



Section de l'Ingénieur

M.-A. MOREL

LE

CIMENT ARMÉ

ET SES APPLICATIONS

G THIER-VILLARS

MASSON & C^{IE}

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE

DES

AIDE - MÉMOIRE

PUBLIÉS

SOUS LA DIRECTION DE M. LÉAUTÉ, MEMBRE DE L'INSTITUT

MOREL — Le Ciment Armé

1

*Ce volume est une publication de l'Encyclopédie
scientifique des Aide-Mémoire : L. ISLER, Secrétaire
Général, 20, boulevard de Courcelles, Paris.*

N° 309 A

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE DES AIDE-MÉMOIRE

PUBLIÉE SOUS LA DIRECTION

DE M. LÉAUTÉ, MEMBRE DE L'INSTITUT.

LE CIMENT ARMÉ

ET

SES APPLICATIONS

PAR

MARIE-AUGUSTE MOREL

Ingénieur

Ancien élève de l'École des Ponts et Chaussées

Licencié ès-sciences mathématiques et ès-sciences physiques

Directeur des usines à ciment Portland de Lumbres

PARIS

GAUTHIER-VILLARS,

IMPRIMEUR-ÉDITEUR

Quai des Grands-Augustins, 55

MASSON ET C^{ie}, ÉDITEURS,

LIBRAIRES DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE

Boulevard Saint-Germain, 120

(Tous droits réservés)

PRÉFACE

Le « ciment armé » à peine connu, il y a dix ans seulement, a pris une telle extension depuis cette époque et est appelé à un tel avenir, que sa place était toute marquée dans l'*Encyclopédie scientifique des Aide-Mémoire* de M. Léauté.

Quoique la théorie du nouveau mode de construction ne soit pas encore complète, la pratique a montré tout le parti qu'on pouvait tirer de cette association du béton et du fer.

Après l'exposé de quelques considérations sur le béton armé, nous avons immédiatement abordé la théorie en examinant les travaux qui ont le plus contribué à l'éclaircissement de la question. Le premier chapitre donne le résumé des études de MM. Christophe, Lefort, Considère, Harel de la Noë et Resal.

Les principaux systèmes de construction armée, dalles, poutres, voûtes, piliers, etc., font l'objet du Chap. II.

Le chapitre suivant indique la nature des matériaux qu'il faut employer dans les constructions en ciment armé et donne la mise en œuvre.

Dans le dernier chapitre sont exposées les méthodes et formules préconisées par les principaux constructeurs.

Nous avons dû consulter, pour faire notre travail, un grand nombre d'ouvrages parmi ceux que nous signalons dans la bibliographie ; mais nous avons surtout pris comme guides celui de M. Christophe, *Le Béton armé* et celui de MM. Berger et Guillerme, *La Construction en Ciment armé*, desquels nous avons fait plusieurs extraits.

Lumbres (Pas-de-Calais), septembre 1902.

M.-A. MOREL.



AVANT-PROPOS

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LES CONSTRUCTIONS EN CIMENT ARMÉ

Sous la désignation de *constructions en ciment armé*, il faut entendre tous les ouvrages dans lesquels on noie dans le mortier ou le béton de ciment, un ensemble d'éléments métalliques. Ces constructions sont donc le résultat de l'association du ciment et du fer (ou de l'acier) répartis de façon à utiliser dans les meilleures conditions les propriétés spéciales qui caractérisent ces éléments constitutifs. Le constructeur doit chercher dans quelles proportions il doit faire emploi de ces éléments et quelle disposition il doit leur donner afin d'obtenir le maximum de résistance avec le minimum de dépense.

Les origines du ciment armé sont assez mal connues. Il est bien certain que, depuis longtemps, on associe le fer avec le ciment. La première apparition officielle du ciment armé remonte à l'Exposition universelle de 1855 à laquelle figurait un bateau construit d'après

ce système par Lambot. En 1861, François Coignet énonça les premiers principes du béton armé et en proposa plusieurs modes d'application, notamment dans la construction des planchers, des voûtes, des tuyaux, etc. Mais le premier brevet pris sur ce mode de construction remonte à 1865. Il a été pris par Joseph Monier et concernait les *caisses et bassins mobiles en fer et ciment applicables à l'horticulture*. Monier, qui était simple jardinier, ne se doutait pas de tout le parti que l'on pouvait tirer de son idée. Ses brevets furent exploités en Allemagne par l'*Actiengesellschaft für Beton und Monierbau* de Berlin, et, en Autriche, par une société dirigée par Wayss qui donna une grande extension au nouveau procédé de construction.

Les Anglais et les Américains ne sont pas restés en arrière dans cette voie ; les ingénieurs Hyatt, Jackson, Ransome ont été les premiers à appliquer le béton armé dans la construction des poutres et des planchers.

Une première application de l'association du fer et du béton a été faite en France, en 1876, au port de Toulon ; mais il faut aller jusqu'à l'Exposition universelle de 1889 pour trouver une nouvelle application du ciment armé dans la construction des tuyaux de conduite en *si-déro-ciment* du système Bordenave et quelques spécimens du procédé Cottancin. Deux systè-

mes nouveaux surgirent dans notre pays en 1892, ce sont ceux de F. Hennebique et Coignet. Les applications de M. Hennebique embrassent toutes les parties du bâtiment. Il a également établi des ponts, des murs de soutènement, des réservoirs, des revêtements de talus, des estacades, des pieux, etc. Ce grand constructeur a établi des succursales de sa maison non seulement dans toutes les grandes villes de France, mais encore dans tous les pays de l'Europe. Il a actuellement édifié plus de 6 000 constructions dont l'importance totale a atteint près de 70 millions de francs. Depuis cette époque, un très grand nombre de systèmes se sont greffés sur les premiers et on peut dire que l'Exposition universelle de 1900 a donné au béton armé la consécration officielle qu'il méritait.

L'étude théorique du ciment armé n'a pas eu un développement aussi rapide que l'application. Cela se comprend facilement si on réfléchit aux difficultés que présente cette étude. Plusieurs savants se sont occupés du ciment armé, nous citerons tout particulièrement les travaux de Kœnen, Lefort, de Tedesco, Matrai, Harel de la Noë, Resal, Considère, von Thullie, Neumann, Ostenfeld, Sanders, Ritter et Christophe. Cette étude n'a pas encore donné tout ce qu'on peut espérer d'elle ; mais elle a déjà conduit à des résultats extrêmement intéressants.

Les grandes administrations et les pouvoirs publics finirent, à leur tour, par s'intéresser à la grande question du ciment armé. Le Département des Travaux publics a nommé une Commission pour fixer les conditions d'admission des nouveaux procédés de construction dans les travaux d'intérêt général.

Cette Commission est composée de MM. Lorieux, inspecteur général des Ponts et Chaussées, président ; Rabut, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, secrétaire ; Mesnager, ingénieur des Ponts et Chaussées, secrétaire ; Bechman, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées ; Considère, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées ; Harel de la Noë, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées ; Resal, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées ; le commandant Hartmann ; le capitaine Boitel ; Hermant, architecte ; Gauthier ; Coignet ; Hennebique et Candlot.

On discute encore actuellement le principe du nouveau système de construction ; mais presque tous les théoriciens sont déjà revenus de leurs premières préventions. On n'a pas été sans s'effrayer de la hardiesse des constructions en ciment armé ; mais il faut reconnaître qu'elles sont aussi élégantes que hardies. Elles n'ont plus la massivité des maçonneries, ni la maigreur des édifices métalliques.

Les plus grosses objections ont été posées

contre le ciment armé. On s'est demandé comment se comportait le métal emprisonné dans le béton, si la rouille n'attaquait pas le fer ou l'acier, si le béton lui-même ne serait pas attaqué par des agents divers, liquides ou gazeux, si l'adhérence était suffisante, si les vibrations et les chocs répétés ne viendraient pas rompre ou diminuer cette adhérence, si les changements brusques de température ne détruiraient pas cet assemblage. La pratique s'est chargée de donner elle-même réponse à toutes ces objections et elle a toujours été en faveur du béton armé.

Depuis que l'emploi du ciment s'est généralisé, on a souvent remarqué que le fer ne subissait aucune altération dans le ciment. De plus, on a déjà eu à démolir plusieurs constructions en ciment armé, notamment à Amiens, à Breslau, à Grenoble, etc., et partout il a été constaté que le métal n'avait pas subi la moindre oxydation. Au contraire, il a été reconnu que si l'on noyait du fer rouillé dans du béton de ciment, au bout d'un certain temps, le métal avait été décapé et avait repris la teinte bleue qu'a le fer quand il sort des laminoirs. Il ne faut pas peindre ni galvaniser le métal avant de l'enrober dans le béton ; mais on peut employer le fer ou l'acier tel qu'il se trouve sur le chantier, serait-il légèrement rouillé. Ce point est très important.

Cependant il faut bien faire remarquer que le béton ne doit contenir aucun principe capable de corroder le métal. De plus, il faut être prudent dans l'usage des cendres, scories qui contiennent souvent des corps sulfurés attaquant le fer.

L'eau pure n'attaquant pas le béton, il n'y a qu'à s'occuper des eaux minérales et des eaux d'égouts. Dans le premier cas, il faut employer un béton riche; mais il faudra entretenir les enduits. Dans le second, le mortier sera aussi riche en ciment, les quantités d'acides que contiennent les eaux d'égouts étant généralement très faibles, le mortier ne sera pas attaqué d'autant plus qu'il sera rapidement recouvert de matières organiques qui le protégeront.

Le béton armé résiste parfaitement à l'action directe du feu ainsi qu'au refroidissement brusque, M. Durand-Claye a reconnu que le coefficient de dilatation moyen du fer était compris entre 0,0000130 et 0,0000140, tandis que celui du ciment différait peu de 0,0000135. Cette circonstance extrêmement curieuse, fait que, sous l'action du feu, le fer et le ciment se dilatent également sans amener la moindre désagrégation dans la masse. De plus, le ciment étant mauvais conducteur de la chaleur, le fer ne subit aucun allongement appréciable. Aussi, comme de nombreuses expériences l'ont prouvé,

les constructions en ciment armé résistent aux plus violents incendies sans la moindre destruction ni le moindre affaiblissement dans leur résistance.

Le métal se conservant indéfiniment dans le béton et celui-ci ne s'allérant pas avec le temps, il est bien évident que l'association de ces deux éléments ne peut que donner un ensemble pouvant résister indéfiniment. Du reste, les premiers ouvrages en ciment armé remontent à une époque suffisamment reculée pour donner une preuve de l'opinion que nous émettons.

Comme propriétés spéciales du ciment armé signalons celles de mal transmettre la chaleur, le son et l'électricité, de présenter une très grande dureté, de pouvoir facilement se mouler. Les constructions en ciment armé s'élèvent très rapidement, ont des poids morts faibles, sont économiques et ne manquent pas d'esthétique. Les précieuses qualités que présente ce nouveau mode de construction font qu'il se répandra de plus en plus par la force même des choses et malgré toutes les critiques qu'on pourra encore formuler.

CHAPITRE PREMIER

THÉORIE DU CIMENT ARMÉ

Notre but étant de vulgariser le nouveau mode de construction, nous exposerons la théorie du ciment armé le plus simplement possible et, pour cela, nous choisirons les hypothèses les plus simples.

Le ciment armé a déjà été l'objet de nombreuses théories. La méthode de calcul qui nous paraît être la plus rationnelle est celle qui répond le plus exactement possible à la réalité. C'est pour ce motif que nous donnons la préférence à la théorie de M. Christophe, Ingénieur des Ponts et Chaussées, qui n'est qu'une *théorie approchée* ; mais dont les bases ont été soigneusement contrôlées par l'expérience.

Il existe, il est vrai, des théories plus complètes, mais leurs bases sont entachées d'hypothèses plus ou moins exactes, ce qui enlève toute certitude dans leurs conséquences.

La théorie de M. Christophe repose sur les seules hypothèses suivantes :

1° *Solidarité du béton et du métal*, sous la réserve que l'armature soit disposée en vue de réaliser une homogénéité suffisante du béton armé;

2° *Invariabilité des sections planes*;

3° *Invariabilité du coefficient d'élasticité du béton à la compression* dans les limites des taux de travail usuels;

4° *Rupture du béton soumis à la traction*, sous réserve que la méthode ne soit pas appliquée au calcul des déformations;

5° *Absence de tensions initiales*.

Justification des hypothèses de M. Christophe. — 1° On admet généralement dans l'étude théorique du ciment armé que le ciment est associé aux déformations du métal. Si E et E' représentent respectivement les coefficients d'élasticité du ciment et du métal, on suppose que *les tensions élastiques de l'armature et celles du ciment directement en contact avec elle, sont entre elles dans le rapport de E' à E .*

Il résulte des expériences de M. Harel de la Noë que le glissement de l'armature est dû, soit à un allongement du métal dépassant la limite d'élasticité, soit à un cisaillement du ciment. D'autre part, M. de Joly, ingénieur attaché au service des phares et balises, a prouvé que, dans les efforts de traction, il y a glissement de l'armature dans le ciment; mais les différences qui

ont été constatées entre les valeurs des allongements et celles calculées dans l'hypothèse de la solidarité ne sont pas importantes. La pratique montre qu'il n'y a pas entre la théorie et la pratique de divergences notables que l'on puisse attribuer à cette hypothèse. Mais pour pouvoir admettre cette hypothèse, il faut évidemment que *la matière soit rendue aussi homogène que possible*, c'est-à-dire que l'armature soit constituée d'un grand nombre de barres de petite section réparties régulièrement dans le ciment et à de faibles intervalles, et non de quelques barres de fort diamètre très espacées ou de fers profilés laissant de grands vides entre eux.

2° L'hypothèse suivante sert de base à la théorie usuelle de la résistance des matériaux :

Une section transversale quelconque d'un corps prismatique soumis à l'action de forces extérieures reste plane et identique à elle-même pendant la déformation.

Tous les auteurs qui ont étudié la théorie du ciment armé ont admis cette hypothèse, quoique non vérifiée par les quelques expériences qui ont été faites. Mais ne connaissant pas encore la loi de déformation des sections planes; nous admettrons aussi cette hypothèse en la considérant comme n'étant qu'une traduction approchée de ce qui se passe réellement.

3° La loi des forces élastiques a été l'objet de

longues discussions de la part des savants qui se sont occupés de la théorie du ciment armé.

Soit MN (*fig. 1*), une section quelconque d'une pièce considérée, sous l'action des forces extérieures, cette section prend la position M'N'. Les pressions et les tensions déterminées dans le ciment au-dessus et au-dessous de la fibre neutre O sont fonctions des déformations uniformément croissantes de O en MM' et de O en NN', ainsi que de la forme de la pièce. On peut les

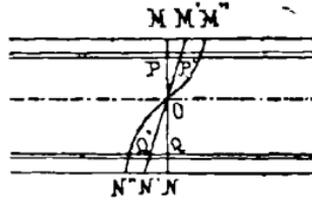


Fig. 1

représenter par les courbes OM'' et ON'' . De plus, l'armature participant par hypothèse aux déformations du ciment, les sections P et Q de l'armature viennent en P' et Q' et on peut déterminer le taux de fatigue en fonction du coefficient d'élasticité. Si toutes les relations qui unissent les tensions aux déformations sont connues, on peut, à l'aide de deux conditions, l'une de moment, l'autre de projection, déterminer les forces élastiques longitudinales qui se transmettent entre les deux tronçons de la pièce que sépare la section MN.

Tout revient donc à trouver l'équation des courbes OM'' et ON'' . C'est là que les opinions des auteurs divergent.

MM. de Mazas, Neumann, Lefort, Resal et Mandl supposent que la courbe $M''ON''$ est une ligne droite ou autrement dit, que *le coefficient d'élasticité du ciment est le même à la traction qu'à la compression*. En réalité, les choses ne se passent pas ainsi, aussi cette hypothèse ne peut être admise.

