soit à la traction. En effet, les phénomènes de flexion, de torsion, et même de traction et de compression des corps, sont des phénomènes complexes. Tant qu'on ne dépasse pas la limite d'élasticité, on peut analyser ces phénomènes par la théorie mathématique de l'élasticité; mais, dès qu'on dépasse la limite d'élasticité, on n'y voit plus clair parce qu'il y a alors un mélange de déformations élastiques et de déformations non élastiques, certaines parties du corps étant encore soumises à des déformations élastiques, tandis que d'autres ont déjà commencé à subir des déformations permanentes. Dans ces conditions, il est bien difficile de dégager les lois qui président aux phénomènes qui se passent au delà de la limite d'élasticité.

Il est probable qu'on pourrait arriver à des résultats plus nets, en opérant sur des tiges creuses, de manière à éliminer la partie centrale, qui dans les éprouvettes ordinaires, continue à travailler élastiquement. Si, par exemple, on a un barreau cylindrique, composé d'une couronne annulaire, creuse à l'intérieur, et telle que les diamètres interne et externe soient dans un rapport aussi voisin que possible de l'unité, il est clair que, si on le tire, on n'aura entre les faces que des efforts sensiblement analogues; il n'y aura pas une aussi grande variation que dans le cas où la tige est pleine. Il se peut alors que les phénomènes revêtent des apparences plus simples et, en tout cas, plus faciles à interpréter. Je ne sais si des essais ont été faits avec des éprouvettes creuses; je propose d'en faire. (*Vifs applaudissements.*)

M. MESNAGER. — M. Rateau attaque la théorie de l'élasticité, mais les expériences confirment cette théorie; par conséquent, je ne vois pas d'inconvénient à l'employer, à titre de méthode au moins empirique. Nous sommes même d'accord sur ce point, puisque, tout à l'heure, M. Rateau parlait d'analyser les résultats de la traction au moyen de la théorie de l'élasticité, dans tous les cas où elle était applicable.

M. RATEAU. — Cependant, tout ce qui vient d'être dit depuis plusieurs jours est contraire à la théorie mathématique de l'élasticité.

M. MESNAGER. — Ce qui se passe au delà des déformations permanentes.

M. RATEAU. — Ah! si vous restez dans l'application jusqu'à la limite d'élasticité, jusqu'au commencement seulement des déformations permanentes et que le corps considéré ne soit pas trop hétérogène, nous sommes d'accord.

M. RICOUR. — Aussi longtemps qu'il n'y a pas de déformation permanente, la théorie de l'élasticité est parfaitement applicable, puisqu'il s'agit toujours de déplacements continus proportionnels aux efforts: c'est l'hypothèse même sur laquelle est basée cette théorie.

Mais dès que la limite vraie de l'élasticité est franchie, la théorie est en défaut; car il se produit des phénomènes discontinus. Les *couches* qui forment, avec la direction des forces, les angles α ou β sont ébranlées; ces ébranlements, ces ruptures d'équilibre, constituent le corps dans un état particulier que l'expérience peut déterminer, mais qui échappe complètement à la théorie actuelle de l'élasticité basée sur l'hypothèse de la continuité. (*Très bien! Très bien!*)

M. LE PRÉSIDENT. — La parole est à M. Galy-Aché.

M. GALY-ACHÉ. — Messieurs, après les exposés plutôt théoriques que vous venez d'entendre, l'étude expérimentale que j'ai entreprise au Laboratoire central de la Marine, avec mon colla-

borateur, M. le capitaine Charbonnier, vous paraîtra sans doute un peu pâle ; mais enfin, je me suis borné à étudier les déformations des métaux à un point de vue purement expérimental ; et, pour ne pas abuser de vos instants, je vais me borner à résumer très rapidement les résultats des expériences.

L'étude des méthodes d'essai des métaux ne peut se séparer de celle de leurs propriétés mécaniques. C'est en cherchant à se rendre compte des phénomènes de la déformation des solides dans les cas les plus simples qu'il deviendra un jour possible de déterminer quelles sont les véritables caractéristiques d'un métal, comment elles doivent être mesurées et quel est leur sens exact.

Aujourd'hui, lorsqu'on veut définir un métal, on donne sa limite d'élasticité, sa résistance à la rupture et son allongement.

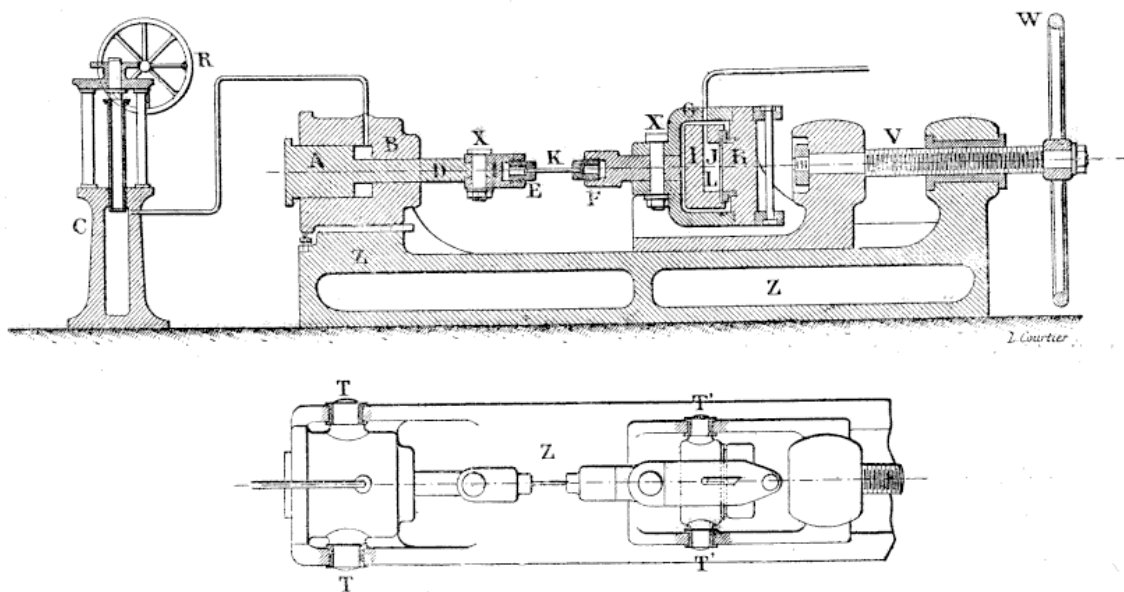


FIG. 34.

Pour la limite d'élasticité, il n'y a rien à dire, parce qu'on retrouve la même limite d'élasticité, quelle que soit l'éprouvette employée ; mais, pour la résistance à la rupture et surtout pour l'allongement, les chiffres donnés dépendent absolument des dimensions de l'éprouvette. Il faudrait trouver des méthodes d'essai — et je crois que c'est réellement le but du Congrès — qui donnent des résultats absolument indépendants de la méthode et indépendants de l'éprouvette employée.

C'est dans le but d'apporter une contribution à cette étude que nous avons entrepris nos expériences. Comme nous ne disposions que de très peu de temps, elles n'ont porté que sur deux métaux, que nous considérons comme les plus simples, le cuivre d'abord, le fer ensuite.

Nos expériences ont été faites avec deux machines d'essai différentes.

La première, « la machine d'essai du colonel Maillard », est celle qui est employée couramment dans l'Artillerie de la Marine, pour les essais des métaux à canon. Elle est employée aussi à l'étranger ; et je crois qu'on s'en sert également à Woolwich.

La deuxième est une « presse hydraulique à piston libre », imitée de celle de M. Amagat. M. l'ingénieur des Poudres et Salpêtres Vieille l'a employée avec quelques perfectionnements pour d'intéressantes expériences ; nous lui avons, de notre côté, apporté quelques modifications.

Nous décrirons sommairement ces deux machines, dont nous exposerons plutôt le principe que les détails.

1^{re}. *Machine d'essai du colonel Maillard.* — La machine Maillard est une machine de traction horizontale, fondée sur le principe de la presse hydraulique et munie d'un manomètre à mercure. Elle est destinée à l'épreuve de forts barreaux et permet d'aller jusqu'à 40 tonnes.

Le piston A d'une presse hydraulique peut se déplacer horizontalement sous l'action de l'eau refoulée dans le corps de pompe B par le compresseur C.

La tige D du piston se termine par un *porte-mordaches* E destiné à tenir le barreau K.

Monté sur le même bâti Z que le corps de pompe B et en regard de celui-ci se trouve disposé un second corps de pompe I; un piston H, solidaire par l'étrier G du second porte-mordaches F, transmet au liquide contenu dans I la pression qui agit sur le barreau K.

La cavité L est en communication avec le manomètre qui fait connaître la pression.

La machine Maillard se compose ainsi des organes suivants :

La *presse hydraulique* et son *compresseur* ;

Le *dynamomètre à eau* et son *manomètre* ;

Les *porte-mordaches* et les *mordaches* ;

L'*enregistreur*.

On peut noter très facilement avec cette machine la limite d'élasticité, la charge maxima et l'allongement.

2° Nous avons employé également, ainsi que je viens de le dire, la presse hydraulique à piston libre, imitée du manomètre à piston libre de M. Amagat.

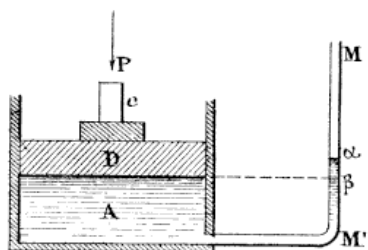


FIG. 35.

La presse hydraulique à piston libre est une presse verticale à colonne manométrique débouchant à l'air libre.

Un piston D peut se déplacer verticalement dans un cylindre A; il repose sur un bain de mercure.

A l'état d'équilibre, le liquide monte en α en un point tel que le poids de la colonne de mercure ayant pour hauteur $\alpha\beta$ et pour base la section S du piston fasse équilibre au poids de ce piston.

α est le zéro de l'appareil.

Si on exerce alors une pression P sur la base du piston, le liquide monte au-dessus du zéro d'une hauteur h et on a l'équation d'équilibre

$$P = Sh\delta,$$

S étant la section du cylindre en décimètres carrés;

h, la hauteur du liquide au-dessus du point α , en décimètres;

δ , la densité du liquide;

P sera alors exprimé en kilogrammes.

Cette équation suppose que les frottements du piston dans le cylindre sont négligeables.

Si on interpose, par exemple, entre la force P et le piston, une petite éprouvette cylindrique c, celle-ci s'écrasera, et la pression P, que le manomètre fera connaître, mesurera sa résistance R.

La presse hydraulique à piston libre comprend :

1° Le *corps de pompe* et son *piston* ;

2° Les *organes de compression* ;

3° Le *manomètre à air libre* ;

4° Le *réverseur* ;

5° L'*enregistreur*.

Le piston porte une enclume, en regard de laquelle est fixée une contre-enclume, et on injecte, à l'aide d'un compresseur de l'huile de ricin — on a choisi ce liquide de façon à empêcher les fuites — au-dessous de la couche de mercure qui communique avec le manomètre à air libre.

C'est une machine de compression, qui peut se transformer très facilement en machine de traction, à l'aide d'un réverseur. On peut même essayer avec cette machine une même éprouvette, soit à la compression, soit à la traction.

Dans le premier chapitre de notre étude, nous avons discuté les trois définitions proposées pour la limite d'élasticité. La Commission des Méthodes d'essai, instituée en 1893, n'est pas encore parvenue — ce n'est pas un reproche que je lui fais, c'est une simple constatation — à donner une définition de la limite d'élasticité.

On a proposé d'abord la limite d'élasticité des physiciens. Les physiciens disent : si vous appliquez une charge, aussi petite qu'elle soit, vous constatez toujours une déformation permanente ; et, si vous ne la constatez pas, c'est parce que vos instruments de mesure sont absolument imparfaits.

En second lieu, divers ingénieurs, parmi lesquels je citerai M. Bauschinger, ont proposé la

limite d'élasticité proportionnelle. Ils ont mesuré, avec leurs appareils, les déformations qui correspondent aux efforts, et ils ont trouvé qu'à partir d'un certain effort ces déformations cessaient d'être proportionnelles. Alors ils ont admis — et c'est purement arbitraire — qu'ils avaient atteint la véritable limite d'élasticité. Ils ne font aucune distinction, en somme, dans cette région, entre les déformations permanentes et les déformations élastiques. — Admettre cette limite d'élasticité revient encore à nier l'existence de toute limite d'élasticité; car, si on construit une courbe des déformations en fonction des charges, cela revient à confondre la courbe avec sa tangente, d'une manière tout à fait arbitraire, à prendre soit un point, soit un autre, comme point où la tangente quitte la courbe.

Les physiciens constatent qu'on a toujours des déformations permanentes; d'après les physiciens, la courbe serait continue, et il n'y aurait pas de limite d'élasticité. D'après les ingénieurs qui admettent la seconde définition, on peut confondre la courbe avec sa tangente jusqu'à un certain point. Avec l'appareil Bauschinger, on trouve un certain point M; il est évident qu'avec un appareil imaginé par un autre ingénieur on trouverait un point tout différent.

Enfin, on peut considérer la limite des essais qui, dans les laboratoires d'essais mécaniques, s'identifie avec le point d'arrêt de la colonne manométrique. Je veux appeler votre attention sur ce point d'arrêt.

Je prends, par exemple, le compresseur et la presse hydraulique, dont j'ai parlé tout à l'heure, et je suppose qu'entre l'enclume et la contre-enclume on place une éprouvette. Si je tourne le compresseur d'un mouvement uniforme, je constate que, dans la colonne manométrique, le sommet de la colonne monte d'un mouvement très régulier et également uniforme; puis, brusquement, se produit un point d'arrêt, qui se produit également dans la machine Mailard, et peut être noté avec la plus grande précision.

D'où provient ce point d'arrêt? Il est facile de voir qu'à chaque tour de volant nous injectons une quantité de liquide déterminée sous le piston.

Ces quantités de liquide, tant que l'éprouvette ne bouge pas ou ne subit que des déformations élastiques proportionnelles à l'effort, ont pour résultat de faire toujours monter la colonne d'un mouvement régulier; mais, dès que les déformations permanentes se produisent, si elles sont très grandes par rapport aux déformations élastiques qui les ont précédées, la quantité de liquide injectée viendra combler le vide subitement produit au-dessous du piston; par conséquent, la colonne manométrique s'arrêtera.

Donc, ce point d'arrêt règle d'une façon indiscutable le passage des déformations élastiques aux déformations permanentes. C'est donc la véritable limite d'élasticité.

On me répondra qu'on observe toujours des déformations permanentes dans la région des déformations élastiques; c'est vrai, mais ce n'est exact que si vous prenez une éprouvette brute; si vous l'essayez pour une première fois, il se produit alors ce que nous appelons en artillerie le *portage* des éléments intérieurs et extérieurs de l'éprouvette. Celle-ci n'est jamais absolument rectiligne; d'autre part, elle n'est jamais absolument homogène; il se produit une véritable régularisation. On observe, il est vrai, des déformations permanentes, mais on ne les observe qu'une seule fois.

En effet, si, après avoir appliqué une charge égale à la limite d'élasticité des essais, vous recommencez l'expérience, vous constaterez que vous ne trouvez aucune déformation permanente dans la région élastique; vous aurez réalisé le portage des éléments de l'éprouvette, et ces déformations accidentelles que vous aviez observées, vous ne les retrouverez plus.

Par conséquent, nous considérons cette limite des essais comme ayant le véritable caractère d'une loi naturelle.

Voici une série d'expériences, qui ont mis hors de doute cette proposition.

1° *Les déformations permanentes de la première période sont petites relativement aux déformations élastiques simultanées.* — Ainsi, on a pris un barreau de cuivre ayant 300 millimètres entre repères et un diamètre de 9^{mm},4.

P est la charge appliquée (qu'on suppose inférieure à la limite d'élasticité E définie par le point d'arrêt). On laisse la charge revenir à zéro;

Δe est l'allongement élastique qui disparaît avec la charge;

Δp est l'allongement permanent résiduel.

Le tableau suivant permet de se rendre compte de la grandeur de ces deux quantités.

Barreau de cuivre.....		Longueur = 294 ^{mm} Diamètre = 9 ^{mm} ,4 Section = 69 ^{mm} ² ,40	
CHARGE		ALLONGEMENT	
TOTALE	PAR MILLIM. CARRÉ	ÉLASTIQUE Δe	PERMANENT Δp
464 ^{kg}	6 ^{kg} ,7	millim. 0,101	millim. 0,004
731	10 ,5	0,205	0,031
798	14 ,4	0,299	0,118

L'expérience a été répétée, dans les mêmes conditions, avec un barreau de fer.

Barreau de fer.....		Longueur = 293 ^{mm} Diamètre = 8 ^{mm} ,00 Section = 50 ^{mm} ² ,27	
CHARGE		ALLONGEMENT	
TOTALE	PAR MILLIM. CARRÉ	ÉLASTIQUE Δe	PERMANENT Δp
487 ^{kg}	9 ^{kg} ,7	millim. 0,065	millim. 0,004
701	14 ,0	0,133	0,040

2° *Les déformations permanentes de la première période varient d'un barreau à l'autre.*
 — Ainsi, par exemple, on a pris dans une même barre deux barreaux de cuivre qui ont été préparés avec les mêmes soins et essayés avec les mêmes précautions.

On a trouvé les nombres du tableau ci-dessous.

CHARGES	1 ^{er} BARREAU DE CUIVRE		2 ^e BARREAU DE CUIVRE	
	Δe	Δp	Δe	Δp
	millim.	millim.	millim.	millim.
464 ^{kg}	0,101	0,004	0,099	0,000
731	0,205	0,031	0,202	0,042
998	0,299	0,118	0,302	0,075

On remarque, à la fois, la concordance pour une même charge des allongements élastiques Δe et l'évidente irrégularité des allongements permanents Δp .

3° *On peut faire disparaître à volonté les déformations permanentes de la première période.* — Pour cela, il suffit, après avoir appliqué une charge P, de la laisser tomber dans le voisinage de zéro, puis de la réappliquer en laissant en place le barreau.

