

Titre : Congrès international des procédés de construction. Procès verbaux sommaires
Auteur : Exposition universelle. 1889. Paris

Mots-clés : Exposition universelle (1889 ; Paris) ; Génie civil*Europe*19e siècle*Congrès
Description : 1 vol. (63 p.) ; 24 cm
Adresse : Paris : Imprimerie nationale, 1889
Cote de l'exemplaire : CNAM 8 Xae 332-5

URL permanente : <http://cnum.cnam.fr/redir?8XAE332.5>

n° 5.
MINISTÈRE DU COMMERCE, DE L'INDUSTRIE
ET DES COLONIES.

8° Xae 332.5

EXPOSITION UNIVERSELLE INTERNATIONALE DE 1889.

DIRECTION GÉNÉRALE DE L'EXPLOITATION.

CONGRÈS INTERNATIONAL
DES
PROCÉDÉS DE CONSTRUCTION,
TENU À PARIS DU 9 AU 14 SEPTEMBRE 1889.

PROCÈS-VERBAUX SOMMAIRES

PAR M. GEORGES PETIT,
INGÉNIEUR CIVIL, SECRÉTAIRE DU CONGRÈS.



PARIS.

IMPRIMERIE NATIONALE.

M DCCC LXXXIX.

MINISTÈRE DU COMMERCE, DE L'INDUSTRIE
ET DES COLONIES.

8° 2a 332 - 5.

EXPOSITION UNIVERSELLE INTERNATIONALE DE 1889.

DIRECTION GÉNÉRALE DE L'EXPLOITATION.

CONGRÈS INTERNATIONAL
DES
PROCÉDÉS DE CONSTRUCTION,

TENU À PARIS DU 9 AU 14 SEPTEMBRE 1889.

PROCÈS-VERBAUX SOMMAIRES

PAR M. GEORGES PETIT,
INGÉNIEUR CIVIL, SECRÉTAIRE DU CONGRÈS.



PARIS.

IMPRIMERIE NATIONALE.

M DCCC LXXXIX.

COMITÉ D'ORGANISATION ⁽¹⁾.

PRÉSIDENT.

M. EIFFEL, président de la Société des ingénieurs civils.

VICE-PRÉSIDENTS.

MM. BOUTILLIER, ingénieur en chef des ponts et chaussées, professeur à l'École des ponts et chaussées et à l'École centrale.

CLERC, ingénieur en chef des ponts et chaussées, directeur des travaux de la Compagnie des chemins de fer de l'Ouest.

MULLER, professeur à l'École centrale, ancien président de la Société des ingénieurs civils.

SECRÉTAIRES.

MM. FONTVILLANT (B. DE), ingénieur de la Compagnie de Fives-Lille, secrétaire de la Société des ingénieurs civils.

MOREAU, ingénieur civil, professeur au collège Chaptal.

RABEL, ingénieur en chef des ponts et chaussées, ingénieur en chef de la navigation de la Seine.

MEMBRES DU COMITÉ.

MM.

BAUDET, ingénieur civil.

BOREUX, ingénieur en chef des ponts et chaussées, ingénieur en chef de la Ville de Paris.

BOUCHER, ingénieur en chef des ponts et chaussées, ingénieur en chef des travaux de la Compagnie des chemins de fer du Nord.

CHARTON, ingénieur de la construction aux chemins de fer du Midi.

CHEMIN, ingénieur en chef des ponts et chaussées, professeur à l'École des ponts et chaussées.

CHOISY, ingénieur en chef des ponts et chaussées, professeur à l'École polytechnique et à l'École des ponts et chaussées.

CONTAMIN, ingénieur du matériel des voies à la Compagnie des chemins de fer du Nord, vice-président de la Société des ingénieurs civils.

DARTEIN (DE), ingénieur en chef des ponts et chaussées, professeur à l'École polytechnique et à l'École des ponts et chaussées.

DELMAS, ingénieur civil, secrétaire général de l'Association polytechnique.

DURAND-CLAYE, ingénieur en chef des ponts et chaussées, professeur à l'École des ponts et chaussées.

⁽¹⁾ Le Comité d'organisation a été constitué par arrêtés ministériels des 25 décembre 1888 et 27 février 1889. Il a nommé son bureau le 22 janvier 1889.

MM.

GOUIN, président du conseil d'administration de la Société de construction des Baignolles.

GUILLOTIN, entrepreneur de travaux publics, président du Tribunal de commerce de la Seine.

HERSENT, entrepreneur de travaux publics, ancien président de la Société des ingénieurs civils.

JOLLY, ingénieur civil.

LEBOEUF, vice-président de la Société des architectes de France,

LANTRAC, ingénieur de la Compagnie de Fives-Lille.

LE BRUN, ingénieur civil.

LIPPMANN, ingénieur civil.

MARTIN (J.), inspecteur général des ponts et chaussées, professeur à l'École des ponts et chaussées.

NANSOUTY (DE), ingénieur civil, rédacteur en chef du journal *le Génie civil*.

ORGERIES (DES), inspecteur général des ponts et chaussées.

PETSCHÉ, ingénieur en chef des ponts et chaussées, ingénieur en chef de la voie à la Compagnie des chemins de fer de l'Est.

COMITÉ DE PATRONAGE.

PRÉSIDENTS D'HONNEUR.

M. LE PRÉSIDENT DU CONSEIL, MINISTRE DU COMMERCE, DE L'INDUSTRIE ET DES COLONIES.

M. LE MINISTRE DES TRAVAUX PUBLICS.

MEMBRES DU COMITÉ.

MM.

ALPHAND, directeur des travaux de la ville de Paris.

BARABANT, directeur de la Compagnie des chemins de fer de l'Est.

BLAGÉ, directeur de la Compagnie des chemins de fer du Midi.

BOUCHER, ingénieur en chef des travaux de la Compagnie des chemins de fer du Nord.

CELLER, ingénieur en chef du service de la construction à la Compagnie des chemins de fer de l'Est.

CENDRE, directeur des chemins de fer de l'État.

CLERC, directeur des travaux de la Compagnie des chemins de fer de l'Ouest.

COLLIGNON, inspecteur de l'École des ponts et chaussées.

CUVINOT, sénateur.

DUBOIS (Paul), directeur de l'École des beaux-arts.

DUVAL, directeur de la Compagnie de Fives-Lille.

EFFEL, président de la Société des ingénieurs civils.

FARGAUDIE, vice-président du Conseil général des ponts et chaussées.

GARNIER, président de la Société centrale des architectes.

GAY, directeur des chemins de fer au Ministère des travaux publics.

GEOFFROY, ingénieur en chef de la construction à la Compagnie des chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée.

GUILLAIN, directeur des routes, de la navigation et des mines au Ministère des travaux publics.

HATON DE LA GOUPILLIÈRE, directeur de l'École des mines.

HEURTEAU, directeur de la Compagnie des chemins de fer d'Orléans.

JACQUEMART, directeur de l'enseignement technique.

KRANTZ, sénateur.

LAGRANGE, directeur de l'École des ponts et chaussées.

LAVALLEY, sénateur.

LINDER, vice-président du Conseil général des mines.

MARIN, directeur de la Compagnie des chemins de fer de l'Ouest.

MENSIER (le général), directeur du génie au Ministère de la guerre.

MULLER, président du Conseil de perfectionnement de l'École centrale.

MM.

NOBLEMAIRE, directeur de la Compagnie des chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée.

PHILIPPE, directeur de l'hydraulique agricole au Ministère de l'agriculture.

PICARD, président de section au Conseil d'État.

REYMOND, sénateur.

ROUGIER, directeur des travaux de la Compagnie des chemins de fer de Paris à Orléans.

TRÉLAT, directeur de l'École spéciale d'architecture.

CONGRÈS INTERNATIONAL
DES
PROCÉDÉS DE CONSTRUCTION,

TENU À PARIS DU 9 AU 14 SEPTEMBRE 1889.

PROCÈS-VERBAUX SOMMAIRES.

Séance d'ouverture du 9 septembre 1889.

La séance est ouverte à 2 heures et demie sous la présidence de M. EIFFEL, président du Comité d'organisation du Congrès, assisté de MM. MOREAU et RABEL, secrétaires, et de M. GARIEL, rapporteur général des Congrès et conférences de 1889.

M. LE PRÉSIDENT prononce l'allocution suivante :

« MESSIEURS ET CHERS COLLÈGUES,

« J'ai le très grand honneur, aujourd'hui, d'avoir à ouvrir, en qualité de président du Comité d'organisation, un Congrès international dont font partie les ingénieurs les plus éminents, soit comme membres du Comité de patronage, soit comme membres adhérents ; je le dois à la bienveillance de mes collègues du Comité d'organisation et je suis heureux de pouvoir aujourd'hui les en remercier publiquement.

« Le Congrès dont nous faisons partie est dénommé : *Congrès des procédés de construction*. Nous nous sommes tout d'abord demandé ce qui devait être compris sous ce titre très général qui peut être considéré comme embrassant l'art complet de l'ingénieur, puisque par essence l'ingénieur est destiné à construire, c'est-à-dire à donner une existence réelle et à mettre au jour les conceptions qui sont du domaine de son esprit et de ses connaissances. Mais d'autres congrès plus spéciaux, tels que ceux de la mécanique appliquée, des mines et de la métallurgie, de l'utilisation des eaux, des chemins de fer, des travaux maritimes, etc. . . , s'appliquant directement à des branches très importantes de l'art de l'ingénieur, nous avons dû, pour ne pas empiéter sur leur tâche, nous limiter, et il nous a paru que nous pouvions définir le nôtre en disant qu'il comprend l'étude de toutes les questions se rattachant à l'exécution des constructions civiles et des travaux publics. Son but reste donc très général et la plupart des questions qui forment la pratique journalière des ingénieurs des ponts et chaussées, des ingénieurs civils s'occupant de travaux publics,

des architectes même édifiant des bâtiments publics ou privés s'y rattachent naturellement.

« Mais en raison de l'étendue même des faits que nous pouvions embrasser, nous avons été conduits à porter votre attention sur un petit nombre de questions qui vous seront soumises.

« La question *des chaux, des ciments et des mortiers* est une des premières que nous vous ayons indiquée. Elle est d'une importance capitale, puisqu'elle se rattache à la durée de tous les travaux de maçonnerie et notamment à celle des constructions à la mer. Ce n'est qu'il y a bien peu d'années, malgré l'ancienneté considérable d'édifices ayant résisté aux ravages du temps, que les idées des ingénieurs, aidées par les progrès de la chimie moderne et les remarquables travaux de Vicat, sont un peu fixées à ce sujet; mais il reste encore bien des incertitudes, dont des mécomptes récents font foi, non seulement dans les travaux maritimes dont la durée paraît être assez limitée, mais même dans les travaux d'art courants des chemins de fer. Une sérieuse discussion, nous l'espérons, aura lieu à ce sujet, elle est remarquablement préparée par un important mémoire dû à MM. Durand-Claye, Le Chatelier et Bonnamy, avec la collaboration de M. Debray.

« Une seconde question d'un tout autre ordre, mais non moins intéressante, est celle de l'emploi de l'acier dans les constructions. Cette matière nouvelle que nous désignons communément en France sous le nom d'« acier doux », mais pour laquelle nous devrions bien adopter un autre nom indiquant son origine par voie de fusion, est certainement appelée à se voir de plus en plus généraliser dans ses applications à la construction. On peut en effet, avec la plus grande facilité, en faire varier les propriétés de résistance et d'élasticité, et se procurer, suivant les besoins, un métal satisfaisant aux conditions que l'ingénieur a imposées au métallurgiste. De plus, le prix de ce métal, qui est d'une qualité supérieure, tend tous les jours à s'abaisser au-dessous même du prix du fer de qualité très médiocre. Mais malgré tous ces avantages, qui assurent d'une manière définitive son emploi, beaucoup d'ingénieurs, rendus craintifs par les mécomptes qui se sont produits dès l'origine, ou par des phénomènes de rupture qui se manifestent encore parfois sous l'effet des chocs dans des barres paraissant présenter toutes garanties, hésitent encore à en faire toutes les applications qu'il pourrait comporter. Aussi est-il du plus grand intérêt de préciser ses avantages, les ressources qu'il offre à l'ingénieur et les garanties qu'on est en droit de lui demander pour qu'il présente dans la pratique tout le degré de sécurité nécessaire. MM. Hallopeau et Lantrac, d'une part, et M. Considère, de l'autre, vous présentent dans des mémoires distincts et avec une compétence toute particulière, leurs idées à ce sujet, qui sont quelque peu différentes et sur lesquelles vous aurez à vous prononcer. Il n'y a aucun doute que la discussion qu'ils amèneront, et qui est d'un intérêt actuel très considérable, ne donne lieu à des observations et à des conclusions d'une grande utilité pratique.

« Mais pour l'une et l'autre de ces deux questions, il importe d'être fixé sur le *mode d'essai des matériaux* dont on fait l'emploi, et c'est là l'objet de la troisième question.

« Pour les chaux, les ciments et les mortiers, de même que pour les aciers et les fers, il est nécessaire d'avoir, pour les essayer et les comparer, des

modes d'essai uniformes. Pour les premiers et pour les chaux notamment, l'aiguille de Vicat a rendu les plus grands services, mais on a la tendance, surtout depuis l'emploi si répandu des ciments, d'y substituer des épreuves par traction directe qui sont beaucoup plus précises et pour laquelle il serait très utile de fixer une méthode générale; déjà les règles en ce qui concerne les ciments paraissent être fixées, au moins en France, par les cahiers des charges applicables aux fournitures destinées à certains ports, mais, malgré tout, l'ensemble de ces méthodes d'essai reste encore bien incomplet.

« Pour le métal, l'incertitude est plus grande encore en ce qui concerne les épreuves par traction, la longueur et la section des éprouvettes variant dans un même pays, suivant que l'on a affaire à la marine, aux ponts et chaussées ou aux administrations de chemins de fer; les données numériques correspondant à des qualités de métal ayant le même usage différant même notablement. Enfin en ce qui concerne les épreuves par choc ou les essais mécaniques, qui à notre sentiment sont de beaucoup les plus importantes et décèlent mieux que toute autre la véritable qualité de la matière, il n'y a absolument rien de fixe. Pour les rails, il existe bien des modes d'essai répondant à ce desideratum, mais on n'a encore rien déterminé d'analogue en ce qui concerne le métal dont nous nous occupons, c'est-à-dire celui entrant dans les constructions.

« Pour beaucoup d'autres matériaux, les pierres notamment, on reste dans l'incertitude sur leur résistance à la traction, à l'éclatement, à la gélivité, etc., et le constructeur est difficilement fixé sur la possibilité d'utilisation pratique de tels ou tels matériaux que la nature met à sa proximité pour la construction des ouvrages d'art.

« J'espère que cette question d'essais, sur laquelle il n'y a pas de rapport spécial rédigé à l'avance, pourra être utilement discutée au Congrès, au moins pour une catégorie particulière de matériaux, et une telle discussion, même restreinte, serait de la plus grande utilité.

« Les grands travaux récemment exécutés en France et à l'étranger, soit pour le creusement des canaux, soit pour l'approfondissement des ports, soit pour l'établissement de grandes tranchées de chemin de fer, ont donné lieu à des procédés nouveaux que votre Comité serait heureux de voir développés par quelques exemples devant le Congrès, où serait exposé l'emploi des derniers perfectionnements apportés dans les excavateurs et les dragues avec leur complément naturel, celui des modes de transport des déblais, soit par des procédés mécaniques, soit par l'utilisation de l'eau comme véhicule. L'usage des nouvelles perforatrices et des explosifs pourra donner lieu à des communications intéressantes que nous sollicitons.

« Une cinquième question d'un intérêt plus général sera, nous l'espérons, utilement développée devant vous, c'est celle des *procédés de fondations*, qui a fait de si grands progrès dans ces dernières années.

« Grâce à l'emploi de l'air comprimé, les fondations, qui étaient autrefois un des écueils de la pratique de l'ingénieur, sont devenues, pour les cas les plus difficiles et à moins d'une profondeur dépassant 30 mètres, d'une application courante; de telles fondations ne présentent aucun obstacle sérieux, et ne sont plus l'objet d'une préoccupation pour l'ingénieur chargé de diriger le travail. La quantité de fer restant perdue dans les fondations devient chaque

jour moindre; de même la surface des caissons pour lesquels les fondations sont constituées peut croître dans des proportions que l'on n'aurait pas soupçonnées il y a quelques années. Le domaine de ces fondations peut même s'accroître grâce à l'ingénieux procédé de la congélation des terrains avoisinants; l'emploi des blocs en béton descendus jusqu'au terrain solide avec ou sans air comprimé, suivant que l'on a ou non à craindre l'invasion des eaux, et dont il a été fait de si belles applications dans nos ports maritimes, a rendu les plus grands services en abaissant le prix de revient du mètre cube des fondations. Enfin dans certains cas particuliers, les pieux à vis sont venus offrir une solution plus rapide et surtout plus économique que toute autre.

« MM. Hersent, de Préauveau et Terrier vous soumettront un rapport où ils résumeront les résultats de leur longue expérience sur ces travaux où leur compétence est reconnue de tous.

« Comme sixième et septième questions inscrites à notre programme nous avons fait figurer la question de la *construction des tunnels* et celle des *ponts et viaducs en maçonnerie*.

« Depuis les grands tunnels du mont Cenis et des Pyrénées, bien des progrès ont été faits et se sont réalisés au Saint-Gothard et à l'Arlberg. D'autres encore sont projetés pour les grands tunnels dont il est question en ce moment, notamment celui du Simplon, et nous espérons qu'il nous sera fait quelque communication à ce sujet. Il en est de même pour les grands travaux d'art en maçonnerie dont il a été récemment établi par nos ingénieurs des ponts et chaussées de si remarquables spécimens, soit comme viaducs, soit comme ponts à grande portée.

« Enfin, comme dernière question à traiter, il vous sera soumis un mémoire sur les *constructions métalliques* par MM. Contamin et Fouquet avec ma faible part de collaboration. Je n'ai pas besoin de vous dire quel rôle important jouent actuellement les constructions métalliques dans l'art de l'ingénieur; ce rôle deviendra de plus en plus prépondérant grâce à l'abaissement de leur prix de revient, au degré de sécurité que présentent leurs méthodes de calculs et enfin à l'amélioration des procédés de mise en place. La rapidité et la facilité de leur exécution sur place leur assureront, dans nombre de cas, la préférence sur tout autre système de construction; on peut d'autant plus y compter que d'après les exemples des Américains nous sommes loin d'avoir réalisé tous les progrès possibles sous ce double rapport, et, d'autre part, que la difficulté de se procurer de la main-d'œuvre sur place augmente tous les jours.

« En ce qui concerne les ouvrages tout à fait spéciaux où tout autre mode de construction est irréalisable, le champ de ceux qui nous sont accessibles s'élargit chaque jour davantage, le pont du Forth et la galerie des machines de l'Exposition en sont un exemple; quant aux piles métalliques, il n'y a aucun doute que l'on puisse augmenter leur hauteur autant qu'il pourra être nécessaire.

« Voilà, Messieurs et chers collègues, de bien vastes sujets d'études; nous ne pouvons espérer, dans le court espace de temps que nous devons leur consacrer, et malgré toute votre compétence, les approfondir assez pour qu'il ressorte de nos discussions des conclusions définitives, mais nous devons nous estimer heureux si, sur quelques points spéciaux, nous pouvons fournir des

aperçus théoriques et des données d'expérience qui complètent, pour chacun de nous, notre bagage de connaissances et nous aident à réaliser quelques améliorations dans l'art des constructions, et à coopérer dans la mesure de nos forces et par la pratique de notre belle profession d'ingénieur au progrès général de l'humanité.»

M. LE PRÉSIDENT annonce que le nombre des personnes qui ont adhéré au Congrès est de 202 ; il espère que ce nombre s'accroîtra encore.

Il ajoute que les gouvernements étrangers ont envoyé au Congrès un certain nombre de délégués dont il donne la liste par ordre d'inscription :

Italie : MM. BEROLLATTI, RUBINI et BUSIRI.

Principauté de Monaco : M. JANTY.

Grèce : M. Ernest VLASTO.

Brésil : M. Fernandès PINHEIRO.

Mexique : MM. LUIS SALAZAR, ANTONIO-M. ANZA, MANUEL RIVERA.

Chili : M. Victor PRETOT FREIRE.

République Argentine : M. CABIRAU.

Norvège : M. C.-W. TALEN.

Belgique : MM. BREITHOF, CHAUDRON, HANARTE, HENRI MORTEAUX.

États-Unis : MM. William WATSON.

Portugal : M. FRANCISCO SINIGES MARGIOCHI.

Russie : M. BELELUBSKY.

La Société du travail professionnel a également envoyé un délégué, M. GAYDA.

M. LE PRÉSIDENT fait connaître que plusieurs membres se sont excusés de ne pouvoir assister aux séances du Congrès. Il cite notamment M. Bonnami, qui devait faire des communications très intéressantes sur les ciments, mais que l'état de sa santé empêche de se présenter. M. Muller, vice-président, qui est également très souffrant, et M. de Fontviollant, secrétaire, qui est retenu par son service militaire.

M. EIFFEL déclare en terminant qu'il a satisfait à ses obligations de président du comité d'organisation, en faisant un exposé sommaire des travaux qui doivent occuper le Congrès et en indiquant les résultats obtenus par ce comité au point de vue des adhérents, mais pour aborder utilement le programme qu'il vient de tracer, il est nécessaire de nommer un bureau définitif comprenant un président, des vice-présidents, des secrétaires. Il émet l'avis de désigner également parmi les adhérents étrangers un certain nombre de personnes qui n'avaient pu figurer dans le comité d'organisation.

M. GABRIEL propose le maintien des membres du bureau du comité d'organisation que des motifs particuliers n'ont pas obligés à se retirer, c'est-à-dire la nomination de M. EIFFEL comme président, de MM. BOUTILLIER et CLERC comme vice-présidents, et de MM. MORREAU et RABEL comme secrétaires.

Cette proposition, mise aux voix, est adoptée à l'unanimité.

M. EIFFEL remercie ses collègues, en son nom et au nom des autres membres du bureau, de cette marque d'estime à laquelle ils sont très sensibles.

Il propose ensuite de compléter la liste des membres du bureau par la nomination d'un vice-président et d'un secrétaire français, en remplacement

de MM. Muller et de Fontviollant, puis d'un certain nombre de vice-présidents et secrétaires étrangers.

Comme vice-président français, M. LE PRÉSIDENT met en avant le nom de M. LE BLANC, inspecteur général des ponts et chaussées. Cette proposition est adoptée à l'unanimité.

Sont ensuite élus comme vice-présidents étrangers :

MM. GARTNER (Autriche).
MORELLE (Belgique).
WATSON (États-Unis).
BEROLLATTI (Italie).
DE MATTOS (Portugal).
BELELUBSKY (Russie).