M. Mélan n'admet plus l'égalité des coefficients d'élasticité du ciment à la traction et à la compression et compose la courbe $M''ON''$ (fig. 1)

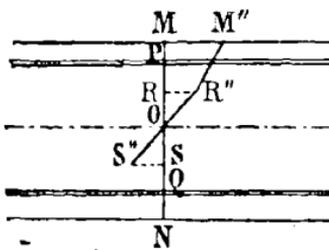


Fig. 2

de deux droites OM'' et ON'' inégalement inclinées.

MM. Coignet et de Tedesco ne font plus intervenir le ciment dans la partie tendue de la pièce et la loi

des forces élastiques est représentée par une seule droite OM'' .

M. von Thuile (fig. 2) donne au coefficient d'élasticité du béton deux valeurs successives, qui correspondent aux deux phases par lesquelles passe la pièce : la première pendant laquelle le ciment travaille tant à la traction qu'à la compression, et la seconde, qui débute par la rupture du ciment dans la zone tendue. La courbe des forces élastiques se compose alors des deux droites $S''R''$ et $R''M''$.

M. Sanders prend l'équation de Bach pour équation de la courbe

$$\varepsilon = \frac{1}{E_1} p^n,$$

dans laquelle :

ε est la déformation élastique par unité de longueur ;

p , la pression par unité de surface ;

E_1 et n , deux coefficients qui dépendent de la nature de la pièce.

MM. Spitzer et Lütken ont proposé, pour OM'' et ON'' , des paraboles du second degré.

M. Ritter néglige les efforts d'extension du ciment au-dessous de la ligne neutre et donne à la courbe OM'' la forme d'une parabole.

Il résulte de cet exposé que l'hypothèse la plus simple et la plus sûre consiste à ne pas tenir compte des effets d'extension du ciment dans la partie tendue de la pièce et de considérer comme *invariable le coefficient d'élasticité du béton à la compression*.

4° En réalité, il existe des tensions initiales qui sont dues à la *température*, à la *prise du ciment à l'état hygrométrique* et aux *déformations permanentes du ciment*.

M. Considère a fait un très grand nombre d'expériences sur la *variation de volume des prismes en ciment armé* provenant de la prise et de l'état hygrométrique et il a constaté que ces

prismes subissaient des variations semblables à celles des prismes en ciment non armé ; mais quatre à cinq fois moins marquées. Or les prismes non armés, *conservés dans l'eau douce*, s'allongent d'après une loi très régulière. Cet allongement tend vers la limite de 1,5 à 2 millimètres par mètre au bout de deux à trois ans. Les prismes non armés, *conservés dans l'air*, se contractent en suivant une loi moins régulière. La contraction tend vers le maximum de 1,5 à 2 millimètres par mètre au bout de deux à trois ans.

Ces expériences font voir qu'une construction en ciment armé, qui fait prise sous l'eau, a ses armatures en tension et son ciment en compression avant l'application de la surcharge et qu'au contraire une telle construction, qui fait prise à l'air, a son armature en pression et son ciment en tension pendant toute la durée de la prise.

Dans la pratique, ces cas extrêmes ne se présentent pas. Le ciment fait prise à l'air et on a soin d'entretenir une certaine humidité pendant la prise, de telle sorte que les constructions en ciment armé doivent subir une contraction ; mais pas aussi importante que celle indiquée par M. Considère. Le taux de travail de l'armature tendue est diminué et celui de l'armature comprimée est augmenté. Par mesure de sécurité, on fait abstraction de la diminution du pre-

mier taux ; et l'augmentation du second étant toujours assez faible pour qu'il n'atteigne pas la limite admissible, on peut également ne pas en tenir compte.

M. Harel de la Noë a montré qu'il existe effectivement des déformations permanentes dans les pièces de ciment armé ; mais les efforts intérieurs qui en résultent ne peuvent avoir grande importance ; c'est pourquoi nous les négligerons.

Nous allons maintenant exposer la méthode de calcul de M. Christophe.

TRAVAUX DE M. CHRISTOPHE

I. COMPRESSION

Soit une pièce, droite ou courbe, de section quelconque et dont l'armature est formée de fers ronds ou profilés soumise à un effort de compression agissant suivant son axe. La déformation qui en résulte déplace une section transversale parallèlement à elle-même.

Soient :

P , cet effort de compression ;

Ω , l'aire de la section totale de la pièce armée ;

ω , l'aire de la section du ciment ;

ω' , l'aire de la section du métal ;

ϵ , le taux de la pression du ciment ;

ϵ' , le taux de la pression du métal ;

E , le coefficient d'élasticité du ciment à la compression ;

E' , le coefficient d'élasticité du métal.

L'effort P se répartit, d'après l'équation :

$$(1) \quad P = \tau\omega + \tau'\omega' = \tau(\Omega - \omega') + \tau'\omega'$$

Les déplacements du béton et du métal étant égaux, on a

$$(2) \quad \frac{\tau'}{\tau} = \frac{E'}{E} = m$$

et, par suite,

$$(3) \quad P = \tau [\Omega + (m - 1) \omega']$$

$$(4) \quad \tau' = m\tau$$

Si Ω et ω' sont connus, on a immédiatement-

$$(5) \quad \tau = \frac{P}{\Omega + (m - 1) \omega'}$$

$$(6) \quad \tau' = \frac{Pm}{\Omega + (m - 1) \omega'}$$

Si, au contraire, c'est Ω et ω' qu'on veut déterminer, on a la relation

$$(7) \quad \Omega + (m - 1) \omega' = \frac{P}{\tau}$$

Pour que le problème soit complètement déterminé, il faut avoir une seconde relation entre Ω et ω' . Généralement, on fixe d'avance la valeur du rapport $\frac{\omega'}{\Omega}$ appelé le *pourcentage en*

métal et désigné par ϖ .

$$(8) \quad \frac{\omega'}{\Omega} = \varpi$$

Par suite

$$(9) \quad \Omega = \frac{P}{\tau [1 + (m - 1) \varpi]}.$$

On peut alors calculer la pièce en ciment armé comme un solide homogène soumis à la pression unitaire

$$\tau [1 + (m - 1) \varpi].$$

Dans le cas des pièces faiblement armées, on peut, sans erreur sensible, remplacer $\Omega - \omega'$ par Ω et remplacer, dans les formules (5), (6) et (9), $m - 1$ par m .

II. EXTENSION

En tenant compte des hypothèses énoncées précédemment, on suppose que, dans les pièces en ciment armé, le ciment n'intervient pas dans ce genre de résistance.

On opère comme si l'armature existait seule et alors, si T est l'effort d'extension, on a simplement

$$(10) \quad T = \tau' \omega'.$$

III. FLEXION SIMPLE

Soit une pièce de section rectangulaire, désignons par :

M , le moment fléchissant dans une section donnée ;

ω' , l'aire de la section du métal de l'armature tendue ;

ω'_1 , l'aire de la section du métal de l'armature comprimée ;

p , la pression maxima du ciment en M ;

τ , le taux du travail moyen du métal de l'armature tendue ;

τ_1 , le taux du travail moyen du métal de l'armature comprimée ;

τ'_m et $\tau'_{1,m}$, les taux de travail maximum de ces mêmes armatures ;

α , la distance de la fibre extrême comprimée de la pièce à la fibre neutre FF ;

b et b_1 , les distances de la fibre moyenne de l'armature tendue et de l'armature comprimée à la fibre neutre de la pièce ;

b_m et $b_{1,m}$, les distances des fibres extrêmes de ces armatures à la fibre neutre FF ;

i' et i'_1 , les moments d'inertie de ces armatures autour de leur fibre moyenne respective.

Sa flexion simple est la résultante des actions des forces extérieures normales à la fibre

moyenne qui sont au-dessus de la fibre neutre, des efforts de compression agissant sur le ciment et sur l'armature et au-dessous de la fibre neutre, l'effort d'extension agissant seulement sur l'armature.

La projection de ces forces sur l'horizontale est nulle (fig. 3 et 4), et les tensions longitudi-

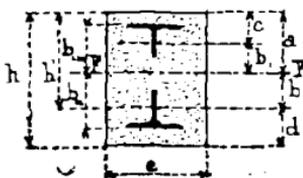


Fig. 3

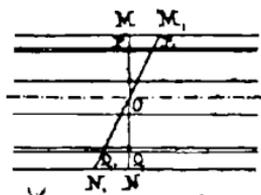


Fig. 4

nales qui agissent dans la section normale considérée se fait équilibre.

On peut donc écrire

$$(11) \quad \frac{1}{2} p a e - p \frac{b_1}{a} \omega'_1 + \tau'_1 \omega'_1 - \tau' \omega' = 0.$$

Le mouvement fléchissant M des forces extérieures étant égal au moment des forces extérieures, si nous calculons celui-ci autour de la fibre neutre, nous avons

$$(12) \quad \left\{ \begin{aligned} M &= \frac{2}{3} a \times \frac{1}{2} p a e - \frac{p \omega'_1 b_1^2}{a} - \frac{p i'_1}{a} + \\ &+ \tau'_1 \omega'_1 b_1 + \frac{\tau'_1 i'_1}{b_1} + \tau' \omega' b + \frac{\tau' i'}{b}. \end{aligned} \right.$$

La section MN étant restée plane en M_1N_1

pendant la déformation ; on a

$$\frac{MM_1}{OM} = \frac{PP_1}{OP} = \frac{QQ_1}{OQ}$$

ou bien

$$\frac{p}{E} = \frac{\tau'}{E'} = \frac{\tau'_1}{E'_1}$$

ce qui donne en vertu de la relation (2)

$$(13) \quad \tau' = pm \frac{b}{a}$$

$$(14) \quad \tau'_1 = pm \frac{b_1}{a}$$

En remplaçant τ' et τ'_1 par ces valeurs dans les relations (11) et (12), il vient

$$(15) \quad \frac{1}{2} a^2 e + (m - 1) b_1 \omega'_1 - m \omega' b = 0$$

et

$$(16) \quad p = \frac{M a}{I}$$

en posant

$$(17) \quad \left\{ \begin{aligned} I &= \frac{1}{3} a^3 e + (m - 1) (\omega'_1 b_1^2 + i'_1) + \\ &+ m (\omega b^2 + i'). \end{aligned} \right.$$

Les tensions maxima des armatures sont données par les relations

$$(18) \quad \tau'_m = pm \frac{b_m}{a} = m M \frac{b_m}{I}$$

$$(19) \quad \tau'_{1m} = pm \frac{b_{1m}}{a} = m M \frac{b_{1m}}{I}$$

Ces équations sont complétées par les suivantes

$$(20) \quad a + b = h' = h - d$$

et

$$(21) \quad b = a - c.$$

L'équation (15) donne la position de la fibre neutre. En effet, les relations (20) et (21) donnent

$$b = h - d - a$$

$$b = a - c$$

en remplaçant, dans (7), on obtient

$$\frac{1}{2} a^2 e + (m-1)(a-c)\omega'_1 - m\omega'(h-d-a) = 0$$

ou, en ordonnant

$$ea^2 + 2[(m-1)\omega'_1 + m\omega']a - 2[(m-1)\omega'_1 c + m\omega'(h-d)] = 0$$

ce qui donne

$$(22) \quad \left\{ \begin{array}{l} a = -\frac{(m-1)\omega'_1 + m\omega'}{e} + \\ + \sqrt{\frac{[(m-1)\omega'_1 + m\omega']^2}{e^2} +} \\ + \frac{2[(m-1)\omega'_1 c + m\omega'(h-d)]}{e} \end{array} \right.$$

a est fonction des éléments de la section et de m .

En remplaçant a par cette valeur, b et b_1 par celles correspondantes, on obtient les taux de travail à l'aide des formules (16), (13) et (14).

De même, si l'une quelconque des quantités p , τ' , τ'_1 est donnée pour une pièce déterminée, on peut calculer le moment fléchissant M .

Quand on a affaire à une *armature simple*, les formules précédentes se modifient. Il suffit, pour les obtenir, d'y faire

$$\tau'_1 = 0 \quad \text{et} \quad \omega'_1 = 0.$$

Lorsqu'il s'agit de pièces faiblement armées, les formules (15), (16), (17), (18) et (19) deviennent simplement

$$(23) \quad \frac{1}{2} a^2 e + m(\omega'_1 b_1 - \omega' b) = 0$$

$$(24) \quad p = M \frac{a}{I}$$

avec

$$(25) \quad I = \frac{1}{3} a^3 e + m(\omega'_1 b_1^2 + \omega' b^2)$$

puis

$$(26) \quad \tau' = pm \frac{b}{a} = mM \frac{b}{I}$$

$$(27) \quad \tau'_1 = pm \frac{b_1}{a} = mM \frac{b_1}{I}.$$

Enfin, dans ce cas, a est donné par la relation

$$(28) \quad \left\{ \begin{array}{l} a = - \frac{m(\omega'_1 + \omega')}{e} + \\ + \sqrt{\frac{m^2(\omega'_1 + \omega')^2}{e^2} + \frac{2m}{e}(\omega'_1 c + \omega' h)}. \end{array} \right.$$

IV. EFFORTS DE GLISSEMENT

Comme pour le calcul des tensions longitudinales, nous ferons abstraction du ciment dans la zone tendue de la pièce.

Considérons d'abord le cas (fig. 5 et 6), dans lequel la poutre est simplement armée de barres droites et n'est pas pourvue d'armatures spéciales destinées à combattre l'effort tranchant.

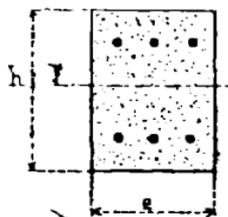


Fig. 5

Soient MN et M_1N_1 (fig. 6) deux sections infiniment voisines de la pièce. Considérons le prisme

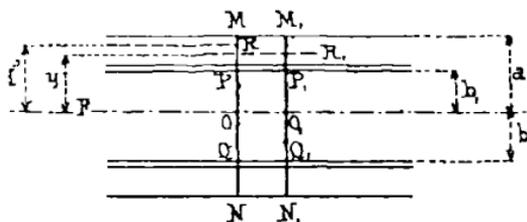


Fig. 6

MN, N_1M_1 et coupons le plan RR_1 parallèle à la fibre neutre FF' , que nous abaissons graduellement de MM_1 à MN_1 .

Tandis que le plan RR_1 est au-dessus de l'armature supérieure, l'effort tangentiel est égal et de sens contraire à la différence des résultantes des actions normales qui agissent sur les parties de section MR et M_1R_1 . Or, à une hauteur quel-

conque y' au-dessus de la fibre neutre, on a une pression $p_{y'}$ égale à

$$(29) \quad p_{y'} \frac{py'}{a} = \frac{My'}{I}.$$

Posons

$$(30) \quad \theta_y = \frac{K}{Ie} \int_y^a y' d\Omega = \frac{K}{2I} (a^2 - y^2)$$

K étant l'effort tranchant.

Quand le plan RR_1 s'abaisse depuis MM_1 jusqu'au niveau de l'armature supérieure, l'effort de glissement varie de zéro jusqu'à la valeur

$$(31) \quad \theta_{b_1} = \frac{K}{2I} (a^2 - b_1^2).$$

A l'armature, cet effort croît brusquement de la différence des efforts longitudinaux transmis par les barres en P et P_1 et obtenue en différenciant la relation (27)

$$\frac{d\sigma'_1}{dx} dx\omega'_1 = \frac{dM}{dx} \cdot \frac{mb_1}{I} dx\omega'_1 = \frac{Kmb_1}{I} dx\omega'_1,$$

et on a

$$(32) \quad \theta'_{b_1} = \frac{K}{Ie} \left[\frac{e}{2} (a^2 - b_1^2) + mb_1\omega'_1 \right].$$

Si le plan RR_1 continue à descendre, le taux de glissement croît à mesure que y diminue

$$(33) \quad \theta_y = \frac{K}{Ie} \left[\frac{e}{2} (a^2 - y^2) + mb_1\omega'_1 \right]$$

jusqu'à la valeur maxima

$$(34) \quad \theta_0 = \frac{K}{le} \left[\frac{e}{2} a^2 + mb_1 \omega'_1 \right],$$

qui correspond au cas où le plan RR_1 comprend la fibre neutre. En vertu de la relation (23) on peut écrire la précédente

$$(35) \quad \theta_0 = \frac{K}{le} mb\omega'.$$

Dès que le plan RR_1 dépasse la fibre neutre, θ_y conserve la même valeur θ_0 , car on suppose nulles les actions

longitudinales
dans le ciment de
la zone tendue.