Lorsque, ensuite, enlevant la charge, on mesurera la déformation permanente résiduelle, on constatera qu'elle est plus faible qu'à la première expérience. En continuant ainsi, on arrivera très rapidement à une déformation permanente nulle avec l'instrument dont on dispose, c'est-à-dire qui tend très vite vers zéro d'une façon absolue.

Ainsi, on peut citer les expériences suivantes :

Barreau de cuivre.....			Longueur = 29.1 ^{mm} ,376 Diamètre = 9 ^{mm} ,4 Section = 6,5 ^{mm} 2,4		
CHARGE APPLIQUÉE	N ^{os} D'ORDRE DES APPLICATIONS	Δp millim.	CHARGE APPLIQUÉE	N ^{os} D'ORDRE DES APPLICATIONS	Δp millim.
1.213 kilogr.	1 ^{re} application	0,105	1.213 kilogr.	6 ^e application	0,000
	2 ^e —	0,031		7 ^e —	0,000
	3 ^e —	0,017		8 ^e —	0,000
	4 ^e —	0,008		9 ^e —	0,000
	5 ^e —	0,000		10 ^e —	0,000

A partir de la quatrième application, le barreau se comporte comme un solide parfaitement élastique.

J'ai cité les plus mauvaises expériences que j'ai réalisées. J'ai obtenu des chiffres qui sont très faibles, à la vérité, mais voici pourquoi je les ai obtenus. Je n'ai pas eu la précaution, en remplaçant les barreaux, de les replacer identiquement dans la même position. Lorsqu'on les remplace identiquement dans la même position, ou si on ne les dérange pas, on trouve que les allongements permanents ont complètement disparu.

L'élasticimètre employé pour cette mesure était installé sur la machine Maillard. Celle-ci ne se prête pas très bien à des essais de ce genre; il fallait faire un tarage spécial pour connaître exactement l'effort appliqué. Ce tarage variait d'un jour à l'autre, on était obligé de faire un tarage avant le commencement de chaque expérience et après chaque expérience. Nous pensons que, pour étudier la période élastique, il serait nécessaire d'établir un élasticimètre spécial, qui serait, par exemple, une presse hydraulique verticale, à piston libre et à manomètre à air libre, possédant un cathétomètre vertical à deux lunettes, mobile autour du barreau sur une circulaire horizontale.

Le but à poursuivre, c'est que l'appareil de mesure soit absolument distinct de l'objet à mesurer; il existe beaucoup d'élasticimètres; je n'en connais pas qui remplisse cette condition, qui me paraît cependant essentielle. Lorsque vous placez l'élasticimètre sur l'objet que vous voulez mesurer, il y a toujours une partie de l'élasticimètre qui doit rester parallèle aux deux points dont on veut mesurer la distance; il est très difficile de l'amener en coïncidence avec ces deux points, qui ont toujours des dimensions, et la précision des mesures s'en ressent beaucoup.

Enfin, avec le second appareil, la presse à piston libre, dont j'ai parlé tout à l'heure, nous avons pu essayer une même éprouvette, soit à la traction, soit à la compression.

Les expériences ont porté sur le cuivre et sur le fer. Sur le cuivre, il n'y a pas la moindre difficulté, parce que le cuivre donne une courbe des déformations, en fonction des efforts, très régulière. Ainsi, nous avons adapté un enregistreur à notre appareil; nous avons vu la plume de l'enregistreur monter très régulièrement suivant l'axe des Y, et se détacher par un crochet; par conséquent, on a pu noter avec la plus grande facilité les limites d'élasticité, qui ont été trouvées égales.

Pour le fer, il y a lieu à interprétation, à cause du phénomène du palier. Avec le fer, au lieu d'avoir cette simplicité, la plume montait très régulièrement, puis tombait brusquement d'une quantité très notable, qui atteignait jusqu'à la moitié de la charge d'élasticité. Ainsi, on se serait trompé grossièrement si on avait pris ceci comme charge d'élasticité.

On a donc observé le palier, qui a déjà été signalé par divers expérimentateurs.

Lorsqu'on a essayé les éprouvettes à la traction et à la compression, on a trouvé que ce point était d'une irrégularité manifeste. On avait, par exemple, de 1.000 à 600 pour ce point, dans une barre de fer homogène; il arrivait que ce phénomène ne se produisait pas, ou bien cette dépression était très atténuée; au contraire, ce point-là se produisait toujours à la même hauteur, quelle que fût la nature de l'éprouvette essayée, ou, du moins, quelle que fût la nature de l'essai, soit à la traction, soit à la compression. C'est donc ce point qui règle, comme pour le

cuivre, le passage des déformations élastiques aux déformations permanentes; et c'est ce point que nous avons pris comme véritable limite d'élasticité.

Les limites d'élasticité sont donc encore égales pour le fer. Nous avons vérifié qu'elles l'étaient également pour l'acier à canon, bien que nous ayons désiré nous en tenir seulement à l'étude des métaux simples; mais l'acier à canon présente un tel intérêt pour les artilleurs qu'on nous avait demandé cette étude d'une façon toute spéciale.

Pour vérifier la généralité de cette loi, au lieu d'éprouvettes égales, nous avons employé des éprouvettes absolument différentes; ainsi nous avons pris des éprouvettes — je donne les deux extrêmes — ayant 300 millimètres de longueur, et des crushers ayant 20 millimètres de diamètre. Voilà des éprouvettes absolument différentes, celles-ci constituées par un petit cylindre qu'on essaye à la compression et celles-là par un long barreau de 300 millimètres qu'on essaye à la traction; nous avons trouvé exactement les mêmes chiffres, les crushers étant essayés à la compression avec la presse à piston libre et les barreaux étant essayés à la traction avec la machine Maillard — les deux machines d'essai étant naturellement tarées l'une par rapport à l'autre.

Enfin, nous avons étudié spécialement le cuivre.

Étude du cuivre. — Le cuivre est un métal aux propriétés mécaniques très simples qui, par suite, se prête aisément à une étude des lois fondamentales des déformations permanentes.

a) On a étudié la *compression lente* du cuivre en employant de petits cylindres de 13/8 dits *crushers*.

On montre que ces appareils peuvent servir d'instruments de mesure, et on indique comment on peut les utiliser pour le tarage d'une *machine d'essai* et pour la détermination des *profondeurs* des mers.

On indique les renseignements qu'on peut tirer d'un essai de compression, la facilité d'un tel essai et la méthode suivie par l'Artillerie de la Marine pour la réception de ses *crushers*.

b) On a étudié ensuite la *traction lente* du cuivre.

Dans les services publics, on demande généralement à cet essai les renseignements suivants : la *limite d'élasticité*, la *charge maximum* et l'*allongement pour cent*.

En étudiant la courbe des résistances vraies, il nous a paru que les caractéristiques les plus rationnelles fournies par l'essai de traction seraient :

1° La limite d'élasticité :

$$E = \frac{P_1}{S},$$

2° La charge de rupture :

$$P = \frac{P_2}{S'};$$

3° L'allongement de striction :

$$\lambda = \frac{S - S'}{S'};$$

P_1 étant la charge totale au point d'arrêt;

P_2 , la charge totale au moment de la rupture;

S , la section initiale du barreau;

S' , la section de rupture du barreau.

c) On a pu montrer que l'égalité des limites élastiques à la compression et à la traction n'était qu'un cas particulier d'une loi plus générale, qui est l'isotropie des déformations permanentes :

Le métal a acquis, dans tous les cas, après une déformation permanente homogène, les mêmes propriétés mécaniques.

On a mis cette loi en évidence en écrasant un cube de cuivre reposant successivement sur ses faces latérales.

Nous avons pris un cube de cuivre, nous l'avons placé sur l'enclume de la presse hydraulique, et nous l'avons écrasé de façon à lui donner une limite d'élasticité bien déterminée. Il était placé sur la face ABCD. Si nous le retournons sur la face ABA'B', l'arête AB est devenue l'arête A'B', l'arête AD est devenue A'A, et enfin l'arête AA' est devenue A'D'.

Si on retourne le cube de façon à le placer sur ABA'B', on retrouve, en supposant que la

première charge était égale à P , que le point d'arrêt se produit pour une valeur $= \frac{P}{A'C}$. Par conséquent, l'isotropie est bien manifeste.

On a proposé, pour relier les déformations permanentes entre elles, une *fonction d'écroutissage* qui tient compte :

1° De l'invariabilité du volume d'un élément du métal ;

2° Du déplacement relatif des surfaces contiguës du métal.

d) Les propriétés mécaniques reconnues par les expériences ci-dessus ont été expliquées à l'aide de la *micrographie du cuivre*, qui montre les cristaux brisés par l'écroutissage et reformés par le recuit.

e) *Compression par choc*. — On s'est proposé d'étudier les lois générales de l'écrasement rapide. La discussion des procédés expérimentaux possibles nous a conduit à utiliser dans ce but la chute d'un poids.

On a reconnu :

1° Que cette méthode permettait l'étude de la compression pour les durées d'écrasements voisines de $3/1000$ de seconde ;

2° Que la résistance du crusher, pour des vitesses de cet ordre, était représentée par une courbe bien différente de la courbe de résistance à la compression lente ;

3° Que, pour un même écrasement, l'écroutissage par le choc était supérieur à l'écroutissage lent.

f) Ces études nous ont conduit à reprendre la célèbre expérience de Hirn pour la détermination de l'équivalent mécanique de la chaleur par l'écrasement du plomb. Nous avons effectivement, en employant ce métal, retrouvé un nombre voisin de 425. Mais avec le cuivre, il n'en a pas été de même : on trouve des nombres variables avec les circonstances de l'expérience et notablement plus grands que 425 (500 environ dans nos expériences).

Une certaine partie du travail se trouve employée à l'écroutissage du métal et ne se retrouve pas sous forme de chaleur.

g) Enfin, nous avons appliqué les résultats précédents à la *mesure des pressions de la poudre* au moyen des crushers.

Étude du fer. — Le fer possède des propriétés mécaniques singulières qui le différencient nettement du cuivre. Son étude doit être considérée comme l'introduction naturelle à l'étude importante des aciers industriels.

Nous avons étudié, après Osmond :

1° La *loi du refroidissement du fer*, qui met en évidence deux points remarquables a_2 et a_3 ce qui paraît l'indice d'un changement d'état allotropique du métal ;

2° Le *palier*, c'est-à-dire la singularité présentée par les diagrammes de compression et de traction au moment où on passe de la période élastique à la période des déformations permanentes. Il se produit une dépression marquée de la colonne manométrique et le point le plus bas correspond à la limite d'élasticité du métal. Les deux limites d'élasticité sont encore égales.

On a reconnu la loi suivante :

Lorsqu'on trempe le métal à des températures croissantes, le palier disparaît brusquement pour la température de 850° qui est celle du point a_3 .

3° *Surélévation de la limite d'élasticité*. — La loi de l'égalité de la limite d'élasticité et de l'effort qui a produit l'écroutissage se vérifie avec le fer comme avec le cuivre, mais avec cette restriction que la réapplication de l'effort doit être immédiate.

On sait que, lorsqu'on étire une éprouvette de cuivre, on obtient une courbe ; et, si on laisse tomber la pression à un moment donné en un point M , et qu'on la réapplique progressivement, on voit la plume de l'enregistreur suivre la verticale mp et se placer dans le prolongement de la courbe déjà tracée. Voilà ce qu'on obtient avec le cuivre. Avec le fer, au contraire, on obtient d'abord le phénomène du palier ; puis, si on laisse tomber la pression de m en p et qu'on réapplique immédiatement l'effort, on trouve bien la courbe dans le prolongement de la courbe déjà tracée ; mais, si on attend, par exemple, vingt-quatre heures, on constate que le fer est devenu capable de supporter une pression bien supérieure à celle qui avait été déjà appliquée ; le palier, qui avait disparu tout d'abord, réapparaît peu à peu ; et, au bout de six mois, par exemple, on a une surélévation de la limite d'élasticité très considérable et un palier dont l'importance est absolument comparable à celle du palier qu'on avait primitivement obtenu.

Je pourrais vous donner des chiffres. Dans des expériences effectuées à six mois d'intervalle, la surélévation de la limite d'élasticité, la pression *mp* primitive étant de 2.000 kilogrammes, la surélévation, dis-je, a été trouvée de 457 kilogrammes, la dépression du nouveau palier étant de 50 kilogrammes.

Ces expériences, qui viennent à l'appui de l'opinion de M. Osmond et qui donnent une démonstration en quelque sorte mécanique de l'existence de deux variétés du fer, font voir aussi que les deux états ne sont pas stables à toutes les températures.

Combinées avec les modifications qui dépendent de la présence du carbone, ces propriétés du fer pur montrent combien est complexe l'étude de l'acier, et qu'il y a encore de nombreux progrès à réaliser avant qu'on puisse établir une théorie réellement satisfaisante de ce métal. (*Vifs applaudissements.*)

M. LE PRÉSIDENT. — Ces essais sont extrêmement intéressants, et la contribution qu'ils apportent à cette étude est très importante. Nous exprimons tous nos remerciements à M. Galy-Aché et à son collaborateur, M. le capitaine Charbonnier. (*Vifs applaudissements.*)

La séance est levée à cinq heures et demie.

SÉANCE DU LUNDI 16 JUILLET 1900

(SÉANCE PLÉNIÈRE DE CLOTURE)

La séance est ouverte à neuf heures et quart.

Le Bureau est composé de : MM. HATON DE LA GOUPILLIÈRE, Président du Congrès; le général PÉTROFF, le général BORRUS, HOWE, BELELUBSKY, WAHLBERG, REBUFFAT, QUINETTE DE ROCHEMONT, MENDÈS GUERREIRO, REJTÖ, RICOUR, Présidents de Séances; DEBRAY et BACLÉ, secrétaires généraux; MESNAGER et GUÉRARD, secrétaires.

M. LE PRÉSIDENT. — La parole est à M. Wahlberg, qui veut bien remplacer M. Brinell, et nous entretenir de la communication de ce dernier sur les épreuves destinées à déterminer la dureté d'après l'empreinte d'une bille.

M. WAHLBERG. — Messieurs, je m'excuse de ne pas bien parler le français. M. Brinell, mon compatriote, étant absent, je ferai de mon mieux pour vous faire un compte rendu de son rapport. (*Très bien!*)

M. Wahlberg fait l'exposé de cette communication (Voir t. II, p. 83).

M. LE PRÉSIDENT. — Je remercie vivement M. Wahlberg de son intéressante communication et j'exprime de nouveau tous mes regrets de ce qu'un accident survenu ce matin au secteur qui alimente d'électricité toute cette partie de Paris, ait privé le Congrès des projections qui devaient accompagner les observations et les recherches de M. Brinell.

Le Bureau a en mains quelques exemplaires des tableaux et des graphiques préparés par ce dernier; nous les distribuerons entre les membres du Congrès que la question intéressera particulièrement.

J'ai maintenant à faire au Congrès les communications suivantes :

Sur la demande exprimée par plusieurs congressistes, M. le professeur Belebubsky se tiendra à sa vitrine des ponts russes, classe 29, génie civil, aujourd'hui même, de cinq heures et demie à six heures et demie, avant le banquet, à la porte 23 de la section russe, avenue de Suffren.

A deux heures, aura lieu la visite du laboratoire de la Compagnie de l'Est, excursion que nous devons à l'administration de cette puissante Compagnie et à la bienveillante intervention de notre collègue M. Sauvage, ingénieur en chef des mines.

J'ai reçu deux pièces manuscrites qui seront insérées au compte rendu *in extenso* du Congrès. Je me bornerai à vous indiquer quels en sont les sujets. L'une est une note de M. Pascaud sur les essais de tuyaux en grès (Voir à l'*Annexe*, p. 197). L'autre est une note sur un procédé de soudure autogène de l'aluminium présentée par M. Bigillion, représentant de la Société « le Nickel » (Voir à l'*Annexe*, p. 199).

D'autre part, MM. G. Giorgis et Alvisi ont adressé en hommage au Congrès un exemplaire de leur ouvrage sur *les Pouzzolanes naturelles et artificielles* (Extrait de la *Gazette de Chimie* (Italie), t. XXX, 1^{re} partie, 1900). Cet ouvrage a été mis à la disposition de MM. les Membres du Congrès.

Un certain nombre de communications ont été remises à la présente séance, soit que leurs

auteurs fussent absents, soit que les séances aient eu un ordre du jour trop chargé. Nous appellerons ces communications et nous entendrons les auteurs présents.

Nous en avons une notamment sur les essais de trempe, de M. Charpy, qui malheureusement n'est pas présent. M. Charpy m'a écrit pour s'excuser, étant obligé de repartir pour Montluçon. Sa communication devait venir jeudi matin; cette séance s'étant trouvée trop chargée pour qu'il pût prendre la parole, je lui avais fixé une heure ferme à la séance de vendredi soir. Mais il a dû repartir inopinément. Son rapport, qui est extrêmement intéressant, sera distribué avec les autres actes du Congrès.

Il en sera de même du rapport de M. Forti sur la désagrégation des ciments.

Nous passons à la communication de M. Demenge sur les essais du cuivre et de ses alliages.

M. DEMENGE fait alors l'exposé de sa communication (Voir t. II, p. 289).

M. LE PRÉSIDENT. — Je remercie M. Demenge de son intéressante communication. (*Applaudissements.*)

Je donne la parole à M. Howe qui l'a demandée sur le rapport de M. Brinell, dont nous a entretenus M. Wahlberg.

M. HOWE. — Je tiens à dire qu'il est difficile de parler de ce rapport comme il convient sans être taxé d'exagération. Je n'ai pas vu d'exposé plus intéressant ni plus instructif. Je suis certain que le Congrès sera unanimement d'avis que ce rapport a une importance exceptionnelle. (*Applaudissements.*)

M. LE PRÉSIDENT. — Messieurs, nous en avons terminé avec la moisson abondante et si remarquable des rapports qui avaient été préparés pour le Congrès.