M. PETIT, ingénieur civil, est nommé secrétaire en remplacement de M. de Fontviollant, et M. VLASTO (Grèce) est désigné comme secrétaire étranger.

M. LE PRÉSIDENT annonce que les séances ultérieures du Congrès auront lieu au Conservatoire des arts et métiers; il propose de se réunir demain matin mardi à 9 heures et d'arrêter l'ordre du jour du Congrès. La première question traitée par le Congrès pourrait être : *l'Emploi de l'acier dans les constructions*.

M. LE PRÉSIDENT donne ensuite quelques renseignements sur les communications qui doivent être faites au Congrès et qu'il désirerait voir s'étendre.

La séance est levée à 3 heures et quart.

Séance du mardi matin 10 septembre 1889.

Le bureau est formé de : MM. EIFFEL, *président*; CLERC, *vice-président*; BELELUBSKY, *vice-président étranger*; RABEL, MOREAU, PETIT, *secrétaires*.

La séance est ouverte à 9 heures et quart.

M. RABEL, secrétaire, donne lecture du procès-verbal de la séance d'inauguration, qui est adopté à l'unanimité.

M. LE PRÉSIDENT donne ensuite la parole à M. Lantrac, ingénieur en chef du service des ponts à la Compagnie de Fives-Lille.

M. LANTRAC présente au Congrès son étude sur l'emploi de l'acier dans les constructions et développe le rapport qu'il a rédigé avec M. Hallopeau et inséré dans les rapports sommaires distribués aux membres du Congrès. Ce travail présente dans son ensemble un véritable programme aux ingénieurs et aux constructeurs pour l'emploi de l'acier dans les constructions, insistant tout particulièrement :

- 1° Sur les propriétés de l'acier de construction comparées à celles du fer puddlé au point de vue de la composition;
- 2° Sur la nature de l'acier dont l'emploi doit être préféré pour les constructions ordinaires;

- 3° Sur la détermination du coefficient pratique de résistance à adopter dans les calculs statiques des différentes parties des ouvrages;
- 4° Sur les règles générales à observer dans l'étude des projets d'ouvrages en acier par rapport à celles admises pour les ouvrages en fer;
- 5° Sur les essais à faire subir à l'acier pour s'assurer de la qualité;
- 6° Sur les procédés de mise en œuvre;
- 7° Sur la production commerciale de l'acier.

Après avoir développé en détail chacun des chapitres de son mémoire, M. Lantrac insiste d'une façon toute spéciale sur les procédés de mise en œuvre qui comprennent : le dressage des fers et des tôles, le perçage et le découpage, le forgeage, l'assemblage et le rivetage, et le montage sur place.

Dans ce rapport, où M. Lantrac a eu pour but d'indiquer les questions qui pourraient être discutées utilement au Congrès, il conclut en donnant la préférence, dans l'état actuel de la fabrication des métaux ferreux, au fer fondu obtenu sur sole basique à l'exclusion du convertisseur, présentant une résistance à la rupture de 42 à 44 kilogrammes par millimètre carré et un allongement de 25 à 28 p. 100 sur des éprouvettes de 100 millimètres pour les ponts de petite ouverture et d'ouverture moyenne, l'acier d'une plus grande résistance étant réservé pour les ouvertures d'importance supérieure.

M. CONSIDÈRE, ingénieur en chef des ponts et chaussées, donne connaissance de sa note sur l'emploi de l'acier dans les constructions, note imprimée et qui a été distribuée à tous les membres du Congrès, et insiste particulièrement sur les points suivants :

L'emploi d'un acier ayant 55 kilogrammes de résistance permet de réaliser une économie de poids par rapport à l'acier à 44 kilogrammes, qui est de 14 p. 100 environ pour les ouvrages de très petite portée, et de 27 p. 100 pour les ouvrages d'une portée voisine de 160 mètres. Elle dépasse de beaucoup ce chiffre pour les portées plus grandes.

Les pièces qui figurent dans les constructions rivées étant toutes percées et se rompant dans les sections dangereuses, le degré de sécurité qu'elles donnent au point de vue de la faculté de supporter sans rupture des chocs ou des déformations est mesuré par les allongements que la longueur entière des barres peut prendre avant la rupture de leurs sections dangereuses.

Or l'acier à 55 kilogrammes avec trous forés ou alésés est très supérieur, à ce double point de vue, au fer simplement poinçonné que l'on juge cependant suffisant. Il résistera beaucoup mieux aux chocs résultant d'un déraillement, par exemple.

M. CONSIDÈRE a demandé l'avis d'un grand nombre d'ingénieurs et de métallurgistes sur la préférence à donner à l'acier doux ou extra-doux. Presque tous étaient disposés *a priori* à préférer le second par suite des usages qu'en fait la marine; mais après examen, tous, sauf deux, ont conclu qu'en présence des avantages considérables que l'emploi d'un acier à 55 kilogrammes présente surtout pour les grands ouvrages, il y a lieu de l'employer en prenant les précautions généralement acceptées et, notamment, en forant ou alésant les trous de rivets.

Les directeurs ou ingénieurs de deux des plus importants établissements métallurgiques de France ont ajouté que ce métal peut être produit aussi

régulièrement que l'acier à 44 kilogrammes, soit par les anciens procédés, soit dans des appareils basiques, et peut être livré au même prix.

M. HALLOPEAU, ingénieur civil, professeur à l'École centrale des arts et manufactures, après avoir annoncé qu'il procède en ce moment, sur la demande de M. Geoffroy, ingénieur en chef du service de la construction à la Compagnie des chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée, à une nouvelle série d'essais comparatifs de pliage sur champ sur des barrettes de fer fondu, les unes percées au foret, les autres poinçonnées, fait remarquer, d'après de nombreux résultats d'expériences déjà recueillis, que les aciers extra-doux, c'est-à-dire les fers fondus, doivent être employés de préférence. Avec les fers fondus, le constructeur n'a pas à se préoccuper ni du mode de perçage ni de la trempe; les fers fondus peuvent être poinçonnés sans autre précaution qu'un faible alésage à la main. De plus les tranches des barres méplates peuvent dans ce cas être arasées au burin.

Les fers fondus sont maintenant classés en deux catégories, savoir :

Les fers fondus soudables qui doivent être employés pour l'ossature des ouvrages : ponts, charpentes, réservoirs ou gazomètres.

Les fers fondus soudants, qui sont propres tout spécialement à la fabrication des rivets.

Les fers fondus, comme les aciers, comme les fers misés d'ailleurs, sont classés d'après la résistance à la limite élastique, la résistance à la rupture, et l'allongement pouvant se produire à cette dernière limite.

Alors que le fer misé essayé sur des éprouvettes de 0 m. 100 ne résisterait en long qu'à 32 kilogrammes et 6 p. 100, et en travers à 26 kilogrammes et 3 p. 100, le fer fondu donne en long 24 kilogrammes à la limite élastique, 40 à 44 kilogrammes à la rupture avec 25 p. 100 d'allongement, puis en travers, 22 kilogrammes à la limite élastique, 40 à 44 kilogrammes à la rupture avec 18 p. 100 d'allongement.

Ces résultats expliquent le succès obtenu depuis ces dernières années par l'emploi du fer fondu dans les constructions métalliques. Le fer fondu jouit, en effet, de toutes les qualités d'un fer misé de qualité supérieure et peut être employé maintenant en toute sécurité.

M. Hallopeau passe en revue les conditions adoptées pour la construction de plusieurs grands ouvrages, tels que le pont du Forth, les ponts roumains sur le Danube, la charpente du Palais des Machines à l'Exposition de 1889, le pont du rio de Malecco, le pont de Gagnières (Gard), puis il signale l'emploi du fer fondu pour la construction des chaudières de locomotives, des réservoirs, des gazomètres.

En résumé, il fait remarquer qu'en adoptant un coefficient supérieur à 45 kilogrammes si l'on constate une économie au point de vue du poids, il y a augmentation dans le prix de la matière et dans le prix de la main-d'œuvre puisqu'il faut aléser les trous. Il faut de plus faire une prise d'essai sur toutes les barres, les aciers à 45 kilogrammes et au-dessus étant susceptibles de devenir durs et fragiles, s'ils sont trempés pendant le refroidissement au sortir du laminage.

De ce fait l'acier dur, qualité rails, ne peut convenir. La rupture d'un rail dans les voies ne peut entraîner aucune conséquence fâcheuse. Il n'en serait pas de même de la rupture d'une pièce de pont, ou même d'un simple

gousset. Il faut qu'en cas de déraillement ces pièces ploient, qu'elles se déforment tout au plus; à tout prix il faut en éviter la rupture!

Enfin il faut que le fer fondu supporte les opérations de poinçonnage et de brochage pour être admis dans la pratique courante des ateliers de construction, et ce sont là des conditions auxquelles se prêtent mal, et souvent même pas du tout, les aciers durs à grande résistance (54 kilogrammes).

M. Hallopeau termine en constatant avec satisfaction les progrès obtenus depuis 1885 dans l'application des fers fondus, et surtout depuis le mois de septembre 1887. A cette époque, lors du Congrès international des chemins de fer à Milan, il a été fait certaines réserves quant aux précautions à prendre dans la fabrication des aciers doux (fers doux) et dans la construction proprement dite.

Ces dernières appréhensions ont disparu maintenant.

M. LE PRÉSIDENT, après avoir remercié M. Hallopeau de sa communication, propose de lever la séance. Mais comme les conclusions diverses émises par les différents auteurs des communications que nous venons de résumer peuvent donner lieu à une discussion fort intéressante, M. le Président propose de consacrer à cette discussion une séance supplémentaire, qui est fixée au même jour à 2 heures de l'après-midi.

La séance est levée à 11 heures et demie.

Séance du mardi soir 10 septembre 1889.

La séance est ouverte à 2 heures de l'après-midi, le bureau formé comprend :

MM. CLERC, *président*; BELELUBSKY, William WATSON, *vice-présidents étrangers*; RABEL, PETIT, *secrétaires*.

M. CLERC, président, annonce qu'après l'exposé entendu le matin même, la discussion est ouverte sur les différents points qui ont entraîné, dans les conclusions émises par les auteurs de communications, quelques contradictions.

M. GODFERNAUX, ingénieur de la Société de construction des Batignolles, conteste l'assertion émise par M. Considère, lorsqu'il a dit que le poinçonnage diminue la résistance des aciers extra-doux et doux de 20 à 23 p. 100. Dans les expériences qui ont donné ces résultats, on a, croit-il, essayé par traction des barres étroites, percées soit d'un trou foré, soit d'un trou poinçonné, et l'on a divisé l'effort nécessaire pour produire la rupture par la section nette de la barre essayée.

Dans une construction métallique le rapport de la section des trous de rivets rencontrés dans une coupe transversale quelconque à la section brute de la pièce considérée est bien moindre que dans les expériences ci-dessus.

Les appareils d'essai ne permettent pas d'expérimenter des pièces de forte section analogues à celles qui composent les constructions métalliques; on a essayé un grand nombre de barres d'acier doux de 60 sur 10, dans lesquelles on avait percé, exactement dans l'axe des barres, des trous par poinçonnage

et par forage, et l'on a trouvé que lorsque le trou poinçonné avait 0 m. 0205 de diamètre et le trou foré 0 m. 0271, la rupture avait lieu tantôt à l'endroit du trou foré, tantôt à l'endroit du trou poinçonné, et que, par conséquent, pour ces diamètres de trous, la résistance était la même pour les deux modes de perçage. On en a conclu que, dans le calcul de la section nette d'une pièce composée, on pouvait remplacer le diamètre d'un trou poinçonné à 0 m. 0205 par un trou fictif foré de 0 m. 027, et qu'on tiendrait ainsi compte de l'altération produite par le poinçonnage dans les pièces d'acier.

C'est pourquoi l'on a pu dire dans la note de MM. Eiffel, Contamin et Fouquet (note qui a été remise à tous les membres du Congrès), que l'altération produite par le poinçonnage correspond pour l'acier à un surcroît de travail du métal de 32 p. 1,000, soit environ 3 p. 100 et non 20 à 23 p. 100.

On a opéré aussi sur des barres de largeurs différentes variant de 0 m. 35 à 0 m. 60 en poinçonnant, dans l'axe de la barre, un trou et en forant un autre trou plus grand de 0 m. 002 que le trou poinçonné. Le trou poinçonné a ensuite été alésé au diamètre du trou foré et la rupture s'est produite indistinctement à l'endroit du trou foré ou à l'endroit du trou poinçonné et alésé, ce qui semble montrer que l'alésage à 0 m. 002 suffit pour faire disparaître les effets du poinçonnage.

À propos de la précision du poinçonnage qui est visée dans la note de MM. Hallopeau et Lantrac comparée à la précision du forage, M. Godfernaux ajoute que l'expérience lui a montré constamment que le poinçonnage pratiqué par une bonne méthode de travail donne dans la position des trous une plus grande exactitude que le forage, et exige par suite un alésage intérieur moindre.

M. CONSIDÈRE, en réponse à M. Hallopeau, fait remarquer qu'il serait utile de savoir si les trous percés dans les cornières et dans les autres pièces dont on a indiqué en dernier lieu les essais au choc, étaient percés dans les fibres extrêmes soumises à la plus grande extension. Il fait remarquer que si les trous se rapprochent de l'axe neutre, ils ne peuvent exercer une grande influence sur la résistance à la rupture par choc.

Il a répondu d'avance à l'objection tirée de la possibilité d'un déraillement, en démontrant par des chiffres précis que l'acier à 55 kilogrammes avec trous alésés résiste bien mieux aux chocs que le fer poinçonné, jugé jusqu'à ce jour comme très suffisant.

M. BELELUBSKY, vice-président étranger, professeur à l'École impériale des voies de Saint-Petersbourg, entretient les membres du Congrès des différents essais auxquels donne lieu l'emploi du métal destiné à la construction en Russie. Il ressort de son exposé que le fer fondu (acier doux) est d'un emploi généralement admis aujourd'hui par les ingénieurs russes, et cite à l'appui de cette assertion les différents ponts de chemins de fer construits en Russie dans ces dernières années, ainsi que ceux qui ont été édifiés pour le chemin de fer transcaspien, qui sont tous formés de fer fondu d'une résistance de 40 à 45 kilogrammes. Il termine en disant qu'en Russie le coefficient de sécurité adopté pour le fer puddlé est de 7 kilogr. 25 pour les ouvrages présentant des travées de 15 mètres de portée, mais en faisant observer que ce coefficient se rapporte à la section nette des pièces, déduction faite des trous.

M. CLERC, vice-président, fait remarquer que ce coefficient de 7 kilogr. 25 correspond à peu de chose près au coefficient de 6 kilogrammes adopté en France, où l'on compte la section totale de la pièce en supposant les trous de rivets pleins.

M. BELELUBSKY ajoute qu'en Russie, pour les ponts de plus de 100 mètres d'ouverture, le coefficient de sécurité pour le fer puddlé est porté à 8 kilogr. 250. Il termine en disant qu'en Russie les ingénieurs tendent à employer les fers fondus à moindre résistance encore.

M. CONSIDÈRE, relativement à la communication de M. Belebubsky, lit des passages de lettres d'ingénieurs qui déclarent que les ruptures d'acier qu'ils ont constatées ont toujours eu lieu dans les pièces fortement déformées et jamais dans celles qui ont été simplement coupées, dressées, percées et assemblées. Sa propre expérience est conforme à cette déclaration en ce qui concerne les aciers produits depuis plusieurs années en France.

M. LANTRAC répond aux conclusions présentées par M. Considère dans la première séance de ce jour sur la qualité de l'acier à employer.

Il constate que le désaccord entre eux porte à peu près exclusivement sur ce point.

Il rappelle que M. Considère justifie la préférence qu'il donne à l'acier résistant à 55 kilogrammes par les raisons suivantes : le prix de cette qualité d'acier n'est pas plus élevé que celui d'une résistance moindre. Il procure, pour des travées ayant jusqu'à 160 mètres d'ouverture, une économie de poids de 14.6 à 27.6 sur l'acier à 44 kilogrammes. Il présente les mêmes garanties de sécurité, et les plus grandes déformations élastiques auxquelles il donne lieu par suite de l'accroissement de l'effort limite qu'on peut lui faire supporter sont sans inconvénients.

M. Lantrac admet que, dans une même forge et pour un même procédé de fabrication, les prix sont à peu près constants pour les différentes résistances; mais d'une forge à l'autre il a eu occasion de remarquer une différence de prix notable en faveur des forges de l'Est et du Nord, qui laminent l'acier de construction obtenu par les procédés de déphosphoration. Cette différence doit, suivant lui, s'accroître après que le brevet relatif à ce procédé sera tombé dans le domaine public et que la concurrence sera établie sur des bases plus larges.

Or il a toujours vu ces forges conseiller l'emploi des aciers de 42 et 44 kilogrammes de résistance, et il a eu occasion de constater qu'elles hésitent à garantir pour des aciers présentant une résistance supérieure à 45 kilogrammes de bonnes conditions de malléabilité et de régularité de qualité.

M. Lantrac signale simplement ce fait sans chercher à en expliquer les causes.

Il rappelle, que d'après les indications de M. Hallopeau, le viaduc de Maléco, qui a été construit par le Creusot, a été exécuté avec de l'acier d'une résistance de 42 à 45 kilogrammes, et il en conclut que si cette usine, qui fabrique toutes sortes d'aciers de construction, a cru devoir conseiller en pareil cas l'emploi d'un métal de cette nature, c'est évidemment qu'elle a jugé qu'il était le mieux approprié à cet usage et plus avantageux à tous les points de vue.

En ce qui concerne le deuxième point, M. Lantrac pense que l'économie de poids que signale M. Considère est exagérée.

Il pense qu'elle ne peut être déterminée que par comparaison de projets complets, établis dans l'un et l'autre cas.

La formule ne tient pas compte, en effet, que toutes les parties d'une poutre ne peuvent être soumises au maximum de l'effort limite admis. Il y a des parties constantes à peu près irréductibles.

Il fait ressortir que pour un métal dont la valeur est de 20 francs par 100 kilogrammes, une économie de poids de 10 p. 100 ne conduirait guère qu'à une réduction de prix de 2 francs par 100 kilogrammes sur la construction en dehors des transports.

Relativement au troisième point, il croit que l'avis général est que l'acier à 44 kilogrammes se produit avec une régularité de qualité plus grande que celui d'une résistance plus élevée, et qu'il devient moins facilement fragile que ce dernier. Il ajoute que la communication que vient de faire M. Belubsky et l'exemple du viaduc de Malecco confirment sa manière de voir.

Cette condition de régularité dans la qualité est très importante pour le constructeur, le contrôle par des essais ne donne de garanties absolues que lorsqu'il est fait avec un grand déploiement de précautions, ce qui ne peut pas toujours avoir lieu dans la pratique lorsqu'il s'agit d'ouvrages d'importance secondaire.

Enfin relativement à l'accroissement de flèche, M. Lantrac dit qu'une construction trop flexible présente des inconvénients, notamment pour l'entretien de la voie sur les ponts de chemins de fer et la conservation de la rive; que d'ailleurs on ne peut songer à employer des profils trop minces, en raison des causes diverses de destruction qui agissent sur les ouvrages.

Relativement à la détermination du coefficient de résistance adopté dans les calculs de stabilité, M. Lantrac fait observer qu'il est de règle de calculer à part les pièces exclusivement soumises à des efforts de compression, et que les formules qu'on emploie dans ce cas tiennent compte du rapport qui existe entre la longueur libre de la pièce et le moment d'inertie de leur section; mais que dans les pièces soumises à la flexion on admet généralement que la membrure comprimée et la membrure étendue se trouvent dans des conditions de résistance aussi favorables l'une que l'autre, en raison de ce que le rapport de la longueur libre entre les points d'entretoisement et la résistance transversale de la membrure comprimée permet cette assimilation.

En ce qui concerne la fixation de ce coefficient limite de résistance à adopter, M. Lantrac dit qu'il vient de prendre connaissance d'une note relative à la construction sur l'Oise d'un viaduc de 100 mètres de portée, note qui émane de M. Clerc, directeur des travaux à la Compagnie de l'Ouest, qui préside la séance; il met en évidence qu'il serait rationnel que le coefficient de résistance limite ne fût pas le même pour les portées moyennes et les grandes portées.

Cette manière de voir que M. Lantrac partage entièrement est justifiée par ce fait, qu'une travée de plusieurs centaines de mètres d'ouverture ne peut jamais recevoir sur toute sa longueur la surcharge d'épreuve, tandis qu'au contraire, pour les travées de portée moyenne, cette surcharge est fréquemment dépassée.

Ces considérations peuvent être ajoutées à celles développées dans le rapport sur ce point.

Il ne voit pas pourquoi M. Considère fait entrer l'influence du flambement dans la détermination de ce coefficient général à adopter.

En réponse à M. Lantrac, M. CONSIDÈRE répète qu'il est convaincu que toutes les aciéries peuvent faire l'acier à 55 kilogrammes aussi bien que celui à 45. Les usines de déphosphoration produisant à très bas prix des rails qui ont une résistance de 60 à 70 kilogrammes, aussi bien que le métal extra-doux, on ne s'expliquerait pas bien que ces mêmes aciéries rencontrassent des difficultés sérieuses à produire l'acier intermédiaire; du reste c'est là une question de faits qui pourra être éclaircie prochainement.

On ne sait pas quelles sont, dans la charpente des ponts, les parties dont le poids est irréductible, si l'on emploie un métal plus résistant. Les platelages n'ont pas été compris dans le calcul des économies de poids.

L'économie que procure l'emploi d'un métal plus résistant ne porte pas seulement sur l'acquisition du métal, mais aussi sur la main-d'œuvre, car si l'on réduit de 25 p. 100 par exemple le poids d'une semelle, on diminuera soit sa largeur, soit le nombre des feuilles dont elle sera formée, et la main-d'œuvre sera réduite en conséquence.

A poids égal, il n'y a qu'une différence inappréciable entre la dépense de main-d'œuvre qu'exigent les aciers à 45 et à 55 kilogrammes de résistance, si l'on admet qu'ils doivent également être alésés après poinçonnage.

L'augmentation des flèches résultant des propositions de M. Considère pour l'emploi de l'acier serait de 30 p. 100, ainsi que cela résulte de son rapport, et non de 100 p. 100 comme l'a avancé M. Lantrac. On ne voit pas quels graves inconvénients peuvent résulter de ce fait que la flèche d'un ouvrage passera de trois ou quatre centimètres par exemple. Du reste, la flèche serait précisément la même si l'on employait l'acier extra-doux avec le rapport d'efforts $\frac{8.5}{6} = 1.42$ que propose M. Lantrac, et qui est sensiblement le même que celui de 1.44 que propose M. Considère.

La proposition de M. Considère diffère donc de celle de M. Lantrac non par une augmentation de flexibilité, mais par une diminution du travail demandé à l'acier, comparé à la résistance dont il est capable; M. Considère demande relativement beaucoup moins à ce métal.