Supposons maintenant que l'armature comprimée restant droite, l'armature tendue traverse la section considérée MN

sous l'angle φ .

Soient (*fig. 7*) :

K , l'effort tranchant ;

ω' , l'aire de la section de l'armature tendue ;

τ'_c , le taux de travail de cette armature ;

τ' , la composante horizontale de la tension τ'_c .

On peut appliquer à cette pièce les équations

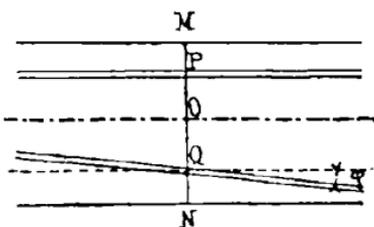


Fig. 7

tions (23), (24), (25), (26), (27) et (28). La tension réelle de l'armature étant

$$(36) \quad \tau'_c = \frac{\tau'}{\cos \varphi}.$$

Si nous projetons sur un plan vertical les forces intérieures et extérieures que la section MN transmet du tronçon de gauche au tronçon de droite, nous obtenons

$$(37) \quad K = \int_0^{\Omega'} \theta_y d\omega' + \tau'_c \omega' \sin \varphi,$$

ce qui donne

$$(38) \quad \left. \begin{aligned} \int_0^{\Omega} \theta_y d\omega' &= K' = K - \tau'_c \omega' \sin \varphi = \\ &= K - \tau' \omega' \operatorname{tg} \varphi. \end{aligned} \right\}$$

K' représente l'effort tranchant sollicitant la section considérée et il suffit de remplacer, dans les formules (30), (31), (32), (33), (34) et (35), K par K' .

Quand on a affaire à une pièce armée uniquement dans la zone tendue, les formules établies précédemment se simplifient. On les obtient en faisant

$$\omega'_1 = \tau'_1 = 0.$$

Pour le calcul des tensions longitudinales, on a

$$(39) \quad \frac{1}{2} a^2 e - m \omega' b = 0$$

$$(40) \quad p = M \frac{\alpha}{I}$$

$$(41) \quad I = \frac{1}{3} a^3 e + m \omega' b^2$$

$$(42) \quad \tau' = p m \frac{b}{a} = m M \frac{b}{I}$$

$$(43) \quad \left\{ \begin{aligned} M &= \frac{p}{a} I = \frac{p}{a} \left[\frac{1}{3} a^3 e + m \omega' b \right] = \\ &= \frac{p a e}{6} (3h' - a), \end{aligned} \right.$$

sachant que

$$(44) \quad a + b = h' = h - d.$$

La position de la fibre neutre est déterminée par la formule

$$(45) \quad a = -\frac{m \omega'}{e} + \sqrt{\frac{m^2 \omega'^2}{e^2} + 2 \frac{m \omega' h'}{e}}.$$

Enfin, pour une construction connue, on peut calculer p et τ' par les formules :

$$(46) \quad p = \frac{6M}{ae(3h' - a)}$$

et

$$(47) \quad \tau' = \frac{6bmM}{a^2e(3h' - a)}.$$

Quand on établit le projet d'une construction en ciment armé, il faut la déterminer de telle sorte que le ciment et le métal travaillent à leur taux limite, p et τ' sont alors connus. Il faut opérer de la façon suivante :

La relation (42) donne

$$(48) \quad b = \frac{a\tau'}{pm},$$

et (43) devient en vertu de (39)

$$\begin{aligned} M &= \frac{p}{a} \left(\frac{1}{3} a^3 e + \frac{1}{2} a^2 e b \right) = \frac{pae}{6} (2a + 3b) = \\ &= \frac{pae}{6} \left(2a + \frac{3a\tau'}{pm} \right) = \frac{pa^2 e}{6} \left(2 + \frac{3\tau'}{pm} \right), \end{aligned}$$

ce qui donne

$$(49) \quad \left\{ \begin{aligned} a &= \sqrt{\frac{6M}{pe \left(2 + \frac{3\tau'}{pm} \right)}} = \\ &= \sqrt{\frac{6mM}{e(2pm + 3\tau')}}; \end{aligned} \right.$$

de plus, la formule (42) peut s'écrire

$$\tau' = pm \frac{h' - a}{a};$$

ce qui donne

$$(50) \quad h' = a \left(1 + \frac{\tau'}{pm} \right) = \left(1 + \frac{\tau'}{pm} \right) \sqrt{\frac{6mM}{e(2pm + 3\tau')}}.$$

Enfin ω' s'obtient par la relation

$$(51) \quad \omega' = \frac{pae}{2\tau'} = \frac{1}{\tau'} \sqrt{\frac{3p^2 emM}{2(2pm + 3\tau')}}.$$

Lorsque la pièce en ciment armé comporte des armatures disposées pour résister aux efforts de

glissement, le plan RR_1 sur lequel s'exercent les efforts tangentiels, peut être traversé par une armature qui modifie le fonctionnement du système. L'effort de glissement se répartit entre le ciment et le métal. On suppose que les armatures doivent seules résister à l'effort tranchant.

Si ΔM est la variation du moment fléchissant sur la longueur considérée et σ , la section de l'armature, qui joue alors le rôle d'étrier, on a, pour le taux maximum du cisaillement du métal :

$$(52) \quad \theta_m = \frac{\Delta M}{I\sigma} mb\omega'.$$

Cette formule remplace la formule (35).

Dans le cas d'une armature courbe, il faut remplacer, dans cette dernière formule, ΔM par

$$\Delta M = \int_0^{\Delta x} \tau' \omega' \operatorname{tg} \varphi dx$$

ou par

$$\Delta M = \tau' \omega' \Delta x \operatorname{tg} \varphi,$$

Δx étant la longueur considérée, τ' , la tension de l'armature et φ , son inclinaison au droit de l'étrier.

Dans une pièce simplement armée, le taux des efforts de glissement de la zone comprimée varie de la valeur zéro à la valeur

$$(53) \quad \theta_0 = \frac{K}{Ie} \cdot \frac{\alpha^2 e}{2}$$

obtenue en faisant

$$\omega'_1 = 0$$

dans la relation (34). Dans la zone tendue, ce taux garde la valeur constante θ_0 .

Si l'armature est courbe, il suffit de remplacer, dans (53), K par

$$(54) \quad K' = K - \tau' \omega' \operatorname{tg} \varphi.$$

S'il y a des étriers ou des liaisons transversales, le taux de cisaillement, dans le cas d'une armature droite, est donné par la relation

$$(55) \quad \left\{ \begin{aligned} \theta_m &= \frac{\Delta M}{I \sigma} m b \omega' = \frac{\Delta M}{\sigma} \times \frac{\frac{1}{2} a^2 e}{\frac{1}{3} a^3 e + \frac{1}{2} a^2 e b} = \\ &= \frac{M \Delta}{\sigma \left(h' - \frac{a}{3} \right)} \end{aligned} \right.$$

et dans le cas d'une armature courbe, il faut remplacer ΔM par

$$\Delta M - \tau' \omega' \Delta x \operatorname{tg} \varphi,$$

ce qui donne

$$(56) \quad \theta_m = \frac{\Delta M - \tau' \omega' \Delta x \operatorname{tg} \varphi}{\sigma \left(h' - \frac{a}{3} \right)}.$$

Poutres en T. — Soit une poutre en T, désignons par λ , la largeur de la semelle et γ , son épaisseur. Supposons la nervure de la poutre

située sous la semelle, la nervure étant tendue et la semelle comprimée.

1° Si la fibre neutre (fig. 8), FF est au-dessus

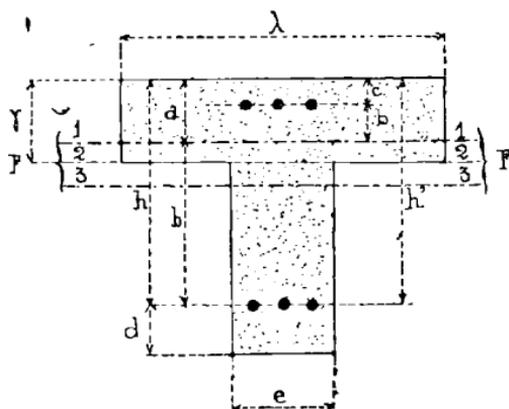


Fig. 8

de la face inférieure de la semelle, on assimile la section à un rectangle de largeur λ , et on a les formules :

$$(57) \quad \frac{1}{2} a^2 \lambda + m(\omega'_1 b_1 - \omega' b) = 0$$

$$(58) \quad p = M \frac{\alpha}{I}$$

$$(59) \quad I = \frac{1}{3} a^3 \lambda + m(\omega'_1 b_1^2 + \omega' b^2)$$

$$(60) \quad \tau' = pm \frac{b}{a} = mM \frac{b}{I}$$

$$(61) \quad \tau'_1 = pm \frac{b_1}{a} = mM \frac{b_1}{I}$$

$$(62) \quad a + b = h' = h - d$$

$$(63) \quad b_1 = a - c$$

2° Si la fibre neutre FF est au niveau de la face inférieure de la semelle, il suffit de faire

$$a = \gamma$$

dans les formules précédentes ;

3° Si la fibre neutre FF est au-dessous de la semelle, les formules (57) et (59) doivent être remplacées par les suivantes :

$$(64) \quad \left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{2} a^3 \lambda - \frac{1}{2} (a - \gamma)^2 (\lambda - e) + \\ + m(\omega'_1 b_1 - \omega' b) = 0 \end{array} \right.$$

et

$$(65) \quad \left\{ \begin{array}{l} 1 = \frac{1}{3} a^3 \lambda - \frac{1}{3} (a - \gamma)^2 (\lambda - e) + \\ + m(\omega'_1 b_1^2 + \omega' b^2) \end{array} \right.$$

les autres relations ne changeant pas.

Si on veut calculer les taux de travail développés dans une section donnée de poutre en T pour une charge connue, définie par son moment fléchissant M, il faut tout d'abord calculer a . On se sert pour cela de la formule :

$$(66) \quad \left\{ \begin{array}{l} a = - \frac{m(\omega'_1 + \omega')}{\lambda} + \\ + \sqrt{\frac{m^2(\omega'_1 + \omega')^2}{\lambda^2} + \frac{2m}{\lambda}(\omega'_1 e + \omega' h)}. \end{array} \right.$$

Deux cas peuvent alors se présenter : 1° on obtient pour a une valeur

$$a \leq \gamma,$$

on conserve cette valeur et il vient :

$$(67) \quad \tau = \frac{Mmb}{\frac{1}{3} a^3 \lambda + m(\omega'_1 b_1^2 + \omega b^2)}$$

et

$$(68) \quad \tau' = \frac{Mmb_1}{\frac{1}{3} a^3 \lambda + m(\omega'_1 b_1^2 + \omega b^2)};$$

2° On obtient pour a une valeur

$$a > \gamma;$$

dans ce cas, au lieu de la formule (66), il faut se servir de la suivante :

$$(69) \quad \left\{ \begin{aligned} & a = -\frac{1}{2} \left[\gamma(\lambda - e) + m(\omega'_1 + \omega') \right] + \\ & + \sqrt{\frac{1}{e^2} \left[\gamma(\lambda - e) + m(\omega'_1 + \omega') \right]^2 +} \\ & + \frac{2}{e} \left[\frac{1}{2} \gamma^2 (\lambda - e) + m(\omega'_1 e + \omega' h') \right]} \end{aligned} \right.$$

et il vient :

$$(70) \quad \tau = \frac{Mmb}{\frac{1}{3} a^3 \lambda - \frac{1}{3} (a - \gamma)^3 (\lambda - e) + m(\omega'_1 b_1^2 + \omega' b^2)}$$

$$(71) \quad \tau' = \frac{Mmb_1}{\frac{1}{3} a^3 \lambda - \frac{1}{3} (a - \gamma)^3 (\lambda - e) + m(\omega'_1 b_1^2 + \omega' b^2)}.$$

Dans un projet, on se donne *a priori* les dimensions et on procède par vérifications.

Quant aux efforts de glissement on n'a qu'à considérer l'équation :

$$(72) \quad \theta_0 = \frac{K}{Ie} mb\omega'$$

et, si la pièce a des étriers, ceux-ci se calculent par la formule :

$$(73) \quad \theta_m = \frac{\Delta M}{I\sigma} mb\omega'$$

Dans l'hypothèse d'une armature simple, les formules (57), (59), (64), (65), (66), (69), (72) et (73) deviennent :

$$(74) \quad \frac{1}{2} a^2\lambda - m\omega'b = 0$$

$$(75) \quad \left\{ \begin{aligned} I &= \frac{1}{3} a^3\lambda + m\omega'b^2 = \frac{1}{3} a^3\lambda + \frac{1}{2} a^2b\lambda = \\ &= \frac{1}{6} a^2\lambda(2a + 3b) = \frac{a^2\lambda}{6} (3h' - a) \end{aligned} \right.$$

$$(76) \quad \frac{1}{2} a^2\lambda - \frac{1}{2} (a - \gamma)^2 (\lambda - e) - m\omega'b = 0$$

$$(77) \quad I = \frac{1}{3} a^3\lambda - \frac{1}{3} (a - \gamma) (\lambda - e) + m\omega'b^2$$

$$(78) \quad a = -\frac{m\omega'}{\lambda} + \sqrt{\frac{m^2\omega'^2}{\lambda^2} + \frac{2m\omega'h'}{\lambda}}$$

quand

$$a \leq \gamma$$

et

$$(79) \left\{ \begin{aligned} a &= -\frac{1}{e} [\gamma(\lambda - e) + m\omega'] + \\ &+ \sqrt{\frac{1}{e^2} [\gamma(\lambda - e) + m\omega']^2 +} \\ &+ \frac{2}{e} \left[\frac{1}{2} \gamma^2(\lambda - e) + m\omega'h' \right]} \end{aligned} \right.$$

quand

$$a > \gamma$$

enfin

$$(80) \quad \theta_0 = \frac{K}{e \left(h' - \frac{a}{3} \right)}$$

$$(81) \quad \theta_m = \frac{\Delta M}{\sigma \left(h' - \frac{a}{3} \right)}$$

Poutre en T renversé. — 1° Quand la fibre neutre FF (*fig. 9*), est au-dessus de la face su-

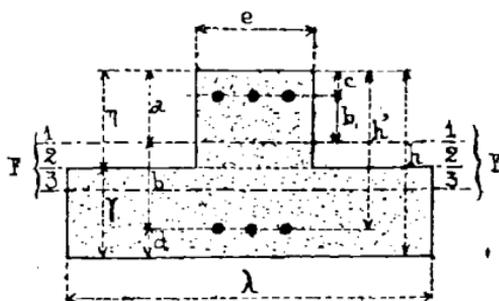


Fig. 9

périeure de la semelle, les formules (23), (24), (25), (26), (27) et (28) sont applicables.