Vous vous souvenez qu'une question a surgi au cours de nos séances : un de nos collègues, M. Schiel, qui a dû nous quitter, a demandé qu'une discussion s'engageât sur l'énoncé suivant : Convient-il que les Gouvernements, que les autorités constituées interviennent pour la vérification des machines d'essai, comme ils le font pour les poids et mesures ?

Telle est la pensée de M. Schiel. La question a été mise à l'ordre du jour, et plusieurs orateurs se sont inscrits. Le premier était M. Grobot, qui ne peut assister à cette séance. Je prierai M. Debray de nous donner lecture de la lettre que nous a adressée à ce sujet M. Grobot.

M. DEBRAY. — M. Grobot dit dans cette lettre :

« MONSIEUR LE PRÉSIDENT,

« Ne pouvant pas assister à la séance de lundi, nous vous remettons ci-après quelques observations au sujet de la proposition faite par un de nos collègues, M. Schiel.

« Nous estimons que la vérification des machines d'essai ne doit pas être confiée aux vérificateurs des poids et mesures; elles sont, en effet, de types trop nombreux et souvent beaucoup complexes pour que ces agents puissent apprécier leur fonctionnement.

« Les contrôleurs qui ont à appliquer les clauses des cahiers des charges dans les laboratoires d'essai des usines sont beaucoup mieux qualifiés pour cela, ayant toutes les connaissances techniques voulues pour vérifier eux-mêmes les machines.

« Veuillez agréer, Monsieur le Président, l'assurance de notre considération la plus distinguée.

Signé : G. GROBOT, directeur des aciéries d'Assailly;

Signé : HEURTELOUP, Ingénieur aux Aciéries de la Marine, à Saint-Chamond. »

M. LE PRÉSIDENT. — M. Henning s'est inscrit en sens contraire du préopinant, c'est-à-dire en faveur de la proposition de M. Schiel.

La parole est à M. Henning.

M. HENNING. — Messieurs, la question ne se pose pas de la même façon en Amérique et en Europe. Mais je puis dire que, dans mes expériences, je n'ai jamais trouvé une machine exacte, qu'elle soit grande ou petite. La meilleure actuellement est, à mon avis, celle de M. le professeur Kick, de Vienne. Il a taré sa machine avec ses appareils particuliers; il n'a jamais pu trouver une erreur supérieure à 1 0/0, la machine étant plus juste que les appareils qu'il a pu employer.

Mais, dans les machines du commerce et des usines, j'ai toujours trouvé des erreurs; quelques-unes allaient jusqu'à 17 0/0. M. Martens a dit, dans son ouvrage sur les essais des matériaux, qu'il avait rencontré beaucoup de machines ayant jusqu'à 16 0/0 d'erreur.

J'estime donc qu'il est absolument nécessaire de faire le tarage de toutes les machines d'essais. Il devrait peut-être y avoir une commission d'ingénieurs assermentés qui visiteraient les machines et délivreraient des certificats conformes; la machine serait alors dite juste.

Les machines marchant vite comme les nôtres et celles d'Angleterre ne peuvent pas être considérées comme étant d'une précision suffisante pour les essais pratiques du commerce. Aussi, j'estime qu'une Commission d'ingénieurs devrait s'occuper du tarage des machines et, d'autre part, on ne devrait jamais employer une machine sans savoir de combien est son erreur. Chez nous, en Amérique, dans les essais des grandes pièces, on commet souvent des erreurs de 10 0/0. J'ai taré jusqu'à 1.200 tonnes, et j'ai trouvé des erreurs. J'ai eu aussi occasion de faire des comparaisons avec la fameuse machine de 500 tonnes, la machine de Emery à l'arsenal de Watertown. J'ai trouvé là encore beaucoup d'erreurs. A New-York, au département des constructions où j'étais ingénieur préposé aux expériences, j'ai fait construire une colonne en acier doux d'une capacité élastique de 500 tonnes. Je l'ai ramenée à Watertown, et dans un autre laboratoire, pour l'essayer et faire des comparaisons. J'ai trouvé des erreurs de 17 0/0 qui sont maintenant rectifiées, et la machine est bonne. Les machines nouvelles américaines sont justes jusqu'à 1/10 0/0. Je les ai tarées, moi, et j'ai trouvé des erreurs, comme M. Martens l'avait annoncé.

Il est donc indispensable de faire le tarage de toutes les machines à essayer.

M. LE PRÉSIDENT. — La parole est maintenant à M. Sauvage pour parler contre la proposition.

M. SAUVAGE. — Je désire traiter la question qui vous est soumise d'abord en donnant des motifs tout à fait généraux. Je suis, en effet, de ceux qui croient (il en est encore, je l'espère, un certain nombre, bien qu'ils ne soient pas aussi nombreux qu'on pourrait le désirer) que toutes les questions doivent surtout se régler d'après les principes généraux, qui seuls peuvent conduire aux solutions justes. Il est très facile, au contraire, de prendre les questions par leur petit côté; on peut alors, en mettant en avant quelques motifs secondaires et en dissimulant les autres, démontrer qu'une solution quelconque est la meilleure.

Il est vrai qu'il serait tout aussi facile, en prenant d'autres motifs secondaires, de démontrer que cette solution est mauvaise.

Dans la proposition qui nous est soumise, il ne faut pas s'y tromper, il s'agit d'une nouvelle entrave imposée à ceux qui travaillent. Déjà les travailleurs sont gênés par bien des entraves, mises principalement pour un motif de sécurité. Ici la sécurité n'est pas en jeu, au moins d'une manière directe. Si nous n'y prenons garde, nous verrons placer à côté de chaque citoyen un autre citoyen, chargé de le contrôler, de le surveiller, c'est-à-dire, en bon français, de l'empêcher de travailler. (*Applaudissements.*)

On peut dire que la proposition est peu importante, et que c'est une exagération de parler d'obstacle au travail, à propos du tarage d'une machine d'essai. Nous venons d'entendre parler de machines d'essai qui exercent des efforts de plusieurs milliers de kilogrammes et où la force est produite par des grains de plomb qui tombent dans une cuve. Quelques grains de plomb, ce n'est rien; cela n'empêche pas qu'à force d'en ajouter on rompt l'éprouvette.

Il serait vraiment fâcheux de faire un pas de plus dans la voie de la réglementation. Il est triste d'avoir à parler de la sorte, à l'occasion de cette proposition que nous voyons surgir ici, et d'autres qui se produisent un peu partout, en dehors de cette enceinte; cela est triste, surtout en cette année 1900, qui devrait marquer quelques progrès sur les précédentes. Le progrès n'est pas seulement matériel, il est surtout dans les idées et dans les manières de faire. Or ce besoin de plus en plus grand de contrôle, de surveillance, qui se manifeste un peu partout, est certainement le contraire du progrès. Il s'agit de nous enserrer dans une sorte de toile d'araignée d'où nous ne pourrions plus sortir. J'appelle sérieusement votre attention sur ce point; ne faisons pas le moindre pas dans ce sens; disons, au contraire, que le véritable progrès consiste à donner une liberté de plus en plus grande, quitte à laisser aussi plus de responsabilité. Ce que nous devrions faire, au lieu de demander dans chaque branche nouvelle de l'activité humaine de nouvelles entraves, c'est-à-dire, comme dans l'espèce, des réglementations nouvelles, ce que nous devrions faire, c'est chercher à faire adoucir les réglementations qui ne paraissent plus abso-

lument nécessaires. Il y a bien des mesures anciennement édictées, au début de l'industrie, qui aujourd'hui devraient disparaître ; il faudrait alléger les prescriptions trop étroites, les mettre au courant des connaissances actuelles.

Et c'est l'inverse que nous voyons faire ! Je serais heureux si, par son approbation, le Congrès témoignait que, d'une manière générale, il partage ces idées de progrès, et ne veut pas se mettre à la suite de ceux qui cherchent à paralyser l'activité individuelle (*Applaudissements.*)

J'ajouterai quelques mots pour traiter la question à un point de vue plus spécial. On parle de contrôler les machines d'essai ; si on a en vue quelques machines spéciales, comme les romaines pour les essais de traction, on peut les assimiler à des appareils de pesage ; le contrôle en serait possible à la rigueur. Mais prenez l'ensemble des machines d'essai ; vraiment je me demande comment on pourrait les contrôler de manière sérieuse : les unes sont susceptibles d'une grande précision ; les autres sont des machines rudimentaires sur lesquelles on ne pourrait exercer un contrôle minutieux. Voici une machine simple : la presse hydraulique avec manomètre ; le contrôle en serait bien difficile ; il faut bien admettre un certain pourcentage assez élevé d'erreur. Et à supposer que la réglementation existe, s'appliquera-t-elle aux machines nouvelles ? M. Frémont, par exemple, a imaginé une machine d'essai très ingénieuse, dans laquelle il utilise la déformation élastique du bâti de la machine comme mesure de l'effort. Comment le contrôle accueillerait-il sa machine ? Comment la poinçonnerait-il ? Notre collègue, après avoir beaucoup travaillé, pourrait se croire autorisé à se servir de la machine de son invention. Mais non ! il n'aurait encore rien fait : il lui faudrait user ses forces pour obtenir que l'Administration lui donnât la permission de se servir de cette machine : il lui faudrait poursuivre une des tâches les plus ingrates qui soient au monde. (*Applaudissements.*)

Dans un sujet aussi vaste, avec des procédés aussi variés, avec les nouvelles machines qui surgissent d'un jour à l'autre, avec des méthodes d'essai nouvelles aussi — car il y a d'autres essais que les essais de traction qu'on critique souvent aujourd'hui — comment organiser un contrôle officiel des machines d'essai ?

Cette proposition semble, d'ailleurs, née d'un sentiment de suspicion à l'égard de certains industriels. Je puis aborder cette question sans embarras, car je me présente ici sans aucune attache industrielle : je puis parler soit comme professeur, soit comme ingénieur de chemin de fer chargé de réceptions. Je dis que, d'une façon générale, je ne vois vraiment pas quel motifs pourraient justifier aujourd'hui une pareille suspicion.

Cependant, puisque la question a été soulevée, il n'y a qu'une bonne manière d'y répondre : chacun est libre de faire toutes les vérifications qui peuvent paraître opportunes ; que les industriels n'hésitent pas à proposer d'eux-mêmes aux agents vérificateurs, aux consommateurs, tout ce qui peut faciliter cette vérification. Celui qui est chargé de faire des essais doit évidemment être certain que les machines dont il se sert sont bien établies. Je suis convaincu qu'il suffira que l'attention ait été appelée sur ce point pour que les industriels accueillent avec empressement les demandes qui leur seraient faites en ce sens.

Je serais heureux si, comme réponse à cette proposition, le Congrès décidait qu'elle est inutile, parce qu'en fait les machines sont contrôlées et que chacun a le moyen d'obtenir toutes les garanties qu'il peut désirer. (*Applaudissements.*)

M. LE CHATELIER. — Je n'ai pas besoin de dire que je suis absolument d'accord avec M. Sauvage ; l'intervention de l'Administration serait déplorable. Mais, si on laisse de côté la question du principe général, on ne peut nier, dans certains cas, l'existence de difficultés réelles, résultant non pas de la mauvaise foi des industriels, qui n'existe pas, mais de l'inexactitude d'appareils qu'on n'a pas les moyens de contrôler. La disposition des machines rend souvent les essais de vérification très difficiles ; en tout cas, l'opération est délicate. Un moyen que j'ai employé assez souvent est de tarer la machine non pas avec des poids, mais avec des crushers. Quand on est en relation avec le service de l'artillerie, on peut se procurer ces crushers. Mais tous les industriels qui peuvent avoir des machines à tarer n'ont pas ce moyen à leur disposition. Ne serait-il pas possible de donner aux industriels qui désirent vérifier leurs machines des moyens plus simples et plus pratiques que le tarage avec des poids ? Par exemple il pourrait y avoir dans les laboratoires de l'État, à leur disposition, soit des crushers en cuivre, soit des manomètres tarés, avec lesquels ils pourraient faire, en quelques minutes, ces essais de vérification. Ce

que je demande n'est pas nouveau et existe en Allemagne. On peut faire venir des crushers tarés de Berlin. Il serait bien désirable que nous puissions nous les procurer chez nous. Je demande que l'on s'abstienne de rendre obligatoire le tarage des machines, mais qu'on le facilite par tous les moyens possibles à ceux qui ont envie de le faire. (*Applaudissements.*)

M. DEBRAY. — J'annoncerai à ceux de nos collègues qui l'ignorent que, depuis plusieurs années, le laboratoire de l'École des Ponts et Chaussées dispose d'un dynamomètre Lebasteur qu'il met volontiers, avec les agents qui ont habitude de s'en servir, à la disposition des ingénieurs qui désirent faire tarer leurs machines d'essai. Par conséquent la demande que faisait M. Le Chatelier peut recevoir satisfaction. Il suffit de donner une publicité plus grande à l'état de choses actuel. Je profite de l'occasion pour faire cette publicité, en priant ceux de nos collègues qui auraient à recourir au dynamomètre de l'École des Ponts et Chaussées, de s'adresser à mon successeur, M. Mesnager.

M. LE PRÉSIDENT. — Personne ne demande plus la parole?...

Je crois devoir clore la discussion par deux consultations : l'une fondamentale sur la question elle-même, l'autre sur l'amendement de M. Le Chatelier, s'il veut bien la formuler lui-même.

M. LE CHATELIER. — Évidemment les renseignements fournis par M. Debray donnent dans une certaine mesure satisfaction au desideratum formulé, mais pas complètement cependant, parce qu'il n'y a pas encore là une organisation véritable, et fonctionnant d'une façon régulière. Qui savait qu'un appareil de M. Lebasteur fût à la disposition du public ? Il faudrait donc généraliser, cet embryon d'organisation et le développer ; je maintiens donc ma proposition.

M. LE PRÉSIDENT. — Il y a donc une question fondamentale et une question que j'appellerai accessoire qui se rattache à la première et ne la contredit pas.

La question principale est de savoir si le Congrès désapprouve ou accepte la proposition formulée par M. Schiel.

Je prie ceux qui sont d'avis d'appuyer de l'autorité morale du Congrès l'idée de M. Schiel consistant à demander aux autorités constituées de tous les pays une intervention pour le contrôle des machines d'essai, exercée par les agents réceptionnaires des poids et mesures, de vouloir bien lever la main.

Personne ne lève la main.

Avis contraire?...

A l'unanimité la proposition est repoussée.

Maintenant M. Le Chatelier a présenté une proposition que je le prie de formuler.

M. LE CHATELIER. — « Le Congrès émet le vœu que l'Administration mette à la disposition des industriels des moyens simples et rapides pour le tarage de leurs machines. »

M. SAUVAGE. — Ne parlons pas d'Administration ; disons : les laboratoires des Ponts et Chaussées et du Conservatoire des Arts et Métiers.

M. LE PRÉSIDENT. — Nous ne devons pas oublier que nous sommes ici un Congrès international, tandis que vous parlez d'établissements français.

M. SAUVAGE. — Disons alors « les grands laboratoires ».

M. HENNING. — Je me joins à la proposition de M. Le Chatelier, et je demande que le tarage soit toujours fait avec des appareils suffisants pour le commerce.

M. LE PRÉSIDENT. — C'est la proposition que nous venons de condamner. Si j'ai bien saisi l'opinion des orateurs, la question serait celle-ci : demander aux différents Gouvernements, à leurs autorités constituées, non pas à aucun degré leur intervention réglementaire pour contrôler les machines, mais leur bienveillant concours pour mettre à la disposition de tous ceux qui le désireraient des moyens de tarage ou de vérification par appareils appropriés. Il ne s'agit donc pas de réclamer une intervention coercitive et administrative des pouvoirs constitués mais un bienveillant concours pour mettre à la disposition de ceux qui le veulent, des moyens de tarification exacts. (*Assentiment.*)

Je mets aux voix la proposition.

(*La proposition est adoptée à l'unanimité.*)

Tout à l'heure, à la suite de la communication de M. Demenge, j'ai consulté l'Assemblée en

demandant si quelqu'un voulait prendre la parole ; mais je n'avais pas alors remarqué que M. Mesnager, notre secrétaire pour cette séance, la demandait lui-même.

Je la lui donne donc en ce moment.

M. MESNAGER. — M. le commandant Pralon, indisposé, m'a prié de prendre la parole à sa place pour signaler un point de la communication de M. Demenge qui semble en contradiction avec les essais qu'il a lui-même faits et publiés antérieurement. M. Demenge a dit que, de façon générale, on pouvait admettre que pour le cuivre une augmentation de 5,5 d'allongement équivalait à une diminution de résistance de 1 kilogramme et, pour le laiton, une augmentation de 2,5. M. Pralon estime que ces chiffres ne peuvent pas être pris comme indication moyenne parce que si l'on établit la courbe d'allongement en fonction des résistances de rupture par millimètre carré, on obtient non pas une ligne droite, mais une courbe. L'inclinaison de la tangente ne va pas en s'approchant d'une valeur déterminée, mais varie beaucoup de 0 à l'origine jusqu'à plus de 45 0/0 dans la partie moyenne pour revenir à 0. On peut évidemment admettre une fonction linéaire, une relation de la forme de celle qu'indiquait M. Demenge, lorsqu'il s'agit de différences peu considérables pour la résistance à la rupture, comme celles qu'on admet généralement dans les cahiers des charges. Mais lorsque cette résistance varie notablement, il faut changer de coefficient.

Chacun peut se reporter aux courbes publiées dans *la Revue d'artillerie* et dans le volume de la Commission française des Méthodes d'essai, qui va être prochainement distribué, pour déterminer, dans chaque cas, la relation qu'on doit imposer dans le cahier des charges entre la résistance à la rupture et la variation d'allongement. (*Applaudissements.*)

M. LE PRÉSIDENT. — Son Excellence le général Pétroff a demandé la parole à l'occasion de la clôture du Congrès !

Je la lui donne.