L'objection tirée des avaries que les pièces peuvent éprouver pendant le transport semble tomber devant ce fait que des barrettes prélevées en long et surtout en travers dans les pièces de fer poinçonnées simplement se brisent pour une flexion beaucoup moindre que des barrettes identiques d'acier à 55 kilogrammes percées au foret ou alésées après poinçonnage.

En réponse à M. Godfernaux, M. Considère fait remarquer qu'on peut décomposer une barre percée de trous de rivets affaiblissant sa section de 15 à 20 p. 100 en bandes parallèles, ne comprenant qu'une seule ligne de trous produisant le même affaiblissement de 15 à 20 p. 100. Or, si l'on se reporte soit à ses expériences, soit à celles de M. Barba, on trouve, par exemple, que des barrettes d'un acier ayant une résistance normale de 51 kilogr. 5 et percées de trous poinçonnés réduisant leurs sections de 19 à 15 p. 100, ont éprouvé des diminutions de résistance de 30 p. 100.

Du reste, les résultats d'expérience indiqués par M. Godfernaux, interprétés de la même façon, conduiraient eux-mêmes à constater une altération de 17 p. 100, et donneraient bien davantage s'ils avaient porté sur des barres plus larges, car il faut remarquer que les trous y réduiraient la section de 33 p. 0/0, ce qui est excessif et non conforme à la pratique des constructions pour les barres de cette proportion; M. Barba n'a trouvé qu'une perte de 19 p. 100, ce qui est bien d'accord avec les résultats obtenus par M. Godfernaux.

En dernier lieu M. LANTRAC fait remarquer que l'avis qu'il a émis sur les accroissements de flèches était basé sur ce que, dans sa pensée, l'emploi de l'acier à 55 kilogrammes devait conduire à l'adoption d'un coefficient de résistance limite élevé, mais M. Considère ayant fait observer que celui qu'il proposait devant être égal à celui admis pour le fer ordinaire dans le rapport de 1 à 1.44, c'est-à-dire un coefficient de 6 kilogrammes pour le fer, on devrait substituer celui de 8.6 pour l'acier à 55 kilogrammes; son objection sur ce point tombe évidemment.

M. CLERC, vice-président, demande après cette intéressante discussion si le Congrès veut émettre un avis sur le sujet qui vient d'être traité.

Le Congrès consulté n'émet pas d'avis.

La séance est levée à 4 heures trois quarts.

Séance du mercredi matin 11 septembre 1889.

La séance est ouverte à 9 heures et quart sous la présidence de M. EIFFEL.

M. LE PRÉSIDENT annonce qu'il a reçu, de la Société géographique de Lisbonne, un grand nombre d'ouvrages intéressants destinés au Congrès et propose d'en remercier la Société géographique de Lisbonne.

M. le Président, obligé de se retirer, propose de remettre la présidence à M. Durand-Claye, ingénieur en chef des ponts et chaussées, professeur et directeur du laboratoire de l'École des ponts et chaussées, dont la compétence toute spéciale dans le sujet qui va être traité en séance est connue de tous.

Cette proposition est accueillie à l'unanimité et le bureau se trouve ainsi formé :

MM. DURAND-CLAYE, *président*; BELELUBSKY et William WATSON, *vice-présidents étrangers*; RABEL et PETIT, *secrétaires*.

M. DURAND-CLAYE rappelle en quelques mots les principaux passages du rapport qu'il a préparé pour le Congrès, sur les chaux, ciments et mortiers, en collaboration avec MM. Le Chatelier, Bonnamy et Debray. Ce rapport très complet, dont tous les membres du Congrès ont reçu un exemplaire, présente d'abord une classification générale des produits naturels et artificiels, puis s'étend sur les procédés de fabrication des chaux et des ciments, surtout des ciments Portland.

L'emploi des chaux et ciments à l'état de pâte pure et de mortier fait aussi l'objet d'une mention spéciale. Puis M. Durand-Claye passe aux essais des

chaux et ciments tant au point de vue pratique sur les chantiers, qu'au point de vue purement technique dans les laboratoires d'essais spéciaux. Enfin il aborde le côté de la théorie pure, mais ne croit pas devoir insister sur ce sujet qui semble étranger à l'objet du Congrès.

Sa communication terminée, M. Durand-Claye exprime aux membres du Congrès ses regrets de ne pouvoir donner la parole à M. Bonnami qui s'était fait inscrire pour discuter au Congrès ses travaux sur les données positives des produits hydrauliques dans l'hypothèse des expansifs, mais que son état de santé ne permet pas de venir exposer au Congrès.

M. Prévost père, délégué par M. Bonnami, donne lecture à l'assemblée d'un mémoire de ce dernier sur le sujet que nous venons de signaler.

Dans ses recherches sur les produits hydrauliques, M. Bonnami a trouvé que pour en déterminer la valeur en ce qui concerne l'avenir, il faut connaître non seulement leur résistance par les essais pratiqués ordinairement, mais encore leur indice de porosité, c'est-à-dire le rapport des vides aux pleins qu'ils présentent, car en définitive la surface de contact avec les agents destructeurs sera d'autant plus grande que l'indice de porosité sera plus grand.

M. Bonnami expose en second lieu sa théorie des expansifs.

Des expériences faites sur la résistance des produits hydrauliques en eau de mer, il résulte que le plus sûr moyen d'éviter la décomposition des mortiers est d'empêcher qu'ils ne soient pénétrés par l'eau magnésienne; or, la décomposition qui s'opère sous l'action du sulfate de magnésie, qui se transforme en sulfate de chaux en abandonnant la magnésie, est la même que celle qui s'opère en eau douce : la chaux est séparée de la silice et de l'alumine, mais la décomposition qui dans ce dernier cas n'est pas activée par une affinité chimique est beaucoup plus lente.

Des observations nombreuses prouvent, indépendamment de toute théorie sur la cuisson et sur la prise, que tout produit hydraulique sortant des fours renferme une certaine quantité de matières (expansifs) susceptibles de travailler sous l'action de l'eau en développant de la chaleur, comme la chaux anhydre.

Tout produit hydraulique doit être considéré au moment de l'emploi comme formé de deux parties :

- 1° Matière active donnant naissance à la force de cohésion P;
- 2° Matière expansive donnant naissance à la force de désagrégation Q.

La relation qui existe entre $\frac{P}{Q}$, la cuisson, l'indice d'hydraulicité, le blutage, le temps, la proportion d'eau disponible, permet d'expliquer simplement :

- 1° Pourquoi la résistance d'un produit augmente d'abord avec le temps de silo et diminue ensuite, si ce temps est trop prolongé, pour tendre vers une pouzzolane si son indice est assez élevé (ce fait observé journellement en pratique détruit complètement la théorie du mélange);
- 2° Le phénomène présenté par les produits dits *chaux limites*;
- 3° Pourquoi par une surcuisson, on transforme en chaux limite un calcaire à indice moyen (accélération de prise par surcuisson);
- 4° Comment il se fait que par une surcuisson on transforme une chaux limite en Portland;

5° Pourquoi la surcuisson ralentit la prise des ciments prompts et augmente leur résistance ultérieure (ralentissement de prise par surcuisson);

6° Pourquoi des chaux à forts indices et à prise rapide n'atteignent pas sous l'eau une résistance égale à celle à l'air et sont susceptibles de se désagréger (relâchement);

7° Pourquoi les ciments prompts atteignent rapidement leur résistance maximum, toujours inférieure à la résistance finale des portland, et pourquoi ils se désagrègent à l'humidité (cette désagrégation est aussi favorisée par l'absence de chaux libre en excès);

8° Pourquoi un ciment prompt, modérément cuit comme les chaux limites, ne se désagrége pas comme ces dernières, peu de temps après la prise;

9° Pourquoi la résistance d'un portland naturel passe souvent par une suite de maximum et de minimum relatifs avant d'atteindre la résistance sensiblement constante;

10° Pourquoi on perd en résistance finale ce qu'on gagne en résistance initiale;

11° Pourquoi les chaux avec réincorporation de grappiers où les mélanges de chaux et de ciment peuvent donner d'excellents ou de très mauvais résultats;

12° Pourquoi on ne peut pas établir même un rapport approximatif entre la résistance à l'arrachement et la résistance à l'écrasement, etc.

Si les expansifs travaillent pendant la prise, la porosité sera considérablement augmentée; si l'on a continuellement $P > Q$ la gangue ne pourra pas acquérir la cohésion à partir de laquelle elle ne peut plus changer de forme sans se briser (solidification).

Si au contraire la solidification peut s'opérer, la désagrégation partielle ou totale se produira lorsqu'on aura $Q > P$ et le fendillement aura lieu; dès lors le produit périra infailliblement s'il reste en contact avec l'eau.

On peut avoir toujours $Q > P$, mais l'action de Q n'en existe pas moins à l'état latent, et c'est cette action dont on n'avait pas tenu compte jusqu'à ce jour que M. Bonnamy met facilement en évidence dans son très intéressant mémoire. Il démontre toute l'importance du jeu de ces expansifs dans l'emploi des produits hydrauliques et indique quelles sont, en cours de la fabrication des ciments comme des mortiers, les précautions à prendre pour réduire leur rôle de façon à donner les produits les meilleurs.

M. CANDLOT, ingénieur chimiste à la Société des ciments français de Boulogne-sur-Mer, donne lecture au Congrès d'un mémoire sur l'emploi des mortiers, dans lequel il fait ressortir que, selon qu'on fait un emploi plus ou moins judicieux du ciment de Portland, on obtient des résultats tout-à-fait différents.

Il insiste tout particulièrement sur l'influence, dans les mortiers de ciment, de la nature du sable, du dosage, du gâchage et de la mise en place.

Les sables siliceux bien propres, présentant des grains à angles vifs, donnent les meilleurs résultats; suivant les travaux à exécuter, le sable doit être plus ou moins gros, mais il est à remarquer que les sables trop fins donnent les mortiers de moindre résistance et leurs inconvénients les plus considérables sont de donner naissance à des mortiers d'une faible adhérence et, en second lieu,

de contenir toujours une grande quantité de vides malgré un dosage élevé en ciment.

Le dosage, d'après les expériences de M. Candlot, devra être, dans presque tous les cas, pour obtenir un mortier plein avec des sables de différentes grosseurs, de 500 à 600 kilogrammes de ciment par mètre cube de sable. Néanmoins ce n'est là, ajoute l'auteur, qu'une règle générale, et il indique, pour compléter, toutes les circonstances qui peuvent la modifier.

En ce qui concerne le gâchage, il est préférable de l'opérer avec un excès d'eau que d'en employer trop peu. M. Alexandre a fait voir, en effet, par de nombreuses expériences, que des mortiers gâchés mou, c'est-à-dire avec un excès d'eau, durcissent lentement et arrivent au bout de quelques mois à la consistance normale. Quant aux mortiers gâchés ferme, c'est-à-dire avec un dosage d'eau insuffisant, ils donnent lieu d'abord à une résistance élevée, mais qui par la suite va en diminuant et peut devenir dans certains cas inférieure à plus de moitié de celle des mortiers à consistance normale.

M. Candlot termine en disant que l'exposition qu'il vient de faire des règles générales à suivre dans l'emploi des mortiers, et dans lesquelles il s'est inspiré des travaux des ingénieurs et des savants qui se sont occupés de cette question ainsi que de ses expériences personnelles, est évidemment très incomplète. Il a cherché surtout à mettre en lumière les éléments dont l'influence est capitale et à indiquer leur véritable importance. L'emploi du ciment de Portland peut paraître délicat au premier abord, mais lorsqu'on a envisagé tous les termes du problème, qu'on s'est principalement bien pénétré des qualités qu'il s'agit de rechercher, on reconnaît que les précautions à prendre sont bien simples et que l'on peut retirer facilement les avantages les plus précieux d'un produit qui a rendu déjà de grands services, mais qui peut-être n'est pas encore suffisamment connu et apprécié.

M. DURAND-CLAYE donne la parole à M. Quinette de Rochemont, ingénieur en chef des ponts et chaussées.

Chargé de 1871 à 1875 d'exécuter des travaux très importants au Havre, M. QUINETTE DE ROCHEMONT a eu l'occasion d'employer des quantités considérables de ciment Portland et, pour en faire l'essai, avait fait préparer une assez grande quantité de briquettes d'essai pour qu'il lui en reste encore aujourd'hui. Les plus anciennes ont dix-sept ans d'existence. C'est sur ces briquettes qu'ont porté les essais à différentes époques dont M. Quinette de Rochemont signale les résultats au Congrès.

Les ciments employés présentaient au bout d'une période de six à sept mois à peu près la même résistance, soit 29 à 30 kilogrammes. La résistance a ensuite décliné de manière à tomber entre 12 et 13 kilogrammes au bout de sept ans, puis à partir de ce moment la résistance s'est mise à croître et l'un des ciments a fourni des briquettes présentant une résistance de 19 kilogrammes au bout de dix-sept ans. Une autre marque de fabrique a offert au bout de treize ans une résistance de 15 kilogrammes alors qu'elle n'avait été que de 12 kilogrammes au bout de six ans. En résumé les courbes de résistance à l'extension tracées par M. Quinette de Rochemont présentent pour tous les ciments, d'abord une période d'accroissement jusqu'à un maximum absolu variant suivant les marques, puis une période de décroissance et une reprise

vers l'accroissement qui, dans les essais mentionnés, s'est tenue jusqu'à 60 p. 100 de la résistance maxima.

Toutes ces mesures ont été prises sur des briquettes d'ancienne forme; la forme adoptée aujourd'hui offre une résistance plus grande dans un rapport de 1 à 1.50 ou 1.60.

En dehors des essais sur les ciments, M. Quinette de Rochemont a également expérimenté des briquettes de mortier, lesquelles ont présenté une augmentation de résistance pendant une période d'autant plus longue que le mortier était plus maigre; puis il y a une période d'environ deux ans pendant laquelle la résistance reste stationnaire; pour les mortiers les plus riches la résistance a ensuite une légère tendance à diminuer. Mais cette diminution est infiniment moindre que pour le ciment.

Un certain nombre de briquettes tant de ciment que de mortier montrent des traces évidentes de décomposition; les briquettes ainsi attaquées sont écaillées, plusieurs ont perdu une partie notable de leur volume.

Quelques-unes d'entre elles ont montré un gonflement anormal, mais ce dernier n'a jamais été assez prononcé pour empêcher la briquette d'entrer entre les griffes de la machine qui sert à les rompre.

L'influence de la température a fait aussi l'objet de l'examen, et il résulte des observations faites que les ciments sont plus résistants lorsque leur prise a lieu à une température moyenne qu'à une température basse.

M. Quinette de Rochemont signale enfin des essais sur les différentes compositions des mortiers, et sur les bétons faits avec des galets. Ces derniers forment d'excellents bétons dans lesquels l'adhérence des galets avec la pâte est à ce point parfaite que des briquettes d'essai soumises à la machine ont parfois présenté des ruptures dans lesquelles des galets se trouvaient coupés nettement par le milieu, sans présenter de décollement dans la gangue qui les enrobait.

La séance est levée à 11 heures et demie.

Séance du mercredi soir 11 septembre 1889.

La séance est ouverte à 2 heures et quart sous la présidence de M. BELELUBSKY, vice-président étranger.

M. Belebubsky offre la présidence à M. Quinette de Rochemont, ingénieur en chef des ponts et chaussées, et le bureau est ainsi formé :

MM. QUINETTE DE ROCHEMONT, *président*; BELELUBSKY, *vice-président*; PETIT et RABEL, *secrétaires*.

M. CANDLOT, ingénieur-chimiste à la Société des ciments français de Boulogne-sur-Mer, donne lecture au Congrès de son mémoire sur la détermination de la qualité des ciments et sur l'unification des méthodes et procédés d'essais.

Il rappelle d'abord, dans ce mémoire, qu'on a été longtemps à exiger pour les ciments Portland des essais nombreux et variés, mais souvent en contradiction de principe les uns avec les autres. C'est à M. Guillaïn, ingénieur en

chef des ponts et chaussées, secondé de M. Vétillard, également ingénieur en chef des ponts et chaussées, qu'on doit aujourd'hui un cahier des charges très rationnel sur les essais à faire subir aux ciments Portland pour leur réception; malheureusement ces essais ne se rapportent qu'aux ciments destinés à la mer, et il est à souhaiter que pareil cahier des charges soit dressé pour l'essai des ciments devant figurer dans les travaux en eau douce ou à l'air.

Les épreuves que l'on fait subir au ciment ont porté jusqu'à présent sur les points suivants : densité apparente, finesse de mouture, composition chimique, prise, résistance à la traction.

Pour la détermination de la densité, M. Candlot propose non plus de prendre le poids sans tassement d'un litre de ciment et de le multiplier par 1,000 pour avoir le poids du mètre cube, ou de prendre le poids sans tassement d'un hectolitre de ciment et de le multiplier par 10 pour avoir le poids d'un mètre cube, car cette manière d'opérer est fautive; un litre, en effet, pèse 1 kilogr. 300 et l'hectolitre atteint souvent 150 à 160 kilogrammes, mais bien d'exprimer la densité d'un ciment en disant qu'un litre pèse tant, qu'un hectolitre pèse tant, qu'un mètre cube pèse tant.

La cuisson plus ou moins grande d'un ciment n'est pas mise en lumière par la densité, celle-ci différant très peu entre un ciment imparfaitement cuit et un ciment très cuit, à finesse de mouture égale; la finesse de mouture plus ou moins grande fait varier, au contraire, la densité apparente dans de très larges limites. La densité ne peut donc être utile que pour déceler la présence des matières étrangères dans le ciment, et à ce titre elle peut donner des renseignements précieux. Il serait préférable de rechercher plutôt le poids spécifique qui peut se déterminer d'une manière bien plus précise que la densité apparente et qui donne les mêmes indications. De sorte que la connaissance de la densité n'offre plus grand intérêt pour reconnaître la qualité d'un produit. En tous cas, selon M. Candlot, il serait préférable de s'en référer au poids spécifique, dont la détermination peut se faire à l'aide d'instruments précis, tels que le volumétre de Schumann employé fréquemment en Allemagne où il donne de bons résultats, et qui perfectionné rendrait certainement d'excellents services.

La finesse de mouture n'est pas non plus une indication suffisante, étant donné les moyens de pulvérisation dont les fabricants de ciments disposent aujourd'hui. Le cahier des charges des ponts et chaussées ne la mentionne déjà plus; si l'on exige des résistances assez élevées du mortier normal, ces résistances ne peuvent être obtenues qu'avec des produits assez finement moulus.

La composition chimique des ciments présente une certaine garantie à la condition de la surveiller, comme le fait l'Administration des ponts et chaussées, par un contrôle à l'usine qui a pour but de s'assurer que les pâtes sont régulièrement dosées. Cette garantie est excellente non seulement pour le service des ponts et chaussées, mais aussi pour le consommateur.

En ce qui concerne la prise des ciments, M. Candlot fait voir que lorsqu'il s'agit du gâchage à l'eau de mer, les conditions du cahier des charges du service maritime des ponts et chaussées sont remplies assez facilement, mais que pour l'eau douce les difficultés sont plus grandes; sans vouloir abandonner la détermination de la durée de prise à l'eau douce, il y aurait lieu de modi-

fier, selon lui, cet essai de manière à se rapprocher de ce qui se passe en pratique et à concilier ainsi les intérêts du consommateur et du fabricant.

Enfin en ce qui concerne les essais à la résistance, M. Candlot demande que, pour qu'ils soient vraiment concluants, ils s'effectuent avec des briquettes d'un seul et même type. Il croit absolument utile de constater le degré de dureté qu'un ciment est susceptible d'acquérir, mais pour cela les essais à longues périodes sont inutiles, il suffit de constater la résistance à sept jours et à vingt-huit jours; les essais à trois mois ne lui paraissent en rien justifiés.

En résumé on peut conclure, à son avis, que les expériences à exécuter sur un ciment pour en éprouver la qualité doivent être relatives à la densité ou au poids spécifique, à la composition chimique, à la prise à l'eau de mer ou à l'eau douce, à la résistance à la traction et enfin à l'épreuve à l'eau chaude.

Cette dernière méthode d'essai, préconisée en Allemagne, n'offrait que des indications peu nettes. Mais elle a été reprise par M. Le Chatelier et il a fait voir que l'essai des ciments à l'eau chaude de 70 à 80 degrés était absolument concluant en ce qui concerne la présence de la chaux libre. Car des briquettes qui ne tiennent qu'assez peu de chaux libre pour ne pas se désagréger de longtemps dans l'eau douce se désagrègent en quelques heures dans l'eau chaude de 70 à 80 degrés.

M. LE PRÉSIDENT remercie M. Candlot de sa communication pleine d'observations nouvelles et de documents intéressants, et objecte que lorsqu'il demande pour les essais un type unique de briquettes, il aurait dû ajouter qu'elles seraient essayées avec une seule et même machine, les résultats d'épreuve à la traction offrant en effet certains désaccords lorsqu'on opère avec des machines différentes.

M. le Président ne se montre pas absolument de l'avis de M. Candlot sur la fixation de résistance maxima au bout de sept jours et signale des essais qu'il a faits, dans lesquels des ciments offrant une grande résistance au bout de vingt-huit jours, n'en donnaient plus qu'une insignifiante au bout de quelques mois.

M. CANDLOT répond que, en effet, quand il s'agit d'essais à l'eau de mer seulement, et en pâtes pures, il résultait du tableau annexé à son rapport que ce sont bien les ciments donnant les plus fortes résistances à sept jours et à vingt-huit jours qui décroissent ensuite le plus rapidement; mais il insiste sur ce fait, que la résistance du ciment pur à l'eau de mer ne pourrait en rien être considérée comme donnant une indication sur la valeur d'un ciment au point de vue de l'avenir. Cette décroissance n'est en rien due à une altération du ciment, mais simplement à un changement d'état moléculaire; des ciments de mauvaise qualité peuvent très bien avoir une allure plus satisfaisante à l'eau de mer que des ciments très bien fabriqués. Il n'y a donc pas lieu de voir dans la résistance du ciment pur à l'eau de mer un indice sur la cuisson ou la composition du ciment et dès lors l'allure de la résistance ne présente pas d'intérêt et il est inutile d'imposer des conditions à cet égard.

M. NIVET, ingénieur civil, présente au Congrès une trousse complète pour faire les essais des chaux et ciments.

Le but de cet appareil est de rendre facile les essais sur les chantiers et de hâter ainsi les délais d'acceptation des matériaux.

Cette trousse comprend deux ou quatre moules à briquettes, une aiguille de Vicat et un appareil de rupture à la traction, le tout enfermé dans une boîte pesant environ 5 kilogrammes et d'un transport facile. La boîte elle-même sert de bâti à l'appareil de rupture.