2° Si la fibre neutre coïncide avec la face supérieure de la semelle, ces mêmes formules sont applicables et on a

$$h - a = \gamma.$$

3° Lorsque la fibre neutre vient dans l'épaisseur de la semelle, la partie comprimée s'augmente d'une partie de cette semelle et les formules (23) et (25) deviennent

$$(82) \left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{2} a^2 e + \frac{1}{2} (a - r_1)^2 (\lambda - e) + \\ + m(\omega'_1 b_1 - \omega' b') = 0 \end{array} \right.$$

$$(83) \left\{ \begin{array}{l} I = \frac{1}{3} a^3 e + \frac{1}{3} (a - r_1)^3 (\lambda - e) + \\ + m(\omega'_1 b^2 + \omega' b^2) = 0. \end{array} \right.$$

Si la fibre neutre occupe les positions (1) ou (2), l'effort de glissement maximum dans le ciment est donné par la formule

$$(84) \quad \theta_0 = \frac{K}{Ie} m b \omega'.$$

Si la fibre neutre occupe la position (3), la formule précédente devient

$$(85) \quad \theta_0 = \frac{K}{I\lambda} m b \omega'.$$

Le maximum ne se produit plus alors sur la fibre neutre, mais au niveau de la face supérieure de la semelle où l'on a

$$(86) \quad \theta_0 = \frac{K}{Ie} \left[m b \omega' - \frac{1}{2} (a - r_1)^2 e \right].$$

Quand la semelle de la poutre est seule armée,
on a :

$$(87) \quad \frac{1}{2} a^2 e + \frac{1}{2} (a - r_1)^2 (\lambda - e) - m\omega'b' = 0$$

$$(88) \quad M = \frac{\eta}{6a} \left[a^2 e (3h' - a) + (a - r_1)^2 (\lambda - e) (3h' - a - 2r_1) \right].$$

V. FLEXION COMPOSÉE

Supposons maintenant que les forces extérieures agissent obliquement par rapport à l'axe longitudinal, droit ou courbe, de la pièce en ciment armé.

Les formules que nous allons établir dans ce cas n'auront en vue que les sections rectangulaires. Dans chacune de ces sections, l'action de l'un des tronçons sur l'autre peut se réduire à celle d'une seule force Φ appliquée au centre de gravité de la section du ciment et un couple K . La force Φ peut être décomposée en une composante T , parallèle à l'axe longitudinal et une autre N , normale à cet axe. La composante T pouvant être de la compression ou de la tension, d'après nos hypothèses admises, nous ne considérerons que le premier cas. De plus, l'expérience ayant montré que la valeur de N était toujours restreinte, il sera possible de la négliger dans la plupart des cas.

Admettons tout d'abord (fig. 10 à 12), que la section considérée MN n'est soumise qu'à des forces élastiques de compression. Les taux de

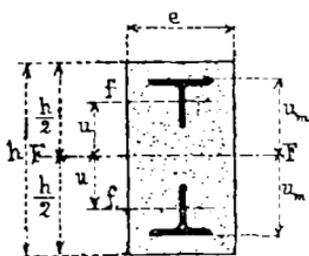


Fig. 10

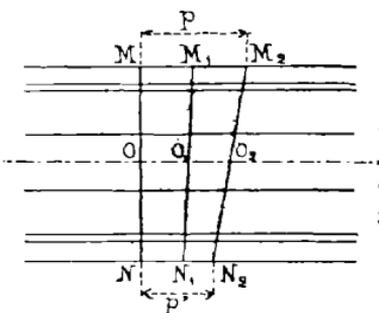


Fig. 11

fatigue du ciment sont donnés par les distances de MN à M_2N_2 dans le trapèze MNM_2N_2 . Soient :

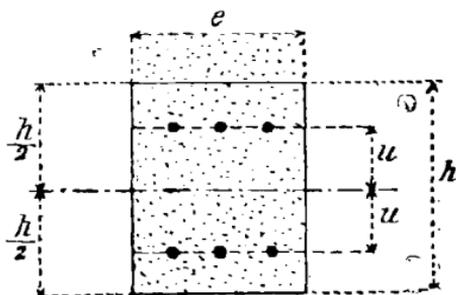


Fig. 12

ω' , la section de chaque groupe de barres ;
 i , le moment d'inertie propre de chaque groupe autour de sa fibre moyenne f ;

p et p' , les pressions maxima et minima du béton ;

τ et τ'_1 , les pressions moyennes de l'armature la moins sollicitée et de l'armature la plus sollicitée ;

τ'_m et τ'_{1m} , les pressions maxima de ces armatures ;

u , le bras de levier par rapport au centre de la section de la fibre moyenne f de chaque armature ;

u_m , la distance au même centre des fibres extrêmes de chaque armature.

Posons :

$$p_1 = \frac{p + p'}{2}$$

et

$$p_2 = \frac{p - p'}{2}.$$

L'équation de projection est :

$$(89) \left\{ \begin{array}{l} \Gamma = p_1 h e + 2 p_1 (m - 1) \omega' = \\ = p_1 [h e + 2 (m - 1) \omega'] \end{array} \right.$$

et l'équation du moment autour du centre de gravité de la section de la pièce est :

$$(90) \quad M = \frac{1}{6} p_2 h^2 e + 4 p_2 \frac{m - 1}{h} (\omega' u^2 + i).$$

Posons

$$(91) \quad I = \frac{1}{12} h^3 e + 2 (m - 1) (\omega' u^2 + i)$$

ce qui donne

$$(92) \quad M = p_2 \frac{2l}{h}.$$

L'hypothèse admise de la conservation des sections planes conduit aux relations suivantes :

$$(93) \quad \tau' = m \left(p_1 - p_2 \frac{2u}{h} \right),$$

$$(94) \quad \tau'_1 = m \left(p_1 + p_2 \frac{2u}{h} \right),$$

$$(95) \quad \tau'_m = m \left(p_1 - p_2 \frac{2u_m}{h} \right),$$

$$(96) \quad \tau'_{1m} = m \left(p_1 + p_2 \frac{2u_m}{h} \right).$$

Les équations (89) et (92) permettent de calculer p_1 et p_2 et donnent

$$p_1 = \frac{T}{he + 2(m-1)\omega'}$$

et

$$p_2 = \frac{Mh}{2l}.$$

Ces formules ne sont vraies que lorsqu'il n'y a pas d'extension dans la section. On doit donc avoir

$$p_1 > p_2,$$

c'est-à-dire

$$\frac{T}{he + 2(m-1)\omega'} > \frac{Mh}{2l},$$

ce qui donne

$$(97) \quad \frac{M}{T} < \frac{2I}{h[he + 2(m-1)\omega']}$$

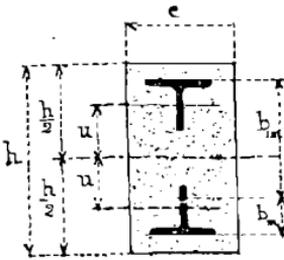


Fig. 13

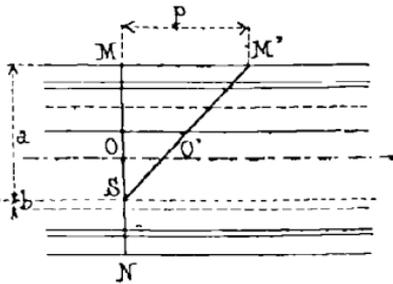


Fig. 14

$\frac{M}{T}$ étant le bras de levier du moment M , le second membre de l'inégalité précédente définit la limite du *noyau central* de la section.

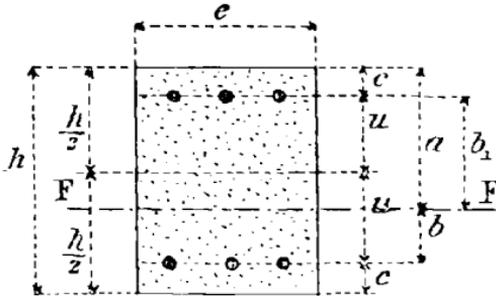


Fig. 15

Si on a (fig. 13 à 15) :

$$(98) \quad \frac{M}{T} > \frac{2I}{h[he + 2(m-1)\omega']}$$

la section considérée comporte des efforts de tension. Supposons que toute l'armature inférieure soit soumise à des efforts de traction, nous avons

$$(99) \quad T = \frac{p}{a} \left[\frac{1}{2} a^2 e + (m - 1) \omega' b_1 - m \omega' b \right]$$

et

$$(100) \quad M = \frac{p}{a} \left[\frac{1}{2} a^2 e \left(\frac{1}{2} h - \frac{1}{3} a \right) - (\omega' u b_1 + i) + 2m(\omega' u^2 + i) \right];$$

on a encore

$$(101) \quad I = \frac{1}{2} a^3 e \left(\frac{1}{2} h - \frac{1}{3} a \right) - (\omega' u b_1 + i) + 2m(\omega' u^2 + i)$$

$$(102) \quad \tau' = p \frac{mb}{a}$$

$$(103) \quad \tau'_1 = p \frac{mb_1}{a}$$

et

$$(104) \quad \tau'_m = p \frac{mb_m}{a}$$

$$(105) \quad \tau'_{1m} = p \frac{mb_{1m}}{a}.$$

Si la pièce est faiblement armée, on a, dans le cas d'une section ne travaillant qu'à la compression

$$(106) \quad T = p_1 (h e + 2m \omega')$$

$$(107) \quad I = \frac{1}{12} h^3 e + 2m \omega' u^2$$

$$(108) \quad M = p_2 \frac{2I}{h}.$$

On a, de plus

$$(109) \quad \tau' = m \left(p_1 - p_2 \frac{2u}{h} \right),$$

$$(110) \quad \tau'_1 = m \left(p_1 + p_2 \frac{2u}{h} \right),$$

$$(111) \quad p = p_1 + p_2,$$

$$(112) \quad p' = p_1 - p_2.$$

Les relations (106) et (108) donnent

$$(113) \quad p_1 = \frac{T}{\hbar e + 2m\omega'},$$

et

$$(114) \quad p_2 = \frac{Mh}{2l}.$$

La limite du *noyau central* est déterminée par l'inégalité

$$(115) \quad \frac{M}{T} < \frac{2l}{h(\hbar e + 2m\omega')}.$$

Quand, au contraire, on a

$$(116) \quad \frac{M}{T} > \frac{2l}{h(\hbar e + 2m\omega')},$$

les formules à appliquer sont

$$(117) \quad T = \frac{p}{a} \left[\frac{1}{2} a^2 e + m\omega'(b_1 - b) \right],$$

$$(118) \quad M = \frac{p}{a} \left[\frac{1}{2} a^2 e \left(\frac{1}{2} h - \frac{1}{3} a \right) + 2m\omega'u^2 \right],$$

$$(119) \quad \tau' = pm \frac{b}{a},$$

$$(120) \quad \tau'_1 = pm \frac{b}{a}.$$

Il arrive quelquefois qu'on a affaire à des pièces n'ayant qu'une armature, dans le cas d'une section ne travaillant qu'à la compression, les formules sont

$$(121) \quad T = p_1(he + m\omega') - p_2 \frac{2m\omega'u}{h},$$

$$(122) \quad M = p_2 \frac{2I}{h} - p_1 m\omega'u,$$

$$(123) \quad I = \frac{1}{12} h^3 e + m\omega'u^2,$$

avec la condition

$$(124) \quad \frac{M}{T} < \frac{2I - m\omega'u h}{h(he + m\omega') - 2m\omega'u},$$

et, dans le cas d'une section travaillant à la compression et à la traction, on a les formules

$$(125) \quad T = \frac{p}{a} \left(\frac{1}{2} a^2 e - m\omega'b \right),$$

$$(126) \quad M = \frac{p}{a} \left[\frac{1}{2} a^2 e \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{3} \right) + m\omega'b u \right],$$

$$(127) \quad \frac{M}{T} > \frac{2I - m\omega'u h}{h(he + m\omega') - 2m\omega'u}.$$

Jusqu'ici nous avons supposé l'armature symétrique. Si elle ne l'est pas, les formules sont ainsi modifiées. Nous n'établirons celles-ci que dans le cas des pièces faiblement armées. Les notations restant les mêmes que précédemment, l'équation de projection prend la forme

$$(128) \quad T = p_1 h e + \tau_1 \omega'_1 + \tau \omega'$$

et l'équation du moment autour du centre de gravité de la section de la pièce est

$$(129) \quad M = \frac{1}{6} p_2 h^2 e - \tau_1 \omega'_1 u_1 - \tau \omega' u$$

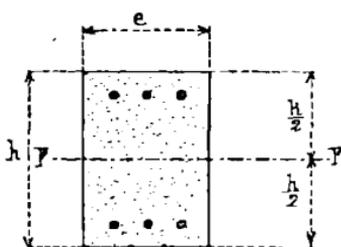


Fig. 16

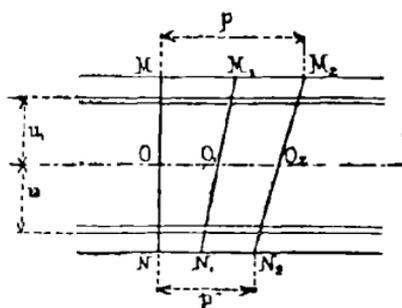


Fig. 17

La loi de conservation des sections planes fournit les conditions ci-après (fig. 16 à 18), si

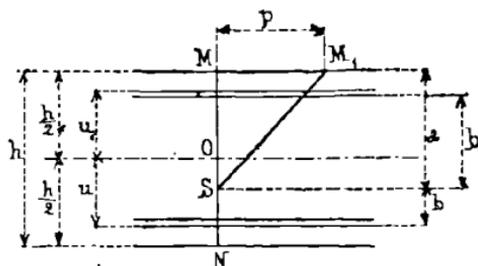


Fig. 18

nous désignons toujours par m le rapport $\frac{E'}{E}$

$$\frac{E'}{E} = m :$$

$$(130) \quad \tau' = m \left(p_1 - p_2 \frac{2u}{h} \right),$$

$$(131) \quad \tau'_1 = m \left(p_1 + p_2 \frac{2u_1}{h} \right),$$

ce qui donne, en remplaçant τ' et τ'_1 par ces valeurs dans (128) et (129)

$$(132) \quad T = p_1 \left[he + m(\omega'_1 + \omega') \right] + \frac{2mp_2}{h} (\omega'_1 u_1 - \omega' u)$$

et

$$(133) \quad \left\{ \begin{array}{l} M = mp_1(\omega'_1 u_1 - \omega' u) + \\ + p_2 \left[\frac{1}{6} h^2 e + 2 \frac{m}{h} (\omega'_1 u_1^2 + \omega' u^2) \right]. \end{array} \right.$$

Posons

$$(134) \quad I = \frac{1}{12} h^3 e + m(\omega'_1 u_1^2 + \omega' u^2),$$

$$(135) \quad A = he + m(\omega'_1 + \omega'),$$

$$(136) \quad B = m(\omega'_1 u_1 - \omega' u);$$

les formules (132) et (133) deviennent

$$(137) \quad T = p_1 A + p_2 \frac{2B}{h},$$

$$(138) \quad M = p_1 B + p_2 \frac{2I}{h}.$$

Ces formules ne sont applicables que lorsqu'il ne se produit pas d'effort d'extension dans la section étudiée. On doit donc avoir $p_1 > p_2$. Or

$$(139) \quad P_1 = \frac{IT - BM}{IA - B^2}.$$

$$(140) \quad P_2 = \frac{h(\Lambda M - B\Gamma)}{2(\Lambda A - B^2)},$$

On a donc la condition

$$(141) \quad \frac{M}{\Gamma} < \frac{2I + Bh}{\Lambda h + 2B}.$$

Quand la résultante est telle qu'il se développe dans la section considérée des efforts d'extension, les formules sont

$$(142) \quad T = \frac{1}{2} pae + \tau'_1 \omega'_1 - \tau' \omega',$$

$$(143) \quad M = \frac{1}{2} pae \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{3} \right) + \tau'_1 \omega'_1 u_1 - \tau' \omega' u,$$

$$(144) \quad \tau' = p \frac{mb}{a},$$

$$(145) \quad \tau'_1 = p \frac{mb_1}{a},$$

de telle sorte qu'on peut écrire

$$(146) \quad I = \frac{a^2 e}{2} \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{3} \right) + m(\omega'_1 b_1 u_1 + \omega' b u),$$

$$(147) \quad T = \frac{p}{a} \left[\frac{a^2 e}{2} + m(\omega'_1 b_1 - \omega' b) \right].$$

$$(148) \quad M = \frac{p}{a} \left[a^2 e \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{3} \right) + m(\omega'_1 b_1 u_1 + \omega' b u) \right] = \frac{pI}{a}$$

TRAVAUX DE M. LEFORT

M. Lefort, ingénieur des ponts et chaussées a établi certaines formules pour calculer les poutres en ciment armé. Cet ingénieur admet l'hypothèse de la conservation des sections planes dans le phénomène de la flexion. Il admet aussi que le coefficient d'élasticité du béton de ciment conserve la même valeur, soit à la traction, soit à la compression et que, de plus, il reste constant dans des limites de charges variables que l'on rencontre dans la pratique.