M. LE GÉNÉRAL PETROFF.

MONSIEUR LE PRÉSIDENT, MESSIEURS,

Ce mémorable Congrès des Méthodes d'essai, auquel nous avons eu l'honneur de participer, nous a présenté un nombre de travaux scientifiquement élaborés, de communications exquises et d'observations graves et intéressantes. En parcourant les mémoires imprimés pour ce Congrès, on aperçoit aisément que les essais exécutés, n'ayant en vue que des buts purement pratiques, conduisent souvent à des résultats tout particulièrement utiles pour la science dont le but éternel est de découvrir les mystères de la nature.

L'étude attentive des méthodes d'essai nous démontre qu'à mesure que ces méthodes se développent, le rideau qui dérobe à notre vue ces mystères se relève peu à peu.

Je ne pense pas, Messieurs, être trop hardi si, en vous rappelant les paroles de l'éminent ingénieur français, M. Poncelet : la pratique ne peut pas marcher vers la véritable perfection sans le flambeau de la théorie ; j'ajouterai de mon côté, qu'actuellement la science, elle aussi, ne peut pas avancer dans certaines directions sans le flambeau présenté par un technicien. A ce propos, il ne faut jamais oublier les remarquables paroles que notre honorable Président, M. Haton de La Goupillière a placées à la fin de son discours : « Nous compterons, a-t-il dit, sur votre zèle pour la science. » Cet éminent savant comprend mieux que bien d'autres quel immense parti peut tirer un homme de la science en étudiant certains travaux des techniciens. Savoir réunir les intérêts de la science avec ceux de la technique, c'est savoir faire un très grand pas dans l'évolution du progrès.

Voici, Messieurs, à mon avis, ce qui, en peu de mots, peut servir à caractériser nos travaux. Il ne nous reste donc qu'à profiter de tous les matériaux préparés par le Congrès, suivant notre goût personnel et notre bonne volonté, car, parmi des résultats obtenus, d'idées nettes et fécondes, de points de vue choisis avec une rare habileté, il y a tant de richesses, qu'il est plutôt à craindre d'être trop surchargé que d'acquiescer un héritage trop modeste.

Nous rapporterons toutes ces richesses dans nos pays, parfois très lointains, et, grâce à ce Congrès, les techniciens, nos compatriotes, recevront les plus utiles et intéressantes notions plus tôt que par n'importe quelle autre voie, quoique de nos jours les presses d'impressions fonctionnent sans relâche jour et nuit.

Pendant toute la durée de notre Congrès, nous avons été munis de toutes sortes de conseils

et d'indications qui ont rendu notre travail plus productif, plus facile et plus agréable : Voici, Messieurs, les motifs qui m'obligent, à la clôture du Congrès, de témoigner, de la part du Ministre des finances de Russie, qui m'a prié d'être le représentant de ma patrie à ce Congrès, de la part de la Société Impériale technique de Russie dont je suis le Président et de ma propre part à moi, de témoigner, je le répète, les sentiments de plus profonde considération pour notre honorable Président M. Haton de La Goupillière, membre de l'Institut, et les remerciements les plus chaleureux pour MM. les secrétaires, M. Debray et M. Baclé, ainsi qu'au Bureau d'organisation, qui nous ont ouvert largement les portes du Congrès, nous ont tous charmés par leur amabilité et la prévoyance qu'ils ont mise à tous les détails de nos occupations.

M. LE PRÉSIDENT. — Mes collègues et moi nous prions Son Excellence le général Petroff de vouloir bien reporter à M. le Ministre des Finances et à la savante Société dont il est le Président, le témoignage de nos sentiments de reconnaissance pour la trop bienveillante communication que nous venons d'entendre. (*Applaudissements.*)

La parole est à M. Henning.

M. HENNING. — Messieurs, nous étions venus à Paris pour étudier; on ne nous avait pas dit qu'il y aurait aussi beaucoup à voir. Je vous propose de remercier les personnes qui ont organisé les promenades, les ingénieurs de l'Est qui nous ont montré le beau laboratoire que plusieurs connaissent déjà, les professeurs de l'École des Mines et de l'École des Ponts et Chaussées, M. Sauvage, le directeur du Conservatoire des Arts et Métiers, où nous avons vu des merveilles, notamment le fameux pendule de Coulomb, les collègues qui se sont chargés des excursions de Saint-Cloud et de Fontainebleau. (*Applaudissements.*)

M. LE PRÉSIDENT. — Je remercie M. Henning de ses bienveillantes paroles; nous sommes heureux de voir que les efforts que nous avons faits pour vous être agréables aient pu obtenir votre approbation.

La parole est à Son Excellence le professeur Bebelubsky.

M. BELELUBSKY. — Au nom du Ministère des Voies de communication et aussi au nom de l'Association internationale dont je suis vice-président, je tiens à exprimer à M. le Président toute notre gratitude pour son impartialité, et pour l'autorité dont il a fait preuve dans la direction du Congrès. Au nom de mes collègues, j'exprime nos sincères remerciements à M. le Président et au Bureau d'organisation du Congrès. (*Applaudissements.*)

M. LE PRÉSIDENT. — Nous sommes particulièrement reconnaissants à M. le professeur Bebelubsky de sa double communication. Je le prie de vouloir bien reporter à Son Excellence le Ministre des Voies de communication l'expression de notre respect, et en même temps je tiens à dire combien nous sommes charmés des rapports que nous avons eus pendant ces huit jours avec les membres ici présents de l'Association internationale et ses représentants les plus autorisés. L'Association ne pouvait être tout entière ici présente, nous le comprenons bien; mais nous avons profité des travaux faits à l'Étranger, et nous espérons, d'autre part, que le Congrès aura lui-même apporté sa moisson, dont tout le monde pourra également profiter; nous espérons donc que les relations mutuelles des associations des différentes nations, y compris la nôtre, seront rendues de plus en plus courtoises par ces réunions et ces Congrès.

Nous avons pensé d'abord terminer cette session par une revue, une récapitulation de ses travaux. Mais nous ne le ferons pas, rassurez-vous. Je crois maintenant que ce serait tout à fait inutile. Les discussions ont été suivies très attentivement; elles ont été non pas ardentes, mais intéressantes, et chacun en conservera certainement le souvenir. Nous vous distribuerons tous les documents imprimés, qui serviront à rafraîchir votre mémoire et à retrouver bien des données essentielles.

Mais, ce qui n'est pas inutile, c'est de constater, et je crois être autorisé à le faire, en votre nom, que notre session a été féconde. On nous a apporté, beaucoup plus que nous ne le pensions, d'excellentes choses. Nous avons parcouru ces mémoires; mais la discussion a mis en relief des points de vue intéressants, dont l'avenir fera son profit. Je dois donc avant tout remercier les savants auteurs de toutes ces communications, qui ont servi de base à vos discussions; je leur adresse à tous ensemble les remerciements du Congrès. (*Applaudissements.*)

Vous me permettrez aussi de remercier MM. les Présidents d'honneur, qui ont bien voulu siéger à ce bureau et diriger les délibérations de presque toutes les séances avec une maestria dont vous avez certainement été frappés. Ils ont su admirablement diriger les débats, apporter les mots les plus propres au point de vue technique et intervenir comme il convenait dans les questions. MM. les Présidents d'honneur voudront bien recevoir, de la part du Congrès, par ma bouche, nos remerciements cordiaux et respectueux.

Nous n'oublierons pas non plus les laborieux travailleurs qui vont reconstituer la substance même de notre session, MM. les secrétaires français et étrangers, qui se sont attachés à nous conserver la physionomie de chaque séance. (*Très bien !*)

Messieurs, nos travaux sont actuellement terminés. Ce soir, nous aurons une réunion qui n'aura plus rien de technique, mais qui sera, je crois, très aimable, rehaussée de la présence de gracieuses convives au milieu de nos moroses habits noirs. Déjà beaucoup de dames ont bien voulu se joindre à nos excursions. Nous espérons que, ce soir, leur nombre n'aura pas diminué.

Personne ne demande plus la parole ?...

Je déclare close la session du Congrès international des Méthodes d'essai des matériaux de construction de 1900. (*Applaudissements unanimes et prolongés.*)

La séance est levée à onze heures et quart.

FÊTES DU CONGRÈS

La Commission d'organisation du Congrès avait délégué à un Comité spécial, présidé par M. L. Durand-Claye, le soin d'organiser quelques fêtes à l'usage des Membres du Congrès et de leurs familles.

La première de ces réunions a eu lieu, le jour même de l'ouverture du Congrès, le 9 juillet après midi; elle a consisté en une visite des galeries du Conservatoire des Arts et Métiers, gracieusement ouvertes aux Membres du Congrès par l'obligeance de M. le colonel Laussedat, membre de l'Institut, directeur de ce superbe établissement.

A la fin de la visite, un lunch a été offert par le Congrès dans la grande salle de la Bibliothèque, et les honneurs en ont été faits avec une charmante bonne grâce par plusieurs dames françaises congressistes.

Le jeudi 12, dans l'après-midi, a eu lieu une excursion à Saint-Cloud, sur un bateau à vapeur spécialement aménagé pour le Congrès. Le dîner, dans les salons de l'hôtel de *la Tête-Noire*, a été fort animé; on a spécialement apprécié la traversée de l'Exposition en pleine nuit, à l'heure des illuminations.

Toute la journée du dimanche 15 a été remplie par une excursion à Fontainebleau. Départ de Paris à huit heures cinquante, par un train spécial s'arrêtant à Melun; promenade en voitures, voire même en automobiles, de Melun à Barbizon, où un déjeuner frugal fut servi en pleine forêt, sous la tente, puis à Fontainebleau. Visite des gorges de Franchard, du château de Fontainebleau, de la vallée de la Solle, de la Table-du-Roi, et retour à Melun pour dîner à l'hôtel du *Grand-Monarque*. Retour par train spécial à Paris, à onze heures.

Un grand nombre de Membres du Congrès ont bien voulu assister, avec leur famille, au banquet de clôture qui a eu lieu le 16 juillet, à sept heures, dans les salles du *Saint-Gothard*.

A la fin du banquet, plusieurs toasts ont été portés successivement.

TOAST DE M. HATON DE LA GOUPILLIÈRE

PRÉSIDENT DU CONGRÈS

MESDAMES, MESSIEURS,

Au nom du Congrès des Méthodes d'essai, j'ai l'honneur de porter respectueusement un toast à M. le Président de la République Française, ainsi qu'aux Souverains et aux Présidents des Monarchies et des Républiques qui sont ici représentées.

C'est en leur honneur que je lève avec vous mon verre. (*Applaudissements unanimes.*)

Je porte également un toast à l'Association internationale pour l'étude des méthodes d'essai des matériaux de construction. Nous nous sommes sentis heureux pendant toute cette semaine d'avoir au milieu de nous un grand nombre de représentants de cette savante Association. C'est tout particulièrement à ses membres de nationalité étrangère que je porte en ce moment ce toast.

Cependant, je me garderai bien d'oublier nos collègues français de l'Association internationale; ce serait, d'ailleurs, oublier de porter ma propre santé.

Mais, Messieurs, j'ai encore un dernier toast à formuler, n'ayant garde d'oublier en cette circonstance toutes les traditions françaises. Je bois aux dames, aux charmantes jeunes filles qui ont bien voulu s'associer, avec un mérite que nous devons assurément reconnaître, à un Congrès d'un titre aussi rébarbatif que le nôtre, et qui nous font la grâce de rehausser par leur présence le charme de cette soirée. (*Applaudissements.*)

Dans tous les temps, Messieurs, mais peut-être jamais autant que dans le nôtre, les romanciers et les littérateurs se sont efforcés à l'envi d'analyser, de différencier les mérites des femmes des diverses nations. Ils ont eu raison, car le Créateur a répandu parmi les peuples, en ce qui concerne le sexe charmant, les qualités les plus dissemblables. Je connais en même temps des littérateurs, et même des appréciateurs sans aucune prétention à ce titre, qui pensent toujours que les femmes les plus aimables sont celles avec lesquelles ils se trouvent. (*Très bien !*) Quant à nous, Messieurs, nous sommes encore bien mieux partagés, car nous voyons ici, réunies comme en un bouquet assorti de la manière la plus gracieuse, ces fleurs qui ont germé dans tous les climats. (*Applaudissements.*)

Je lève donc mon verre à l'adresse de ces fleurs humaines que je distingue difficilement de celles qu'elles ont fixées à leurs corsages. (*Applaudissements.*)

Messieurs, buvons aux dames et aux charmantes demoiselles qui embellissent le banquet final du Congrès des Méthodes d'essai de 1900. (*Applaudissements.*)

Plusieurs de nos collègues et amis ont bien voulu exprimer le désir d'adresser quelques paroles à cette réunion. Suivant l'usage adopté en pareille circonstance, nous les avons rangés d'après l'ordre alphabétique des nations auxquelles ils appartiennent. Si vous le permettez, je leur donnerai la parole dans cet ordre. Cependant, nous avons inscrit au premier rang l'Association internationale pour l'essai des matériaux. A ce titre, nous écouterons tout d'abord Son Excellence M. le conseiller d'État professeur Bebelubsky.

TOAST DE M. BELELUBSKY

AU NOM DE L'ASSOCIATION INTERNATIONALE

MESDAMES, MESSIEURS,

Permettez-moi de vous faire un peu d'histoire. L'origine de la question sur l'unification des méthodes d'essai remonte à 1884. Les conférences internationales avaient alors pour président M. Bauschinger et ont eu lieu à Dresde en 1886, à Berlin en 1890, à Vienne en 1893. Entre les Conférences de Dresde et de Berlin, s'est tenu à Paris un Congrès pour les procédés de construction. Ce n'était pas, à vrai dire, le Congrès des Méthodes d'essai, mais des questions y ont été agitées sur les méthodes d'essai qui me permettent de ranger ce Congrès dans mon historique.

En 1895, c'est la Conférence internationale de Zurich, où beaucoup de pays se sont associés sous la présidence du professeur Tetmajer. La France était représentée par un grand nombre de personnages officiels et de savants ; les États-Unis, l'Angleterre, la Hollande, la Suède, la Belgique ont demandé à s'associer à ces Conférences. C'est bien là le premier réel Congrès de Méthodes d'essai qui a consacré l'existence de l'Association internationale.

En 1897, s'est tenu à Stockholm le premier Congrès organisé par l'Association. Enfin, cette année, s'est réuni le Congrès de l'Exposition que nous terminons par ce banquet. C'est toujours la question des méthodes d'essai qui nous a réunis ; à ce point de vue, aucune réunion n'a différé : indépendamment du drapeau sous lequel l'assemblée internationale pourrait avoir lieu, cela a toujours été une assemblée de savants et de praticiens éminents. (*Applaudissements.*) Comme membre du Comité directeur de l'association je me permets de porter un toast au progrès de la science, à l'utilité des travaux des Congrès. Je porte un toast à l'honorable Président de ce Congrès, à la Commission d'organisation, à tous ceux qui ont prêté leur concours, par leurs référats, enfin à tous nos collègues du Congrès et aux dames qui nous ont honorés ce soir de leur présence. (*Applaudissements.*)

TOAST DE M. STÖCKL

AU NOM DE L'AUTRICHE

MESDAMES, MESSIEURS,

Au nom de mes compatriotes et au mien, je veux exprimer nos sentiments de gratitude pour l'aimable accueil qui nous a été fait. L'important Congrès auquel il nous a été donné d'assister aura de grandes conséquences, et nous fournira de nouvelles bases pour les délibérations futures. Laissez-moi aussi vous exprimer notre admiration pour la magnifique Exposition française, et affirmer une fois de plus que la France est le pays par excellence de l'art de l'ingénieur. Il figure à cette Exposition, représenté au premier rang par les hommes les plus éminents, les plus en vue parmi leurs concitoyens. Notre époque, d'autre part, est plus que jamais celle de l'ingénieur.

Je bois à cet art qui est une des gloires de la France ; je bois aux ingénieurs français. Vive la France ! Vivent les illustres ingénieurs français ! (*Applaudissements.*)

TOAST DE M. ROUSSEL

AU NOM DE LA BELGIQUE

MESSIEURS,

Je porte la santé de tous les membres du Congrès, de tous ceux qui ont contribué à l'Exposition française si importante et qui portera tant de fruits.

Je n'ai pas besoin de vous rappeler quelle importance ont les méthodes d'essai qui ont fait l'objet de ce Congrès. Elles tendent à obliger l'industrie à toujours faire mieux, et, par conséquent, à marcher toujours plus avant dans la voie du progrès. Par conséquent, travailler aux méthodes d'essai, c'est travailler au progrès de l'industrie. (*Applaudissements.*)

Je n'énumérerai pas les personnes qui ont collaboré à cette œuvre. Je pourrais oublier des noms. Il en est cependant un que je veux prononcer : c'est celui de mon excellent voisin, M. Frémont. (*Applaudissements.*) M. Frémont a imaginé une méthode d'essai qui nous a été exposée par M. Debray. Vous avez pu vous convaincre qu'il y avait une œuvre d'avenir, qui sera des plus fécondes.

MESSIEURS,

Je bois à tous les collaborateurs du Congrès, et je leur adresse nos plus chaleureuses félicitations. (*Applaudissements.*)

TOAST DE M. HANNOVER

POUR LE DANEMARK

MESDAMES, MESSIEURS,

Quoique les séances de travail soient terminées, je prendrai la liberté de dire quelques mots sur une matière scientifique. Je songe en ce moment à un essai compris dans le grand travail de la Commission française et que je n'ai vu nulle part mentionné dans les décisions des Congrès internationaux de Munich, de Berlin, de Vienne, de Dresde, de Zurich. C'est l'essai

de soudure. J'ai donc raison de penser que les Français sont les maîtres dans l'art de la soudure. (*Très bien !*) Vous admettez certainement qu'ils peuvent non seulement souder le fer et l'acier, mais qu'ils comprennent non moins bien l'art difficile de souder les nations entre elles, comme nous l'avons vu ces jours passés. (*Applaudissements.*)

Pour faire une bonne soudure, il faut une grande chaleur ; or, vous conviendrez, Mesdames et Messieurs, que la chaleur, à tous points de vue, a été énorme. (*Applaudissements et rires.*)

Mais cela ne suffit pas : il faut aussi un bon traitement ; or, vous serez unanimes à constater que nous avons eu un traitement magnifique (*Très bien !*).