La briquette d'essai qui a 0 m. q. 0005 de section est prise entre deux mâchoires dont l'une est actionnée par une vis et l'autre liée à un dynamomètre de forme elliptique. Pour les petites forces, l'appareil agit sur le dynamomètre par compression suivant un petit axe, et pour les grandes forces, le dynamomètre est placé à angle droit et sollicité par traction suivant le grand axe. Un cadran calé sur ce dynamomètre porte deux séries de divisions correspondant aux deux modes d'action.

L'aiguille indique le cinquième de l'effort développé, c'est-à-dire la résistance par centimètre carré. Lorsque la rupture se produit, l'aiguille reste fixe; on lit alors en kilogrammes par centimètre carré l'effort qui a déterminé la rupture. Après chaque opération l'aiguille est ramenée au zéro de la division.

Quoique cet appareil soit un instrument de chantier plutôt que de laboratoire, il possède une exactitude suffisante pour permettre aux constructeurs et aux fabricants eux-mêmes de contrôler facilement la qualité et la fabrication des chaux et ciments.

Répondant ensuite à la communication faite par M. Quinette de Rochemont, dans la séance précédente, constatant le relèvement des courbes de résistances des ciments à partir de la septième année, M. Nivet émet le vœu que ce relèvement soit suivi par l'analyse chimique, au point de vue surtout de la carbonatation de la chaux.

M. LE PRÉSIDENT donne la parole à M. Debray, ingénieur des ponts et chaussées.

Après avoir rappelé sommairement les procédés employés par le laboratoire de chimie installé à l'École des ponts et chaussées même, pour déterminer la composition chimique des chaux et ciments à étudier, et indiqué que les autres essais habituellement prescrits sont exécutés au dépôt de l'École des ponts et chaussées, 3, avenue d'Iéna, suivant les prescriptions des cahiers des charges, M. DEBRAY donne au Congrès quelques indications sur des essais originaux qui paraissent devoir offrir un certain intérêt.

C'est ainsi qu'on a institué des expériences en vue de déterminer la dilatation des pâtes de ciment et de chaux lorsqu'on les tient immergées soit dans de l'eau douce, soit dans des dissolutions de sels magnésiens. L'appareil dont on fait usage se compose d'un tube en verre de 0 m. 80 de longueur fermé à la partie inférieure, mais muni latéralement, à la base, d'un petit ajustage en verre. Dans le tube on introduit une baguette en ciment dont la partie supérieure actionne une aiguille qui parcourt un cadran divisé sur un secteur fixé au tube. Si l'on emplit le tube de verre d'eau douce ou de dissolutions magnésiennes, le ciment se dilate et l'aiguille indicatrice donne avec une amplification de 10 à 1 la mesure de cette dilatation.

M. Debray montre des expériences en cours et rappelle quelques-uns des résultats déjà obtenus, notamment avec des ciments magnésiens, en se référant d'ailleurs à une publication distribuée aux membres du Congrès.

M. Debray signale également des essais poursuivis sur l'effet de la filtration d'eau douce ou de dissolutions magnésiennes à travers des blocs de mortier de

diverses compositions ; il présente au Congrès quelques-uns des blocs soumis aux expériences de filtration de dissolutions magnésiennes.

M. LE PRÉSIDENT remercie M. Debray de sa communication sur toutes les expériences qu'il poursuit au laboratoire et dont la plupart sont en parfait accord avec les théories émises par des membres du Congrès dans les travaux qu'ils ont présentés.

M. DURAND-CLAYE, ingénieur en chef des ponts et chaussées, rappelant l'observation faite par M. Quinette de Rochemont, dans la séance du matin, que les essais faits avec les briquettes de l'ancien modèle de 0 m. q. 0016 de section donnaient des résistances inférieures à celles que l'on obtient avec les briquettes de 0 m. q. 0005 actuellement en usage, explique que le phénomène est dû à ce que les griffes de la machine n'agissent que sur quatre points. La briquette vient-elle à se casser sous l'effort d'un poids P alors qu'elle offre une surface de rupture S , on en conclut que la matière a une résistance limite $\frac{P}{S}$. Cette interprétation n'est pas exacte, car l'effort ne s'est pas reporté uniformément sur toute la section. Le phénomène est rendu visible en prenant des éprouvettes en caoutchouc et en traçant à la surface une série de traits horizontaux au crayon. La briquette soumise à la machine, on voit les traits prendre une courbure démontrant que la tension au centre est moindre que la tension sur les bords qui seule détermine la rupture, et que la briquette se rompt sous une charge inférieure à sa limite de résistance. Si la section de l'éprouvette est augmentée, la courbe se creuse davantage vers le centre, et la charge de rupture se trouve diminuée.

M. Durand-Claye compare aussi la résistance à l'extension à la résistance à la flexion en prenant une barre de ciment supportée sur deux appuis fixes et chargée en son milieu. Les chiffres obtenus comme résistance dans ces deux cas sont complètement différents et varient dans un rapport qui peut atteindre de 1 à 2 ou même à 3, suivant la forme des briquettes et leur dimension.

Enfin M. Durand-Claye présente deux appareils dus à M. Klein, chef du dépôt du laboratoire des ponts et chaussées, à l'aide desquels il a pu mesurer d'une façon très exacte les effets de la compression sur les matériaux, tels que chaux et ciments, et les effets de la traction.

Il conclut, ainsi que l'ont fait MM. Candlot et Quinette de Rochemont, en prescrivant, pour obtenir des résultats absolument comparables, que les essais des ciments et mortiers soient faits avec des éprouvettes identiques et avec la même machine.

M. BELELUBSKY demande à M. Durand-Claye si l'on obtient le même produit quand la magnésie se trouve dans la matière première du ciment ou quand on l'introduit artificiellement après.

M. DURAND-CLAYE pense que dans l'un comme dans l'autre cas le résultat final donne lieu au même produit.

M. BELELUBSKY, parlant du Congrès qui s'est tenu à Dresde, rappelle la décision qui a été prise d'admettre comme légale une teneur de 3 p. 100 de magnésie dans le ciment de Portland.

M. DEBRAY répond, à cette observation, que plusieurs fabricants allemands

ne disposent que de calcaires riches en magnésie et que si la décision rappelée par M. Bebelubsky n'avait pas été prise, ils auraient dû cesser leur fabrication, tandis que les fabricants français disposant de matières premières meilleures, il est tout naturel de se montrer plus exigeant à leur égard.

M. BEBELUBSKY, après avoir discuté la classification adoptée en France sur les produits hydrauliques, émet le vœu que le Congrès, dans le but d'uniformiser cette classification, en adopte une nouvelle qui ait au moins quelques points communs avec la classification adoptée par le Congrès de Dresde.

M. LE PRÉSIDENT fait remarquer qu'à Dresde le Congrès était exclusivement formé de fabricants de chaux et ciments et pouvait dans ce cas prendre une décision bien nette, mais que le Congrès international des procédés de construction, comprenant dans son sein des membres tout à fait étrangers à la fabrication des chaux et ciments, ne pouvait formuler de vœux aussi nets.

La séance est levée à 5 heures et demie.

Journée du jeudi 12 septembre 1889.

Les membres du Congrès réunis à 8 heures $3/4$ à la pile sud de la Tour de 300 mètres font l'ascension de la Tour, dirigés par M. EIFFEL et M. SALLES. Après une courte station au 2^e étage on se rend à la troisième plate-forme d'où M. Eiffel et M. Salles conduisent les membres du Congrès à l'appartement particulier de M. Eiffel où un lunch leur est servi. Malgré la légère brume répandue sur l'horizon, le panorama qui se développe sous les yeux des visiteurs captive toute leur attention et beaucoup d'entre eux, qui font cette ascension pour la première fois, ne se lassent pas d'admirer la grande cité, qui, vue en plan, de cette hauteur, forme un spectacle des plus attrayants. La visite est complétée par une ascension jusqu'au phare et par l'examen des appareils de toutes sortes installés en vue d'expériences physiques et météorologiques. On s'arrête tout spécialement devant le sismographe installé par la maison Bréguet pour enregistrer les oscillations de la Tour, car on sait toutes les conjectures qui ont été faites sur ces oscillations auxquelles certaines personnes n'ont pas hésité à donner une amplitude de 0 m. 50 et même plus. Hâtons-nous de dire qu'elles étaient loin de compte; ces oscillations sont à peine sensibles à l'appareil enregistreur, troublé du reste par la trépidation que produisent les ascenseurs qui n'arrêtent pour ainsi dire pas.

Un temps magnifique favorise cette visite fort intéressante et retient les membres du Congrès jusqu'à midi. M. Eiffel, avec sa bonne grâce habituelle, s'est plu à répondre aux questions nombreuses que lui ont posées les membres du Congrès, tant sur la construction de la Tour que sur les observations qu'il a recueillies à tous les points de vue depuis sa mise en exploitation.

A midi un déjeuner très bien servi réunit les membres du Congrès au nombre de 55 dans les salons du restaurant Brébant. Le repas, où n'a cessé de régner la plus franche cordialité, est présidé par M. Eiffel, entouré à la table d'honneur par les vice-présidents étrangers. Au dessert M. Eiffel, dans

une courte allocution, souhaite la bienvenue à tous les ingénieurs français qui ont bien voulu prendre part aux travaux du Congrès; il remercie également les ingénieurs étrangers qui se sont joints à leurs collègues de France pour apporter, dans les discussions des questions inscrites au programme, le concours de leur expérience et de leur savoir. Les travaux qu'accomplira le Congrès, avec les hommes qui le composent, sont destinés à prendre date dans l'histoire des sciences appliquées, l'art de l'ingénieur trouvant ainsi dans sa partie purement technique la place qui lui appartient dans cette grande manifestation du progrès, l'Exposition universelle de 1889.

Le Président croit être l'interprète de tous les membres du Congrès en adressant ses félicitations aux auteurs des différentes communications déjà faites dans les premières séances, et parmi lesquelles l'emploi du fer et de l'acier dans la construction tient la première place. Ce premier rang lui est bien dû, car de quelque côté qu'on porte les regards sur le magnifique panorama qui s'étend à l'horizon, on voit que la construction métallique joue le plus grand rôle à l'Exposition.

La Tour de 300 mètres elle-même, sur laquelle est réuni le Congrès, n'est-elle pas une des preuves de l'immense parti que l'ingénieur peut tirer du fer et plus tard de l'acier? Parlant de la Tour de 300 mètres qu'on a souvent comparée, dans les débuts de sa construction, à la Tour de Babel, M. Eiffel est heureux de constater que si cette dernière a amené la confusion des langues, la Tour de 300 mètres aura amené la confusion des nationalités qui se sont toutes pressées sous ses immenses arceaux, dans un même sentiment d'admiration pour les merveilles étalées à leurs yeux dans toutes les parties de cette exposition qui manifeste les plus nobles aspirations des hommes : progrès, paix, travail.

Si le public a vu dans ce monument un ensemble qui satisfasse à sa curiosité instinctive, les ingénieurs y ont trouvé les éléments qui permettent la construction d'ouvrages spéciaux sans avoir à se préoccuper des dimensions auxquelles ils doivent répondre; en un mot, c'est une expérience pratique, concluante, qui donnera lieu dans un avenir, peut-être très prochain, à des applications qui se feront alors sans craintes et avec l'assurance d'une réussite complète.

M. Eiffel rend un hommage public aux grands savants français Bresse et Bellanger auxquels on doit ces théories si précises, si nettes, qui ont permis aux ingénieurs le calcul de tous les éléments d'une construction avec le minimum de dépense et le maximum de résistance. C'est l'application de leurs formules qui nous a fourni ces palais métalliques, juste orgueil de la France, et qu'en dépit de tout ce qui a été dit contre nous, l'on est venu admirer de toutes les parties de l'univers.

M. le Président porte, en terminant, un toast aux éminents ingénieurs auteurs de tant de merveilles et dont quelques-uns sont membres du Congrès.

Avant de se séparer, M. le Président fixe le programme de l'après-midi qui comprendra une visite à la classe des travaux publics et une visite au laboratoire des ponts et chaussées, où M. Debray veut bien se mettre à la disposition des visiteurs pour leur faire connaître en détail toutes les expériences en cours d'étude et leur montrer les appareils en usage à cet effet.

M. Eiffel propose, avant de se rendre à ces deux visites, de faire une station

aux différentes piles de la Tour pour examiner le fonctionnement des ascenseurs et toute la machinerie qui en dépend.

Cette proposition reçoit l'approbation unanime des membres présents.

Après le déjeuner, les membres du Congrès se retrouvent au pied de la Tour à la pile n° 2 où M. Eiffel leur donne toutes les explications sur le fonctionnement des ascenseurs Roux, Combaluzier et Lepape; de là on se rend à la pile n° 3 où se trouve renfermée toute la machinerie appelée à assurer le service de la Tour. Machines à vapeur, chaudières multibulaires, pompes pour l'alimentation des ascenseurs, machine électrique pour la production de la lumière, sont autant de sujets intéressants sur lesquels M. Eiffel veut bien donner tous les renseignements qui lui sont demandés.

Après cette visite, une partie des membres se porte aux différents points de l'Exposition qui offrent à chacun des objets d'études spéciales, tandis que d'autres membres se rendent à la classe 63 (Exposition des travaux publics), où M. Heude, ingénieur en chef des ponts et chaussées et membre du Congrès, conduit ses collègues auxquels il fournit les explications les plus étendues tant sur ses travaux particuliers que sur les différentes expositions de la classe 63.

A 5 heures le Congrès a terminé sa séance qui laisse à tous un profond sentiment de gratitude à l'égard de M. le Président auquel on doit la plus grande part des attrait qu'a procurés cette journée.

Séance du vendredi matin 13 septembre 1889.

Le bureau est formé de MM. DURAND-CLAYE, *président*; BELELUBSKY, *vice-président étranger*; MOREAU, PETIT, *secrétaires*.

La séance est ouverte à 9 heures un quart.

M. DE PRÉAUDEAU, ingénieur en chef des ponts et chaussées, présente au Congrès l'étude qu'il a faite avec la collaboration de MM. Hersent et Terrier sur les divers procédés de fondations : pieux à vis, air comprimé, congélation, blocs en béton. Ce travail, formant la troisième question proposée par le Comité d'organisation du Congrès, a été distribué à tous les membres du Congrès. Ainsi que le fait remarquer le rapporteur, les auteurs n'ont pas eu pour but de faire un exposé des dispositions imaginées avec plus ou moins de succès pour vaincre les difficultés rencontrées dans les fondations de différents ouvrages; ils se sont bornés à mettre en relief les points par lesquels les méthodes de fondation ont progressé depuis une dizaine d'années ou pour mieux dire depuis l'année 1878.

L'étude dont M. de Préauveau donne lecture est divisée en trois chapitres comprenant chacune des trois catégories distinctes dans lesquelles peuvent se ranger les procédés de fondation, à savoir :

- 1° Cas où les massifs qui doivent supporter les constructions sont établis directement sur le terrain solide;
- 2° Cas où les massifs sont élevés au-dessus de ce terrain à une certaine hauteur au moyen de supports descendant jusqu'au solide;
- 3° Cas enfin où les massifs sont construits plus ou moins complètement sur

le terrain supérieur ou sur des échafaudages et descendus ensuite sur le solide à travers la couche d'eau ou le terrain interposé.

Chacune de ces grandes lignes suivies dans le rapport fait l'objet d'une critique approfondie de la part de M. de Préaudeau, critique appuyée par la désignation de nombreux ouvrages édifiés à l'aide des méthodes décrites et dont les membres du Congrès trouveront la liste complète à la fin du rapport.

Le premier chapitre renferme l'étude des grands épuisements, des batardeaux en maçonnerie, des dragages, des bétons immergés avec emploi de l'air comprimé, des blocs artificiels et de leur manutention.

Le second chapitre traite des pieux en bois, avec emploi des injections d'eau, des pieux métalliques enfoncés par havage à l'air libre et lestage, des pieux à vis.

Le troisième chapitre comprend les puits en maçonnerie construits par havage à l'air libre, havage au moyen d'épuisement, de dragage et d'injection d'eau, ainsi que le procédé de la congélation.

Enfin un chapitre détaillé est consacré aux fondations pneumatiques et à l'outillage spécial des travaux à l'air comprimé.

Il ressort de cette étude très complète des procédés de fondations que de grands progrès ont été réalisés depuis 1878, et qu'ils portent principalement sur les points suivants :

Les grands épuisements, notamment dans les travaux des ports maritimes;

Les blocs artificiels construits sur place ou immergés pour la construction des jetées ou des murs de quais des ports;

La pose des enceintes en charpente ou l'enfoncement des blocs de maçonnerie au moyen d'injections d'eau.

L'enfoncement par havage des puits maçonnés dans les terrains vaseux.

Enfin et surtout, les fondations pneumatiques qui, après avoir été expérimentées d'abord dans les fondations de ponts, se sont successivement étendues à tous les travaux hydrauliques et maritimes.

Parallèlement à ces progrès et pour l'exécution des travaux en général, plutôt qu'en vue des fondations en particulier, l'outillage des travaux publics a pris une extension très rapidement croissante et a permis au moyen d'engins mécaniques de toute sorte mus par la vapeur, l'eau ou l'air comprimé, l'électricité même, d'exécuter mécaniquement un grand nombre de mains-d'œuvre de fouille, transport, bardage de matériaux, exploitation de carrières, etc.

M. ABADIE, ingénieur civil, communique au Congrès différents grands travaux hydrauliques et pneumatiques exécutés en Italie; il signale en premier lieu ceux ayant trait au port de Gênes que le ministère des travaux publics a mis au concours et dont l'exécution a été confiée à MM. C. Zschokke et P. Terrier.

M. Abadie donne au Congrès des explications détaillées sur les procédés, mentionnés dans le rapport, qui ont été employés par MM. Zschokke et Terrier pour la construction des bassins de radoub de Gênes.

Le sol sur lequel les bassins doivent être fondés est un rocher calcaire stratifié à bancs très inclinés, recouvert de minces couches de sable et de débris rocheux. La dureté des bancs est très variable. L'affleurement de la roche produit une suite de dentelures dont les creux sont remplis de sable et de fragments.

Il a donc fallu prendre les mêmes dispositions que si le terrain avait été complètement aquifère et substituer au sol un radier général en béton.

Les travaux sous-marins à exécuter comprennent trois opérations principales :

- 1° Le minage et le sautage du rocher ;
- 2° L'extraction du sable et du rocher désagrégé ;
- 3° L'exécution des maçonneries sur le fond déblayé.

MM. Zschokke et Terrier ont proposé pour la réalisation de ces travaux une solution qui a été adoptée par la commission technique ministérielle et qui consiste à exécuter le dérochement et les maçonneries sous l'eau dans de grandes cloches à plongeur munies des appareils nécessaires pour en opérer très vite le déplacement horizontal ou vertical et des engins les mieux appropriés au minage, à l'extraction des déblais et à l'introduction des matériaux.

Ce procédé permet d'échapper aux risques de déformation et de rupture qui sont toujours à redouter quand on établit les maçonneries de très grands ouvrages sur un caisson unique. Il permet de construire directement, sur le fond déroché à vif, des maçonneries parfaitement homogènes et continues, dans lesquelles aucune partie de fer ne reste noyée. Il permet enfin de mener de front, avec des appareils indépendants, les diverses parties du travail.

Les appareils employés comprennent un caisson mobile pour le forage des mines, deux autres caissons mobiles pour la construction des murs de quais et des bajoyers des bassins et un grand caisson flottant pour l'extraction des déblais des bassins et pour la construction des radiers.

Le caisson mobile employé pour le forage des mines a 20 mètres sur 6 m. 50 ; il est suspendu par des chaînes à vérins prenant appui sur une forte charpente qui repose elle-même sur deux bateaux flotteurs munis de tous les appareils nécessaires pour un déplacement rapide. La chambre de travail diffère peu de celle des caissons ordinairement employés. Des gueuses de fonte placées entre les poutres du plafond équilibrent la sous-pression et appuient le caisson sur le fond.

Deux cylindres horizontaux en tôle de 2 mètres de diamètre et de 2^m 50 de longueur sont fixés au-dessus du poutrage. Ils sont ouverts à leur partie inférieure. Un tuyau les met en communication, quand il y a lieu, avec la conduite d'air comprimé. On laisse monter l'eau dans les cylindres jusqu'à les emplit lorsque le caisson doit être maintenu sur le fond pour le minage. On refoule l'eau au moyen de l'air comprimé, lorsque le caisson doit être relevé et changé de place.

Le forage des mines est fait par trois perforatrices à rotation du système Brandt mues par l'eau en pression à 70 atmosphères. Ces perforatrices sont montées sur autant de chariots roulants dont les chemins sont formés par les ailes inférieures de quatre fers à T disposés dans le sens de la longueur du caisson sous le plafond de la chambre de travail. Chaque outil est fixé sur un chariot au moyen d'une articulation qui peut elle-même se déplacer sur le chariot. On peut ainsi donner aux perforatrices toutes les positions du plan et toutes les inclinaisons. L'eau motrice est envoyée par un accumulateur à vapeur établi sur un bateau avec les machines et les pompes de compression. L'explosif employé est la dynamite gélatine. Quand les trous sont chargés, on

les réunit par un fil électrique; le caisson est déplacé avec les bateaux qui le supportent et on fait sauter au moyen d'une batterie.

Les caissons mobiles pour la construction des bajoyers et des quais sont au nombre de deux. Ils sont construits, lestés et suspendus comme le caisson pour minage.

M. Abadie donne ensuite des indications sur le grand caisson destiné à l'extraction des déblais minés sur l'emplacement des bassins et à la mise en place du béton des radiers. Ce caisson n'est pas suspendu, mais flottant. Au-dessus de la chambre de travail est disposée une chambre de 3 mètres de hauteur appelée chambre d'équilibre que l'on peut à volonté remplir d'eau ou d'air. Sur le plafond de la chambre d'équilibre, des cloisons étanches en tôle constituent quatre réservoirs rectangulaires ouverts à leur partie supérieure qui dépasse toujours le niveau de la mer. On fait à volonté monter et descendre le caisson en substituant l'air comprimé à l'eau dans la chambre et en faisant varier au moyen de pompes le niveau de l'eau dans les réservoirs supérieurs. On donne ainsi graduellement à l'appareil le tirant d'eau qui correspond aux divers états du travail.

M. Abadie explique au tableau comment, avec de petits déplacements successifs de cet appareil, on arrive à exécuter à sec sous l'eau, par couches de 0^m50, un massif continu en béton.

M. Abadie indique ensuite les procédés employés pour le prolongement du bassin de radoub de Livourne. On a commencé par établir en travers de la forme, à la limite de la partie conservée et de l'hémicycle à démolir, un mur capable de résister à la pression du bassin rempli, ce qui a permis d'effectuer à sec la plus grande partie de la démolition. L'excavation a été remblayée et au-dessus de la plateforme ainsi constituée, on a monté un grand caisson de 1183^m2 formé d'une partie rectangulaire et d'une partie parabolique correspondant au nouvel hémicycle.