Disons tout de suite que les expériences de MM. Rabut, Considère et Harel de la Noë ont condamné ces hypothèses. Néanmoins, les travaux de M. Lefort servent de guide à un grand nombre de constructeurs.

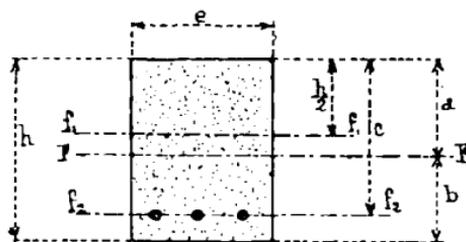


Fig. 19

Soit (fig. 19), une poutre de section

$$(1) \quad \Omega = eh$$

armée de barres dont la section totale est ω' ,

Désignons par f_1f_1 , l'axe neutre du ciment, f_2f_2 , celui du métal et FF, celui de la poutre hétérogène.

Comme précédemment E et E' sont respectivement les coefficients d'élasticité du ciment et du métal. Posons encore

$$(2) \quad \frac{E'}{E} = m.$$

La surface

$$(3) \quad S = m\omega' + eh,$$

équivalut à une surface homogène ayant la densité du béton de ciment prise pour unité, en admettant la proportionnalité des surfaces aux coefficients d'élasticité.

Si nous prenons les moments par rapport au plan horizontal supérieur, nous avons

$$(4) \quad (m\omega' + eh)a = m\omega'c + eh \frac{h}{2},$$

ce qui donne

$$(5) \quad a = \frac{2m\omega'c + eh^2}{2m\omega' + 2eh} = \frac{h}{2} + \frac{m\omega'(2c - h)}{2(m\omega' + eh)}.$$

Si i' est le moment d'inertie de l'armature par rapport à son axe neutre f_2f_2 et i , celui du ciment par rapport à son axe neutre f_1f_1 , ces moments d'inertie pris par rapport à la fibre neutre FF deviennent d'après un théorème connu

$$(6) \quad I' = i' + \omega'(c - a)^2,$$

$$(7) \quad I = i + eh\left(a - \frac{h}{2}\right)^2.$$

Calculons maintenant le moment fléchissant de la poutre.

Soient :

M , le moment fléchissant ;

ρ , le rayon de courbure de la fibre neutre FF déformée ;

v' , la distance de FF à la fibre la plus éloignée de l'armature ;

v , la distance de FF à la fibre la plus éloignée du ciment ;

R' , la résistance de sécurité adoptée pour le métal par unité de surface.

R , la résistance de sécurité pour le ciment.

On a, en vertu du principe de la superposition des effets des forces

$$(8) \quad M = \frac{R'I'}{v'} + \frac{RI}{v}.$$

Or

$$(9) \quad \frac{R'}{v'} = \frac{E'}{\rho},$$

et

$$(10) \quad \frac{R}{v} = \frac{E}{\rho},$$

ce qui donne en divisant membre à membre

$$\frac{R}{v} = \frac{R'}{v'} \times \frac{1}{m},$$

et alors la relation (8) devient

$$(11) \quad M = \frac{R'}{\nu m} (m l' + I),$$

ce qui donne

$$(12) \quad R' = \frac{M m \nu'}{m l' + I},$$

de même, on obtient

$$(13) \quad R = \frac{M \nu}{m l' + I}.$$

Les formules (12) et (13) ressemblent à la formule connue

$$R = \frac{M \nu}{I},$$

qui se rapporte aux poutres homogènes. Il suffit d'y remplacer I par $m l' + I$.

Dans le cas où les fibres neutres se confondent

$$a = c = \frac{h}{2},$$

et les formules (12) et (13) deviennent

$$(14) \quad R' = \frac{M m \nu'}{m i' + i},$$

et

$$(15) \quad R = \frac{M \nu}{m i' + i}.$$

L'effort tranchant A , dans une section donnée, se décompose ainsi

$$\frac{A}{S} m \omega', \quad \text{pour le métal,}$$

et

$$\frac{A}{S} eh, \quad \text{pour le ciment,}$$

et donne, par unité de surface, un effort de $\frac{A}{S} \omega'$ dans le métal et de $\frac{A}{S}$ dans le ciment. Il faut ajouter ces efforts à ceux dus au moment fléchissant et ils doivent entrer en ligne de compte dans les calculs.

M. Lefort a étudié différents cas particuliers :

1° *Cas de barres rondes de même diamètre noyées dans un prisme droit de ciment.*

Soient n , le nombre de barres rondes de rayon commun r ;

$\frac{\eta}{2}$, la distance de leur axe à l'axe de symétrie du ciment.

Les formules précédemment établies deviennent

$$\omega' = n\pi r^2,$$

$$c = \frac{1}{2} (\eta + h),$$

d'où

$$2c - h = \eta,$$

puis

$$(16) \quad S = mn\pi r^2 + eh,$$

$$(17) \quad a = \frac{h}{2} + \frac{mn\pi r^2 \eta}{2(mn\pi r^2 + eh)}.$$

De plus

$$v' = \frac{n\pi r^4}{4},$$

$$i = \frac{eh^3}{12};$$

donc

$$(18) \quad \left\{ \begin{aligned} V &= \frac{n\pi r^4}{4} + n\pi r^2 \left(\frac{r_1 + h}{2} - a \right)^2 = \\ &= n\pi r^2 \left[\frac{r^2}{4} + \left(\frac{r_1 + h}{2} - a \right)^2 \right]. \end{aligned} \right.$$

$$(19) \quad \left\{ \begin{aligned} I &= \frac{eh^3}{12} + eh \left(a - \frac{h}{2} \right)^2 = \\ &= eh \left[\frac{h^2}{12} + \left(a - \frac{h}{2} \right)^2 \right]; \end{aligned} \right.$$

t alors

$$(20) \quad R' = \frac{Mm\nu'}{mn\pi r^2 \left[\frac{r^2}{4} + \left(\frac{r_1 + h}{2} - a \right)^2 \right] + eh \left[\frac{h^2}{12} + \left(a - \frac{h}{2} \right)^2 \right]},$$

$$(21) \quad R = \frac{M\nu}{mn\pi r^2 \left[\frac{r^2}{4} + \left(\frac{r_1 + h}{2} - a \right)^2 \right] + eh \left[\frac{h^2}{12} + \left(a - \frac{h}{2} \right)^2 \right]}.$$

On a les maxima de R' et de R en remplaçant respectivement ν' par $\frac{r_1 + h}{2} - a + r$ et ν par a .

Les signes des valeurs de R' et de R permettent de déterminer les cas de compression et de tension.

2° Cas de barres placées de part et d'autre, mais à la même distance du plan diamétral.

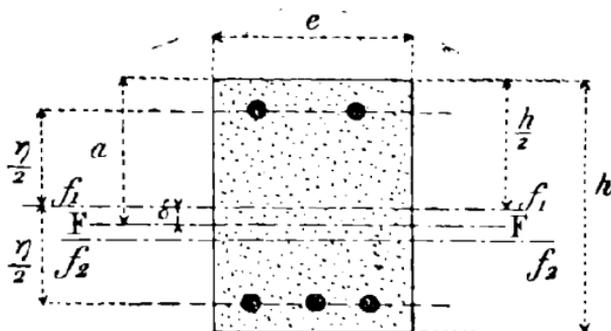


Fig. 20

Supposons qu'il y ait (fig. 20) :

n , barres au dessous,

n' , barres au dessus ;

toutes étant de même rayon r , nous obtenons les formules

$$\omega' = (n + n')\pi r^2,$$

$$(22) \quad S = m(n + n')\pi r^2 + eh,$$

$$(23) \quad a = \frac{m\pi r^2 \left[n \frac{h + \eta}{2} + n' \frac{h - \eta}{2} \right] + \frac{eh^2}{2}}{m(n + n')\pi r^2 + eh};$$

de plus

$$i' = (n + n')\pi \frac{r^4}{4},$$

$$z = \frac{eh^3}{12};$$

donc

$$(24) \quad \left\{ \begin{aligned} I' &= (n + n')\pi \frac{r^4}{4} + n\pi r^2 \left(\frac{h + \eta}{2} - a \right)^2 + \\ &+ n'\pi r^2 \left(a - \frac{h - \eta}{2} \right)^2, \end{aligned} \right.$$

$$(25) \quad I = eh \left[\frac{h^2}{12} + \left(a - \frac{h}{2} \right)^2 \right].$$

On calculerait de même R' et R.

3° *Recherche de la position à donner aux barres pour rendre maximum ou minimum le moment d'inertie de la poutre hétérogène.*

Posons

$$(26) \quad \lambda = mI' + I,$$

$$(27) \quad N = n + n',$$

$$(28) \quad \delta = a - \frac{h}{2};$$

nous obtenons, en remplaçant I' et I par leurs valeurs, puis en éliminant n' et δ

$$(29) \quad \left\{ \begin{aligned} \lambda &= \delta^2 (eh + mN\pi r^2) + m\pi r^2 \eta (N - 2n)\delta + \\ &+ \frac{eh^3}{12} + \frac{mN\pi r^4}{4} + mN\pi r^2 \frac{h^2}{4}, \end{aligned} \right.$$

et

$$(30) \quad \delta = \frac{m\pi r^2 \frac{\eta}{2} (2n - N)}{eh + mN\pi r^2}.$$

Pour avoir la valeur de n qui correspond au

maximum de λ , il faut tirer n de l'équation dérivée

$$(31) \quad \frac{d\lambda}{dn} = 0.$$

On trouve

$$(32) \quad \frac{d\lambda}{dn} = \frac{m\pi r^2 \tau_i (N - 2n)}{eh + m\pi r^2},$$

en tenant compte de la relation

$$(33) \quad \frac{d\delta}{dn} = \frac{2m\pi r^2 \frac{\tau_i}{2}}{eh + mN\pi r^2} = \frac{m\pi r^2 \tau_i}{eh + mN\pi r^2}$$

la dérivée $\frac{d\lambda}{dn}$ s'annule pour

$$n = \frac{N}{2},$$

c'est-à-dire quand il y a autant de barres en haut qu'en bas.

Quand n croît de zéro à $\frac{N}{2}$, on a $\frac{d\lambda}{dn} > 0$, ce qui indique que λ croît constamment, et quand n croît de $\frac{N}{2}$ à N , on a $\frac{d\lambda}{dn} < 0$, ce qui montre que λ décroît constamment.

Le maximum que nous venons de déterminer, est donc un maximum absolu et les minima de la fonction λ ont lieu, dans les limites qui nous intéressent, pour

$$n = 0 \quad \text{et} \quad n = N$$

Nous pouvons exprimer ces résultats de la façon suivante :

1° Le maximum du moment d'inertie et, par conséquent, le maximum de résistance d'une poutre hétérogène munie d'armatures constituées de barres rondes de même diamètre a lieu quand les barres sont disposées symétriquement par rapport au plan diamétral horizontal de la poutre droite.

2° Le minimum du moment d'inertie d'une pareille poutre a lieu quand les barres sont placées du même côté du plan diamétral.

3° Dans la pratique, le minimum est compris entre les 70 et les 76 % du maximum.

4° *Cas des poutres symétriques.* — Nous avons, dans ce cas

$$2n = N,$$

$$a = \frac{h}{2},$$

$$(34) \quad \lambda = mI' + I = \frac{eh^3}{12} + \frac{mN\pi r^3}{4} (r^2 + r_1^2).$$

Dans la pratique $\frac{r}{r_1}$ est voisin de 0,1 ; par conséquent r^2 n'est guère que 0,01 de r_1^2 . On peut donc, sans grande erreur, négliger le terme r^2 dans la somme $(r^2 + r_1^2)$. Il vient, par suite

$$(35) \quad \lambda = \frac{eh^3}{12} + \frac{mN\pi r^2 r_1^2}{4} = \frac{1}{4} \left[\frac{eh^3}{3} + m\omega' r_1^3 \right],$$

puis

$$(36) \quad R' = \frac{mM \left(\frac{\eta}{2} + r \right)}{\lambda} = \frac{mM(\eta + 2r)}{2\lambda},$$

et

$$(37) \quad R = \frac{M \frac{h}{2}}{\lambda} = \frac{Mh}{2\lambda}.$$

M. Lefort fait varier le coefficient m avec la nature des matériaux et les dosages des bétons. On peut donner à m des valeurs comprises entre 13 et 26. Quant à R , on lui donne une valeur de 56 kilogrammes par centimètre carré.

Cet ingénieur s'est basé sur diverses expériences qui établissent que les matières associées se partagent de la façon suivante l'effort de résistance opposé en commun au moment fléchissant M des forces extérieures :

- 40 % au moins pour le ciment,
- 60 % au plus pour le métal.

Il néglige les termes correspondant au ciment et ne prend, pour moment fléchissant, que la fraction μM dans laquelle

$$\mu = 0,6.$$

Il vient, dans ces conditions

$$(38) \quad \lambda = \frac{m\omega'\eta^2}{4},$$

puis

$$(39) \quad R' = \frac{\mu m M(\eta + 2r)}{\frac{2m\omega'\tau_1^2}{4}} = \frac{2\mu m M(\eta + 2r)}{m\omega'\tau_1^2}.$$

ou

$$(40) \quad \frac{R'\omega'\tau_1^2}{2} = \mu M(\eta + 2r).$$

Cette formule n'est vraie que quand la section du béton se rapproche de celle des expériences, c'est-à-dire lorsqu'elle vaut 25 fois au moins celle du métal.

Quand le rayon des barres est faible par rapport à τ ou quand on ne considère que le travail moyen du métal, on néglige $2r$ vis-à-vis τ et la formule précédente devient

$$(41) \quad R'\omega'\tau = 2\mu M.$$

Dans la pratique, $\frac{2r}{\tau}$ est voisin de 0,1, l'erreur relative que peut donner la dernière formule n'est que de 0,1. Le travail moyen du métal n'est plus que les 0,9 du travail maximum.

Si on néglige complètement le rôle du ciment, ce qui se traduit par la condition

$$\mu = 1$$

on a

$$(42) \quad \frac{R'\omega'\tau_1^2}{2} = M(\eta + 2r)$$

et si, de plus, on considère que le travail moyen des barres, r disparaît devant η et on a simplement

$$(43) \quad R'\omega'\eta = 2M.$$

Cette dernière formule donne pour R' des valeurs presque doubles de celles données par la formule (40). Pour corriger cette erreur, on fait travailler le fer à 12 kilogrammes et l'acier à 18 kilogrammes par millimètre carré au lieu de 8 et 12 kilogrammes.