Je vous propose donc, Mesdames, Messieurs, de remercier nos hôtes français pour la soudure excellente qu'ils ont obtenue pendant le Congrès. J'espère qu'elle est de nature à durer longtemps, et que le résultat de cet essai ne sera pas sujet à l'influence du temps.

Je prie spécialement mes amis scandinaves et mes compatriotes de Danemark de se joindre à moi en un hurrah scandinave pour la jolie ville de Paris, la plus belle du monde, qui nous a donné une si aimable hospitalité. *Hurrah !* (*Applaudissements.*)

TOAST DE M. RIBERA

POUR L'ESPAGNE

MESDAMES, MESSIEURS,

Lorsque nous avons reçu, en arrivant à Paris, le programme des matières à discuter, nous avons été un peu effrayés du grand nombre de questions, dont quelques-unes fort indigestes, que nous avions à traiter. Grâce au grand talent et à l'éloquence des conférenciers, nous avons goûté avec le plus grand plaisir à toutes ces matières. Peut-être les organisateurs des banquets ont-ils cru devoir collaborer à leur manière à l'ingestion de ces matières scientifiques. Point n'était besoin de banquets pour cela. Cependant, les banquets ont été encore plus agréables que les séances et nous devons remercier nos éminents collègues, MM. Durand-Claye, président de la Commission des Fêtes, MM. Debray et Baclé, secrétaires généraux du Congrès, pour la façon si aimable, si galante dont ils nous ont reçus, et je crois qu'ils méritent à ce titre nos applaudissements unanimes. (*Applaudissements.*)

Je ne serais pas Espagnol si je n'adressais pas quelques mots aux dames. (*Très bien !*) Malheureusement, notre cher président, M. Haton de La Goupillière, a exprimé de manière si éloquente, si aimable, tout ce qu'il y avait à dire, qu'il ne reste guère à ajouter. Je veux me limiter à boire aux dames françaises qui sont l'expression du charme le plus exquis et qui mettent à ce banquet une couleur si agréable.

Aux dames françaises ! (*Applaudissements.*)

TOAST DE M. HOWE

POUR LES ÉTATS-UNIS

MESDAMES, MESSIEURS,

Comme citoyen de notre pays lointain de liberté, d'égalité devant la loi et de fraternité cordiale envers tous les pays, c'est avec la plus grande émotion que je salue les représentants de la belle France, le pays de l'art, de la grâce, de l'élégance, de tout ce qui est beau, le pays de Charlemagne, de Jeanne d'Arc, de Bonaparte, la mère des héros, la France que j'aime, que,

je l'espère, tous les Américains aiment et que, j'en suis bien sûr, toutes les Américaines adorent. (*Applaudissements*).

MESSIEURS,

Les Américains n'oublient pas et n'oublieront jamais que c'est à la France que notre pays doit son existence (*Applaudissements*), que pendant notre guerre de l'Indépendance c'est la France qui nous a sauvés. (*Applaudissements*.)

TOAST DE M. REJTÖ

POUR LA HONGRIE

MESSIEURS,

La Hongrie, on peut le dire, exerce son activité dans les arts, l'industrie et le commerce avec l'ardeur d'un jeune homme. C'est avec plaisir que nous avons pris part à l'Exposition universelle et surtout à ce Congrès, pleins de confiance dans son succès.

Nous n'avons pas été trompés : les matières des séances, le caractère scientifique du programme étaient si heureusement choisis que nous sommes obligés de reconnaître qu'on ne pouvait faire mieux.

Ce résultat est dû à la Commission d'organisation, en premier lieu à son président M. Haton de La Goupillière, dont l'extraordinaire amabilité et l'activité toujours jeune pour toutes les affaires du Congrès ont forcé notre reconnaissance.

Je vous invite, Mesdames et Messieurs, à boire à la santé de M. le Président et de sa famille.

Vivent M. et M^{me} Haton de La Goupillière. (*Applaudissements*.)

(M. le Président remercie M. Rejtö des paroles amicales qu'il lui a adressées personnellement.)

TOAST DE M. CANEVAZZI

POUR L'ITALIE

MESDAMES, MESSIEURS,

Nous connaissons tous depuis longtemps les grands mérites des ingénieurs français, leurs belles recherches scientifiques et l'importance de leurs études techniques. La semaine qui vient de s'écouler nous a montré nos collègues aussi sous un point de vue plus intime : ils sont d'excellents camarades. Je suis sûr que chacun de nous en quittant Paris emportera un gros bagage de bonne sympathie : ce ne sera pas un des moindres succès du Congrès.

Pénétrés de ces sentiments, mes collègues italiens et moi, nous vous proposons de boire à la bonne camaraderie entre tous les ingénieurs soucieux de la question de résistance des matériaux et à la gloire de ce grand miroir du progrès humain qu'est la France. *Evviva*. (*Applaudissements*.)

TOAST DE M. SKOUGAARD

POUR LA NORVÈGE

MONSIEUR LE PRÉSIDENT, MESDAMES, MESSIEURS,

Je suis chargé de vous présenter les salutations cordiales de la Norvège, du pays du soleil de minuit. (*Applaudissements.*) Je viens vous exprimer nos vœux les plus sincères pour l'heureux accomplissement de votre mission si utile.

Jusqu'ici, notre pays n'a pu prendre qu'une part directe assez minime aux efforts faits en vue de l'adoption de méthodes rationnelles d'essai pour les matériaux de construction, aussi bien qu'aux travaux scientifiques poursuivis dans le domaine de la technologie des matériaux. Pourtant, au cours de leurs études dans différents pays, nos ingénieurs ont dirigé tout spécialement leur attention sur l'importance énorme qui s'attache à ces épreuves. Grâce à la bienveillance particulière avec laquelle on les a toujours reçus dans les grands établissements scientifiques supérieurs, de l'étranger, notamment en France, il leur a été donné déjà de faire ample moisson de connaissances à ce sujet.

L'Administration norvégienne a, elle aussi, montré quel intérêt elle attachait à ces questions. Nous avons maintenant le ferme espoir d'arriver bientôt à des résultats satisfaisants en ce qui concerne l'établissement en Norvège d'un bureau d'épreuves des matériaux. Quand ce sera chose faite, nous devons espérer que notre pays pourra apporter, lui aussi, sa contribution au travail de la technologie des matériaux, branche des sciences appliquées qui est d'une portée si capitale pour le développement technique dans l'art dans la science et dans la pratique. (*Applaudissements.*)

MESSIEURS,

Nous sommes ici pour apprendre et nous avons beaucoup appris. C'est pourquoi je salue ce Congrès et particulièrement les Membres français qui l'ont organisé, et je les remercie de leur aimable invitation. Je termine en exprimant au Congrès toute notre reconnaissance pour son œuvre non moins importante pour la Norvège que pour les autres pays, et j'adresse à nos hôtes nos vœux les mieux sentis pour la prospérité technique et industrielle de la belle France. (*Applaudissements.*)

M. LE PRÉSIDENT. — Je regrette de contredire l'honorable représentant de la Norvège qui veut reporter à la France tout l'honneur de l'organisation du Congrès. Ce succès tient aux nationalités qui, comme la Norvège, ont bien voulu se rendre à l'invitation de la France et accepter son hospitalité.

TOAST DE M. MENDES GUERREIRO

AU NOM DU PORTUGAL

MESDAMES, MESSIEURS,

De ce Congrès il ne nous restera bientôt plus que le souvenir. Mais quels souvenirs, après ceux si vivaces de la réunion de Stockholm! Pour bien apprécier les souvenirs que nous garderons de la France, je vous dirai quelques mots de ceux que nous avons ressentis et ressentons encore des fêtes de Stockholm.

Il y a quatre ans, nous étions là-bas dans ce pays du soleil pendant la nuit, et nous avons alors assisté à une fête certainement unique en son genre et qui restera pour nous inoubliable : c'est le départ de Stockholm pour Salsjöbaden, à travers ces fiords, ces paysages magnifiques, avec cette réception cordiale de toute une population, tandis que le long de la route étaient semés les maisons avec les habitants aux charmants costumes et ces jolies figures d'enfants, qui

nous offraient toute espèce de fruits avec son gracieux *skol*. Il restera toujours gravé dans mon souvenir, le passage de ce petit fiord où étaient le palais du Ministre la Guerre, les chalets des Ministres de l'Intérieur et des Travaux publics. Je me rappellerai toujours et notre arrivée à Salsjöbaden et l'illumination féerique des parcs de Stockholm. Vous me comprendriez si vous aviez assisté à de pareilles fêtes éclairées par un soleil qui, à onze heures du soir, brillait encore.

Eh bien, Messieurs, quoi qu'on dise, ce beau pays de France a toujours quelque chose qui le met au-dessus des autres. Je ne sais pourquoi cette belle ville, l'ensemble de la France surpassent tous les autres pays en grâce, en élégance, en harmonie. Malgré tout ce que nous avons vu jusqu'ici, les dernières fêtes que nos amis français nous ont offertes dans ces derniers jours, seront pour nous un souvenir plus charmant, un souvenir de délicatesse vraiment supérieure. Toujours ce beau pays de France aura pour ses amis un charme inexprimable, charme incarné dans les dames présentes à ce beau banquet. (*Applaudissements.*)

TOAST DE M. LE GÉNÉRAL SCHOULATCHENKO

POUR LA RUSSIE

MESDAMES, MESSIEURS,

M. le général Petroff et M. Belebousky vous ont déjà exprimé les sentiments de reconnaissance de tous les Russes présents à ce Congrès et leurs remerciements à l'honorable président, M. Haton de La Goupillière, et à ses adjoints, MM. Debray et Baclé.

Des circonstances imprévues m'ont empêché d'assister aux séances du Congrès ; mais je suis heureux d'avoir pu arriver à temps pour remercier tous les Membres français du Congrès et particulièrement tous les Membres de la Commission d'organisation de leurs aimables efforts pour mener à bien la tâche entreprise.

Je vous remercie, Messieurs, du soin plein d'empressement et de cordialité avec lequel vous avez rendu nos réunions des plus agréables.

Je bois à la santé des Membres français du Congrès et des Membres de la Commission d'organisation. (*Applaudissements.*)

TOAST DE M. LE PROFESSEUR TSCHERNOFF

ÉGALEMENT AU NOM DE LA RUSSIE

MESDAMES, MESSIEURS,

Quand le cœur déborde de sentiments, il empêche de parler beaucoup, mais nous ordonne d'agir. C'est pourquoi, en exprimant, au nom de la Russie et de nos collègues russes, notre gratitude sincère envers la France, de l'accueil si cordial et splendide, je voudrais pouvoir, en même temps, embrasser toute la France. (*Applaudissements.*)

TOAST DE M. WAHLBERG

AU NOM DE LA SUÈDE

MESDAMES, MESSIEURS,

Comme représentant ici de la Suède, j'hésite quelque peu à parler. Nous autres qui appartenons à de petits pays, nous sommes un peu comme en dehors du concert quand il s'agit d'un grand travail d'intérêt international, comme celui de l'unification des méthodes d'essai.

Mais ces travaux sont d'une influence aussi décisive pour nous que pour ceux qui appar-

tiennent à de grands pays. Ce sont les grandes nations qui frayent les chemins. La France, comme l'Allemagne, comme l'Amérique, peut suivre la propre route qu'elles se sont tracées. Pour nous, c'est impossible. Aussi un travail scientifique d'ensemble comme celui de ce Congrès, qui tend à perfectionner et uniformiser les méthodes d'essai, a-t-il pour nous une grande importance.

J'adresse à la Commission française les vifs remerciements de mes compatriotes pour cette magnifique réception et pour l'heureuse organisation de ce Congrès si remarquable à tous points de vue.

Je porte un toast au succès de notre prochaine réunion commune. (*Applaudissements.*)

TOAST DE M. RYCERSKI

DE VARSOVIE

ANCIEN ÉLÈVE DE L'ÉCOLE DES MINES DE PARIS ET DE L'ÉCOLE CENTRALE

MON CHER PROFESSEUR ET ÉMINENT PRÉSIDENT,

Je devrais, dans cette réunion amicale, vous parler du pays natal ma langue maternelle. Mais je crois pourtant indispensable de parler la langue du coq gaulois, représenté de façon si charmante sur une des passerelles de la Seine. (*Applaudissements.*)

Ce n'est pas, croyez-le bien, le Congrès international des Méthodes d'essai qui m'a fait faire connaissance avec le splendide pays, si hospitalier, de cette charmante nation : je le connais depuis 1864. La France porte toujours le drapeau de la civilisation ; c'est toujours le pays de liberté, d'égalité et de fraternité. Elle a versé beaucoup de sang sacré pour arriver où nous en sommes. (*Applaudissements.*) Je souhaite que les autres nations suivent l'exemple de la nation française, qu'elles s'unissent à son œuvre d'humanité. La réunion que nous avons tenue par ce Congrès ne pourra que développer entre tous ce sentiment de fraternité.

Je bois à la santé de ce beau pays, au développement de ses principes et aussi à l'adhésion des autres nations à ces principes français qui sont réellement principes d'humanité.

M. LE PRÉSIDENT. — Je remercie M. Rycerski de sentiments qui nous sont précieux à tous égards en France, mais qui le sont aussi au point de vue international auquel nous sommes toujours restés attachés. (*Applaudissements.*)

TOAST DE M. DEBRAY

SECRÉTAIRE GÉNÉRAL

MESDAMES, MESSIEURS,

M. le Président voulant bien me donner la parole, j'en profite pour vous remercier des félicitations que vous avez bien voulu nous adresser pour la mise en état de ce Congrès. En ce qui concerne les travaux, nous partagerons vos remerciements, mon ami M. Baclé et moi, entre tous nos collaborateurs du secrétariat. (*Applaudissements.*) En ce qui concerne les fêtes, nous devons en reporter tout le mérite à la Commission spéciale des Fêtes, présidée par mon vénéré maître M. Durand-Claye. (*Applaudissements.*) Cependant, M. Durand-Claye, avec sa modestie ordinaire, m'en voudrait si je ne signalais qu'en diverses circonstances, notamment pour la réception au Conservatoire, pour le banquet, il a eu recours à d'aimables collaboratrices dont je respecterai la modestie en ne donnant pas leurs noms, mais auxquelles vous me permettrez de rendre hommage au nom de tout le Congrès. (*Applaudissements.*)

Dans les nombreux Congrès auxquels j'ai eu l'honneur d'assister, je m'étais fait une spécialité, qui m'est ravie à ce Congrès : M. le Président d'abord, puis, à son exemple, quelques-uns de

nos collègues étrangers, vous ont proposé de porter un toast aux dames. Je vous demanderai cependant de répéter le même toast, parce que je suis sûr, Messieurs, qu'en portant ce toast je touche au plus profond de vos cœurs (*Applaudissements*), parce que, Mesdames, en portant ce toast à votre honneur, nous ne faisons que vous rendre justice. (*Applaudissements*.)

Je vous propose donc, Messieurs, un toast à l'être charmant que Dieu nous a donné pour partager nos peines et nos joies, pour rendre les unes moins lourdes et les autres plus agréables.

Je porte un toast à ce qu'il y a de meilleur dans l'homme, à la Femme. (*Applaudissements*.)

ANNEXE

COMMUNICATIONS DISCUTÉES AU COURS DES SÉANCES
ET REMISES EN SUITE DU CONGRÈS¹

SÉANCE DU MARDI 10 JUILLET 1900

NOTE PRÉSENTÉE PAR M. HEURTELOUP SUR DES ESSAIS AU CHOC DE BARREAUX ENTAILLÉS (p. 24)

Le but de cette note est d'indiquer les conclusions auxquelles nous avons été amenés, par suite de nombreuses épreuves pratiquées d'après les instructions d'un cahier des charges comportant particulièrement l'essai au choc sur les barreaux entaillés. Il s'agit du cahier des charges de certains établissements de construction. L'essai se fait sur barreaux carrés de 20 millimètres de côté et 180 millimètres de longueur. Choc en porte-à-faux de 100 millimètres avec un mouton de 18 kilogrammes, tombant de 3 mètres de hauteur. Entaille produite avec un burin spécial ayant la section soit d'un triangle équilatéral, soit d'un triangle isocèle de 1 millimètre de base et de hauteur.

Bien que cette épreuve particulière soit pratiquée à Saint-Chamond depuis son origine, nous devons pourtant déclarer qu'il ne nous a jamais été possible de lui attribuer tout l'intérêt que pensait certainement lui accorder son auteur, car l'on ne peut obtenir couramment des entailles absolument régulières, malgré toutes sortes de recommandations et de précautions. Il en provient naturellement des résultats qui ne sont pas comparables en raison même de la préparation des éprouvettes, qui ne peut être parfaite.

De plus, l'angle vif provoque inévitablement la rupture, quelles que soient la qualité et la nature du métal, et cette rupture, quand elle n'est pas complète, se trouve évidemment d'autant plus prononcée que la flexion est plus grande sous l'action du mouton.

D'autre part, pour peu que l'arête du burin ne soit pas absolument vive, la rupture devient incontestablement plus difficile. En un mot, on est constamment à la merci d'un affûtage qui ne peut être qu'irrégulier. On doit donc forcément obtenir des résultats bien différents avec un même métal et dans une même usine. L'écart doit être encore plus accentué pour des essais provenant d'usines différentes.

Cette rupture se trouve indéterminée, ce qui peut toujours donner lieu à des interprétations diverses et créer des contestations. Or, dans un cahier des charges, il est indispensable de n'y faire entrer que des conditions parfaitement claires et parfaitement établies, de n'y faire figurer, en un mot, que des méthodes d'essais irréprochables. Pour nous, l'épreuve du barreau entaillé à angle vif ne présente pas toutes les garanties suffisantes, puisque l'on ne peut lui attribuer une définition absolue, une mesure, ni en préciser tous les détails. Elle ne doit pas, par conséquent, figurer comme condition essentielle de réception.