M. Abadie donne les détails de courbure de ce caisson, dont la chambre de travail a été divisée en cinq compartiments par des poutres transversales équidistantes, armées d'un tranchant placé au même niveau que celui des parois.

Sur ces grandes poutres reposent des poutres, espacées d'un mètre, supportant le plafond qui est formé de voûtes en briques enduites de ciment. La substitution de ces voûtes au plafond ordinaire en tôle présente l'avantage de supprimer un diaphragme métallique qui divise les maçonneries et d'assurer une liaison parfaite entre le massif supérieur qui constitue le radier et le béton de remplissage de la chambre de travail. En même temps que les bajoyers, on a construit sur le caisson un mur provisoire transversal parallèle au mur qui fermait provisoirement le bassin.

Le caisson, lesté au moyen de maçonnerie à pierres sèches et de déblais, a été descendu à la cote 13 mètres.

Pour faire la jonction entre les anciennes maçonneries et les nouvelles, on s'est servi d'un caisson-cloche suspendu à un treuil roulant dont les cheminées étaient établies sur les crêtes des deux murs provisoires. Au moyen de ce caisson, on a déblayé l'espace compris entre les deux murs et coulé le béton de raccord entre les deux radiers. La partie déblayée ayant été ensuite épuisée, on a raccordé les bajoyers et démolit les murs provisoires.

M. Abadie indique ensuite le mode de fondation à l'air comprimé du bâtiment des pompes. La nature du terrain a permis à MM. Zschokke et Terrier de construire des piliers en béton sur des chambres également en béton. Bien que les parois de ces chambres de travail n'eussent que 0^m 35 d'épaisseur à la base, elles étaient parfaitement étanches. Elles reposaient sur un rouet en fer. Des fers plats rivés de distance en distance au rouet étaient serrés contre la paroi extérieure de la chambre au moyen de boulons noyés dans le béton. Cette armature était destinée à empêcher le déplacement du rouet si le caisson avait rencontré un obstacle. Elle était consolidée par des boulons d'ancrage noyés dans le béton qui rattachaient le sabot à la partie supérieure du bloc.

M. Abadie explique que cette disposition brevetée a permis de réduire au minimum la quantité de fer à abandonner dans les fondations et d'exécuter le travail à un prix dépassant à peine celui des fondations sur pilotis.

M. HEUDE, ingénieur en chef des ponts et chaussées, fait au Congrès une communication relative au coulage du béton à l'aide d'une sorte de trémie. Ayant à fonder un grand viaduc sur la Loire, à Blois, il s'est trouvé vis-à-vis d'un sol impossible à déterminer d'une façon exacte et pour lequel par conséquent il ne fallait pas songer à employer les fondations à l'air comprimé. Les piles et les culées ont donc été fondées sur des massifs de béton coulés sous l'eau dans des enceintes des pieux et palplanches. De plus, toute la partie affouillable une fois complètement draguée, on a battu dans l'intérieur de l'enceinte un très grand nombre de pieux arasés à 1 mètre au-dessous de la surface de fondation.

Pour remplir l'intervalle compris entre ces derniers, M. Heude a songé d'abord à employer des caisses mobiles s'ouvrant par le fond; mais, comme le battage avait rapproché les pieux d'une façon assez irrégulière, l'emploi des caisses devenait impossible, car on ne pouvait pas les ouvrir. C'est alors que M. Heude a employé le procédé suivant.

Un tube carré de 0^m 40 de côté en simples planches est descendu verticalement jusqu'au fond de la fouille de manière que son extrémité supérieure dépasse la surface de l'eau d'environ 1^m 50. Ce tube peut être soulevé à l'aide d'un treuil mobile dans le sens de la largeur de la fouille sur un échafaudage installé au-dessus de l'enceinte; une corde ou chaîne attachée à la partie inférieure du tube permet à un ouvrier de le déplacer en tirant dessus obliquement.

On remplit alors le tube de béton jusqu'en haut, la partie inférieure reposant sur le fond. On soulève ensuite légèrement le tube à l'aide du treuil, le béton s'écoule partiellement sur le fond; on change le tube de place au moyen de la chaîne oblique, et en même temps on le laisse reposer de nouveau sur le fond; on remplit la partie supérieure du tube de béton, on le soulève en le déplaçant et ainsi de suite.

Il s'établit ainsi de la partie supérieure à la partie inférieure un véritable courant de béton qui traverse toute la couche d'eau et qui arrive au fond de la fouille sans avoir été mis en contact avec cette eau. Une seule précaution est à prendre, mais elle est essentielle : il faut veiller à ce que, lorsqu'on soulève le tube, la partie supérieure du béton ne descende pas à un niveau inférieur à celui de l'eau.

Lorsqu'on a déplacé l'extrémité inférieure du tube au moyen de la chaîne

oblique, le tube revient dans la verticale; l'opération est donc très simple et très rapide; on peut tourner autour d'un pieu et s'en approcher aussi près qu'on le veut; on peut également faire des couches continues de 0^m30 à 0^m40 d'épaisseur, sans la moindre difficulté, et les ouvriers chargés de ce travail en prennent très vite le courant.

Pour les piles fondées au milieu du courant rapide de la Loire, M. Heude avait pris la précaution de supprimer aussi le courant dans les fouilles; il a pris également toutes ses dispositions pour enlever les laitances; ces dernières précautions ont été inutiles; il n'a pas trouvé de laitance et, autour de la fouille, c'est à peine si l'eau était blanchie par la chaux. Enfin, lorsqu'on a posé les socles des piles, le béton a été mis à nu et il a été reconnu qu'il était très gras et n'avait nullement été délavé.

Les piles de Beuvron sur la même ligne de Romorantin à Blois ont été construites par le même procédé, et le béton démolé en partie sur une assez grande profondeur a présenté tous les caractères d'excellente qualité.

Au point de vue de la rapidité d'exécution, M. Heude signale les résultats qu'il a obtenus et qui établissent qu'il a pu être coulé jusqu'à 60 mètres cubes de béton par jour et par appareil.

Au pont de Blois, la profondeur maximum sous l'eau était de 7 à 8 mètres, mais rien n'empêcherait d'atteindre des profondeurs beaucoup plus considérables. C'est le poids seul de l'appareil qui pourrait limiter cette profondeur, mais on peut le diminuer en remplaçant le tube en bois par un tube en tôle mince comme M. Arnodin, membre du Congrès, se propose de le faire.

M. BELELUBSKY, vice-président étranger, professeur à l'École impériale des voies de Saint-Petersbourg, a la parole pour présenter une communication sur la résistance des terrains sablonneux sous l'effet de la pression verticale exercée par un prisme solide placé à diverses profondeurs dans le terrain.

M. Bebelubsky, après avoir rappelé les différents travaux publiés sur cette question par MM. Maurice Levy, Considère, Boussinesq, Winkler Mohr et d'autres ingénieurs, et les formules données par le calcul de la résistance des terrains sablonneux à la pression verticale par M. Paucker, colonel du génie russe (1857), puis par M. Rankine, ingénieur, fait part de la vérification expérimentale de la formule Rankine, faite l'année dernière au laboratoire de mécanique de l'Institut des ingénieurs des voies et communications de Saint-Petersbourg dont il est le directeur, sur l'initiative et avec les appareils de MM. les ingénieurs V. Kourdunoff et P. Jankowsky. Ces expériences, au nombre de plus de 100, ont été faites avec du sable tout à fait sec, et ont démontré que les valeurs limites des charges que peut supporter un terrain sablonneux sont beaucoup plus grandes (environ dix fois) que celles données par les formules de Pauker ou Rankine.

L'appareil servant à ces expériences se compose d'un récipient cylindrique de grande dimension contenant du sable bien sec; un prisme rectangulaire V d'une hauteur H surmonté d'une tige passant au travers d'une planche lui servant de guide repose directement sur le sable et s'y enfonce sous l'action de poids placés sur la tige. La valeur limite de H correspondant à la profondeur *h* à laquelle s'enfonce le prisme est calculée par la formule

$$H = \frac{P}{\Omega \Delta}$$

dans laquelle P représente le poids total agissant sur le prisme V et fournissant l'enfoncement h ; Ω la section du prisme; Δ le poids spécifique du sable employé.

Chaque enfoncement du prisme dans le sable est accompagné d'un déplacement latéral de ce prisme et d'une certaine masse de sable formant le prisme de butée du sable. Ce dernier se formant toujours d'un seul côté du solide V , l'autre côté restant intact.

Ces expériences ayant démontré l'inexactitude de la formule de Pauker, M. Jankowsky lui fit subir quelques corrections : 1° il a admis, comme cela s'est fait déjà dans la théorie des murs de soutènement, que les réactions p et r des deux prismes de glissement agissent dans une direction qui fait un angle φ avec l'horizon; 2° il a supposé que le prisme de butée du sable a un profil triangulaire, parce que c'est la somme des surfaces : 1° de la partie enfoncée du prisme V ; 2° du prisme sablonneux qui reçoit la pression pendant la descente du solide V ; et il est arrivé à la formule suivante :

$$h = \frac{H}{2} \left(\frac{\tan \frac{45^\circ - \varphi}{2}}{\tan \frac{45^\circ + \varphi}{2}} \right)^2$$

exprimant la valeur de h pour H maximum au moment de l'équilibre limite du prisme V et pour sa largeur de base la plus dangereuse.

Les valeurs de h calculées d'après cette formule s'accordent d'une façon très satisfaisante avec les résultats déduits des expériences.

En exprimant H en fonction de h , on obtient la résistance 5 par unité carrée du sol sablonneux pour une profondeur h comptée depuis la surface horizontale du terrain. Pour les conditions les plus désavantageuses par rapport à la section du prisme V , on a :

$$5 - \Delta H = 2 \Delta h \left(\frac{\tan \frac{45^\circ + \varphi}{2}}{\tan \frac{45^\circ - \varphi}{2}} \right)^2$$

Cette formule peut donc être considérée comme une formule de mécanique appliquée, servant à déterminer la résistance à l'écrasement du massif pulvérulent à une certaine profondeur h et pourrait être utilisée ou pratiquée pour le calcul du coefficient de sécurité des sols sablonneux placés sous les murs, culées, piles de ponts, etc. . .

La façon dont se comporte le massif sablonneux sous l'action de la charge a fait également l'objet d'une étude spéciale qui a montré que la déformation ne s'opère pas suivant des surfaces planes, mais bien suivant des surfaces courbes. Le fait a d'ailleurs été mis en évidence par M. Kourdumoff, qui a fait les expériences ci-dessus dans une caisse dont une des parois était en verre. Les photographies prises pendant l'essai et que M. Belclubsky présente au Congrès reproduisent le phénomène d'une façon très nette. On y voit en effet le sable immobile bien marqué, tandis que le sable mis en mouvement

sous l'action de la charge présente une figure légèrement brouillée et nuageuse qui définit exactement la marche du phénomène.

La séance est levée à 11 heures et demie.

Séance du vendredi soir 13 septembre 1889.

Le bureau est formé de : MM. DURAND-CLAYE, *président* ; BELELUBSKY, *vice-président* ; MOREAU et PETIT, *secrétaires*.

La séance est ouverte à 2 heures un quart.

M. LE PRÉSIDENT informe le Congrès que l'ordre du jour porte les questions relatives aux chaux, ciments et mortiers.

M. QUINETTE DE ROCHEMONT, ingénieur en chef des ponts et chaussées, complète d'abord la communication qu'il a faite dans la séance de mercredi soir, en présentant aux membres du Congrès une série d'échantillons de briquettes de ciment et de mortier de Portland, afin de montrer comment se comportent ces produits au bout d'un certain temps. Quelques échantillons remontent à 1873, d'autres à l'année 1877, et d'autres, plus jeunes, ne datent que des années 1881 ou 1886. Les faits remarqués par M. Quinette de Rochemont sont rendus absolument visibles par l'examen de ces différents modèles, pris aux époques mêmes auxquels les travaux ont été exécutés avec les mêmes marchandises, et dont quelques-uns ont subi le même traitement que celui auquel est soumis l'ouvrage édifié avec la matière livrée.

M. Quinette de Rochemont fournit ensuite quelques renseignements sur la décomposition des mortiers. Pendant longtemps, dit-il, on a prétendu en Angleterre que le ciment de Portland était excellent et ne donnait lieu à aucun mécompte. C'est là une opinion qui n'a cependant pas lieu d'être admise d'une façon générale. M. Harrison Hayter, qui est vice-président de la Société des ingénieurs civils en Angleterre, a remarqué en effet que les mécomptes dans ce pays au sujet des travaux en ciment de Portland deviennent assez nombreux. C'est ainsi que dans deux ouvrages établis sous sa direction, il a aperçu récemment des traces de décomposition très manifestes. L'un de ces ouvrages est un mur en béton de 35 pieds de hauteur (10 m. 67), qui a *grandi* (c'est la véritable expression) de 2 pouces $1/2$ (0 m. 063); l'autre, qui est un massif de béton de 16 pieds d'épaisseur (4 m. 88), a gonflé de $1/4$ à $1/2$ pouce (0 m. 013 à 0 m. 032). Ces accidents sont accompagnés dans les deux cas de circonstances analogues, à savoir : formation de craquelures et d'écaillés, et dépôt de bouillie blanche dans les fissures. En recherchant les causes de ces accidents, M. Harrison Hayter a été amené à conclure qu'ils provenaient de ce que les entrepreneurs avaient fourni des ciments renfermant un excès de chaux libre pour satisfaire aux conditions de prix exigées par le cahier des charges.

De même presque tous les ouvrages construits à Aberdeen dans ces dernières années sont dans un état déplorable. La nouvelle jetée du Sud établie de 1870 à 1873 a présenté dès 1883, c'est-à-dire douze à treize ans après.

des avaries très considérables. Elle avait été construite de la façon suivante : on a établi d'abord le fond avec des sacs de béton pesant de 16 à 25 tonnes, puis sur ce lit ont été déposés des blocs irréguliers pesant 10 à 20 tonnes et arrimés d'une façon parfaitement régulière. Cette fondation, qui avait environ 22 pieds, a été arrêtée à un pied au-dessus des basses mers. Sur cette base, on est venu placer, dans un coffrage, un massif de béton, haut de 18 pieds.

Les avaries constatées sont dues en partie à ce que les blocs de la partie inférieure se sont disloqués, séparés, et que des cavernes se sont produites, et en partie aussi, à la décomposition des mortiers. En 1885, l'état de l'ouvrage était très mauvais ; on a donc recouru à l'emploi du ciment romain pour les réparations, d'après les avis de M. Messent. Cet ouvrage était fait avec du béton présentant la composition suivante : 1 de ciment, 3 de sable et 4 de pierres. Aujourd'hui on augmente la proportion du ciment.

Les Anglais d'ailleurs font le béton en mettant un mélange de sable et de pierre ou gravier dans une caisse de 1 yard cube, et en ajoutant la quantité de ciment jugée nécessaire, sans jamais la peser ; on mélange ensuite avec une quantité d'eau plus ou moins grande. Le béton ainsi fait est évidemment défectueux, mais les praticiens anglais prétendent que cette méthode offre l'avantage qu'il ne s'écoule pas de temps entre la formation du mortier et son emploi, et qu'on évite ainsi un commencement de prise.

La jetée Nord d'Aberdeen présente également des traces de décomposition, bien que moins accusées qu'à la jetée Sud. Le béton avait la même composition qu'à la jetée Sud.

Depuis la construction de ces deux ouvrages, on a établi dans le même port une forme de radoub qui a été livrée en 1883. Le mur de tête avait été fait en béton ; le parement au-dessus du niveau des basses mers était seul en pierre de taille. Dans la partie inférieure, le dosage du béton était d'une partie de ciment pour cinq de sable et pierres, sauf pour le parement d'un pied d'épaisseur, où le dosage était de moitié ciment et moitié sable. Au-dessus du niveau des basses mers, le dosage du béton était de 1 de ciment pour 7 de sable et pierres. L'ouvrage était à peine livré que le mur était fissuré, la partie inférieure était poussée en avant, le mur avait monté de 0 m. 07, et la surface attaquée présentait un développement de 510 mètres carrés. Quant au ciment employé, sa composition, qui était la suivante, n'offrait rien d'anormal.

Alumine et oxyde de fer.....	13.10
Silice.....	20.92
Chaux.....	58.49

M. le professeur Brazier a été chargé de se rendre compte de ce qui s'était passé ; il a décomposé artificiellement le ciment en le mettant dans l'eau de mer, qu'il a chauffée, et les observations recueillies l'ont amené à conclure qu'il semblait que le ciment de Portland n'a pas la puissance nécessaire pour pouvoir résister à l'eau de mer.

Après avoir signalé d'autres exemples de décomposition de bétons dans des ouvrages exécutés en Angleterre, M. Quinette de Rochemont conclut en se demandant s'il ne serait pas bon de revenir à la pratique des anciens, qui,

n'employant que des chaux de qualité souvent inférieure, exécutaient cependant de très bons ouvrages; tel était le cas notamment au Havre. Dans ce port, les ouvrages étaient parementés avec des pierres de grandes dimensions, bien taillées, sans amaigrissement en queue, et en arrière se trouvait de la maçonnerie de moellons qui ne se décomposait pas parce qu'elle n'était pas atteinte par l'eau de la mer. La décomposition ne pouvait se faire que sur une petite profondeur de joint, la vase venant rapidement remplacer le mortier enlevé. Les mortiers restaient sains grâce à l'imperméabilité presque parfaite de la pierre; c'est un fait que le rapporteur a constaté d'une façon très nette dans tout l'ancien port. Il pense donc que si l'on ne doit pas accorder une confiance absolue au béton, il sera peut-être bon de développer davantage l'emploi des parements en bonne pierre.

M. R. FERET, chef du laboratoire des ponts et chaussées à Boulogne-sur-Mer, a la parole pour présenter quelques observations relativement aux communications faites mercredi sur les chaux et ciments.

La première se rattache à la communication faite au nom de M. Bonnamy sur les expansifs.

M. Feret, dans le but d'examiner à la lumière polarisée les ciments en roche, ou les mortiers ayant fait prise, a pris des lames de matière usées sur un plateau jusqu'à ce qu'elles n'offrent plus qu'une épaisseur de $\frac{1}{30}$ de millimètre.

Ces lames, collées à l'aide de baume du Canada entre deux lames de verre, avaient été abandonnées dans une boîte. Or, en voulant étudier ces échantillons, M. Feret remarqua que quelques-uns étaient détériorés et que la lame couvre-objet même avait été chassée et décollée. L'examen de ces lamelles a montré qu'elles provenaient de pâtes trop riches en carbonate de chaux. Des briquettes faites avec le même ciment s'étaient vite crevassées sous l'eau; ce ciment contenait donc une notable proportion des composés que M. Bonnamy désigne sous le nom d'expansifs et qui dans les lames en question avaient agi même à l'abri de l'air et de l'humidité.

L'examen au microscope des lamelles n'a pas donné de différence avec ce qui avait été constaté au moment de leur préparation quelques mois avant.

Reprenant ensuite une observation de M. Quinette de Rochemont, qui croit avoir constaté que les résistances du ciment pur à la compression ne subissent pas avec le temps les mêmes chutes que les résistances à la traction, M. Feret a remarqué souvent, au contraire, des chutes de résistances aussi bien à la compression qu'à la traction, sans cependant qu'il y ait toujours concordance.

Enfin, M. Feret développe avec plus de détails les observations que lui ont suggérées les communications de M. Candlot.

Relativement aux vides restant entre les grains de sable après tassement uniforme, vides que M. Candlot croit plus faibles avec les sables fins qu'avec les sables plus gros, cette observation paraît contraire à la théorie, car on conçoit que si les grains de sable de différents échantillons sont dans chacun de ces derniers absolument identiques, les vides qu'ils présenteront d'un échantillon à l'autre ne différeront que par leurs dimensions, mais au total ils seront les mêmes. Le volume des vides devrait donc être indépendant de la grosseur du sable.

En ce qui concerne l'évaluation des vides, l'opération qui consiste à prendre un litre de sable et à mesurer la quantité d'eau qu'on peut y loger est, de l'avis de M. Feret, une méthode défectueuse, les grains de sables emprisonnant entre eux des bulles d'air que l'on n'arrive pas à chasser. L'erreur qu'on peut commettre peut atteindre 0 m. c. 000,092,3 pour un litre. Il est bien préférable de déterminer le poids du litre de sable, et, connaissant son poids spécifique, d'en déduire par le calcul le volume qu'il occupe réellement et, par suite, celui des vides, comme M. Candlot a la précaution de le faire.

Aussi M. Feret pense-t-il que les résultats obtenus par M. Candlot sont dus à ce fait que l'égalité absolue des grains d'un même sable ne pouvant pratiquement être réalisée, si l'on considère un certain nombre de sables de grosseurs différentes dont chacun paraît bien régulier, tandis que la différence absolue entre les dimensions des grains extrêmes contenus dans un même sable est sensiblement la même pour tous les échantillons, leurs différences relatives vont au contraire en augmentant avec la finesse du sable, de sorte qu'en réalité les sables les plus fins sont moins réguliers que les plus gros et doivent par suite présenter une moins grande proportion de vides.

Quant aux calculs par lesquels M. Candlot détermine la proportion minimum de ciment qu'il convient d'incorporer à un sable donné pour obtenir le mortier le plus compact, M. Feret leur objecte qu'ils ont pour point de départ le volume des vides existant dans le sable mesuré à sec, volume variable, suivant le tassement qu'on imprime au sable et qui, à fortiori, peut différer dans une très large mesure de celui qui reste entre les grains du même sable réduit à l'état de mortier par l'introduction du ciment et de l'eau, et le malaxage plus ou moins prolongé de la pâte ainsi obtenue. C'est d'ailleurs ce que font prévoir d'autres expériences citées par M. Candlot, d'où il résulte que le poids du mètre cube d'un sable mesuré humide peut être très différent de celui du même sable sec.

M. Feret croit devoir attirer tout particulièrement l'attention du Congrès sur cette observation et sur les énormes causes d'erreurs de dosages qui peuvent résulter de l'emploi de sables plus ou moins secs, et cite à ce propos une des expériences qu'il a faites en vue d'évaluer cette influence. Il a pris du sable fin bien sec ne donnant plus de perte d'eau à la température de 100° et l'a additionné successivement d'eau en ayant soin de bien mélanger le tout après chaque addition. Les résultats qu'il a obtenus sont consignés dans le tableau suivant :

Proportion d'eau mouillant 100 kilogrammes de sable sec.....	"	0 ^k 500	1 ^k	2 ^k	3 ^k	5 ^k	10 ^k
Perte de poids subie après séchage par 100 kilogrammes de sable humide.....	"	5 ^{gr}	9 ^{gr} 9	19 ^{gr} 6	29 ^{gr} 1	47 ^{gr} 6	90 ^{gr} 8
Poids d'un mètre cube de sable humide.....	1,458 ^k	1,310 ^k	1,238 ^k	1,213 ^k	1,209 ^k	1,208 ^k	1,266 ^k
Poids de sable sec contenu dans un mètre cube de sable humide.....	1,458	1,304	1,226	1,189	1,174	1,151	1,149

On voit qu'une humidité de 20 p. 100 seulement suffit pour abaisser le poids du mètre cube de 269 kilogrammes, soit 18.5 p. 100 de son poids initial. On conçoit donc combien la richesse du mortier obtenu sera différente

suivant que le sable auquel on mélangera un même poids de ciment sera sec ou un peu humide.