Cet exposé de la théorie de M. Lefort, montre que, quoique reposant sur des hypothèses inexactes, elle permet de calculer une poutre en ciment armé dans tous les cas qui peuvent se présenter dans la pratique.

TRAVAUX DE M. CONSIDÈRE

M. Considère, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, a fait des recherches nombreuses sur les déformations extrêmes des fibres tendues ou raccourcies des prismes en ciment armé soumis à des efforts variables de flexion. Les appareils amplificateurs à miroir, dont il fit usage étaient d'une précision et d'une sensibilité extrêmes.

Les résultats obtenus avec deux prismes-types, l'un non armé, l'autre armé (*fig.* 21), ont été les suivants :

Le prisme non armé a résisté pendant plusieurs minutes à un moment fléchissant de $11^{\text{kg}},480$ qui a produit dès son application un allongement de $0^{\text{mm}},201$. Il y a eu rupture après un allongement de $0^{\text{mm}},266$.

Le prisme armé dans lequel la section totale des fers était de $4^{\text{mm}},25$ a supporté, sans se rompre, un moment de flexion de $78^{\text{kg}},680$. Entre deux charges

successives, le retour à la position d'équilibre avait toujours lieu. Après ces essais, la surface du prisme dans sa partie médiane paraissait intacte, tandis

que les fibres étendues avaient subi un allongement vingt fois plus grand que dans le cas du prisme non armé, et le béton n'avait pas été fissuré.

Voici comment était calculée la tension supportée par le ciment dans ce prisme armé. Par hypothèse, la résistance totale du prisme étant égale à la somme des résistances partielles, on déterminait les coefficients d'élasticité en opérant par traction sur des barres identiques, et

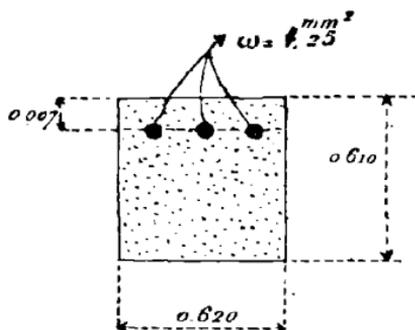


Fig. 21

comme on admettait l'hypothèse de la conservation des sections planes, pendant le phénomène de la flexion, on calculait l'allongement du fer en connaissant les déformations des fibres extrêmes en ciment sur les deux faces opposées.

Si nous désignons par :

p' , la tension par millimètre carré ;

λ , l'allongement total ;

E' , le coefficient d'élasticité du métal ;

L , la longueur du prisme mis à l'épreuve,

la formule

$$(1) \quad p' = \frac{E'\lambda}{L},$$

permet de calculer p' , les autres quantités étant déterminées.

On obtient la résistance afférente au ciment en retranchant la tension des armatures de la tension totale du prisme armé. On en déduit la valeur du coefficient E' du ciment.

Le tableau de la p. 69, donne les résultats obtenus par M. Considère.

Prenons deux axes de coordonnées rectangulaires Ox , Oy (*fig. 22*) ; portons, sur l'axe des x , les déformations et, sur l'axe des y , les moments fléchissants ; nous obtenons une courbe.

Quand on ne dépasse pas la limite d'élasticité, les déformations du métal sont proportionnées aux efforts, et alors la courbe des moments

Moments de flexion supportés par le prisme	Distances de l'axe neutre à la surface		Allongements		Valeurs de E' pour le fer	Tensions du fer		Bras du levier de ces tensions	Moments produits par le fer	Moments produits par le ciment
	comprimée	tendue	constatés du ciment	calculés du fer		par mm ²	totales			
kgm.	mm.	mm.	mm.	mm.		kgm.	kgm.	m.	kgm.	kgm.
5,18	28,7	32,3	0,038	0,031	2,17 X 10 ³	0,67	28	0,0450	1,28	3,90
11,48	28,7	32,3	0,032	0,025	2,17	1,63	69	0,0450	3,12	8,38
19,88	28,7	32,3	0,186	0,145	2,17	3,15	134	0,0450	6,03	13,85
30,38	27,4	33,6	0,424	0,337	2,15	7,25	304	0,0450	13,90	16,48
40,88	25,5	35,1	0,775	0,620	2,11	13,10	558	0,0445	24,83	16,05
49,28	25,3	35,7	1,050	0,840	2,10	17,60	750	0,0442	33,15	16,13
63,98	24,4	36,7	1,520	1,230	2,06	25,34	1 079	0,0440	47,48	16,50
78,68	24,4	36,6	1,980	1,600	2,00	32,00	1 363	0,0440	59,97	18,71

pour le métal est une droite OP qui passe par l'origine.

La courbe des moments totaux part de l'origine tangentielllement à l'axe des y , s'élève rapidement et se continue par une ligne droite MN.

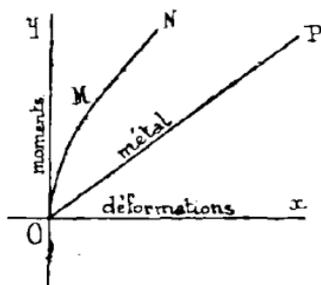


Fig. 22

Pour se rapprocher des conditions de la pratique, M. Considère a fait des expériences avec un type de béton souvent employé par les constructeurs et composé de 300 kilogrammes de ciment

pour 1 mètre cube de mélange, par parties égales de sable pur et de petit gravier.

En admettant que la résistance minima soit de 12 kilogrammes à la traction et de 150 kilogrammes à la compression avec un coefficient de

$$1,9 \times 10^9$$

pendant la période d'élasticité, M. Considère a obtenu les déformations et les efforts correspondants relatés dans le tableau de la page suivante.

A l'aide de ces chiffres, il est possible de construire la courbe des moments qui correspondent aux déformations. Cette courbe permet de déterminer les efforts qui se produisent dans tous les points de la pierre armée.

Soient (fig. 23, 24 et 25) :

h et e , les dimensions de la poutre armée exprimées en millimètres ;

FF' , son axe neutre.

Allongements en millimètres	Tensions	Pressions
0,04	7,5	7,5
0,10	11	8
0,25	12	40
0,50	12	65
1,00	12	105
1,50	12	150

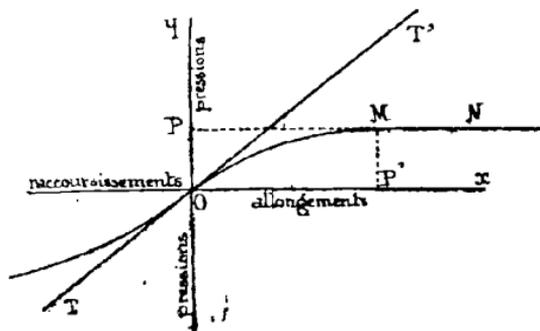


Fig. 23

Désignons par :

p , la compression maxima en M_1 ;

p' , la tension maxima en N_1 ;

t , la tension moyenne du métal par millimètre carré ;

σ' , le rapport de la section du métal à la section totale de la pièce.

M. Considère exprime, par la fraction hx , la distance de la face inférieure du prisme à l'axe neutre FF' et par la fraction hu , la distance de cette même face à l'axe neutre du métal f_2f_2' .

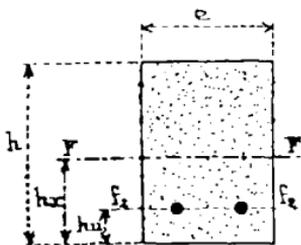


Fig. 24

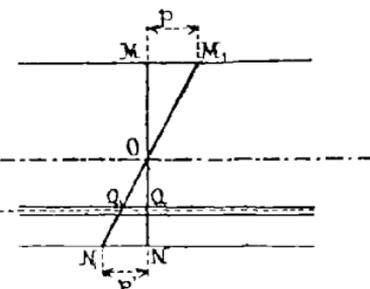


Fig. 25

L'équilibre est

$$(2) \quad ep'hx + t\sigma'he - h(1-x)e\frac{p}{2} = 0$$

$\frac{p}{2}$ étant la compression moyenne. On peut écrire

$$(3) \quad 2p'x + 2t\sigma' - (1-x)p = 0$$

E et E' étant les coefficients d'élasticité du ciment et du métal ; on a

$$(4) \quad p = E \times MM_1;$$

or les triangles semblables OMM_1 et OQQ_1 permettent d'écrire

$$(5) \quad \frac{MM_1}{QQ_1} = \frac{OM}{OQ} = \frac{h - hx}{hx - hu} = \frac{1-x}{x-u}$$

ce qui donne

$$(6) \quad MM_1 = QQ_1 \times \frac{1-x}{x-u};$$

mais

$$(7) \quad t = E' \times QQ_1$$

ou

$$(8) \quad QQ_1 = \frac{t}{E'};$$

donc

$$MM_1 = \frac{t}{E'} \times \frac{1-x}{x-u},$$

et

$$p = t \times \frac{E}{E'} \times \frac{1-x}{x-u}.$$

Posons toujours

$$(9) \quad \frac{E'}{E} = m,$$

nous avons

$$(10) \quad p = \frac{t}{m} \times \frac{1-x}{x-u},$$

et alors l'équation (3) devient

$$(11) \quad 2p'x + 2t\sigma' - \frac{(1-x)^2}{x-u} \times \frac{t}{m} = 0,$$

ou, en ordonnant

$$(12) \quad (2mp' - 1)x^2 + 2(mt\sigma' + t - mp'u)x - (2m\sigma'u + 1)t = 0.$$

Le moment fléchissant est enfin donné par l'équation

$$M = eh p' x \left[\frac{hx}{2} + \frac{2}{3} (h - hx) \right] + \\ + het \sigma' \left[(hx - hu) + \frac{2}{3} (h - hx) \right],$$

qui s'écrit successivement

$$M = eh^2 \left[\left(\frac{p'x^2}{2} + \frac{2p'x}{3} - \frac{2p'x^2}{3} \right) + \right. \\ \left. + t \sigma' \left(x - u - \frac{2}{3} x + \frac{2}{3} \right) \right],$$

$$M = eh^2 \left[p'x \frac{4-x}{6} + t \sigma' \left(\frac{x-3u+2}{3} \right) \right],$$

et finalement

$$(13) \quad M = \frac{1}{6} eh^2 \left[p'x(4-x) + 2t \sigma' (x-3u+2) \right].$$

Les équations (10), (12) et (13) sont les équations fondamentales; la première donne la valeur de la plus grande compression du ciment, la seconde, la position de l'axe neutre, la troisième, la valeur du moment fléchissant.

Dans la pratique, on fait

$$u = \frac{1}{12},$$

auquel cas les équations (10), (12) et (13) deviennent

$$(14) \quad p = \frac{t}{m} \times \frac{12-12x}{12x-1} = \frac{12t}{m} \times \frac{1-x}{12x-1},$$

$$(15) \quad 12(2mp' - 1)x^3 + \\ + 2(12mt\sigma' + 12t - mp')x - (2m\sigma' + 12)t = 0,$$

$$(16) \quad M = \frac{eh^2}{6} [4p'x(4-x) + 2t\sigma'(4x-u+8)] = \\ = \frac{eh^2}{3} [2p'x(4-x) + t\sigma'(4x-u+8)].$$

Par l'expérience, on détermine les valeurs de p' , t et m pour le métal et le béton dont on a fait choix. On calcule alors les quantités p et M dans le cas le plus défavorable qui est celui où on approche de la limite d'élasticité du métal. On fait ensuite varier la proportion du métal en donnant à σ' les valeurs successives

$$0,01, \quad 0,02, \quad 0,03, \quad 0,04,$$

et dans chaque cas, on résoud les équations (14), (15) et (16) qui donnent les valeurs de p , x et M .

Pour faciliter les calculs, M. Considère a dressé le tableau de la page suivante.

Ce tableau montre :

1° Que la fibre neutre du métal s'éloigne au fur et à mesure que le coefficient d'élasticité du béton diminue;

2° Que le moment fléchissant de la poutre croît rapidement avec le pourcentage du métal;

3° Que la compression du béton s'élève avec le pourcentage et que la limite de sécurité pour le béton augmente avec sa qualité.

Nombres d'ordre	Noms des matériaux employés		L'unité du métal	Résistance du béton par centimètre carré		Proportion du métal	Rapport : $\frac{I}{m} = \frac{F}{F'}$	Distance de l'axe neutre à la face tendue	Pression maximum du béton	Moment résistant	Dépense par mètre cube	Nombres proportionnels de la dépense par kcm.
	Métal	Béton		à la traction	à la compression							
1	Fer	à 300	kgs	12	150	0,01	7,0	0,37	107	0,137	65	414
2	Fer	300	"	"	"	0,02	6,5	0,49	143	0,262	85	324
3	Fer	300	"	"	"	0,03	6,0	0,42	186	0,300	103	261
4	Fer	800	"	30	360	0,01	10,0	0,57	193	0,216	85	393
5	Fer	800	"	"	"	0,03	9,0	0,45	231	0,417	125	299
6	Fer	800	"	"	"	0,14	8,7	0,42	264	0,516	145	281
7	Acier	800	30	30	360	0,01	10,0	0,60	226	0,327	87	266
8	Acier	800	"	"	"	0,02	8,5	0,51	313	0,521	109	209

M. Considère conseille, pour un béton dosé à 300 kilogrammes de ciment pur par mètre cube de sable et de gravier, de ne pas dépasser pour le pourcentage du métal 0,0217 dans les poutres soumises seulement à des efforts permanents et 0,008 dans les pièces pouvant subir des efforts répétés.

Quant au choix du métal, cet ingénieur indique l'emploi du fer toutes les fois que l'on craint des vibrations excessives et celui de l'acier quand on craint des réactions dangereuses pouvant naître d'un encastrement rendant toutes les pièces solidaires. Dans les travaux d'imperméabilité, il y a intérêt à employer un béton riche et de l'acier.

D'après M. Considère, il y a avantage, à employer couramment l'acier en réduisant la section de 0,1 sur celle exigée pour le fer. Tant que l'on reste dans la limite d'élasticité du fer, l'acier ne paraît pas présenter d'avantage sur le fer ; mais, si on vient à dépasser cette limite, la poutre armée en acier continue à se comporter normalement ; tandis que celle armée en fer peut être dangereuse.

TRAVAUX DE M. HAREL DE LA NOË

Dans ses études sur le ciment armé, M. Harel de la Noë, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, a cherché à :

« Concevoir un système rationnel et précis, conforme aux idées fondamentales de la mécanique, basé sur les notions expérimentales acquises et capable d'expliquer les faits observés ; déterminer les coefficients pratiques des formules par l'application de ces formules aux ouvrages existants et qui se comportent bien ; et déterminer le coefficient de sécurité par des expériences consistant à mettre en service des poutres construites d'après les idées théoriques à l'essai, celles-ci étant poussées à l'extrême, de manière à réaliser un état dénoncé par la théorie comme voisin de la rupture ».

Dans ses nombreuses recherches, M. Harel de la Noë a fait des réserves sur l'hypothèse de la conservation des sections planes. De plus, cet ingénieur a la conviction que les déformations permanentes atteignent toujours la moitié et peuvent s'élever aux $\frac{2}{3}$ de la flèche totale. Il admet enfin que la courbe d'élasticité du béton tendu se compose de deux parties rectilignes ;

l'une OM, inclinée sur l'axe des x et l'autre MN, parallèle à cet axe.

OP (fig. 26) représente l'allongement maximum du béton isolé et MP, l'effort de rupture rapporté à l'unité de surface.