1. Voir l'Introduction et le *Compte Rendu* des différentes séances ci-dessous visées pour la discussion.

M. Charpy a précisé, d'une manière très exacte, ce qui se passe dans les essais sur barreaux entaillés et arrive aux mêmes conclusions que nous, tout particulièrement avec l'épreuve à angle vif. Quant à l'essai en porte-à-faux, nous lui préférons, nous aussi, le choc sur barreau reposant librement sur deux appuis.

L'entaille à la scie de 1 millimètre présente, à notre point de vue, les inconvénients multiples du barreau entaillé à arête vive, en raison toujours de l'incertitude que l'on a sur l'acuité des angles.

L'entaille faite à la scie, pratiquée par M. Charpy, à la rencontre d'un trou percé à la mèche et alésé vers le tiers ou la moitié de l'épaisseur du barreau, augmente, d'après nous, considérablement les difficultés de la confection déjà bien longue de l'éprouvette.

Une simple gorge à la fraise, pratiquée avec soin sur une seule face, serait peut-être suffisante; il s'agirait alors de réduire la section de la barrette, si l'on voulait obtenir même résultat que ci-dessus. Avec l'entaille superficielle à la fraise, on évite ainsi les traits d'outil, que M. Charpy critique avec juste raison.

Avant de songer à introduire des conditions nouvelles d'essais dont, en somme, on n'a pas suffisamment la pratique, il est nécessaire de posséder, à ce sujet, des données aussi nombreuses que variées. Aujourd'hui, la question de la fragilité, en dehors du choc habituel, est à l'étude et doit y rester encore. Avec les recherches qui se manifestent de tous côtés, on arrivera certainement à donner satisfaction à tout le monde, aussi bien au fabricant qu'au consommateur; mais il faut d'abord, avant de se prononcer définitivement sur le mode cherché, multiplier le nombre des épreuves sur des aciers de toutes qualités, de toutes provenances et varier surtout le prélèvement des éprouvettes, c'est-à-dire prélever celles-ci dans des sections bien différentes, de laminage ou de forgeage, afin d'obtenir un essai et des conditions tout à fait pratiques.

La mesure du travail absorbé par le barreau nous paraît devoir rester plutôt une épreuve de laboratoire qu'une épreuve usuelle. Comme M. Charpy, nous croyons que le nombre de coups de mouton nécessaires pour amener la rupture d'un barreau et l'angle de cette rupture sont suffisants pour fournir, par la comparaison des résultats, tous les renseignements qu'il est permis de désirer.

Dans l'épreuve ordinaire de choc, il serait bien nécessaire d'arriver, en attendant une méthode nouvelle, à améliorer l'outillage actuel. Il serait utile, par exemple, d'imposer une disposition permettant au barreau de s'effacer sous l'action du choc, afin de ne pas le laisser venir s'entailler lui-même contre les guides, le plus souvent angulaires, du mouton. On devrait aussi supprimer le choc en retour de ce mouton qui vient, presque toujours, augmenter l'importance de la première entaille ou en produire une deuxième tout à fait voisine. Voilà, en général, les principales causes qui actionnent prématurément la rupture des barreaux d'essais, et il est indispensable de les supprimer, si l'on veut obtenir des résultats sérieusement exacts.

SÉANCE DU MERCREDI SOIR 11 JUILLET 1900

COMMUNICATION PRÉSENTÉE PAR M. HANNOVER (Voir p. 56)

Extraits d'un rapport sur les essais faits pour obtenir une méthode de restauration de la décoration extérieure du musée de Thorvaldsen à Copenhague, par MM. G. A. HAGEMANN et H. I. HANNOVER. — Afin d'examiner comment se comportait le ciment pendant la prise, et s'il se produisait alors une contraction assez puissante pour qu'on pût la mesurer, et aussi pour nous rendre compte quel effet avait la fluatation à cet égard, nous avons fait les essais provisoires suivants :

Dans des fioles de 100 centimètres cubes terminées par de longs cols sur le milieu desquels se trouvait la marque de 100 centimètres cubes, tandis que le reste du col était divisé en 1/10 de centimètre cube, on agita pendant dix minutes avec 100 centimètres cubes d'eau une quantité de ciment pesée d'avance ; après repos, on y ajouta une quantité déterminée de solution concentrée de fluosilicate de magnésie, et on détermina les volumes, d'abord immédiatement après l'agitation, ensuite après un repos de trois jours, et enfin après l'addition de la solution de fluat.

Pour ces essais, on employa le ciment portland de Laufen, passé à travers un tamis ayant 5.000 mailles par centimètre carré.

	VOLUME APRÈS AGITATION	VOLUME APRÈS UN REPOS DE 3 JOURS	CONTRACTION EN VOLUME 0/10	CM ³ DE SOLUTION DE FLUATE AJOUTÉE	DIMINUTION DE CONTRACTION EN CM ³	DIMINUTION DE CONTRACTION EN VOLUME 0/10
4 gr. de ciment et 100 cm ³ d'eau.....	101,25	101,05	15,7	4,4	0,1	7,9
5 gr. de ciment et 100 cm ³ d'eau.....	101,55	101,32	14,6	5,5	0,12	7,6
10 gr. de ciment et 100 cm ³ d'eau.....	103,15	102,9	7,47	11	0,2	6,3

Il ressort de ce tableau, qu'il se produit une contraction pendant la prise du ciment et une dilatation ou diminution de contraction par l'addition du fluat, mais les petites quantités de ciment et les variations de volume peu considérables qui en résultent rendent incertaine la mesure de la grandeur des contractions (chacun des volumes mentionnés au tableau est la moyenne de plusieurs essais).

Pour cette raison, on a exécuté de la manière suivante des essais avec des quantités de ciment plus considérables : on a d'abord déterminé le poids spécifique du ciment Laufen passé au tamis de 5.000 mailles par centimètre carré. Plusieurs mesures ont été faites en employant comme fluide dans le densimètre soit de l'alcool absolu, soit de la benzine ; mais, tout d'abord, les résultats obtenus n'ont pas présenté une concordance suffisante à cause du triage qui s'était produit dans le ciment par les secousses qu'il avait subies dans le récipient de fer-blanc qui le contenait, de sorte que les divers échantillons — 10 grammes — pris dans cette boîte n'étaient pas identiques. Il est évident que tout le ciment provenant d'une même cuisson n'est pas également compact : celui qui est le plus poreux devient le plus fin par la mouture, tandis que celui qui est le plus compact reste en plus gros grains. Celui-ci, est en outre, le plus pesant. Or, si, par suite des secousses, il s'est produit un triage, chaque échantillon est de nature différente, et le poids spécifique de plusieurs échantillons diffère. Pour cette raison, le ciment fut soigneusement mélangé, puis manié avec prudence. Les déterminations de poids spécifique par l'alcool et par la benzine donnèrent alors les nombres assez concordants 3,1466 et 3,144, ce qui, pour 25 grammes de ciment, correspond à un volume de $7^{\text{cm}^3},95$ à 21°C .

Une fiole de 100 centimètres cubes du modèle dont nous avons parlé plus haut fut remplie jusqu'à la hauteur de la marque de 100 centimètres cubes avec de l'eau pure à 21° , puis pesée, après quoi on la vida, on y introduisit 25 grammes de ciment et environ 70 centimètres cubes d'eau, et on agita soigneusement. On mit ensuite la fiole deux ou trois jours au bain-marie à 100° , en lui imprimant de vigoureuses secousses, d'abord toutes les cinq minutes, puis moins souvent, afin que les grains de ciment pussent durcir sans former une pâte consistante. Après avoir été chauffée pendant 2 ou 3 jours, la fiole fut refroidie jusqu'à 21° , puis remplie d'eau jusqu'à la marque de 100 centimètres cubes et pesée. Comme les 25 grammes de ciment occupaient $7^{\text{cm}^3},95$ et, par conséquent pesaient $17^{\text{gr}},05$ de plus que le même volume d'eau, tout le contenu de la fiole aurait dû, si aucune variation de volume ne s'était produite, peser $100 + 17,05 = 117^{\text{gr}},05$; mais, en réalité, il pesait plus.

Afin d'examiner l'action du fluaté, le contenu de chaque fiole fut traité de la manière suivante :

Au moyen d'une même pipette, on enleva 10 centimètres cubes du liquide clair baignant le ciment, et on les remplaça par un égal volume de solution de fluaté (poids spécifique : 1,09) : après agitation et refroidissement à 21°C ., le volume mesurait plus qu'il ne devait. Cet essai fut réitéré plusieurs fois. Le tableau qui suit donne des essais faits avec des ciments différents.

	CONTRACTION EN VOL. $\frac{0}{100}$		DIMINUTION DE CONTRACTION EN VOL. $\frac{0}{100}$ PAR ADDITION DE FLUATÉ
	CHAUFFAGE PENDANT 2 JOURS	CHAUFFAGE PENDANT 3 JOURS	
Laufen.....	6,7	7,8	10,0
Ciment blanc	4,3	4,7	6,6
Aalborg.....	6,7	7,2	8,7
Lossius.....	6,6	7,2	10,9

Il résulte de ce tableau que le ciment blanc, comparé aux autres ciments, a une contraction peu considérable ; pour les autres, la contraction ne diffère pas beaucoup. Elle augmente dans le courant du troisième jour. Quant aux chiffres de la dernière colonne, il faut remarquer que la solution de fluaté est ajoutée jusqu'à une réaction neutre momentanée ou faiblement acide ; au repos la réaction alcaline se produit de nouveau, et, en ajoutant, de la manière citée plus haut, encore de la solution de fluaté, on obtient une nouvelle augmentation de volume. C'est pourquoi les chiffres de la dernière colonne du tableau ne peuvent qu'approximativement servir à mettre en parallèle les différentes sortes de ciment. Une chose cependant en résulte nettement, c'est qu'en ajoutant du fluaté on peut obtenir une dilatation au moins aussi grande que la contraction provenant de la prise.

Afin d'examiner la durée et l'importance de la contraction progressive suivant les différentes sortes de ciment, on chauffa les fioles pendant un temps prolongé, et on les pesa toujours

remplies, à intervalles fixes, par exemple toutes les quarante-huit heures. Il fallut employer plusieurs fioles, par exemple cinq à dix, pour chacune des sortes de ciment, d'abord parce qu'il arrivait souvent qu'une d'elles se fendait, ensuite parce qu'on obtenait ainsi une moyenne plus exacte que par chaque essai individuel.

Il arriva que, pour deux essais faits avec un même ciment, il fut impossible d'obtenir les mêmes nombres.

Mais les écarts entre les résultats des divers essais et le nombre de fioles cassées se trouvèrent moindres en n'introduisant que la moitié de la quantité de ciment (soit 12^{gr},5) dans chaque fiole. La contraction en pour cent du volume fut alors un peu plus grande qu'en employant 25 grammes de ciment ; ceci s'accorde avec les indications du tableau page précédente. De ce tableau résulte aussi que la contraction augmente, quand on emploie une plus petite quantité de ciment pour la même quantité d'eau.

Le tableau suivant donne les résultats des essais faits avec les quatre sortes de ciment.

	CONTRACTION EN VOL. $\frac{0}{100}$			
	CIMENT BLANC	LAUFEN	AALBORG	LOSSIUS
Après chauffage de 20 heures...	3,4	8,2	8,6	9,0
— — de 2 jours....	6,2	9,6	9,3	9,9
— — de 4 jours....	6,4	10,0	10,4	10,9
— — de 6 jours....	6,9	11,0	10,7	11,2
— — de 8 jours....	7,3	11,3	11,2	11,6
— — de 10 jours....	7,6	11,7	11,7	12,0
— — de 12 jours....	7,9	12,0	11,9	12,0

Après le douzième jour, la contraction n'augmenta plus que très lentement. Dans ces essais on avait employé 12^{gr},5 de ciment. On pourra se rendre compte, par le tableau, que, tandis que la contraction pour les trois dernières sortes de ciment est toujours presque identique, elle continue d'être plus petite pour le ciment blanc.

Afin de nous rendre compte jusqu'à quel point pourrait augmenter la contraction, et combien de temps il lui faudrait pour arriver à son maximum absolu, nous fîmes les essais suivants avec du ciment blanc et du ciment portland d'Aalborg. Une fiole contenant 10 grammes de ciment et environ 70 centimètres cubes d'eau fut mise au bain-marie à 100° pendant six jours ; puis, après avoir été remplie jusqu'à la marque et pesée, elle fut abandonnée au repos à la température ordinaire et, de temps en temps, remplie jusqu'à la marque et pesée de nouveau :

	CONTRACTION EN VOL. $\frac{0}{100}$	
	CIMENT BLANC	CIMENT D'AALBORG
Après chauffage de 6 jours....	7,3	9,4
— un repos de 11 jours....	7,8	10,7
— — de 21 jours....	8,5	12,2
— — de 44 jours....	10,5	14,7
— — de 70 jours....	10,5	14,7
— — de 88 jours....	10,5	14,7

Il s'ensuit qu'à partir du cinquantième jour après le commencement du chauffage la contraction n'augmente plus ; elle a peut-être cessé d'augmenter un peu avant, mais probablement seulement après le quarantième jour. Du reste, on dirait qu'il n'y a pas une grande distance entre les deux moments où les deux différentes sortes de ciment ont eu un volume constant, ce qui n'était pas non plus le cas après les essais précédents.

A présent, nous considérons comme constaté d'une manière suffisante *qu'une contraction a lieu pendant la prise du ciment avec de l'eau et que cette contraction augmente aussi longtemps que pourront se continuer les réactions qui se produisent pendant le durcissement*. La continuation de ces réactions n'est possible que lorsqu'il se trouve, entre autres choses, un excédent

d'eau suffisant. Mais dans la pratique, le ciment est délayé avec une quantité d'eau peu considérable en comparaison de celle qui est employée aux essais qui précèdent, et, après la prise, le ciment est, dans des circonstances ordinaires, assez sec, de sorte que les réactions dont nous parlons ne se continuent probablement que dans une faible mesure.

En raison du haut intérêt qu'il y aurait à constater comment les volumes varient pour le ciment pris et sec, nous avons fait les essais suivants :

10 grammes du mélange de ciment et sable dont nous avons parlé dans notre premier rapport (2 volumes de ciment Laufen et 1 volume de silex finement pulvérisé), furent délayés avec de l'eau dans une petite capsule de porcelaine tarée; au bout de trois jours, le tout fut séché à 105° et pesé. Il se trouva que l'augmentation de poids (due à l'absorption d'eau et d'acide carbonique) fut, pour les 10 grammes, de 0^{sr},34 en moyenne. La pâte qui s'était formée fut ensuite détachée de la capsule et coupée en de petits morceaux carrés; ceux-ci furent, par surcroît de précaution, séchés de nouveau à 105°, et on détermina leur poids spécifique au moyen de l'alcool absolu, en mettant dans le densimètre une quantité déterminée de morceaux de ciment, remplissant celui-ci à peu près d'alcool absolu et le plaçant dans le vide, de manière à chasser l'air contenu dans les pores du ciment. Ensuite, le densimètre fut complètement rempli d'alcool absolu, et le tout fut pesé. Le poids spécifique fut en moyenne de 2,548.

En laissant les morceaux de ciment exposés à l'air après l'évaporation de l'alcool, le poids spécifique et le poids total (toujours après séchage à 105°) augmentèrent peu à peu, mais le premier plus que le second, de sorte que le volume se trouva diminué. Après un repos d'une durée relativement courte, des variations peu considérables se produisirent: un repos de trois semaines ne produisit qu'une variation de l'ordre de la troisième décimale. La neutralisation de l'hydrate de chaux par l'acide carbonique serait-elle la cause principale de cet effet? Pour résoudre cette question, une quantité déterminée de morceaux de ciment fut placée sous une cloche de verre où le vide fut établi, puis la cloche fut remplie d'acide carbonique. Après avoir laissé pendant vingt-quatre heures les morceaux de ciment dans l'atmosphère d'acide carbonique, la cloche fut de nouveau vidée d'air et remplie d'air atmosphérique (ce procédé avait pour but de chasser l'acide carbonique des cavités du ciment. Les morceaux de ciment furent séchés à 105°, et les poids absolu et spécifique furent déterminés. Il se trouva alors que, tandis que l'augmentation du premier surpassait de peu 1 0/0, l'augmentation du second atteignit plus de 3 0/0; le volume avait donc été diminué d'environ 2 0/0.

L'action de la fluatation se trouve être, pour cette raison, d'une plus grande importance que nous ne le pensions après les essais relatés dans notre premier rapport. Non seulement elle affermit le ciment et tend à le rendre imperméable à l'eau, mais elle réagit contre la tension due à la contraction. Aussi avons-nous conservé la fluatation dans tous nos essais ultérieurs ayant pour but la production d'un enduit de ciment sans fissures.

SÉANCE DU MERCREDI SOIR 11 JUILLET 1900

COMMUNICATION PRÉSENTÉE PAR M. AUTISSIER SUR LES ESSAIS DES ARDOISES (Voir p. 63)

M. AUTISSIER. — *Préliminaires.* — Messieurs, la nature de mes occupations d'ingénieur plus spécialement attaché aux travaux de mines m'a tenu quelque peu éloigné des questions de résistance de matériaux si familières à mes collègues de la construction ou de la métallurgie. Je ne vous présenterai donc pas les résultats d'expériences complexes et de calculs savants ; il s'agit seulement d'essais pratiques sur une catégorie de matériaux qu'on a un peu laissés dans l'ombre et sur lesquels je me permets d'appeler votre attention. Je veux parler du schiste ardoisier en général et de l'ardoise en particulier.