Relativement aux expériences faites à Dieppe par M. Alexandre et à l'École des ponts et chaussées avec différentes solutions salines par MM. Durand-Claye et Debray, M. Feret signale celles qu'il a entreprises à Boulogne sur l'action de l'eau de mer sur les mortiers. Les essais se font sur des cubes de mortiers portant un tube en verre qui s'avance jusqu'au centre environ du bloc et dans lequel arrive de l'eau de mer sous une pression de 2 mètres.

Ces expériences mettent particulièrement en évidence la différence qui existe entre la perméabilité et la porosité des mortiers, différences signalées déjà par plusieurs expérimentateurs.

Les effets produits par le passage de l'eau de mer à travers les mortiers sont très différents suivant qu'on se trouve en présence des mortiers perméables ou de mortiers poreux.

Sur les premiers, il se forme rapidement d'abondantes efflorescences blanches, quelquefois même rosées, pouvant atteindre de grandes dimensions.

Ces dépôts sont dus à ce que l'eau qui traverse le mortier décompose le silicate calcaire du ciment en un produit moins riche en chaux dont la cristallisation amène le durcissement du ciment, et en chaux qui entraînée par l'eau se carbonate au contact de l'air ou de l'eau de mer toujours plus ou moins chargée d'acide carbonique. Des cubes de mortiers en expérience depuis plus d'un an n'ont pas présenté trace de désagrégation. La perméabilité de ces cubes va d'ailleurs en décroissant assez rapidement à cause du colmatage.

Les ciments poreux se comportent différemment. Les efflorescences sont beaucoup moins abondantes et n'acquièrent jamais une grande épaisseur. Après des durées variables suivant la qualité du ciment et les conditions de fabrication du mortier, on voit se former à sa surface de légers filets blancs qui bientôt s'accroissent, se transforment en fissures et vont en s'ouvrant de plus en plus jusqu'à ce que des morceaux se détachent d'eux-mêmes, laissant voir à l'intérieur du cube une bouillie molle de mortier décomposé.

Résumant les conclusions qu'il peut tirer de ses expériences, M. Feret est amené à dire qu'il est probable que les meilleurs mortiers seront ceux qui ne seront ni trop poreux ni trop perméables, c'est-à-dire ceux dont les vides ne seront ni trop nombreux ni trop volumineux. Le meilleur moyen de les obtenir sans exagérer la dose de ciment sera, croit-il, d'employer des sables contenant des grains de différentes grosseurs dont les plus petits bouchent les vides laissés entre les plus gros.

Dans le même ordre d'idées, il est permis de croire que les bétons les plus compacts et les meilleurs à dosage égal seront ceux dans lesquels, contrairement aux règles habituelles, on rencontre des cailloux de dimensions plus variées.

Enfin, M. Feret termine sa communication en résumant quelques considérations qui paraissent jeter un jour nouveau sur la participation à la prise des ciments des composés tels que les silicates et aluminates de chaux dont a d'ailleurs parlé M. Candlot dans un de ses mémoires présentés aux séances du 11 septembre.

Ces considérations reposent sur une expérience très simple.

Si l'on détermine, par les procédés ordinaires, le début et la fin de prise de mélange en diverses proportions de deux ciments ayant des durées de prise très différentes, on constate que l'introduction de faibles quantités du plus rapide suffit pour accélérer considérablement la prise du plus lent. Il y a donc une véritable action d'entraînement exercée sur la prise par l'élément le plus actif du mélange.

Partant de là, on conçoit que s'il existe simultanément dans un ciment plusieurs éléments susceptibles de produire la prise, le plus actif devra avoir une influence prépondérante, influence qui disparaîtra si le composé auquel elle est due vient à être altéré ou à disparaître.

Or, on peut expliquer ainsi divers phénomènes que l'on constate dans l'emploi des ciments. En particulier, il arrive quelquefois, surtout avec des ciments de fabrication récente, que la prise se produit presque instantanément pendant l'opération même du gâchage. Mais si à ce moment on continue à malaxer la pâte, on arrive à lui rendre sa consistance plastique, et le ciment ne recommence à durcir qu'après une durée beaucoup plus longue. On peut admettre que la première prise est produite par l'hydratation d'un composé ayant une grande affinité pour l'eau et qui, l'attaque finie, devient inerte et n'influence plus la véritable prise du ciment, si, par un gâchage prolongé, on a empêché le durcissement de se produire.

Les agents les plus énergiques de la prise étant ceux qui ont la plus grande affinité pour l'eau, doivent être les premiers à s'altérer sous l'influence de l'air humide. D'ailleurs, la difficulté qu'on éprouve à conserver les ciments rapides en magasin en est une preuve. Une faible éventation du ciment pourra donc, en vertu de ce qui vient d'être dit, occasionner un ralentissement considérable de la prise. C'est ce que l'expérience confirme dans la plupart des cas.

Dans le même ordre d'idées, si l'on admet, conformément à une opinion généralement adoptée, que les composés alumineux sont rapidement attaqués au contact de l'eau, l'expérience citée plus haut explique encore ce fait reconnu depuis longtemps que de faibles augmentations dans la teneur des ciments en alumine peuvent se traduire par de notables accélérations de prise.

M. Feret a pu réunir dans une même expérience la plupart des cas qui viennent d'être cités. Un ciment qui présentait le phénomène de la double prise ayant été exposé à l'air humide, la première prise s'est d'abord ralentie rapidement, puis au bout de trois jours elle ne s'est plus produite qu'après quarante minutes et d'une manière incomplète, de sorte que la prise totale a présenté un temps d'arrêt. Enfin deux jours plus tard on n'a plus observé de première prise.

M. HENRY, fabricant de ciment à Donjeux (Haute-Marne), après avoir fait brièvement l'historique des ciments de laitiers dont la fabrication est toute récente quoique les propriétés d'hydraulicité des laitiers soient connues depuis longtemps, passe immédiatement à la fabrication de ces ciments qui comprend trois opérations distinctes :

- 1° Le séchage;
- 2° Le broyage;
- 3° Le dosage et le mélange.

Le séchage, qui a pour but d'enlever au laitier l'eau qu'il contient par capillarité et qui atteint souvent 15 p. 100, s'opère à l'aide de fours de différents modèles, cherchant à donner la plus grande utilisation de la chaleur sous le plus petit volume comme appareil.

Le broyage se fait à l'aide d'instruments divers, meubles, broyeurs à boulets, ou broyeurs centrifuges, etc. . .

Enfin les matières qui doivent former le ciment sont pesées et mises dans un appareil où elles sont amenées à un mélange intime.

Tous les laitiers de hauts fourneaux ne sont pas propres à la fabrication du ciment. M. Tetmayer a donné une formule qui permet de se rendre compte jusqu'à un certain point des propriétés hydrauliques que présentera un laitier de composition chimique donnée. Ils seront d'autant meilleurs au point de vue de la résistance que le rapport des nombres qui représentent les dosages en chaux et en silice sera plus élevé; quand ce rapport est égal à l'unité (laitier de fonte d'affinage), les propriétés hydrauliques sont faibles et inutilisables. Dans les laitiers basiques de fonte de moulage, le rapport est plus élevé et l'hydraulicité augmente. Toutefois, comme il est difficile de produire en marche normale des laitiers ayant plus de 50 p. 100 de chaux, le rapport en question ne dépasse jamais 2.

La proportion des deux éléments chaux et silice a une influence prépondérante en ce qui concerne la dureté, et l'expérience a montré que le ciment est plus complet, que la prise s'effectue dans des conditions meilleures, quand la proportion d'alumine est relativement élevée. La magnésie se présente rarement en proportion de 2 p. 100; quant au soufre, sa présence ne paraît pas nuire à la marche du durcissement, car M. Henry a vu des galettes qui contenaient 4 p. 100 de sulfure de calcium et dont la résistance allait en augmentant depuis deux ans sans présenter le moindre indice fâcheux.

L'origine même des laitiers assure aux ciments, auxquels ils serviront de matière première, une très grande régularité comme composition chimique, et les écarts que peuvent présenter en allure normale les principaux éléments : silice, chaux et alumine sont inférieurs à 2 p. 100.

Les propriétés des ciments de laitiers sont dans leur ensemble les mêmes que celles du Portland. Les premiers se distinguent des seconds par leur couleur claire, qui rappelle celle de la pierre de taille. Ils n'éteignent pas les couleurs et se prêtent bien aux rejointoiements des maçonneries ainsi qu'à la fabrication de la pierre artificielle et des mosaïques. Le poids du ciment de laitier est plus faible que celui des autres ciments; jeté à la pelle dans une forme d'un mètre cube, il pèse 1,100 kilogrammes environ.

Les essais de résistance exécutés par le laboratoire des ponts et chaussées de Paris ont donné de très bons résultats. Les résultats obtenus à l'eau de mer sont bons également et répondent amplement aux conditions des cahiers de charges. La prise de ce ciment se fait d'une façon analogue à celle des autres ciments, elle est influencée par les mêmes causes.

En un mot, les qualités du ciment de laitier lui assurent une place importante dans la construction, mais, comme le fait remarquer M. Henry, ils n'arriveront probablement jamais à un grand avenir en France, étant donné le petit nombre de hauts fourneaux dont les laitiers conviennent à la fabrication, car la production d'un de ces appareils serait d'environ 50 tonnes de

ciment par jour, c'est-à-dire 3 p. 100 de la production totale du ciment brut en France.

M. DEBRAY, ingénieur des ponts et chaussées, après avoir signalé rapidement des résultats d'expériences faites, au point de vue de la résistance, sur des ciments et des mortiers de ciments à différents dosages, passe de suite à l'examen de diverses observations pouvant servir à l'établissement d'un cahier des charges pour les chaux.

Les essais à l'aiguille de Vicat ne donnent pas de résultats absolument satisfaisants, car la prise est fortement influencée par les conditions du gâchage, par le poids de l'eau employée, etc. . .

La classification fournie par Vicat ne doit pas être prise dans un sens trop absolu; il ne faut pas croire que les chaux éminemment hydrauliques sont les meilleures; dans la pratique, les chaux les plus appréciées se trouvent être souvent les chaux moyennement hydrauliques; ce qu'on demande surtout à une chaux destinée aux travaux est de ne pas fournir d'inconvénients sérieux, tels que le fendillement, mais la difficulté est de constater par des essais en petit ces défauts graves. Il y a, en effet, des considérations de temps, d'extinction, de forme d'éprouvette, etc. . . , très distinctes, ce qui fait qu'en pratique des indications d'essais en petit peuvent être trompeuses.

L'essai à l'eau chaude, préconisé par MM. Candlot et Le Chatelier, offre évidemment l'avantage de donner un résultat prompt, mais cette méthode peut également être sujette à caution, car le gonflement que des mauvaises chaux mettraient en évidence serait facilement atténué dans une forte mesure par les fabricants qui ajouteraient une certaine proportion de sulfate de chaux, masquant ainsi les défauts de la chaux pour un certain temps.

M. Debray pense qu'il y a aussi quelques concessions à faire de la part des constructeurs et qu'il convient de n'exiger des fabricants que les qualités strictement nécessaires de manière à ne pas les pousser, soit à augmenter leurs prix, soit à sophistiquer leurs produits; les épreuves à l'eau froide et à l'eau chaude faites non plus seulement sur la chaux, mais encore sur des mortiers à différents dosages, peuvent d'après lui obtenir des indications très précieuses. Quelques essais qu'il a faits au laboratoire des ponts et chaussées lui ont montré, en effet, que pour des chaux contenant des expansifs, la pâte pure se fendait et tombait dans l'eau en bouillie, qu'il en était de même de mortiers à 1,300, 650 et 450 kilogrammes, tandis que dans certains cas des mortiers à 350, 300 et 250 kilogrammes résistaient bien. Les constructeurs qui n'auraient eu besoin que d'un mortier à 300 kilogrammes, par exemple, auraient donc pu très bien se contenter de cette chaux qui, dans des mortiers à dosages plus élevés, se montrait tout à fait insuffisante de qualité.

Quand il s'agit de ciment, on peut fort bien prescrire que les briquettes d'essai resteront vingt-quatre heures après leur confection exposées à l'air maintenu entre certaines températures, puis seront après ce délai immergées dans l'eau. Cette épreuve ne saurait être imposée à la chaux, laquelle peut fournir des éprouvettes se réduisant en bouillie dans l'eau si elles y sont introduites vingt-quatre heures après leur confection, alors qu'elles se comporteraient très bien si elles n'avaient été immergées dans l'eau qu'après un délai de trois, quatre ou cinq jours. Il semble donc que le constructeur, selon ses besoins, devra prescrire dans son cahier de charges le laps de temps pendant

lequel on pourra laisser les briquettes d'essai à l'eau avant de les soumettre à l'action de l'eau.

Enfin M. Debray signale une série de circonstances qui accompagnent non seulement la fabrication, mais encore la conservation de la chaux et qui fournissent dans leur ensemble une série nombreuse d'inconnus dans ce problème difficile de l'évaluation exacte de la qualité d'une chaux. Ce sont les quantités d'eau introduites pour l'extinction, le mode de blutage, le temps écoulé entre le blutage et la mise en sacs, les conditions dans lesquelles se sont trouvés les sacs depuis leur remplissage jusqu'au moment de la prise d'essai, etc. . .

Les conditions d'établissement d'un cahier des charges pour les chaux présentent donc des difficultés plus grandes que pour le ciment, et M. Debray est d'avis que, dans le cas de réglementation des chaux, il conviendrait de porter particulièrement l'attention sur les points suivants :

Au bout de combien de temps doit-on mettre les briquettes d'essai dans l'eau ; ce temps doit-il varier suivant que la chaux est faiblement hydraulique, hydraulique proprement dite ou éminemment hydraulique ?

N'y a-t-il pas lieu, pour les essais de chaux hydrauliques, de faire des essais à différents dosages ?

Enfin convient-il d'admettre, si l'essai primitif ne donne pas de bons résultats, que le fournisseur puisse demander qu'on reprenne l'essai au bout d'un certain temps ? Comment concilier cette dernière condition avec les exigences d'un chantier ou les essais à faire au laboratoire ?

M. QUINETTE DE ROCHEMONT, ingénieur en chef des ponts et chaussées, fait connaître les résultats d'essais qu'il a faits sur des ciments restés pendant six mois en magasin sur ses chantiers. Les résistances, qui avaient d'abord été de 8 kilogr. 45, 15 kilogr. 52 et 27 kilogr. 09, au bout de deux, cinq et trente jours, tombaient à 4 kilogr. 85, 11 kilogr. 72 et 21 kilogr. 84 après un délai de six mois de magasinage. Les résistances n'étaient plus que de 57, 75 et 80 p. 100, de ce qu'elles avaient été lors des premiers essais.

Les mêmes expériences faites sur des ciments ayant un an de magasin indiquent une diminution de résistance encore un peu plus grande ; mais la différence entre les résultats obtenus après six mois de magasinage est assez faible.

M. CORTANCIN entretient le Congrès des travaux en ciment avec ossature métallique. Ces travaux, dit-il, outre leur utilité, peuvent recevoir un cachet artistique, car le ciment se prête assez bien à une décoration qui lui est propre tout en répondant au besoin de l'esthétique qui exige, pour l'harmonie des formes, que la partie métallique soit fortifiée par une matière plastique qui masque la raideur de la charpente tout en la faisant pressentir.

Quant aux avantages qu'on peut tirer de ce nouveau « matériau » ils sont multiples. L'étanchéité du mortier empêche la rouille de diminuer la section utile du métal ; cette étanchéité d'ailleurs n'existe pas seulement pour l'eau, mais aussi pour les dissolutions alcalines et même pour certains acides ; cet avantage est mis à profit dans maintes industries. Avec le mortier de ciment, une faible épaisseur suffit pour donner l'étanchéité et opposer au liquide et au gaz une barrière infranchissable quand la transmission s'est produite dans les pertuis de la couche en contact avec le liquide ou le gaz. Le ciment avec ossature métallique est bien ingélicif, puisque de grands réservoirs à l'air libre,

pour lesquels aucunes précautions spéciales n'ont été prises, résistent très bien aux gelées quelquefois très fortes qu'ils ont eu à subir. Les hautes températures ne dégradent pas les parois en ciment avec ossature métallique, puisque des panneaux soumis à la température du blanc soudant, puis immergés brusquement dans l'eau froide, n'ont pas présenté de fissures; ce fait est d'une importance capitale au point de vue des incendies.

Après avoir énuméré tous les avantages que peut offrir le ciment combiné avec une ossature métallique, M. Cottancin présente la méthode qu'il a employée pour annihiler toutes les difficultés du treillis métallique, tel qu'il est constitué habituellement. Il a été conduit alors à la fabrication de l'ossature métallique par un mode de tissage composé d'une chaîne et d'une trame, condition qui procure une jonction simple et efficace des différentes surfaces planes ou courbes aussi bien que celles fermées entrant dans la composition d'un ouvrage.

Ce tissage, par le chevauchement des éléments entre eux, permet en outre le transport des ossatures sans crainte de dislocation qui se produit par le desserrage et le glissement des attaches.

La chaîne et la trame d'ossature des panneaux permettent, en profitant des boucles qu'elles forment, de réunir les à-bouts avec une tige de fer de section voulue qui forme une véritable charnière. La jonction des éléments, ainsi assurée d'une façon simple, permet d'établir avec la plus grande facilité des constructions démontables et le transport à pied d'œuvre de parties préparées à l'avance. De plus, avec ce procédé, on exécute l'enduit par compression pour éviter le procédé de coulage qui a le défaut de détruire l'homogénéité de la paroi en séparant le sable du ciment par différence de densité.

Dans les joints de tuyaux, M. Cottancin a songé à utiliser l'ossature même du tuyau en laissant ses boucles déborder du ciment pour les réunir avec celles du tuyau contigu et cela au moyen d'une barre de fer de section appropriée; il est parvenu, par ce procédé, à la résistance du joint sous l'effort d'une forte pression et avec une étanchéité parfaite. Il se sert seulement de la bague intérieure comme cintre pour faire une collerette en ciment dans le cas d'une canalisation continue où la dilatation est inutile.

Il résulte de l'étude rapide faite par M. Cottancin qu'un grand nombre d'applications dans le domaine de la construction ou de l'industrie sont réalisables par l'emploi raisonné des matériaux fer et ciment.

M. Prévost père a la parole pour lire un mémoire de M. Bonnamy sur la fabrication des produits hydrauliques.

M. Bonnamy, dans ce travail, fait ressortir l'importance de la finesse de mouture en ce qui concerne les ciments à indices élevés et donne la définition de ce que l'on doit entendre par finesse de mouture. Il rappelle qu'il est toujours imprudent d'employer des produits moulus qui n'ont pas subi un certain temps de silotage. Il parle enfin de la valeur de l'eau chaude, comme moyen de contrôle; il exprime le vœu qu'il soit fixé une limite de température à laquelle les chaux et ciments devraient résister, la température de 100 degrés lui paraissant trop élevée pour certains ciments.

M. Prévost remercie, en son nom et au nom de tous les industriels qui ont pris part au Congrès, M. Durand-Claye, M. Debray et tous les ingénieurs

dont on a entendu les intéressantes communications. Il remercie tout particulièrement MM. les directeurs du laboratoire de l'École des ponts et chaussées pour l'obligeance empressée qu'ils ont mise à faire connaître leurs procédés d'essai et les résultats de leurs expériences au laboratoire du Trocadéro.

Il croit devoir, en son nom et au nom de ses collègues de la région de Vassy, émettre le vœu que des expériences soient faites sur les ciments de Vassy, parallèlement à celles déjà faites sur le ciment de Portland, afin de reconnaître comment le premier ciment se comporte à l'eau magnésienne. Il semblait à peu près admis jusqu'ici que les ciments à prise rapide se comportaient à la mer beaucoup moins bien que les ciments de Portland; d'ailleurs les industriels eux-mêmes s'étaient un peu désintéressés de la question.

Il paraît cependant résulter, aussi bien de l'intéressante communication qui vient d'être faite par M. Quinette de Rochemont que des expériences du laboratoire du Trocadéro, qu'un ciment à prise rapide, d'un indice élevé, se comporte à l'eau de mer beaucoup mieux que le ciment de Portland. Il serait donc intéressant que ces expériences fussent poursuivies, et peut-être les ciments à prise rapide, qui ne sont guère employés à la mer que comme enduits protecteurs, pourraient-ils rendre de réels services. Les industriels pourraient certainement modérer la prise de ce ciment de façon à en rendre l'emploi facile sur les grands chantiers des ports. Il suffirait que pour cet emploi spécial ils subissent une cuisson et un silotage calculés.

M. ABADIE, ingénieur civil, donne des explications sur quelques-uns des nouveaux procédés de fondation, dus à M. C. Zschokke, et à MM. Zschokke et Terrier, dont il a été question dans le rapport remis au Congrès.

Il signale en premier lieu le mode de fondation des barrages et écluses établis sur la basse Seine, pour assurer à la navigation un mouillage de 3 m. 20.

L'idée nouvelle de l'établissement en rivière de fondations pneumatiques continues non émergentes, se soudant d'une manière étanche entre elles et avec le terrain dans lequel elles s'encastrant, a été mise en avant en 1880, par M. Zschokke. Les procédés qu'il a indiqués à cette époque ont été appliqués successivement par lui aux barrages de Port-Mort, de Meulan, de Mézy et de Méricourt, ainsi qu'aux écluses de Poses.

Le barrage de Port-Mort est construit suivant le type à pont supérieur. La fondation de cet ouvrage a comporté l'établissement de 14 caissons : 2 caissons-culées, 5 caissons-piles, 6 caissons-passes, plus 1 caisson de raccord. Les caissons-piles présentent en plan la forme d'un T, dont l'âme est dirigée dans le sens du courant et dont les ailes sont tournées vers l'aval. Les caissons-passes sont rectangulaires, ils sont immergés en travers du fleuve dans l'intervalle qui sépare les âmes de deux caissons-piles successifs, de manière que leurs extrémités se trouvent appliquées par le courant contre les ailes de ces caissons-piles.

M. Abadie donne des détails sur le mode de construction de ces caissons dont les parties en regard portent des rainures verticales qui, par leur juxtaposition, doivent constituer les puits de jonction.

Tous les caissons ont été montés sur échafaudages au-dessus de leurs emplacements définitifs, puis descendus à l'aide de vérins. On a commencé par le fonçage des caissons-piles et des caissons-culées.