Désignons par :

M, le moment fléchissant ;

P, l'effort tranchant ;

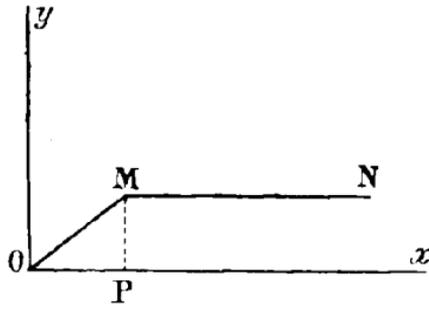


Fig. 26

R, le travail maximum du béton comprimé ;

R', le travail du béton comprimé dans la fibre moyenne du hourdis ;

R'', la résistance par mètre carré du béton isolé et tendu ;

τ' , le travail du métal ;

m , le rapport minimum du coefficient E' d'élasticité du métal à celui E du béton comprimé ;

η , la hauteur de la poutre comprise entre la face supérieure du béton et l'axe de l'armature ;

ϵ , l'épaisseur du hourdis ;

l , la distance de deux nervures consécutives ;

b , la largeur de l'âme ;

ω' , la section de l'armature ;

γ' , son périmètre ;

γ , le quotient de l'effort tranchant maximum par $b\eta$.

Soit la poutre ci-contre (*fig. 27 et 28*), telle

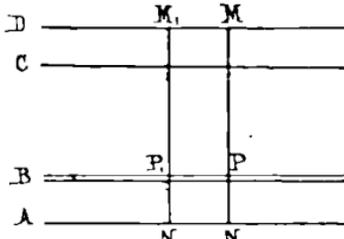


Fig. 27

qu'elle est employée dans les planchers.

M. Harel de la Noë a calculé que le travail de cisaillement sur la surface commune du béton et de l'armature avait pour expression

$$(1) \quad \varphi = \frac{\omega'}{\gamma'} \cdot \frac{d\tau'}{dx},$$

x étant l'abscisse d'une section quelconque. La

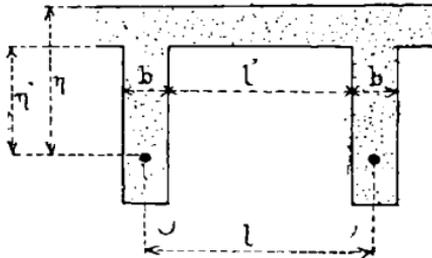


Fig. 28

fonction φ a une valeur toujours inférieure à $\frac{P}{\gamma'\eta}$

$$(2) \quad |\varphi| < \frac{P}{\gamma'\eta},$$

mais l'effort tranchant par unité de surface étant γ , le périmètre de l'armature est déterminé par la relation

$$(3) \quad \frac{P}{\chi'^{\eta}} = \gamma.$$

On prend généralement

$$\gamma = R;$$

de telle sorte qu'on a

$$(4) \quad \chi'^{\eta} = \frac{P}{R};$$

ce qui donne

$$(5) \quad \log \chi' = \frac{1}{\eta} (\log P - \log R).$$

Il faut que

$$(6) \quad \chi' > \frac{P}{R^{\eta}}$$

et que, de plus

$$(7) \quad \chi' < b.$$

Dans le cas de fers ronds, la section de l'armature est donnée par la proportion

$$(8) \quad \frac{c'}{\rho'} = \frac{d}{\lambda}$$

dans laquelle

- c' , est l'effort de glissement ;
- ρ' , le travail maximum du métal ;
- d , le diamètre de l'armature ;
- λ , la longueur de la poutre.

La largeur b de la nervure s'obtient par la formule

$$(9) \quad b = \frac{P}{R'\eta}.$$

Quand il s'agit de dresser un projet, M. Harel de la Noë a indiqué les formules pratiques suivantes :

$$(10) \quad \eta = \frac{M + 2l\epsilon^2 R}{l\epsilon R - \frac{13}{16} P}.$$

$$(11) \quad \omega' = \frac{M}{\tau'\eta}.$$

Si on veut vérifier un projet, cet ingénieur propose de faire usage des formules

$$(12) \quad \tau' = \frac{M}{\omega'\eta}$$

$$(13) \quad R = \frac{M + \frac{13}{16} P\eta}{l\epsilon(\eta - 2\epsilon)}$$

ces formules ne sont applicables que si on a

$$(14) \quad \frac{\eta}{\epsilon} > \frac{4}{5} \left(1 + \frac{\tau'}{mR} \right).$$

Dans le cas où cette dernière inégalité ne serait pas vérifiée, la construction ne serait pas établie dans de bonnes conditions de sécurité et il faut alors se servir des formules suivantes

$$(15) \quad \eta = \frac{M}{\frac{2}{5} Rl\epsilon - P}$$

$$(16) \quad \tau' = 6R \left(\frac{5}{4} \cdot \frac{\pi}{\varepsilon} - 1 \right)$$

$$(17) \quad \omega' = \frac{M}{\tau' r_1}$$

Pour ce qui concerne les poutres à section rectangulaire, on a

$$(18) \quad M = KRbr_1^2$$

K étant un coefficient qui dépend du pourcentage π du métal, c'est-à-dire du rapport du volume du métal à celui du béton de l'âme. Le tableau ci-dessous donne les valeurs de ce coefficient K pour certaines valeurs de π :

Valeurs de π	Valeurs de K
0,003	0,130
0,007	0,150
0,010	0,160
0,020	0,185
0,030	0,206

Voici enfin les valeurs qu'on peut attribuer aux autres coefficients qui entrent dans les formules de M. Harel de la Noë.

On prend pour m sa valeur minima : soit 6 environ.

$R'' = 10$ kilogrammes par centimètre carré ;

$R = 60$ kilogrammes par centimètre carré ;

$\tau' = 8$ kilogrammes par millimètre carré.

TRAVAUX DE M. RESAL

M. Resal, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, suppose une poutre hétérogène prismatique composée de deux éléments ayant des propriétés élastiques différentes ; mais tellement



Fig. 29

liés que tout glissement soit impossible et que les déformations soient concordantes, en raison de l'adhérence des deux éléments l'un à l'autre.

Par hypothèse (fig. 29) les centres de gravité G et G' sont sur un axe principal de la section considérée

et le couple de flexion agit dans le plan perpendiculaire à cette section passant par l'axe XX ; de plus, les surfaces ont des densités proportionnelles à leur coefficient d'élasticité.

Soient :

γ , la distance GG' ;

ω et ω' , les sections respectives des deux éléments constitutifs de la poutre hétérogène ;

E et E' , les coefficients d'élasticité des deux matériaux ;

i et i' , leurs moments d'inertie.

Considérons une poutre homogène fictive dont le centre de gravité soit en O sur la droite GG' et que nous substituons à la poutre hétérogène :

Désignons par :

Ω , la section de cette poutre fictive ;

I , son moment d'inertie ;

E'' , son coefficient d'élasticité ;

u et u' , les distances de son centre de gravité O aux deux autres centres de gravité G et G' .

Nous avons en posant

$$(1) \quad \frac{E'}{E} = m$$

$$(2) \quad u = \frac{\gamma E' \omega'}{E \omega + E' \omega'} = \frac{E'}{E} + \frac{\gamma \omega'}{\omega + \frac{E'}{E} \omega'} = m \frac{\gamma \omega'}{\omega + m \omega'}$$

et

$$(3) \quad u' = \frac{\gamma E \omega}{E \omega + E' \omega'} = \frac{\gamma \omega}{\omega + m \omega'}$$

De plus

$$(4) \quad E'' \Omega = E \omega + E' \omega'$$

$$(5) \quad E'' I = E i + E' i' + E'' \Omega u u'$$

La dernière relation peut s'écrire

$$(6) \quad E'' i = E i + E' i' + \frac{\gamma^2 E \omega E' \omega'}{E'' \Omega}$$

Les relations (4) et (6) contiennent trois quantités I , Ω et E'' . Le problème est donc indéter-

miné. Pour lever cette indétermination, on fait généralement

$$(7) \quad E'' = E$$

et on a

$$(8) \quad E\Omega = E\omega + E'\omega'$$

$$(9) \quad EI = Ei + E'i' + \frac{\gamma^2 E'\omega\omega'}{\Omega}$$

ce qu'on peut encore écrire

$$(10) \quad \Omega = \omega + m\omega'$$

$$(11) \quad I = i + m'i' + m\gamma^2 \frac{\omega\omega'}{\Omega}.$$

D'après M. Resal, le point d'application de l'effort normal total F est appliqué au point O par lequel passe l'axe neutre perpendiculairement au plan de la section.

A une même distance de l'axe, les travaux des fibres des deux matières sont proportionnels aux coefficients d'élasticité. Pour une fibre distante de y de l'axe neutre, les efforts de tension sont donnés pour les deux matières par les formules

$$(12) \quad R = \frac{F}{\Omega} - \frac{My}{I},$$

$$(13) \quad R' = \frac{E'}{E} \left(\frac{F}{\Omega} - \frac{My}{I} \right) = m \left(\frac{F}{\Omega} - \frac{My}{I} \right).$$

Quand il s'agit de béton armé, on constate que pour des fibres situées à la même distance de

l'axe neutre, le travail du métal est 10 à 12 fois plus grand que celui du ciment.

M. Resal estime que la limite de rupture du béton ne doit pas être prise supérieure à 15 ou 25 kilogrammes pour la tension et à 200 kilogrammes pour la compression. Dans la pratique, il conseille de porter ces limites à 8 ou 10 kilogrammes pour la tension et 100 kilogrammes pour la compression. Quant à la valeur de m , cet ingénieur croit que 10,5 représente une valeur moyenne voisine de la réalité.

CHAPITRE II

PRINCIPAUX SYSTÈMES DE CONSTRUCTION ARMÉE

Les applications auxquelles se prête un même système de construction armée sont très nombreuses ; mais, malgré leur variété, un caractère propre s'y retrouve, assez constant pour qu'il y ait lieu de le mettre tout de suite en relief. Ce caractère résulte surtout de la disposition donnée à l'ossature métallique.

Le nombre des divers systèmes de construction armée est déjà considérable, et ce nombre s'accroît de jour en jour. Nous les classerons d'après l'état de sollicitation de la pièce en ciment armé, considérée isolément.

L'état de sollicitation dépend et de la forme de la pièce et du mode d'application des forces extérieures. Les pièces droites peuvent être sollicitées aux efforts de flexion ou de compression, les pièces courbes peuvent travailler à la flexion, à la compression ou à l'extension.

Quand les forces extérieures sont normales à l'axe de la pièce droite ; celle-ci travaille à la flexion simple, quand ces forces sont obliques à cet axe, la pièce travaille à la flexion composée. Pour les solides en ciment armé, la flexion composée est toujours une combinaison de la compression avec la flexion simple.

Les différentes pièces en ciment armé peuvent être rangées en cinq catégories :

1° Les pièces horizontales chargées par le dessus : dalles, planchers, terrasses, couvertures plates, ponts droits, etc. ;

2° Les pièces horizontales chargées par le dessous : plaques, radiers, semelles de fondation ;

3° Les pièces verticales sollicitées latéralement : parois des réservoirs, murs de soutènement, etc. ;

4° Les pièces inclinées : combles, revêtements de talus ;

5° Les pièces en porte-à-faux : balcons, encorbellements, etc. ; encastrées à une extrémité.

Disposition générale de l'ossature. — Dans une pièce armée, l'armature doit être disposée pour pouvoir résister aux efforts d'extension et de glissement.

Si nous considérons une pièce posée sur deux appuis et chargée par le dessus, l'armature, pour résister aux efforts d'extension, doit être

placée le plus près possible de la face inférieure. Elle peut être droite ou courbe et recevoir les dispositions indiquées par les *fig. 30 à 32*.



Fig. 30

Fig. 31



Fig. 32

Dans le cas d'une pièce encastrée, les moments fléchissants changent de sens.

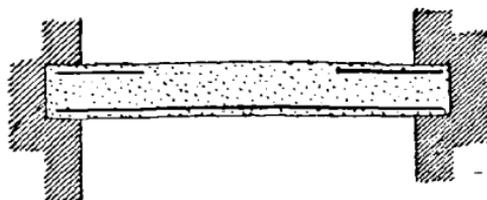


Fig. 33

On peut alors donner aux armatures, les dispositions ci-contre (*fig. 33 à 38*).

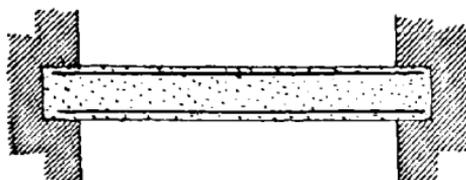


Fig. 34

Quand les pièces armées doivent résister aux efforts de glissement, on insère, dans le ciment,

des barres verticales ou obliques. On complète aussi quelquefois l'âme métallique de la pièce par un véritable treillis (*fig. 39 et 40*).

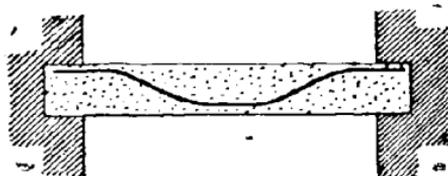


Fig. 35

Dalles. — Quand les diverses dispositions d'armature que nous venons d'indiquer pour des barres, se répètent dans une série de plans verticaux parallèles, elles constituent une *dalle*.

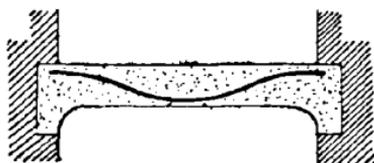


Fig. 36

Si, entre ces armatures élémentaires, on établit des barres dirigées transversalement, on forme une *armature en*

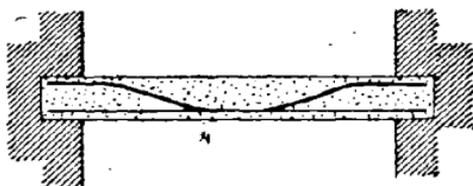


Fig. 37

treillis; si on n'en établit pas, on obtient une *armature à barres indépendantes*.

Armatures en treillis. — On divise les armatures en treillis en :

1° Armatures *droites et simples* (fig. 30) ;

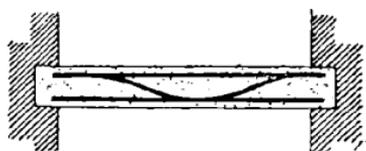


Fig. 38

2° Armatures *courbes et simples* (fig. 31, 32, 35 et 36) ;

3° Armatures *doubles* (fig. 33 et 34).

4° Armatures *mixtes* (fig. 37).

La disposition indiquée par la fig. 38 n'est pas usitée pour les dalles :

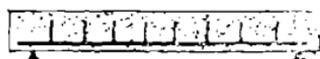


Fig. 39

1° Dans le système Monier (fig. 41), l'ossature est formée par

deux séries de barres parallèles, rondes, qui se coupent à angles droits. Les barres inférieures *a*, appelées *tiges de résistance* ont à supporter

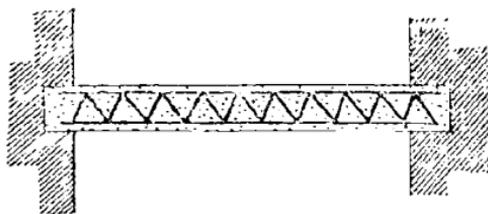


Fig. 40

l'effort de la pièce. Elles sont placées dans le sens de la portée de la dalle, quand celle-ci repose sur deux appuis. Elles sont mises dans le sens de la petite dimension de la dalle, lorsque

celle-ci repose sur un cadre rectangulaire. Ces barres ont des sections variables, un écartement de $0^m,05$ à $0^m,10$ d'axe en axe et une longueur déterminée par les distances des appuis.

Les barres supérieures b , nommées *tiges de répartition*, servent à répartir les efforts sur le plus grand nombre possible de barres de résistance. Elles ont de 3 à 6 millimètres de diamètre, peuvent être en plusieurs mor-
ceaux, ajoutés les uns aux autres sur une longueur de 3 à 7 centimètres.