Composition chimique. — Comme, à ce sujet, la composition chimique a une influence primordiale sur les qualités physiques des matériaux, je vous donnerai d'abord le résultat moyen des analyses pratiquées sur le schiste de Rochefort-en-Terre, savoir :

Silice.....	53,30 %
Alumine.....	25,48 —
Protoxyde de fer.....	7,80 —
Chaux.....	2,90 —
Magnésie.....	2,40 —
Potasse.....	2,39 —
Soude.....	0,12 —
Perte au feu en vase clos.....	5,20 —

Expériences de M. Orłowski. — Quant aux expériences de résistance faites sur ces matériaux, les premières qui me soient connues datent de 1878, et elles sont dues à l'un de mes prédécesseurs, M. Orłowski, ingénieur des Arts et Manufactures, qui, en se servant d'un appareil voisin de celui que j'ai employé, et en opérant sur des tablettes de schiste dressées et calibrées, avait trouvé, pour le coefficient moyen de résistance à la flexion du schiste de Rochefort-en-Terre, 9,378, celui du chêne sec essayé au même appareil étant de 7,209.

Expériences de M. Larivière. — Plus tard, à la veille de l'Exposition de 1889, où il m'a donné connaissance de ses travaux, M. Pierre Larivière, ingénieur civil, exécutait, sous la haute direction de M. Blavier, alors président du Conseil d'administration de la Compagnie des Ardoisières d'Angers, exécutait, dis-je, sur le schiste ardoisier de sa région, une série d'expériences très complètes, avec des appareils plus précis que celui de M. Orłowski.

Ces expériences ont donné, pour le coefficient moyen de résistance à la rupture par flexion du schiste ardoisier d'Angers, 7,046.

Pour le coefficient d'élasticité des mêmes roches, les essais de M. Larivière ont donné 11,90.

Et enfin, pour la résistance par compression, les chiffres suivants :

Perpendiculairement à la stratification, 1^{kg},285 par centimètre carré ;

Parallèlement, 0,877.

M. Larivière opérait, comme M. Orłowski, sur des plaques dressées et calibrées, d'épaisseur bien supérieure à celle de l'ardoise, et présentant avec celle-ci cette différence qu'il peut exister

dans la masse des solutions de continuité, et que la fibre, si l'on peut parler ainsi, est interrompue par le rabotage.

Expériences Autissier. — J'ai voulu faire une expérience en tous points pratique en opérant sur l'ardoise telle qu'elle est livrée au commerce, en ayant soin, bien entendu, de prendre des ardoises aussi égales que possible et en comptant, d'ailleurs, avec l'épaisseur moyenne.

Appareil. — L'appareil dont je me sers se compose simplement de deux montants verticaux en fer reliés par une semelle de tôle et supportant une planchette de bois dur soigneusement dressée. Cette planchette est munie de deux étriers laissant entre eux un espace suffisant pour les essais, et portant à leur extrémité inférieure des couteaux à arêtes nettes, mais pas trop

vives, sur lesquels est posée l'ardoise à essayer. Sur cette ardoise et en son milieu est placé un étrier renversé, le couteau étant tourné vers l'ardoise, et c'est sur cet étrier que vient s'atteler le plateau de balance qui doit supporter la charge (Voir *fig. 36*).

D'autre part, la planchette est percée en son milieu d'un trou dans lequel glisse une tige mobile coulissée sur une partie fixe munie d'un vernier.

Pour faire l'essai, on place l'ardoise sur les étriers fixes, on laisse retomber la tige mobile, qui vient au contact de l'ardoise, et on lit le chiffre obtenu. Comme, pour la suite de l'expérience, l'étrier porteur se place au milieu et que la tige vient au contact de sa traverse, on a soin d'avance d'en prendre l'épaisseur pour l'ajouter au chiffre primitivement lu. On attelle ensuite le plateau et on le charge progressivement jusqu'à rupture.

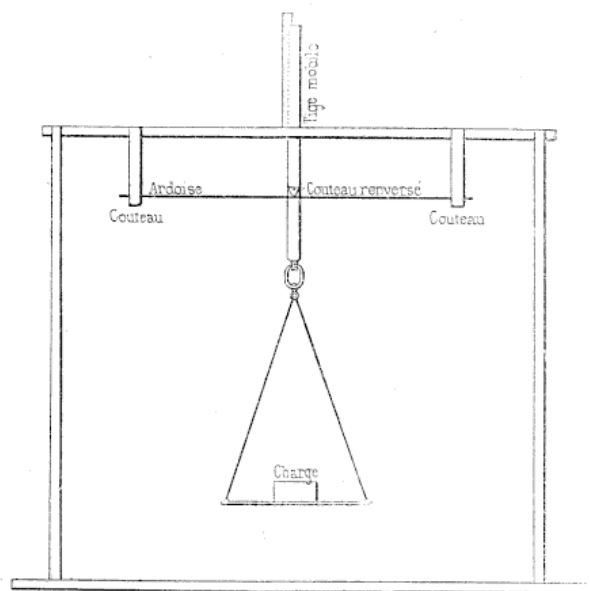


FIG. 36.

L'appareil est, comme on le voit, des plus simples, et il permet pourtant d'obtenir des résultats assez précis; car on arrive rapidement à connaître approximativement la charge à employer dans chaque cas, et on procède par très petite quantité lorsqu'on arrive dans la zone voisine de la rupture; d'autre part, en opérant avec de petites épaisseurs et de faibles poids, il n'y a pas chance de pénétration par les couteaux et c'est une cause d'erreur en moins.

Résistance. — Pour la résistance, j'ai opéré sur des ardoises à l'épaisseur moyenne de 3 millimètres, qui est celle d'une catégorie d'ardoises très employée connue sous le nom de grand modèle. La largeur donnée par les étriers était de 57 millimètres et la longueur de 338 millimètres entre les arêtes des couteaux. Dans ces conditions, la charge de rupture a été de 41^{kg},840, et la formule

$$R = \frac{3 Pl}{2bc^2},$$

où P désigne la charge, l la portée, b la largeur et c l'épaisseur, m'a donné $R = 0,000011701$, et $\frac{R}{106}$, coefficient de résistance = 11,701.

Ce chiffre est un peu plus élevé que celui de M. Orłowski, qui a opéré sur les mêmes schistes, uniquement parce que le fait d'opérer sur de petites épaisseurs supprime les solutions de continuité dans la masse, qui sont une cause de dépréciation et d'erreur.

Il est encore plus élevé que celui de M. Larivière, même en tenant compte de la première différence; et cela évidemment à cause de la composition chimique que j'ai donnée plus haut et qui diffère par certains éléments de celle du schiste d'Angers.

Elasticité. — Pour l'élasticité, j'ai choisi des ardoises de 2^{mm},5, épaisseur du modèle habituellement employé à Paris, sous le nom de 1^{re} carrée c/m forte.

Sous la charge de 9^{kg},370, j'ai obtenu une flèche de 7^{mm},4, et la formule

$$E = \frac{2 Pl^3}{ybc^3}$$

où P , b et c désignent les mêmes facteurs que précédemment, y la flèche et l la demi-partie donne $E = 0,000000014199$.

$$\frac{E}{109} \quad \text{et} \quad \frac{E}{109}$$

coefficient d'élasticité, 44,499.

Ce coefficient très élevé motive bien la réputation de flexibilité des ardoises de Rochefort-en-Terre; et je regrette que le temps me manque pour vous les mieux montrer à notre exposition de la classe 63.

Je ne dispose pas en ce moment d'appareil pour la mesure de la compression et je compte profiter à ce sujet des études que je pourrai faire au Congrès.

SEANCE DU MERCREDI SOIR 11 JUILLET 1900

NOTE PRÉSENTÉE PAR M. BAIRE SUR UN CIMENT A DOSAGE ÉLEVÉ EN ARGILE (Voir p. 64)

M. BAIRE. — Messieurs, dans la fabrication du ciment portland, la régularité du dosage de la pâte est la première condition à remplir, si l'on veut obtenir un produit de qualité supérieure. La quantité d'argile contenue dans la pâte dosée ne doit pas varier de plus de 0,5 0/0.

Mais la valeur absolue de ce dosage peut ne pas être tout à fait la même d'une usine à l'autre.

Il est toutefois reconnu que cette proportion d'argile ne doit pas être inférieure à 19,500/0. A ces dosages faibles, la quantité d'acides se trouve à peine suffisante pour saturer toutes les bases, chaux et magnésie, et l'on risque d'obtenir des produits qui gonflent après l'emploi.

La limite supérieure du dosage est généralement de 24,50. Cette limite est surtout déterminée par des raisons industrielles. Une pâte à dosage élevé tend à donner par la cuisson une grande quantité de poussières, par suite de la formation d'un silicate dicalcique (ainsi que l'a démontré M. Le Chatelier).

Des recherches récentes semblent prouver, il est vrai, que les modes de cuisson et de refroidissement de la roche cuite ont aussi une certaine action sur ce phénomène de pulvérisation spontanée. Néanmoins, l'influence de la proportion d'argile est certaine.

Dans le but d'étudier les propriétés d'un ciment à dosage élevé, une série d'essais a été entreprise par la Société des Ciments Français de Boulogne. La présente note donne les résultats obtenus jusqu'ici dans ces essais.

Un bassin de pâte d'environ 100 mètres cubes a été constitué avec un dosage en argile de 24,15 0/0. Cette pâte a été préparée par les procédés ordinaires de l'usine ; après vérification de la teneur en argile, elle a été soumise au séchage, puis à la cuisson dans un four continu. Au défournement, on a obtenu une grande quantité de poussières (plus de 50 0/0).

Deux échantillons de ciment ont été constitués avec les matériaux sortis du four : le premier comprenait 1.400 kilogrammes de roches pour 300 kilogrammes de poussières, et le second, moitié roches, moitié poussières.

Un autre bassin de pâte de même capacité a été préparé de la même façon, mais avec un dosage en argile de 22,42 0/0. La cuisson de cette pâte a donné également une grande quantité de poussières. Un seul échantillon a été constitué par le mélange de moitié roches, moitié poussières.

Les essais de ces divers ciments ont été faits quinze jours ou trois semaines après mouture. Les résultats sont indiqués dans les tableaux ci-joints.

Ainsi que l'on peut le constater, l'augmentation de la proportion d'argile tend à rendre les prises plus rapides et les résistances plus faibles.

Afin de corriger la rapidité de prise, une certaine quantité des ciments dosés à 24,15 a été,

pendant un temps très court, soumise à l'influence de la vapeur, dans un appareil approprié. Les résistances d'un tel ciment sont en général plus faibles au début; mais, avec le temps, elles arrivent à égaler les résistances données par le ciment non passé à la vapeur.

Les mortiers plastiques donnent aux essais des résistances très faibles. Mais, par contre, ces ciments paraissent bien se comporter à la mer, et semblent résister assez longtemps aux solutions magnésiennes.

SÉANCE DU VENDREDI SOIR 13 JUILLET 1900

COMMUNICATION PRÉSENTÉE PAR M. BELELUBSKY SUR LE LABORATOIRE DE SAINT-PÉTERSBOURG LE CAHIER DES CHARGES RUSSE POUR LES ESSAIS DE CEMENTS ET LES STATISTIQUES DE LA FABRICATION DU CIMENT EN RUSSIE (Voir p. 132)

M. BELELUBSKY. — L'origine du Laboratoire mécanique remonte à 1856, époque où le professeur Sobko, depuis ingénieur en chef et collaborateur de MM. Collignon et Sézanne pour la construction du chemin de fer Pétersbourg-Varsovie, a installé à l'Institut l'appareil à levier de 10.000 kilogrammes exécuté par Claire à Paris¹.

En 1864, date de la réforme de l'Institut, le Laboratoire a été installé dans la grande salle de gymnastique et c'est là que les membres du Congrès des Chemins de fer de 1892 (session de Saint-Petersbourg) ont fait leur visite (parmi eux, MM. Debray, Roussel, Moïse et d'autres).

Depuis 1864, le Laboratoire gardait plutôt comme souvenir historique la presse hydraulique (sidéromètre), appareil d'une longueur considérable, construit à Saint-Petersbourg ; on l'a employé pour essayer sous une tension prescrite les boulons-montants des poutres en bois du système Howe, lors de la construction du chemin de fer Nicolas.

Jusqu'en 1874-1875, le Laboratoire n'a possédé que trois appareils et n'a servi presque exclusivement que pour les essais de démonstration du cours de résistance des matériaux.

La triple nécessité 1° de contrôler les qualités des matériaux dont l'emploi s'est généralisé grâce au développement du réseau des chemins de fer, construction des ponts, ports, etc. ; 2° d'étudier les produits des usines russes de ciment, fer, etc., usines dont le nombre et la production allaient sans cesse en augmentant ; 3° d'élargir l'enseignement pratique du cours de résistance ; cette triple nécessité, dis-je, a provoqué, vers 1874-1875, la création d'une station d'essais destinée à satisfaire aux exigences de l'enseignement et des recherches scientifiques, tout en étant au service de la pratique et devant contribuer à l'étude des matériaux indiqués.

Après avoir acquis la machine de Werder, presse hydraulique universelle de 100 tonnes, et la collection des appareils pour les essais des ciments, chaux, etc., le Laboratoire a pu commencer à fonctionner dans le sens qui vient d'être indiqué, et a fait, pendant vingt-cinq ans, tout son possible pour répondre le mieux aux besoins du Génie civil russe et élucider les questions intéressant l'industrie nationale, bien que, comme cela arrive souvent, ses moyens matériels et son personnel aient été souvent très restreints.

Pour ne pas abuser de votre temps, je me contenterai, Messieurs, de vous indiquer en quelques mots les principales attributions du Laboratoire.

1° Le Laboratoire fait, chaque année, les essais des matériaux pour les travaux courants, il garde tous les échantillons essayés de métaux, ciments, briques, pierres, collection qui pourrait présenter un tableau des travaux du Génie russe durant vingt-cinq ans.

Il convient de noter surtout l'augmentation des essais depuis la création de l'Administration des Chemins de fer de l'Etat (1881) ; le Laboratoire a fait les essais de réception du ciment pour

¹ J'ai vu en Italie le même appareil de Claire, ayant aussi servi de point de départ au Laboratoire de l'une des écoles supérieures techniques de ce pays.

presque toutes les lignes construites par le Gouvernement de 1881 à 1899, même de la ligne de Sibérie et du Transcaspien. Ces essais ont beaucoup contribué à l'étude du Cahier des Charges des ciments, établi en connection des résolutions des conférences internationales, et à l'introduction de clauses en vue d'abréger la durée des essais. Les essais de gélimité des pierres ont pris, depuis 1884, un vaste développement dont j'ai parlé au Congrès de 1889.

2° Le Laboratoire a pris l'initiative, au point de vue législatif, de provoquer des circulaires ministérielles relatives au Cahier des charges des ciments, à l'application du fer fondu (acier très doux) dans les constructions, aux essais de gélimité des pierres, etc.¹.

3° Le Laboratoire est le siège du Bureau de la Section russe de l'Association internationale pour les essais des matériaux et du Bureau de l'Association des Techniciens russes pour le ciment.

4° Depuis 1886, les études des élèves de l'Institut sont devenues obligatoires ; chaque élève reçoit un programme des travaux qu'il doit exécuter. De même, le Laboratoire sert comme école périodique pour les élèves des autres écoles supérieures, qui le visitent plusieurs fois par an, entre autres les élèves de l'Académie des Beaux-Arts et les élèves-filles des cours de l'éducation pour le développement physique (essais biologiques).

5° Le Laboratoire a organisé des essais publics sur les poutres de ciment armé (système Monier et métal déployé) ; il a installé à l'Exposition de Nijni-Novgorod une Station d'essais et contribué d'une manière permanente à organiser des Laboratoires d'essai pour les Administrations des chemins de fer, les écoles d'ingénieurs, etc.

6° Le Laboratoire prend part, en la personne de son directeur, aux travaux des Conférences et Congrès internationaux depuis 1884 ; en outre il a fait des essais de bois pour le Congrès des chemins de fer de Saint-Petersbourg, en 1892, d'autres essais de bois pour la section forestière de l'Exposition de Paris de 1900 ; des essais pour l'acier pour rails et les bandages pour la Commission de la Société technique impériale (se reporter au Congrès des Chemins de fer de 1889).

7° Le Laboratoire est chargé de recherches scientifiques d'un caractère permanent concernant : a) les mortiers pour l'Administration des ports du Ministère ; b) l'acier à rails pour la Société technique impériale : ces rails sont posés depuis huit ans sur la ligne de Nicolas ; c) depuis peu, l'étude de l'acier au point de vue de son homogénéité et généralement pour le perfectionnement des cahiers des charges.

Pour accomplir cette tâche, l'Institut a reçu, tout récemment, un crédit fondamental pour le développement des Laboratoires mécanique et chimique et l'installation assez complète d'un atelier dans la cour de l'Institut. Ces mesures conduisent à une réforme partielle de notre Laboratoire avec augmentation du personnel. Nous allons terminer ces travaux d'installation cette année, en adoptant l'électricité comme force motrice.

Parmi les nouvelles machines et appareils, nous avons la collection de ceux qui servent aux essais de dureté des métaux, l'appareil à choc de Barba, la presse hydraulique d'Amsler de 200 tonnes, la machine d'Amsler pour la torsion avec enregistreur, la machine de Hoppe (Berlin) servant au tarage des éprouvettes de contrôle pour vérifier les machines du Laboratoire et des usines, etc.

Enfin, les circonstances nous indiquent elles-mêmes, le plus souvent, la direction dans laquelle il convient de poursuivre nos travaux de Laboratoire : chaque assemblée internationale, chaque recherche d'un spécialiste donnent matière à de nouvelles études et, en ce qui me concerne, gardien fidèle des questions développées aux Congrès depuis longtemps, je tiens à constater aujourd'hui que les travaux du Congrès actuel principalement sur la question de la constitution des corps et sur les métaux, travaux émanant surtout de savants français, nous donnent une nouvelle impulsion en vue de compléter nos études et de nous conformer aux idées nouvelles.

Il me reste à dire encore un mot de notre Cahier des Charges pour les fournitures de ciment portland.