Le niveau du banc de craie sur lequel est établie la fondation étant situé à

6 mètres au-dessous du fond de la Seine et le niveau du radier des passes faisant saillie d'environ 0 m. 70 au-dessus de ce même fond, on a dû limiter à 6 m. 70 la hauteur des parois verticales en tôle des caissons-passes; on a donné la même hauteur aux parois des caissons-piles et culées. Pour permettre l'exécution à sec des maçonneries, on a, pendant le fonçage, prolongé les parois des caissons jusqu'au-dessus du niveau de l'eau au moyen d'un batardeau constitué par des *hausse mobiles* ou panneaux en tôle renforcés par des fers à U et des cornières. Ces panneaux avaient une hauteur commune de 4 mètres. Leur longueur variable permettait de les adapter sur les parois fixes du caisson dont ils constituaient le prolongement et de leur en faire suivre tous les retours d'angle.

M. Abadie indique le mode d'assemblage des panneaux entre eux et avec le bord supérieur de la hausse fixe du caisson. Grâce au système employé, on pouvait à la fin du travail enlever les panneaux sans avoir à défaire aucun joint sous l'eau. L'emploi des hausses mobiles a permis d'élever les piles jusqu'au niveau de l'eau et d'exécuter les maçonneries et de poser les armatures métalliques des radiers des caissons-passes.

Les jonctions entre les caissons ont été exécutées après l'enlèvement des hausses mobiles. M. Zschokke a appliqué à Port-Mort son procédé de *jonctions par puits* déblayés jusqu'au rocher et remplis de béton coulé à sec.

Ce procédé a été employé pour la première fois en 1880 aux travaux du port de Saint-Malo-Saint-Servan.

À Saint-Malo, les puits de jonction présentaient une section carrée permettant l'emploi d'un caisson mobile, à l'aide duquel on pouvait exécuter à l'air comprimé l'enlèvement des déblais du puits, le nettoyage du fond et le remplissage en béton.

Sur la Seine, on a d'abord craint que, dans la jonction ainsi exécutée, le contact entre le béton du puits et la paroi du caisson ne fût pas assez intime pour prévenir les infiltrations et, afin de multiplier les surfaces de contact, on a donné aux puits de Port-Mort une forme compliquée ne permettant pas l'emploi du caisson mobile. Les jonctions de ce barrage ont donc été exécutées par voie d'épuisement derrière des batardeaux. On a plus tard reconnu que le mode d'exécution employé à Saint-Malo donnait toute sécurité et, dans les fondations des barrages de Mézy et de Méricourt et des écluses de Poses, on est revenu aux jonctions exécutées dans des puits rectangulaires à l'aide du caisson mobile.

M. Abadie donne des détails sur les travaux des écluses de Poses. Le bord supérieur des tôles fixes du caisson ne dépassait pas le fond du fleuve. La maçonnerie des bajoyers a été exécutée derrière des hausses mobiles en autant de tronçons qu'il y avait de caissons. Pour réunir deux tronçons successifs du bajoyer, on a disposé de chaque côté de l'intervalle à remplir des masques en tôle s'appuyant, au moyen de patins munis de bandes de caoutchouc, contre les parements déjà exécutés des tronçons à réunir et on a pu exécuter à sec la maçonnerie de raccord en épuisant, à l'aide de pompes, l'enceinte ainsi constituée.

M. Abadie communique ensuite au Congrès les procédés employés pour l'exécution des jetées et des dérochements sous-marins de l'avant-port de la Pallice à la Rochelle. Les jetées ont été fondées sur des blocs en maçonnerie

de 20 mètres sur 8 mètres, distants de 1 m. 50 et reliés entre eux par des voûtes.

MM. Zschokke et Terrier, à qui le devis avait laissé l'initiative des moyens d'exécution, ont employé à la construction de ces blocs deux grands caissons-cloches de 22 mètres de longueur et de 10 mètres de largeur. Au-dessus de la chambre de travail, qui avait 1 m. 80 de hauteur, était disposée une chambre de 2 mètres de hauteur, dite chambre d'équilibre, pouvant être à volonté remplie d'air ou d'eau. Elle était surmontée d'une charpente métallique supportant une plate-forme placée à une hauteur suffisante pour être toujours au-dessus du niveau de l'eau. Quatre cheminées partant de la chambre de travail traversaient la chambre d'équilibre et se terminaient par des écluses à air situées sur la plate-forme.

M. Abadie donne des détails sur le mode de construction des caissons et des appareils d'éclusement et, notamment, des écluses spéciales à matériaux, sur le lestage et sur le lancement du caisson.

La chambre d'équilibre étant à sec et la chambre de travail pleine d'eau, le caisson flottait avec un tirant d'eau de 3 m. 40; on l'amenait au-dessus de l'emplacement du bloc à construire et on l'échouait en introduisant l'eau dans la chambre d'équilibre. Pour équilibrer la sous-pression, on devait, avant d'introduire l'air comprimé dans la chambre de travail, charger le plafond de la chambre d'équilibre au moyen d'un lest mobile en fonte de 230 tonnes. Lorsque le rocher servant d'assiette au bloc était mis à nu et égalisé, on exécutait la première assise de maçonnerie.

M. Abadie indique comment, au moyen de 24 vérins placés dans la chambre de travail et dont les écrous étaient fixés au plafond, on arrivait à soulever le caisson de manière à exécuter la maçonnerie par couches successives de 0 m. 40 à 0 m. 50. Quand la maçonnerie du bloc était ainsi arrivée à la cote 1 m. 50, on relevait le caisson en vidant la chambre d'équilibre et en enlevant le lest mobile, on laissait la chambre de travail se remplir d'eau et on profitait de la marée pour déplacer l'appareil et l'échouer sur un nouvel emplacement.

M. Abadie indique le procédé employé par l'entreprise pour exécuter à sec jusqu'à la cote 5 m. 00 le dérochement de l'avant-port entre les deux jetées.

On a fondé en travers de la passe un batardeau reposant sur quatre blocs semblables aux blocs des jetées, on a ensuite fermé avec de la maçonnerie les pertuis de 1 m. 50 à 2 mètres de largeur laissés entre les divers blocs. On a ainsi constitué en pleine mer une enceinte étanche que l'on a épousée et dans laquelle on a pu faire les dérochements à sec; on n'aura plus ensuite qu'à enlever le batardeau fermant la passe.

M. Abadie entre dans des explications très détaillées sur le moyen employé pour exécuter à l'air comprimé le bouchage des pertuis.

Ce procédé hardi a parfaitement réussi. L'enceinte a pu être très aisément mise à sec et l'on termine en ce moment les dérochements.

La séance est levée à 5 heures.

Séance du samedi matin 14 septembre 1889.

Le bureau est formé de : M. EIFFEL, *président*; MM. BELELUBSKY, WATSON, *vice-présidents étrangers*; MM. MOREAU, PETIT, *secrétaires*.

La séance est ouverte à 9 heures un quart sous la présidence de M. EIFFEL, qui donne la parole à M. Contamin pour résumer le rapport qu'il a fait en collaboration avec MM. Eiffel et Fouquet sur les constructions métalliques.

Dans cette communication, M. CONTAMIN insiste tout particulièrement sur les caractères qu'ils ont cherché à mettre en évidence. Reprenant la construction métallique depuis ses débuts, puis considérant la ferme Polonceau, l'auteur montre au Congrès les progrès successivement réalisés et qui, dès la construction des fermes de la grande nef du palais de l'Industrie en 1855, dénotent la tendance prise par les constructeurs de marcher vers la simplification en évitant les formes tourmentées et les pièces contournées, tout en adoptant des types de fermes qui, au point de vue architectural, présentent un effet agréable.

Plus tard, dans le palais de l'Exposition de 1867, s'accuse la tendance à la suppression des tirants qui se trouvent reportés au-dessus des arcs.

En 1878, la ferme métallique réalise un nouveau progrès, par l'absence complète des tirants, mais on y trouve encore des formes trop contournées qui amènent certaines complications dans la méthode des calculs.

Lorsqu'il s'est agi de continuer ces études en vue de l'édification de l'Exposition universelle de 1889, M. Contamin s'est imposé comme règle, dans les fermes qu'il avait à constituer, de satisfaire aux deux conditions, de l'aspect et du prix de revient, en ne faisant subir aux pièces que le minimum de main-d'œuvre, et les soumettant au maximum du travail dont, en toute sécurité, elles étaient capables. Les fers n'y subissent, pour satisfaire à ces conditions, que des coupements, percements et ajustages de leurs extrémités; on évite de leur faire supporter le moindre travail à chaud. Il est évident que l'application de ce dernier principe oblige à rattraper les contre-coudages par des fourrures qui augmentent le poids du métal mis en œuvre; mais l'excédent de dépense dû à ces fourrures est largement compensé par les économies de main-d'œuvre et de travail de toutes sortes qu'on peut ainsi réaliser. Pour satisfaire enfin à ce sentiment d'économie qui s'impose tous les jours davantage, il est essentiel de répartir la matière dans les différentes pièces suivant son utilisation la plus rationnelle et de ne donner à ces dernières que les dimensions strictement nécessaires.

C'est pour arriver à réaliser ces principes d'ordre tout spécial, surtout en présence d'arcs de 115 mètres dépassant de beaucoup les dimensions admises jusqu'à ce jour, que M. Contamin a été conduit à l'application d'une méthode nouvelle en France pour les fermes, et consistant à les construire avec des articulations, comme cela avait été pratiqué pour des ponts.

Ce mode de construction était d'autant mieux approprié au Champ de Mars, que son sol était plus mauvais, et qu'il était plus difficile d'affirmer que les hypothèses faites sur les appuis, dans le cas d'une poutre continue, seraient

réalisées; le système des articulations ne laissait du moins aucune incertitude sur la répartition des forces.

L'important dans ces recherches est de donner une base certaine à ses calculs et d'en déduire les dimensions qui en résultent. En accusant franchement ces dimensions, on arrive toujours à une forme qui donne toute satisfaction à la vue.

Ce sont ces mêmes principes qui ont guidé les ingénieurs dans la constitution des ossatures métalliques des autres constructions du Champ de Mars. Ils se sont attachés à supprimer dans les grandes fermes les tirants, les pièces de forge ou de forme trop complexe. C'est ainsi que les fermes qui abritent les industries diverses se réduisent simplement à des appuis sur lesquels repose librement une poutre à forme plus ou moins cintrée. Les mêmes règles ont présidé à l'établissement des dômes qui sont constitués par des pièces reposant sur le sol, venant simplement s'appuyer contre une cerce. Ces solutions sont rationnelles, car elles simplifient les calculs, suppriment l'interprétation quelquefois arbitraire des formules et permettent la répartition de la matière dans de meilleures conditions.

M. LE PRÉSIDENT remercie M. Contamin de son intéressante communication qui constitue en quelque sorte la philosophie des observations enregistrées dans la note de MM. Eiffel, Contamin et Fouquet, et donne ensuite la parole à M. Godfernaux qui, en l'absence de M. Fouquet, doit présenter quelques explications relatives aux ponts métalliques.

M. GODFERNAUX, ayant été engagé par M. le Président à être bref, a dû se borner à signaler quelques passages de la note que les membres du Congrès ont d'ailleurs entre les mains et qu'il suppose par conséquent connue d'eux. Cette note n'est elle-même qu'un résumé très succinct des observations qu'on pourrait présenter sur un sujet aussi considérable.

Après avoir rappelé les trois types principaux auxquels peuvent se réduire les ponts, à savoir : les ponts suspendus, les ponts à poutres, soit à profils constant, soit composés de formes paraboliques, et les ponts en arcs, M. Godfernaux passe rapidement sur les ponts suspendus presque abandonnés en Europe, mais auxquels, depuis quelques années, on semble vouloir revenir.

En ce qui concerne les ponts à poutre, il signale qu'en Europe on s'est presque exclusivement rattaché au principe des pièces rivées, tandis qu'en Amérique on ne construit guère que des ponts dont les pièces sont réunies par des boulons d'articulation. Ce mode de construction, qui exige une grande perfection dans l'exécution, semble moins en faveur depuis quelque temps sur le continent américain, et des accidents survenus à divers ouvrages construits d'après ce système lui ont été, à tort ou à raison, attribués.

Passant rapidement en revue les principaux types nouveaux de ponts métalliques destinés à répondre à des besoins spéciaux et parfaitement déterminés, M. Godfernaux signale le viaduc de Garabit et le pont monumental presque achevé sur le Forth. Il signale ensuite comme projet présentant des dispositions nouvelles celui qui a été adopté par l'Administration pour franchir le ravin de Vieur et qui comporte un arc central de 250 mètres d'ouverture.

La note donne les dimensions principales des ouvrages du Garabit, du Forth et du Vieur qu'il ne croit pas devoir rappeler.

Passant en revue les nouvelles considérations introduites dans le calcul des ponts métalliques, la note signale que c'est surtout depuis l'accident survenu au pont sur la Tay, en Angleterre, que l'attention s'est portée spécialement sur l'action du vent. Mais, les règles prescrites en Angleterre sont excessives, et on y admet des pressions beaucoup plus fortes que celles qui peuvent se produire ordinairement, à moins de circonstances tout à fait exceptionnelles, dont évidemment il y aurait à tenir compte le cas échéant.

Quant aux expériences de M. Woehler, il fait ressortir que les conditions particulières dans lesquelles cet ingénieur les a faites sont assez différentes de la pratique, et croit que des expériences nouvelles et dirigées en vue de leur application aux ponts métalliques seraient très désirables.

En ce qui concerne la résistance de l'acier, la note indique que l'on peut employer avec sécurité des aciers résistant entre 45 et 49 kilogrammes à la rupture. Cette résistance permet un coefficient de travail assez élevé pour que l'on retire de l'emploi de l'acier toute l'économie qu'il comporte surtout pour les grandes ouvertures, malgré les précautions qui sont quelquefois exigées pour l'emploi d'aciers de cette espèce.

M. CONTAMIN vient donner un complément à la conclusion du rapport de M. Godfernaux au point de vue des altérations que subissent les fers en service et signale quelques essais entrepris au chemin de fer du Nord, sur des fers provenant de ponts construits depuis trente ans et qui avaient subi le passage de plus de trois cent mille trains. Les échantillons de fer tirés de ces ponts ont donné, pour les plates-bandes en particulier, des résistances de 37 kilogrammes alors qu'à la construction, les essais qui avaient été faits donnaient des résistances variant de 36 à 37 et 38 kilogrammes. Le fer, on le voit, n'a subi aucune altération et cela parce que dans aucun cas la limite d'élasticité n'avait été dépassée.

M. Contamin croit donc, ce n'est là qu'une supposition, que les altérations dont on parle ne se produisent que dans une mesure tout à fait insignifiante lorsqu'on ne dépasse pas la limite d'élasticité.

M. CONSIDÈRE rappelle brièvement les lois émises par Woehler et fait remarquer que si les pièces de plates-bandes qui ont été essayées, comme vient de le dire M. Contamin, n'offrent pas d'altération, c'est qu'elles ont été toujours soumises à des efforts de même sens : or, d'après les lois mêmes de Woehler, l'altération du métal ne commencerait à se produire que pour des efforts supérieurs à la limite d'élasticité et elle n'est jamais atteinte dans les constructions. Le résultat des expériences signalées plus haut n'infirme donc pas les lois de Woehler.

M. ARNODIN signale le résultat de quatre-vingt-douze expériences faites sur des fils de fer du pont Saint-Christophe, à Lorient, après que cet ouvrage eut énormément travaillé. Ces résultats sont fort peu différents de ceux obtenus au début de l'établissement du pont il y a trente-neuf ans.

M. DAYDÉ croit à l'exactitude des lois de Woehler, mais il fait remarquer que dans le cas où l'on devrait faire intervenir cette méthode dans les calculs, il faudrait modifier les conditions du travail à 6 kilogrammes. Il en serait de même lorsqu'on fait intervenir la pression du vent, c'est-à-dire que, si un pont travaille à 6 kilogrammes sans tenir compte du vent, le coefficient passe de

6 à 8 kilogrammes lorsqu'on introduit dans les calculs l'action du vent pour une pression de 150 kilogrammes.

M. BELELUBSKY donne le résultat d'expériences sur des pièces de pont n'ayant jamais servi et sur des pièces en service depuis quarante ans. Il cite différents chiffres relatifs à la traction, à l'allongement, à la compression et à la limite d'élasticité; ces chiffres montrent des résultats à peu près identiques dans les deux cas.

M. CONSIDÈRE répond que cela confirme que pour les pièces exclusivement soumises à des efforts de même sens on n'a pas à se préoccuper de rien quand la limite d'élasticité n'est pas dépassée; puis, répondant à M. Daydé, il l'informe qu'il y a en ce moment une commission dont il fait partie qui a été nommée par le Ministre des travaux publics pour reviser la circulaire de 1877, et qu'il lui a proposé de fixer le coefficient du fer à 6 kilogr. 5 pour les ponts de 35 mètres d'ouverture et à 7 kilogrammes pour ceux de 75 mètres.

Après différentes discussions sur la valeur des lois de Woebler et sur la nécessité de reviser le coefficient du fer, M. LE PRÉSIDENT donne la parole à M. ARNODIN, qui résume un mémoire qu'il a rédigé, en vue du Congrès, sur les ponts suspendus.

Il explique que les ponts suspendus emploient la matière à la traction depuis la plus haute antiquité, et qu'on en retrouve l'application à tous les degrés de la civilisation. Les peuplades primitives y emploient des lianes, les peuples civilisés y emploient l'acier qu'ils appliquent à des constructions plus confortables.

Aujourd'hui, après les nouveaux perfectionnements qui constituent le pont suspendu métallique rigide et à pièces amovibles, ces constructions en sont arrivées à un tel point, et présentent des avantages si considérables sur l'ancien type, que leur emploi revient en faveur et que M. le Ministre des travaux publics, par une circulaire en date du 27 décembre 1886, et M. le Ministre de l'intérieur, par une circulaire en date du 7 juillet 1889, signalent à MM. les ingénieurs et aux agents du service vicinal qu'il y a lieu de se préoccuper de la conservation et de l'amélioration de ces ouvrages.

D'ailleurs les reproches qu'on était en droit de faire aux ponts suspendus n'ont plus leur raison d'être aujourd'hui. L'emploi du métal diminue les frais d'entretien; leur rigidité facilite la viabilité, et l'amovibilité de leurs pièces les rend plus durables que tout autre pont métallique.

Selon M. Arnodin, l'amovibilité est le progrès le plus important qui ait été apporté dans ces derniers temps, car non seulement elle permet de remplacer facilement une pièce dès qu'elle devient douteuse sans entraver la circulation, mais encore elle permet d'admettre, pour les ouvrages considérables, le roulement dans le remplacement, de façon à maintenir à l'ensemble une sécurité constante, quel que soit le temps écoulé depuis l'édification première.

Pour mieux faire comprendre cette démonstration, il admet hypothétiquement la durée du métal à cent ans, et il cite l'exemple d'un pont qui aurait dix câbles; si l'on établit un roulement dans leur remplacement tous les dix ans, il y aura toujours dans le pont un câble de 10 ans, un de 20 ans, un de 30 ans, etc., enfin le plus âgé aura 90 ans, quelle que soit la date de construction du pont.

La durée du métal est bien éphémère comparée à celle de l'humanité, et M. Arnodin trouve regrettable que des chefs-d'œuvre métalliques de notre époque tels que le pont de Brooklyn, du Forth, le viaduc de Garabit, n'aient pas eux-mêmes les moyens faciles de se perpétuer.

M. Arnodin dit qu'après les derniers perfectionnements, il ne reste plus contre les ponts suspendus que d'injustes préventions ou l'ignorance des conditions nouvelles dans lesquelles ils se présentent.

M. EIFFEL, en ce qui le concerne, croit à l'avenir des ponts suspendus améliorés, mais il estime, contrairement à ce que pense M. Arnodin, que le plus grand progrès serait celui qui assurerait leur rigidité absolue.

M. ARNODIN répond que cette rigidité peut être augmentée à volonté, par l'emploi judicieux des câbles obliques et de la poutre raidissante; elle peut être rendue telle qu'elle puisse satisfaire même aux voies ferrées, mais que dans l'état actuel elle est suffisante pour les voies de terre et telle que l'on ait pu appliquer au pont du Midi sur la Saône, à Lyon, des trottoirs en asphalte qui se comportent très bien; que d'ailleurs la rigidité absolue n'existe pas non plus dans les ponts métalliques, et qu'un fléchissement de quelques centimètres sur une travée de 150 mètres, par exemple, n'offre aucun inconvénient appréciable pour la circulation.

M. LE PRÉSIDENT remercie M. Arnodin de son intéressante communication, tout en regrettant qu'il n'ait pas donné des explications précises sur la stabilité des ponts suspendus. M. le Président fait en outre quelques observations sur la rigidité des ponts suspendus, et principalement sur les essais qu'on leur fait subir à la réception, et qui ne seraient pas toujours suffisamment probants, en ne tenant pas compte de la position des charges dangereuses. Il demande notamment si on a fait des essais sur les ponts de M. Arnodin en surchargeant partiellement les travées, au quart, à la moitié et aux trois quarts de la longueur de la travée, ou suivant les autres fractions de longueur représentant les cas les plus défavorables.

M. ARNODIN répond qu'en effet les essais n'ont pas lieu ainsi, et que ce n'est que la charge mobile qui donne lieu à des déformations de ce genre.

M. EIFFEL observe que cette charge mobile est très faible par rapport au poids mort de l'ouvrage et est insuffisante pour indiquer les déformations dues à une surcharge.

M. BELELUBSKY présente au Congrès quelques résultats des essais qu'il a été appelé à faire sur les plates-bandes des poutres de rive du pont construit sur le Dnieper à Kieff. M. Belebubsky a été assez heureux pour retrouver, dans le magasin des pièces de rechange de ce pont, des morceaux de plates-bandes qui n'avaient jamais servi, ce qui lui a permis de faire des essais comparatifs entre ces derniers échantillons et du métal pris sur le pont mis en service depuis plus de quarante ans; des éprouvettes de 0 m. 200, prises dans chacun des échantillons, ont donné à très peu près les mêmes résultats à la rupture, à l'allongement et comme limite d'élasticité.

Ces expériences tendent donc à prouver que le fer employé dans les ouvrages métalliques ne subit pas d'altérations.

M. BELELUBSKY fait part au Congrès de la détermination suivante prise par

le Gouvernement russe à la suite de ces expériences; désormais tous les ouvrages métalliques de quelque importance devront, au moment de leur établissement, fournir des échantillons divers pris dans le métal employé, ces échantillons seront mis en magasin de manière à pouvoir fournir dans l'avenir des données comparatives entre le métal mis en usage et celui qui aura été laissé intact au repos.