Ce Cahier des Charges, basé sur une quantité considérable d'essais mécaniques, présente les particularités suivantes :

1° La réception du ciment est prononcée après les essais à sept jours, y compris les déter-

1. La question de l'admission du fer fondu dans les constructions a été soulevée dès 1881 par votre rapporteur d'aujourd'hui (Voir mon rapport au Congrès de 1889), bien avant l'emploi courant de ce métal en Autriche et en Allemagne.

minations de la durée de prise, de la finesse de mouture, du poids spécifique, de l'invariabilité de volume, etc. Les essais à vingt huit jours sont néanmoins toujours imposés comme correctif au cas où les résistances à sept jours ne seraient pas satisfaisantes;

2° Pour les usines connues, la réception peut être prononcée après quatre jours, si la résistance après cette durée atteint celle prescrite pour sept jours. Cette abréviation de la durée des essais a été motivée par des cas d'urgence, tels que l'envoi du ciment en Sibérie et à Vladivostok au terme du départ du bateau;

3° L'essai à la compression est facultatif pour la réception; c'est aux Laboratoires centraux qu'il appartient de le faire, pour se tenir constamment au courant des rapports entre la compression et la traction pour chaque usine;

4° Nos cahiers des charges exigent des essais avec le mortier 1 pour 3 et avec le ciment pur;

5° Notre sable normal n'est pas artificiel (peut-être va-t-on en arriver là); sa grosseur est déterminée, non pas par les deux seuls tamis 64 et 144 mailles par centimètre carré, mais aussi par le tamis de 225 mailles.

Dernièrement, au Congrès des Fabricants de ciment, à Berlin, on s'est prononcé aussi pour un sable, défini par trois tamis.

Telles sont, Messieurs, les principales particularités de notre Cahier des Charges, tendant surtout, comme vous avez pu vous en rendre compte, à abrégé les essais. Je dois ajouter que ces conditions sont l'objet de fréquentes contestations et que nous éprouvons des difficultés à les conserver.

Notre Ministère des Finances a publié, à l'occasion de cette Exposition universelle, un ouvrage sur *l'Industrie de la Russie à la fin du XIX^e siècle*. Cet ouvrage, publié sous la direction générale de Son Excellence M. Kowalewsky, vice-ministre, renferme mon article sur les ciments russes. Cet article, suivi des tableaux concernant la statistique et la technique des usines russes de ciment, sera réimprimé dans le journal français *le Ciment*, rédigé par M. Candlot; je crois qu'il sera de nature à intéresser les Membres du Congrès. (*Applaudissements.*)

M. Belebubsky reprend la présidence.

SÉANCE DU LUNDI 16 JUILLET 1900

(SÉANCE PLÉNIÈRE DE CLOTURE)

LETTRÉ ADRESSÉE A M. BACLÉ, SECRÉTAIRE GÉNÉRAL ADJOINT, PAR M. PASCAUD CONCERNANT LES ESSAIS DE TUYAUX EN GRÈS (Voir p. 163)

MONSIEUR LE SECRÉTAIRE GÉNÉRAL ADJOINT,

... Je ne pourrais, comme je l'aurais désiré, attirer l'attention de Messieurs les Membres du Congrès sur les méthodes à employer pour les essais de tuyaux en grès, cette question n'ayant pas, je crois, été résolue à ce jour d'une façon définitive.

J'ai l'honneur de vous informer que l'on m'avait fourni des tuyaux en grès résistant à une pression de 3 atmosphères.

Désirant les essayer à 1 atmosphère seulement, j'employai à cet effet un appareil portant une colonne d'eau de 9 mètres de hauteur. On prenait, bien entendu, toutes les précautions pour qu'il n'y ait point d'air dans cette colonne et pour que l'eau arrive sans à-coup dans le tuyau en grès à essayer. Malgré toutes ces précautions, cet appareil me brisait la moitié des tuyaux que j'essayais. J'en conclus naturellement que l'appareil devait être défectueux.

Pour connaître les précautions supplémentaires à prendre, je m'adressai à beaucoup de personnes notables et à divers industriels fabricant des céramiques, et je n'ai recueilli que des renseignements vagues et non utiles.

Je fis ensuite des recherches parmi les ouvrages publiés sur les céramiques, et je n'ai pu trouver que l'ouvrage de M. Émile Bourry, traitant sommairement cette méthode d'essai, mais non d'une façon utile, puisqu'il dit simplement :

« Qu'il faut que l'expérience soit bien conduite, c'est-à-dire que les joints soient bien faits
« et ne provoquent pas un effort supplémentaire dans la matière et qu'alors la rupture se produit
« le long d'une génératrice du tuyau. »

Et plus loin :

« Que la Commission des Méthodes d'essai des matériaux de construction, nommée par le
« Gouvernement français en 1895, a émis le vœu, d'après un rapport présenté par M. Debray,
« secrétaire général de la Commission, et par l'auteur de cet ouvrage, que les essais en cours
« pour trouver un dispositif commode de fermeture de tuyaux soient poursuivis. »

D'après cet ouvrage, j'ai pu conclure simplement : que le serrage du tuyau était une opération très délicate, et que l'appareil que j'employai brisait le tuyau par le simple serrage, car la vis unique, employée à cet effet au milieu du tuyau, le pressait inégalement en ses divers points.

Je remarquai, d'ailleurs, que la casse se produisait toujours suivant une courbe quelconque et non le long d'une génératrice du tuyau, comme le dit l'ouvrage de M. Émile Bourry.

Malgré ces déductions, je n'ai pu connaître l'appareil pratique que l'on devrait employer pour faire ces essais.

Presque toutes les villes construisant, depuis quelques années, leurs égouts avec des tuyaux

en grès, il serait peut-être utile que toute personne s'occupant de travaux publics puisse se renseigner facilement sur les précautions à prendre pour les essais de ces tuyaux.

Si, à la suite de la décision prise en 1895 par la Commission des Méthodes d'essai, sur le rapport de MM. Debray et Bourry, on n'a pas poursuivi les recherches pour trouver un dispositif commode de fermeture, ne croyez-vous pas qu'il serait utile que le Congrès des méthodes d'essai veuille bien s'en occuper ?

Seriez-vous assez aimable, Monsieur, de vouloir bien transmettre au Congrès mes modestes constatations ? Je serais très heureux si elles pouvaient faire aboutir les recherches à un résultat pratique.

En vous remerciant d'avance,

Je vous prie d'agréer l'assurance de mes sentiments dévoués.

Signé : R. PASCAUD.

SÉANCE DU LUNDI 16 JUILLET 1900

(SÉANCE PLÉNIÈRE DE CLOTURE)

NOTE PRÉSENTÉE PAR M. BIGILLION AU NOM DE M. HERAEÛS SUR LA SOUDURE AUTOGÈNE DE L'ALUMINIUM (Voir p. 163)

MESSIEURS,

Un de nos collègues, M. Heraeus de Hanau, n'ayant pas une connaissance suffisante de la langue française, nous prie de vous faire la communication suivante sur un nouveau procédé d'usage de l'aluminium.

Après les remarquables études qui nous ont été soumises, au cours de ce Congrès, sur les méthodes d'essais des métaux et les diverses transformations que subissent, au point de vue physique, chimique et électrique, les différents métaux sous l'action de la chaleur et du froid, et sous des efforts mécaniques variés, nous croyons intéressant de venir vous entretenir en quelques mots des observations que nous avons été amenés à faire dans le même ordre d'idées sur l'aluminium.

Nos recherches précédentes sur le platine et l'argent nous ayant fait découvrir un point de température critique pour chacun de ces métaux auquel il était possible de les souder sans l'interposition d'aucun corps étranger, nous ont conduits à faire les mêmes recherches pour l'aluminium.

Ce métal, à une température précédant son point de fusion, subit une transformation allotropique qui le rend cassant et le fait se briser sous le marteau ; si, au contraire, on le laisse refroidir à l'air libre sans lui faire subir aucun choc, l'aluminium reprend sa cohésion et sa ductilité primitive.

A une température légèrement inférieure à la précédente, un peu en dessous du rouge, nous avons constaté que l'aluminium se ramollissait et que, par un simple martelage, on pouvait le souder à lui-même sans l'interposition d'aucun corps étranger.

L'essentiel est de maintenir, au cours de l'opération, la même température jusqu'à soudure complète.

Nous croyons avoir ainsi réalisé la soudure autogène de l'aluminium, depuis si longtemps cherchée.

Les essais de traction pratiqués sur des éprouvettes d'aluminium forgées ou laminées et soudées, après rupture préalable, par ce procédé, ont donné une résistance de 20 à 25 kilogrammes par millimètre carré, sans que les points de soudure présentent une faiblesse sensiblement plus grande que le métal homogène.

Cette soudure autogène de l'aluminium supprime tous les inconvénients des précédentes soudures qui, par l'interposition d'un ou de plusieurs corps étrangers, constituaient les éléments d'une pile voltaïque qui, sous l'influence des agents extérieurs, arrivaient à détruire rapidement la soudure elle-même.

La possibilité de souder l'aluminium à lui-même est d'un très grand intérêt, surtout aujour-

d'hui, au moment où la cherté du cuivre rend avantageux l'emploi de l'aluminium à la place du cuivre comme conducteur électrique.

On sait que la conductibilité de l'aluminium est de 40 0/0 inférieure à celle du cuivre ; dans ces conditions, pour obtenir le même rendement avec le même courant, il suffit que la section du fil d'aluminium soit 1,66 fois plus grande que celle du cuivre.

La densité de l'aluminium étant 3,33 fois moindre que celle du cuivre, un câble en aluminium de la même conductibilité n'aura que 48 0/0 du poids du même câble en cuivre.

L'emploi de l'aluminium présente donc un avantage considérable et une économie d'environ 30 0/0.

L'emploi si récent de l'aluminium, comme conducteur électrique, et l'impossibilité dans laquelle on était de souder ce métal avaient déterminé l'utilisation d'éclisses ou de manchons en même métal, qui présentaient des différences notables de conductibilité.

La soudure autogène, au contraire, assure une régularité parfaite dans la conductibilité et permet de compter sur des fils d'une longueur indéfinie. Par ce procédé, sur un fil conducteur, des lignes d'alimentation et de dérivation peuvent être installées partout où le besoin s'en fait sentir.

Il est important de remarquer en terminant que ces soudures peuvent être faites sans aucun préparatif, dans l'air, sur une échelle, dans une position quelconque.

Cette découverte est encore trop récente pour que nous ayons eu le temps d'étudier tous les phénomènes qui l'accompagnent ; nous nous bornons à présenter ce fait nouveau à vos études et observations en vous soumettant quelques échantillons de cette soudure autogène.

Ce procédé a été déjà examiné dans notre usine de Hanau par une délégation du Patentamt allemand.

TABLE DES MATIÈRES

Pour faciliter les recherches dans la Table des matières, on a cru utile de rappeler, pour chaque séance, les titres des diverses communications qui ont été présentées au cours de ces séances.

Le texte intégral de ces communications est reproduit dans les volumes précédents, et le lecteur trouvera seulement dans le présent volume le résumé de chacune d'elles, ainsi que la discussion à laquelle elle a pu donner lieu.

	Pages
INTRODUCTION	I
Commission d'Organisation. — Membres Français.....	VII
— — — Membres Étrangers.....	IX
Comité de Patronage. — Membres Français.....	X
— — — Membres Étrangers.....	XI
Bureau du Congrès.....	XIII
Présidents d'Honneur.....	XIII
Vice-Présidents Français.....	XV
Secrétaires Français.....	XVI
— — — Étrangers.....	XVII
Délégués du Gouvernement Français.....	XVIII
Délégués de l'Association Internationale pour l'essai des matériaux.....	XIX
Délégués des Gouvernements Étrangers.....	XIX
Délégués de Collectivités Françaises.....	XX
— — — Étrangères.....	XXI
Membres Donateurs.....	XXIII
Membres adhérents Français.....	XXV
— — — Étrangers.....	XLV

SÉANCE D'OUVERTURE 1

SÉANCE DU MARDI MATIN 10 JUILLET 1900

<i>Evolution des méthodes d'essai</i> , communication présentée par M. Debray au nom de M. Frémont.....	8
<i>Essais de poinçonnage</i> , communication présentée par M. Baclé.....	16
<i>Note discutant les conditions d'application de la Méthode d'essai sur barrettes entaillées</i> , présentée par M. Heurteloup.....	24

SÉANCE DU MARDI SOIR 10 JUILLET 1900

<i>Conduite rationnelle des essais des matériaux de construction</i> , communication présentée par M. Rejtö....	23
<i>Recherches sur les résistances à la rupture des matériaux isotropes non ductiles</i> , communication présentée par M. Feret.....	28
<i>Essais des huiles et graisses</i> , communication présentée par M. le général Pétroff.....	31

SÉANCE DU MERCREDI MATIN 11 JUILLET 1900

<i>Résistances comparatives à la corrosion des fers et des aciers au carbone et au nickel</i> , communication présentée par M. Howe.....	37
<i>Essais de torsion</i> , note présentée par M. Rateau.....	40

	Pages
<i>Influence de la température et de la durée sur les propriétés mécaniques et les résultats des essais des métaux, communication présentée par M. Henri Le Chatelier, au nom de M. André Le Chatelier.....</i>	43
<i>Sur certaines propriétés des matériaux au point de vue de leur perméabilité au gaz et à l'air et sous l'action de la lumière, note présentée par M. Trélat.....</i>	51

SÉANCE DU MERCREDI SOIR 11 JUILLET 1900

<i>De l'action de l'eau de mer sur les mortiers hydrauliques, communication présentée par M. Candlot, au nom de M. le général Schoulatchenko.....</i>	54
<i>Sur la décomposition des ciments à la mer, communication présentée par M. Henri Le Chatelier.....</i>	55
<i>Extraits d'un rapport sur les essais faits pour obtenir une méthode de restauration de la décoration extérieure du musée de Thorvaldsen à Copenhague, par MM. G.-A. Hagemann et H.-I. Hannover, communication présentée par M. Hannover.....</i>	56
<i>Essais de ciments à l'eau chaude entre 80 et 100°, communication présentée par M. Deval.....</i>	56
<i>Expériences sur les pouzzolanes, communication présentée par M. Feret.....</i>	57
<i>Essais des ardoises, note présentée par M. Autissier.....</i>	63
<i>Observations sur les essais par voie humide en vue de déterminer la constitution chimique des liants hydrauliques, communication présentée par M. Feret.....</i>	63
<i>Sur un ciment à dosage élevé en argile, note présentée par M. Baire.....</i>	64

SÉANCE DU MERCREDI 11 JUILLET 1900 (APRÈS MIDI)

<i>Un enregistreur portatif pour les essais des matériaux, note présentée par M. Henning.....</i>	66
<i>Résultats des études expérimentales sur les ponts métalliques, communication présentée par M. Mesnager, au nom de M. Lanna.....</i>	68
<i>Laboratoires d'essai dans les chemins de fer, communication présentée par M. Herzenstein.....</i>	75
<i>L'organisation, l'outillage et les travaux du Service des expériences et des essais du Conservatoire National des Arts et Métiers, note présentée par M. Debray, au nom de M. Masson.....</i>	75
<i>Les Laboratoires de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, par MM. Debray et Mesnager, note présentée par M. Debray.....</i>	75

SÉANCE DU JEUDI MATIN 12 JUILLET 1900

<i>Les spécifications normales américaines pour le fer et l'acier, communication présentée par M. de Gennes au nom de M. Webster.....</i>	77
<i>Examen des spécifications normales américaines proposées, communication présentée par M. de Gennes au nom de M. Colby.....</i>	78
<i>Sur les définitions des fontes, aciers et fers, note présentée par M. Pourcel.....</i>	105

SÉANCE DU VENDREDI MATIN 13 JUILLET 1900

<i>Entretôises de foyers de locomotives, communication présentée par M. Le Blant.....</i>	107
<i>Aciers-Nickel, communication présentée par M. Guillaume.....</i>	109
<i>Phénomènes qui accompagnent la déformation permanente des métaux, communication présentée par M. Hartmann.....</i>	116

SÉANCE DU VENDREDI SOIR 13 JUILLET 1900

<i>Sur quelques détails d'exécution des épreuves de gelivité des pierres, communication présentée par M. Marva y Mayer.....</i>	119
<i>Etude sur les fractures des bois dans les essais de résistance, communication présentée par M. Thil.....</i>	121
<i>Méthode d'épreuve des constructions en béton armé, communication présentée par M. Considère.....</i>	126
<i>Sur le Laboratoire de Saint-Petersbourg, le cahier des charges russe pour les essais de ciments et les statistiques de la fabrication du ciment en Russie, communication présentée par M. Bebelubsky.....</i>	132
<i>Mortiers et pouzzolanes dans les constructions maritimes, communication présentée par M. Rebuffat.....</i>	132
<i>Les maçonneries avec joints métalliques coulés, communication présentée par M. Tavernier.....</i>	133
<i>Le ciment de laitier, communication présentée par M. Henry.....</i>	136

SÉANCE DU VENDREDI APRÈS MIDI 13 JUILLET 1900

<i>Constitution moléculaire des corps, communication présentée par M. Ricour.....</i>	137
<i>La déformation des solides. Lois, mécanisme et conséquences au point de vue des essais et de leur interprétation, communication présentée par M. Mesnager.....</i>	147

TABLE DES MATIÈRES

203

<i>Etude expérimentale des propriétés du cuivre, du fer et de l'acier à la traction et à la compression, par</i>	Pages
MM. Galy-Aché et Charbonnier, communication présentée par M. Galy-Aché.....	154

SÉANCE DU LUNDI 16 JUILLET 1900

<i>Epreuves destinées à déterminer la dureté d'après l'empreinte d'une bille, communication présentée par</i>	
M. Wahlberg au nom de M. Brinell.....	163
<i>Essais de tuyaux en grès, note présentée par M. Pascaud.....</i>	163
<i>Sur un procédé de soudure autogène de l'aluminium, note présentée par M. Bigillion pour M. Heraeüs...</i>	163
<i>Sur les essais du cuivre et de ses alliages, communication présentée par M. Demenge.....</i>	164
<i>Fêtes du Congrès.....</i>	171

ANNEXE

Note présentée par M. Heurteloup.....	181
— M. Hannover.....	183
— M. Autissier.....	187
— M. Baire.....	190
— M. Belebubsky.....	194
— M. Pascaud.....	197
— M. Bigillion au nom de M. Heraeüs.....	199