Avant de lever la séance, M. LE PRÉSIDENT présente quelques observations sur le mémoire de MM. Hallopeau et Lantrac. Ses études ont porté d'une façon spéciale, depuis quelques années, sur l'acier dont il a été certainement un des plus grands consommateurs, principalement pour la construction des ponts démontables pour lesquels il en a employé de 3,000 à 3,500 tonnes. Il a donc examiné avec soin cette question de l'acier, et il lui semble, qu'il est un point auquel on a toujours attaché dans le cours de la discussion, une importance trop grande, c'est le coefficient de rupture. Il est une chose qui le préoccupe bien davantage, c'est la limite d'élasticité, ce phénomène caractéristique sur lequel on ne paraît pas encore suffisamment édifié.

Dès qu'il a commencé à se servir d'acier, M. Eiffel a porté toute son attention sur cette limite d'élasticité qu'il fixe d'une façon générale à 30 kilogrammes en n'exigeant qu'une résistance de 45 kilogrammes. Les forges auxquelles ces conditions sont imposées arrivent pleinement à y satisfaire.

Dès qu'il est sûr d'avoir un métal donnant 30 kilogrammes comme limite d'élasticité, il peut se montrer beaucoup plus hardi et, prenant alors comme coefficient pour l'acier $6 \times \frac{30}{18} = 10$ kilogrammes, il élève le coefficient au-dessus du chiffre de 8 kilogr. 5, proposé par MM. Hallopeau et Lantrac. M. Eiffel croit donc que ce n'est pas tout à fait avec raison que ces Messieurs disent, dans leur mémoire, que c'est à tort que dans certaines constructions récentes on a admis des coefficients plus élevés, atteignant 10 et 12 kilogrammes.

A côté de la limite d'élasticité il faut indiquer une autre condition spéciale: la striction. En l'évaluant à 45 p. 100 et à 45 kilogrammes la résistance, on arrive au chiffre empirique de 90 auquel M. Eiffel tient beaucoup, et si l'on vient à diminuer la résistance il faut augmenter la striction, laquelle ne doit jamais être inférieure à 45 p. 100. C'est du reste à l'application de ces principes que M. Eiffel doit d'être revenu à l'acier qui, dans l'origine de son emploi, lui a montré des accidents très graves.

Reprenant les essais auxquels on doit soumettre l'acier, et tout en reconnaissant que les essais de pliage, d'enroulement et de poinçonnage donnent des indications très utiles, il préconise avant tout l'essai au choc, obtenu par un ouvrier frappant à l'aide d'un marteau à devant. Ainsi, pour les cornières à employer, il les fait ouvrir à grands coups de masse à une extrémité et fermer à l'autre également à coups de masse. L'acier qui subit bien cette opération offre toutes les garanties possibles.

Une autre question, celle de l'alésage et du forage, fait l'objet d'une remarque de la part de M. Eiffel. Il croit en principe qu'on exagère beaucoup les avantages du forage. En supposant qu'on doive procéder à une de ces opérations, c'est l'alésage qui doit être préféré au forage, car ce dernier, à moins d'être fait avec un soin tout particulier, ne donne jamais une grande exactitude.

Enfin M. Eiffel s'élève contre l'opinion de MM. Hallopeau et Lantrac, qui

disent dans leur mémoire qu'on devra donner la préférence dans les cas ordinaires au fer fondu obtenu sur sole neutre ou basique à l'exclusion du convertisseur.

En dehors de la question de principe qui consiste à laisser les métallurgistes libres dans leurs moyens de production pourvu qu'ils fournissent le métal demandé, il pense que le convertisseur est un excellent appareil capable de produire le métal tel qu'on le désire.

Une condition lui paraît devoir être conseillée, c'est que l'acier soit laminé par les forges mêmes qui le fabriquent, sinon il est très difficile d'opérer des réceptions tout à fait satisfaisantes; les lingots peuvent présenter toutes les qualités requises, tandis qu'il n'en sera pas ainsi pour le produit laminé et, en présence d'un partage de responsabilité, la liberté de refus devient bien moins facile à l'acheteur et l'on est ainsi entraîné à faire des concessions sur les conditions primitives imposées.

La séance est levée à midi et quart.

Séance du samedi soir 14 septembre 1889.

La séance est ouverte à 2 heures, le bureau est formé de : MM. EIFFEL, *président*; BELELUBSKY, WATSON, *vice-présidents étrangers*; MOREAU, PETIT, *secrétaires*.

M. LE PRÉSIDENT propose de consacrer cette séance à la discussion des différentes opinions émises précédemment relatives à l'emploi de l'acier dans les constructions et donne lecture des questions suivantes que M. Considère lui a remises par écrit et qui pourraient être utilement discutées :

- 1° Peut-on avec les divers procédés de fabrication, produire couramment et régulièrement des aciers à 45, 50 et 55 kilogrammes de résistance ?
- 2° Quelles sont les limites d'élasticité correspondantes ?
- 3° Quels sont les allongements correspondants mesurés sur des éprouvettes de 0 m. 100 et 0 m. 200 ?
- 4° Enfin, au point de vue de la fabrication et de la composition chimique, à quoi correspond le rapport de la limite d'élasticité à la résistance ?

M. LE PRÉSIDENT donne la parole à M. Considère pour développer ces questions.

M. CONSIDÈRE fait ressortir d'abord que, bien qu'il ait défendu la cause de l'acier de grande résistance, il admet l'usage de l'acier ayant 40 à 45 kilogrammes de résistance avec 20 à 28 p. 100 d'allongement; il demande donc que le Congrès émette un avis en faveur de l'emploi de ces aciers doux qui pourraient être traités comme le fer sans inconvénients plus grands que ceux, très réels toutefois, qui en résultent pour ce métal.

Puis il lui semble admis par tout le monde aussi que, dans certains cas et pour des portées plus grandes, on peut être amené à employer des aciers plus durs, par conséquent le Congrès pourrait donner son avis sur la question de savoir jusqu'à quelle résistance on peut s'avancer sans danger,

Enfin un point encore, selon M. Considère, laisse les avis partagés, c'est sur la caractéristique à choisir. Il se rallie d'ailleurs entièrement à l'avis de M. Eiffel de prendre la limite de l'élasticité comme caractéristique principale et de dire que, pour les ponts à grande portée, par exemple, on pourra employer des aciers ayant une limite d'élasticité de 30 kilogrammes, mais ici se pose alors une question sur laquelle les métallurgistes pourront fournir d'utiles renseignements : sur quelle résistance de rupture et quel allongement à la rupture peut-on compter avec ces aciers ?

La parole est à M. RÉMAURY, ingénieur civil des mines et métallurgiste, qui, sur l'invitation de M. le Président, s'est rendu à la séance pour donner aux membres du Congrès, comme il vient de le faire au Congrès des mines et de la métallurgie, les renseignements en sa possession au point de vue métallurgique, sur la question des fers fondus et des aciers appliqués aux constructions.

M. RÉMAURY a déjà eu l'occasion ⁽¹⁾ de mettre en garde les constructeurs contre les irrégularités du fer puddlé dont le soudage en mises est toujours incertain et dont il est impossible d'expulser complètement les scories ; il faut recourir à la fusion pour obtenir un métal homogène, plus ou moins pur, plus ou moins dur, et c'est le four Martin-Siemens qui réalise l'enceinte la plus favorable à son obtention, parce que l'opération est dans les mains de celui qui la dirige ; là seulement on peut arriver au dosage voulu à l'aide d'additions et de rectifications, ce qui n'a pas lieu au convertisseur où quelques secondes de plus ou de moins modifient totalement le produit. Sans entrer dans les détails de la question de garnissage du four Martin-Siemens, M. Rémaury rappelle qu'on demande l'acier dur ou demi-dur au garnissage acide et l'acier doux ou extra-doux au garnissage basique ou neutre.

Il croit que le métal doux appelé *acier* et qui doit être considéré comme du fer fondu est le seul qui puisse être travaillé dans les forges à fer avec leur ancien outillage sans trop le modifier. Il pense néanmoins que ces forges auraient intérêt à fortifier leurs laminoirs et leurs machines pour aborder couramment la fabrication du métal moins doux.

On sait qu'avec l'acier basique on arrive aux allongements de 30 p. 100 mesurés sur 0 m. 200, mais on ne dépasse pas les chiffres de 38 à 40 kilogrammes de résistance à la rupture, ce qui écarte de son emploi les constructeurs qui voudraient se rapprocher de 50 kilogrammes.

Leur vœu semblerait accompli avec un métal analogue à l'acier basique comme douceur, mais présentant, pour un même allongement, des résistances supérieures, qui correspondent généralement à l'acier plus dur.

Or, depuis plusieurs années, l'application du garnissage, appelé neutre, par opposition aux garnissages connus sous le nom d'acide ou basique, semble avoir comblé cette lacune.

Ce garnissage, qui consiste à revêtir le laboratoire des fours d'une matière extra-réfractaire, due à l'emploi de fer chromé convenablement cimenté et recuit, était déjà en 1886, l'objet d'une note de M. V. Deshayes, l'auteur d'un article remarqué sur la métallurgie du fer dans les fascicules complémentaires du *Dictionnaire de Würtz*.

⁽¹⁾ Comptes rendus de la Société des ingénieurs civils, mai 1888.

M. Deshayes signalait, après deux ans de marche de deux fours Martin-Siemens munis de ce garnissage aux forges d'Alais, ce fait remarquable, qui s'est depuis lors confirmé dans toutes les applications du même procédé soit en France, soit à l'étranger, et qu'il formulait ainsi :

« Sur la sole neutre, pour une même valeur de la résistance, nous obtenons plus d'allongement que sur la sole basique ou acide, ou qu'au convertisseur acide ou basique; nous ne pouvons nous expliquer ce fait que par une très grande homogénéité du métal dépendant de la température de coulée, très élevée au moment de l'addition du ferro-manganèse ».

A cette explication, M. Rémaury en a ajouté une autre au Congrès des mines et métallurgie, c'est l'incorporation au métal d'une très petite proportion de chrome uniformément réparti.

D'ailleurs, quelles que soient les explications de ce fait important, il résulte de tableaux mis sous les yeux des membres du bureau du Congrès; et il est prouvé notamment par un relevé certifié par un ingénieur de la marine espagnole, relatif à l'usine de la Folquera (Asturies) et à des essais de tôles de 0 m. 028 d'épaisseur ayant donné une résistance moyenne de 45 kilogr. 37 dans le sens du laminage en long et de 44 kilogr. 95 dans le sens du laminage en travers, avec allongements respectifs de 30,26 et 29,05 p. 100.

En Angleterre, dans les usines de MM. Bell brothers (à Clarence) où le même mode de travail est appliqué aux fontes impures du Cleveland, on constate couramment l'alliance d'allongements de 30 p. 100, mesurés sur 0 m. 200 avec des résistances de 45 à 47 kilogrammes, et la limite d'élasticité du métal a varié entre 66 et 70 p. 100 de la charge de rupture, ce qui donne en moyenne un chiffre supérieur à 30 kilogrammes, exactement 30 kilogr. 60 pour le cas de $45 \times 0,68$. La présence du chrome dans l'acier a pour effet bien reconnu de relever la limite d'élasticité à 65 ou 70 p. 100 de la charge de rupture; elle est donc très favorable aux métaux destinés aux constructions.

M. Rémaury ajoute que si, sur les soles basiques, il est possible d'obtenir du fer doux soudant, il est presque impossible d'y produire régulièrement un métal plus carburé, tandis que sur la sole neutre on travaille à volonté en scorie acide ou basique et l'on peut recarburer sans hésitation au degré convenable.

M. LE PRÉSIDENT demande à M. Rémaury si la combinaison de ces chiffres, 30 p. 100 d'allongement et 45 kilogrammes de résistance à la rupture, est facile à obtenir avec toutes les fontes et tous les minerais.

M. RÉMAURY n'hésite pas à affirmer que dans les usines bien outillées, comme le Creusot et d'autres grandes aciéries, le même mode de travail donnera les mêmes résultats avec les soins nécessaires, appliqués à des fontes quelconques même phosphoreuses, mais peu ou point sulfureuses.

Il ajoute un nouvel exemple en parlant du travail pratiqué aux aciéries d'Alexandrowsky dont les produits sont bien connus de M. Belebubsky, vice-président du Congrès, et constituent une véritable spécialité dans la fabrication des aciers doux et fers fondus soudables, qui arrivent à remplacer le fer soudé par le métal fondu dans les constructions métalliques de Russie. Ces aciéries possèdent sept fours de fusion du système Martin-Siemens, dont cinq sont revêtus du garnissage neutre.

On peut voir à l'Exposition les remarquables produits de ces aciéries (la production annuelle dépasse 10,000 tonnes en employant des fontes et des ferrailles de toute provenance) travaillant au four Martin neutre, qui ne traitent que des fontes achetées d'origines différentes et qui arrivent cependant à des résultats surprenants de régularité. Par contre, d'autres établissements, souvent placés dans de meilleures conditions comme régularité dans la qualité de la matière première, sont loin de produire un métal régulier.

M. DAYDÉ signale qu'il a eu, lui aussi, à examiner de très près cette question des aciers, et que devant faire une commande importante, environ 200 tonnes, il a partagé cette commande entre les forges de Pompey et celles de Longwy, qui travaillent, la première avec le four Martin et la seconde par déphosphoration. Les essais faits sur les livraisons de ces deux usines ont, en tous points, donné les mêmes résultats quant à la résistance, à l'allongement et à la limite d'élasticité. En ce qui concerne ce dernier coefficient, les chiffres ont constamment varié de 25 à 28 kilogrammes, ce qui ferait supposer que le chiffre de 30 kilogrammes émis par M. Eiffel serait peut-être un peu exagéré.

Sur la réponse que fait M. EIFFEL en disant qu'il obtient couramment de ses fournisseurs 30 kilogrammes comme limite d'élasticité, M. CONSIDÈRE fait remarquer qu'il est facile non seulement d'obtenir ce chiffre, mais même de le dépasser par l'écrouissage. Si en effet le métal est très épais, et se trouve laminé à une température élevée, on a des rapports élevés; si au contraire le métal est mince et laminé quand il commence à se refroidir on peut atteindre des rapports moins élevés. Il se range donc entièrement à l'avis de M. Eiffel, trouvant le chiffre de 30 kilogrammes, comme limite d'élasticité, absolument rationnel, surtout si l'on peut l'obtenir d'une façon courante.

M. EIFFEL fait ressortir qu'il trouve des forges produisant du métal à 30 kilogrammes de limite d'élasticité, mais que, d'accord avec M. Rémaury, il croit que beaucoup d'entre elles qui ne peuvent arriver à ce résultat ne le doivent qu'à leur outillage défectueux.

M. LANTRAC fait alors remarquer qu'on ne saurait prendre pour base une fabrication spéciale et qu'il vaudrait mieux abaisser ce coefficient pour être sûr de l'obtenir partout. Il signale entre autres établissements les usines du Creusot qui, dans une affaire qu'il eut à traiter avec elles l'année dernière, ne voulaient pas accepter d'une façon absolue le chiffre de 28 kilogrammes pour de l'acier d'une résistance de 44 à 48 kilogrammes s'engageant seulement à fournir 26 kilogrammes.

M. BELELUBSKY pense que le coefficient de 30 kilogrammes comme limite d'élasticité ne doit s'appliquer qu'à de grandes constructions, mais que pour les constructions de petites portées cette limite peut être abaissée tout en conservant une résistance de 45 kilogrammes. Il termine en émettant le vœu qu'une commission soit formée pour unifier les mesures qui sont employées pour les divers coefficients.

M. EIFFEL profite de l'avis émis par M. Belelubsky pour manifester sa surprise de voir souvent revenir dans la discussion la distinction qu'on établit

entre les petites et les grandes constructions. Si en effet l'acier doux présente de réels avantages sur le fer, il est tout naturel de le substituer à ce dernier dans toutes les constructions, et si l'on veut préconiser l'emploi de l'acier, il faut le faire autant pour les petits que pour les grands ouvrages, et ce d'autant plus que si son exemple se généralise, il n'y aura entre le fer et l'acier aucune différence de prix.

M. CONSIDÈRE ne croit pas qu'il faille faire de distinction entre les petites et les grandes constructions, en ce sens qu'il faut laisser la liberté complète au constructeur, mais il lui semble que le Congrès peut émettre l'avis qu'on peut employer l'acier extra-doux ou fer fondu comme on peut employer le fer et sans plus d'inconvénients, sans prendre de précautions spéciales et que, lorsqu'on sera amené à désirer un coefficient plus élevé, on pourra prendre un acier plus dur. Il dépose donc une proposition tendant à classer l'acier en deux catégories donnant respectivement les coefficients de 7 kilogr. 5 et 9 kilogrammes avec des limites d'élasticité de 26 et 30 kilogrammes.

Après une longue discussion sur le chiffre à fixer comme coefficient de l'acier, et comme limite d'élasticité, discussion à laquelle prennent part MM. EIFFEL, CONSIDÈRE, LANTRAC, GODFERNAUX, BELELUBSKY, M. LE PRÉSIDENT consulte le Congrès pour savoir si la formule qu'il a indiquée à la séance précédente paraîtrait devoir être adoptée; elle serait la suivante : comme résistances les barres ne devront pas se rompre dans le sens du laminage à moins de 42 kilogrammes au minimum, par millimètre carré de section; elles devront présenter à la rupture un allongement de 20 p. 100 sur les barettes de 0 m. 200; la limite d'élasticité sera de 30 kilogrammes, et le minimum de striction de 45 p. 100. Enfin la somme des chiffres donnant la charge de rupture et la striction doit être au moins égale à 90.

Cette formule ne présente pas d'anomalie, et, comme le fait remarquer M. Eiffel, elle exige un métal qui, au dire de métallurgistes compétents, peut s'obtenir des forges.

La formule ci-dessus proposée par M. Eiffel rallie en principe toutes les opinions et les quelques divergences qui sont proposées n'en modifient pas le sens général. C'est ainsi que M. CONSIDÈRE trouve le chiffre de 42 kilogrammes trop faible et pense qu'on peut le maintenir pour le métal plus doux et admettre 45 kilogrammes pour un métal plus dur. Il est d'ailleurs très partisan de deux aciers, un acier doux et un acier dur. Ces deux sortes auront des emplois différents bien marqués.

M. LANTRAC approuve également la formule de M. Eiffel et n'y trouve d'objection à faire qu'au nombre 90 qui est empirique. On pourrait peut-être à son avis lui substituer un maximum de résistance et dire que les aciers résisteront de 42 à 45 kilogrammes. Il appuie la proposition de M. Eiffel avec 28 kilogrammes comme limite d'élasticité, 45 kilogrammes comme résistance et 22 à 24 p. 100 d'allongement.

M. EIFFEL se montre plus partisan d'une définition unique de l'acier lequel avec les coefficients qu'il a signalés s'emploiera dans des cas spéciaux et avec les précautions particulières qui lui conviennent. Lorsque cet acier ne conviendrait pas à l'usage auquel on veut le destiner il suffira, dit-il, d'employer le fer de bonne qualité.

M. LANTRAC propose alors de voter sur l'adoption d'un acier défini par les conditions suivantes :

Résistance à la rupture.....	42 à 45 kilogr.
Limite d'élasticité.....	28
Allongement sur une éprouvette de 0 m. 200.....	22 à 24 p. 100.
Striction.....	45 p. 100.

M. EIFFEL se rallie à cette proposition dont les chiffres diffèrent peu de ceux de la formule qu'il a proposée; mais il maintient la limite d'élasticité à 30 kilogrammes au lieu de 28 kilogrammes.

Cette proposition est mise successivement aux voix avec l'un et l'autre chiffre.

La proposition avec le chiffre de 28 kilogrammes proposé par M. Lantrac recueille 9 voix, et 14 voix avec la limite de 30 kilogrammes proposée par M. Eiffel.

Voyant les avis aussi partagés M. GUERREIRO, membre du Congrès, délégué étranger, demande pourquoi l'on ne constituerait pas une commission internationale chargée d'élucider cette question; ce serait à son avis le moyen le plus pratique d'arriver à un résultat qui convienne à tout le monde. De plus on trouverait certainement des ingénieurs de certains pays où l'on applique des coefficients plus forts que ceux qui font l'objet de la présente discussion, à ne citer que les ingénieurs anglais.

M. EIFFEL, tout en se rangeant de l'avis de M. Guerreiro, montre l'intérêt qu'il y aurait à trancher dès aujourd'hui cette question.

L'ensemble de la proposition ci-dessus reçoit l'approbation générale en fixant d'un commun accord comme limite d'élasticité 28 à 30 kilogrammes.

En ce qui concerne le coefficient de travail à admettre pour l'acier, M. EIFFEL propose le chiffre de 10 kilogrammes par millimètre carré qu'il a adopté d'une manière générale dans la pratique pour les aciers ayant 30 kilogrammes de limite d'élasticité.

Après une discussion à laquelle prennent part MM. CONSIDÈRE et LANTRAC, qui trouvent ce chiffre un peu élevé, si on l'applique à tous les cas, M. Eiffel met aux voix la proposition suivante, consistant à prendre pour coefficient de travail de l'acier celui qui va être adopté pour le fer dans les mêmes conditions d'emploi fixées par le nouveau règlement que l'on élabore en ce moment, en augmentant ce coefficient de 40 p. 100, ce qui correspondrait à 8 kilogr. 4 pour l'acier dans les cas où la nouvelle circulaire préciserait 6 kilogrammes pour le fer, à 9 kilogr. 8 là où elle admettrait 7 kilogrammes, et enfin 11 kilogrammes dans les cas où elle admettrait le coefficient de 8 kilogrammes.

Cette proposition réunit l'approbation générale des membres du Congrès.

Vu l'heure avancée, M. CONSIDÈRE ne peut donner communication de son mémoire sur *La résistance des pièces comprimées* qu'il avait préparé en vue du Congrès.

M. LE PRÉSIDENT, qui a pris connaissance de ce travail très approfondi, exprime ses regrets de le voir non communiqué, mais il croit être l'interprète de tous les membres qui ont pu juger ce travail en remerciant M. Considère

de l'avoir présenté, et en déclarant qu'en raison de son importance scientifique et technique, il sera inséré *in extenso* dans les comptes rendus complets du Congrès.

Avant de lever la séance, M. LE PRÉSIDENT résume brièvement le mémoire préparé par M. Anthoni sur les fondations des machines.

M. Anthoni a substitué aux fondations par massifs de maçonnerie les fondations en métal, en employant le caoutchouc pour amortir les chocs et les vibrations. Il a une de ses usines, située au centre de Paris, 31, faubourg Saint-Martin, qui présente plusieurs types de ce genre nouveau d'installations; tous les membres du Congrès désireux de se rendre compte de cette application nouvelle du métal pourront aller visiter cet établissement dont M. Anthoni sera heureux de leur faire les honneurs.

Enfin, avant de se séparer, M. LE PRÉSIDENT fait part d'un projet d'excursion en Angleterre pour visiter le pont du Forth. Il sera facile, dit M. le Président, de s'entendre avec le Congrès des chemins de fer et celui des travaux maritimes pour organiser cette excursion.

La séance est levée à 6 heures.