Les tiges de résistances et de répartition sont

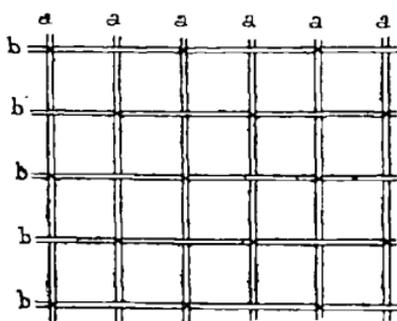


Fig. 41

reliées en certains de leurs points de croisement par des ligatures de treillageur en fil de fer de 1 millimètre.

En modifiant l'un quelconque des éléments de ce type des armatures métalliques, on crée un grand nombre de systèmes.

Dans le *système Schlüter*, la modification ne porte que sur la disposition des mailles du réseau. Les deux séries de barres font un certain angle avec la direction de la flexion principale.

Le *système Bordenave* diffère du système

Monier par la section des tiges qui au lieu d'être circulaire, est en **L**, en **U** ou en **I**. L'épaisseur de ces tiges est minime ; aussi, a-t-on substitué l'acier au fer.

Les fers employés dans le *système Bonna* ont une section cruciforme.

Le *système Hyatt* forme les tiges de résistance de barres plates posées de champ, percées de trous dans lesquels passent de petites barres rondes formant tiges de répartition ou simplement de petits tronçons, comme le représente la *fig. 42*.

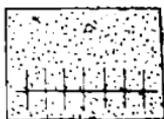


Fig. 42

Dans les *systèmes Donath* et *Müller*, il n'y a plus de barres de répartition continues ; les tiges de résistance sont simplement réunies deux à deux. Pour le premier, ces tiges sont des fers à **I**, entre lesquels des fers plats forment une triangulation. Pour le second, toutes les tiges, tant de résistance que de répartition, sont des fers plats posés de champ.

Dans le *système Rabitz*, on fait usage de grillages ordinaires en fil galvanisé pour constituer les réseaux métalliques.

L'ossature du *système Cottancin* (*fig. 43 et 44*), est formée par un fil de fer ou d'acier plié et replié sur lui-même, sans la moindre ligature. L'alternance des diverses parties de ce fil, qui passent tour à tour au-dessus et au-dessous les unes des

autres, suffit pour donner à l'ensemble la force nécessaire. Dans le tissage de ses treillis, M. Cottancin emploie une grande variété de formes. Le fer rond employé a généralement un diamètre de $4^{\text{mm}},5$; la résistance à la charge probable

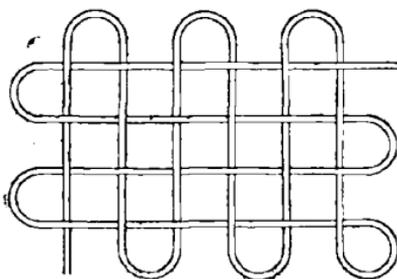


Fig. 43

varie avec les dimensions des mailles. Quand on est conduit à un réseau trop serré pour que le ciment y trouve un logement commode, on laisse les mailles assez grandes, et on y incorpore, de distance

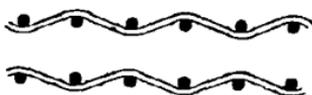


Fig. 44

en distance, des barreaux de plus grande dimension. On peut ainsi renforcer les dalles au moyen de nervures, appelées épines-contreforts par l'auteur lui-même.

Le système du métal déployé (fig. 45), inventé par Golding, va encore plus loin dans la solidarité des deux séries de barres. L'ossature est une espèce de toile métallique fabriquée à l'aide d'une seule tôle trans-



Fig. 45

formée mécaniquement par découpeure et étirage en un réseau de losanges dont les côtés sont inclinés à 45° par rapport à la longueur de la dalle. On fait varier le calibre du métal et la largeur des mailles selon la résistance nécessaire.

Enfin dans le *système Ambrosius*, des barres principales de résistances, en forme de cornières, portent une toile métallique qui règne sur toute la largeur de la dalle et donne la résistance voulue à la flexion dans le sens transversal.

2° Les armatures courbes et simples sont réalisées dans le



Fig. 46

système Lillienthal qui a adopté la dis-

position de la *fig. 32* et dans le *système Matrai*

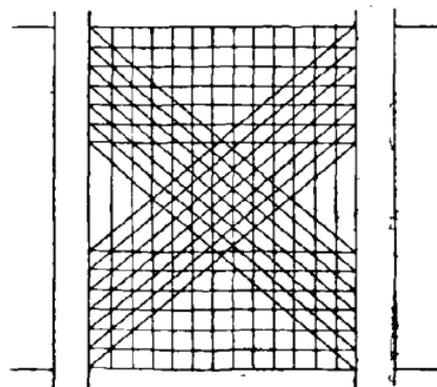


Fig. 47

qui porte le nom de *fer-béton* et dans lequel le réseau métallique est constitué par des fils auxquels on a laissé prendre la forme de chaî-

nettes (*fig. 46* et *47*). De cette façon, les charges sont reportées vers les appuis de la dalle.

Disons enfin que les systèmes Monier, Müller et du métal déployé peuvent s'appliquer sous cette forme.

3° On donne le plus souvent aux armatures doubles la disposition indiquée par la *fig. 34*. Le système Monier peut être double, le second réseau est, suivant les cas, relié ou non au premier par des fils métalliques. On peut également doubler l'armature dans le système du métal déployé; seulement les deux armatures sont toujours indépendantes. Dans le *système Neville*, les deux réseaux sont entretoisés par des treillis inclinés.

4° Le *système Hennebique* qui fera l'objet d'une étude spéciale est le résultat de la combinaison de l'armature droite et de l'armature courbe indiquée par la *fig. 37*.

Armatures à barres indépendantes. — Dans ces armatures, les tiges de répartition sont complètement supprimées. Nous adopterons, pour ces systèmes d'armatures, la même classification que pour les armatures en treillis.

1° Les armatures sont des fers de diverses formes placés parallèlement et indépendamment les uns des autres. Dans les *systèmes Stolte, Rössler, Helm et Czarnikow*, les fers sont plats. *Wünsch* fait usage de fers à T (*fig. 48*) et *Holzer* de fers à I (*fig. 49*). *Ransome* emploie des barres de fer carré, relativement gros, préala-

blement tordues à froid pour qu'en l'absence de toute liaison, leur glissement dans la masse ne puisse pas se produire.

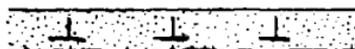


Fig. 48



Fig. 49

Dans les *systems Habrich* et *Düsing*, les fers employés sont plats et également tordus mais à chaud.

La section des barres du *système Donath* est en forme d'S.

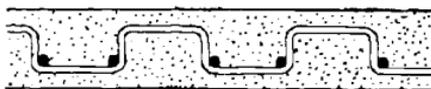


Fig. 50

Les *fig. 50* et *51* indiquent les dispositions adoptées dans les *systems Chaudy* et *Degon*, dans lesquels les barres de répartition non supprimées interviennent dans la résistance au glissement.

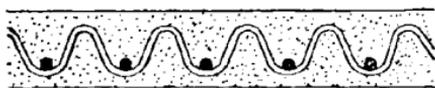


Fig. 51

2° Dans le genre d'armatures courbes et simples, il convient de citer le *système Klett* (*fig. 52*) qui fait usage de barres de fer plat sup-

portées par les semelles supérieures des poutrelles et portant de distance en distance des bouts de fer cornières dont la longueur est égale à la largeur du fer plat. Dans le *système Wilson*, employé en Amérique, les cornières sont supprimées.



Fig. 52

Le *système Staff* emploie des fers plats dans lesquels on a imprimé au laminoir des saillies ou encoches circulaires. Le *système Rossi* adopte l'armature sinusoïdale.

3° Les armatures doubles sont employées sous la forme de la *fig. 33* dans le *système Boussiron* et sous la forme de la *fig. 34* dans le *système préconisé par M. Lefort*. Ces deux systèmes ne comportent pas de liaison entre les armatures.

Le *système Chaudy* peut être doublé (*fig. 53*), les liaisons en crémaillère s'opposant au glissement.

On peut rattacher à cette classe d'armatures celles qui font usage de gros fers à plancher noyés dans le béton de ciment. Ces fers sont, suivant les cas, réunis ou non par des entretoises.

Dans le *système Weyler* (fig. 54), l'ossature se compose de bandes de tôle percées de grands

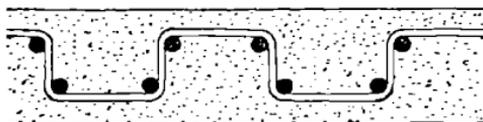


Fig. 53

trous circulaires et posées de champ dont la

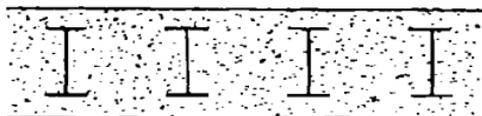


Fig. 54

hauteur prend presque toute l'épaisseur de la dalle.

4° Comme nous l'avons déjà dit, le *système Hennebique* (fig. 55 et 56) est mixte. Dans ce genre de construction, l'armature est composée dans la partie inférieure de barres *droites*, rondes,

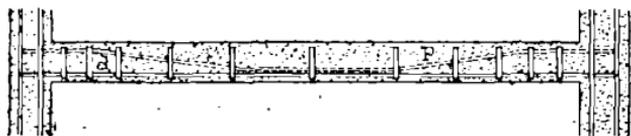


Fig. 55

parallèles, encastées à leurs extrémités dans les murs, et, dans la partie supérieure, de barres *pliées, de forme polygonale*, encastées aussi dans les murs par des tronçons parallèles aux barres droites et s'infléchissant ensuite vers le

bas jusqu'à atteindre dans leur milieu le niveau de ces dernières.

C'est sur ces barres pliées que compte M. Hennebique pour résister au moment d'encastrement. Leur moment résistant, pris par rapport à la fibre neutre, est négatif sur les appuis,

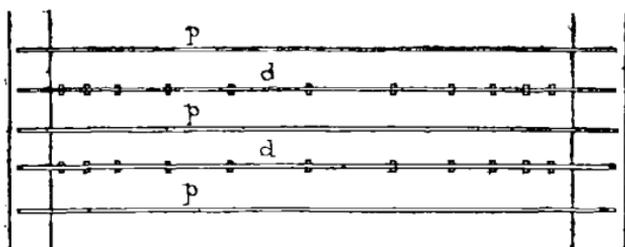


Fig. 56

s'annule à quelque distance et devient positif au milieu, où il s'ajoute à celui des barres droites. Il suit donc la courbe des moments de flexion dans son allure. De plus, les barres pliées résistent aux efforts de glissement.

Indépendamment des barres droites et pliées qui sont en fer rond, le système Hennebique comporte, échelonnés à des distances qui croissent des appuis vers le milieu, des *étriers* en fer plat (*fig. 57*) qui passent sous les barres droites et vont s'agrafer par leurs extrémités supérieures dans le ciment comprimé.



Fig. 57

Comme armature mixte, on peut encore citer le système *Boussiron* dans lequel on emploie des barres rondes alternativement droites et courbes, mais sans étriers.

Poutres. — Quand les dalles doivent prendre de grandes dimensions, on les munit de nervures; on obtient alors les *dalles nervées* ou les *planchers à poutres* (fig. 58). Les systèmes de



Fig. 58

ces planchers sont nombreux. Nous leur donnerons la même classification que pour les dalles. La disposition des poutres est d'ailleurs analogue à celle des dalles, seulement les liaisons prennent plus d'importance dans les poutres que dans les dalles.

1° Dans le système des armatures droites et simples, le hourdis est généralement en forme de voussette dans chaque intervalle. Citons le système *Kænen* armé de barres rondes, le système *Ransome* armé de barres carrées tordues à froid, le système *Hyatt* armé de fers plats mis à champ et reliés par des tirants.

2° Parmi les systèmes qui emploient des armatures courbes et simples, citons ceux de *Möller* (fig. 59 et 60) et de *Locher* (fig. 61 et 62).

La plupart des systèmes de poutres en ciment

armé appartient à la catégorie des armatures doubles que l'on peut diviser en trois classes.

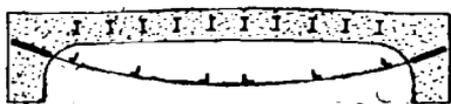


Fig. 59

Dans les armatures de la première classe, les tiges de résistance a (fig. 58) sont plates, rondes



Fig. 60

ou carrées et réunies par des liaisons de formes



Fig. 61

variables à une ou plusieurs tiges de réparation b .

Les armatures de la seconde classe emploient des fers profilés et constituent une ossature dont toutes les parties sont solidaires.

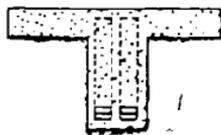


Fig. 62

La troisième classe est caractérisée par l'usage de barres inférieures courbes substituées aux barres droites : 1° Les systèmes qui appartiennent à la première classe sont le *système*

de la *S^{te} de Crèches* dans lequel les liaisons sont de simples fils de fer (*fig. 63*), le *système Coignet*

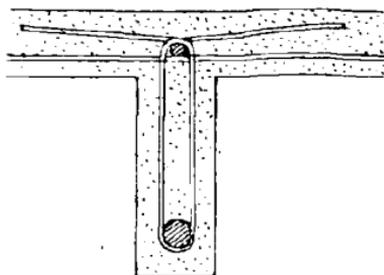


Fig. 63

qui se sert de fer feuillard disposé en zigzags pour relier les deux armatures, le *système Pavin de Lafarge* analogue au précédent,

mais dont le hourdis est constitué par des pièces moulées d'avance, le *système Stiellet* dont l'âme est en treillis, le *système Chaudy* analogue au premier, mais dont les liens sont constitués par des étriers en fer rond ou plat, le *système Lefort*

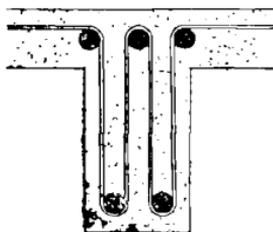


Fig. 61

dans lequel le hourdis est armé par des couples de fils parallèles disposés dans deux plans horizontaux symétriques par rapport à l'axe, et les poutres sont armées par deux

barres rondes identiques, dont la supérieure passe entre et à égale distance des fils du hourdis, le *système Dégon* qui se sert de fil ondulé et auquel on peut donner plusieurs dispositions, le *système Walser-Gérard* (*fig. 64*), le *système*

Cottancin (fig. 65), le système *Ransome*, les systèmes *Busso* et *Viennot*, le système *Boussiron* (fig. 66) qui comporte des étriers en fer feuillard et enfin le système *Chassin*.



Fig. 65

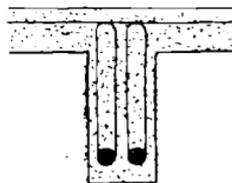


Fig. 66

2° Nous citerons parmi les systèmes qui constituent la seconde classe : le système *Mélan*, le système *Emperger*, le système *Harel de la Noë*, le système du métal déployé (fig. 67), les systèmes *Klett et Staff*, le système *Bonna* et le système *Chaudy*.

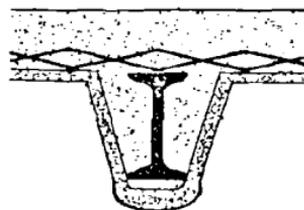


Fig. 67

3° Les armatures courbes sont peu employées, nous ne mentionnerons que le système *Möller* dans le-

quel les nervures comportent des câbles en fils d'acier remplaçant les fers plats.

Les armatures mixtes ont comme disposition type celle de la fig. 37. Signalons tout d'abord le système *Hennebique* (fig. 68, 69 et 70 dans lequel les poutres sont faites comme des dalles

plus épaisses. On y retrouve les barres droites, les barres pliées et les étriers, seulement les

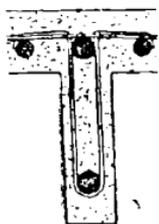


Fig. 68

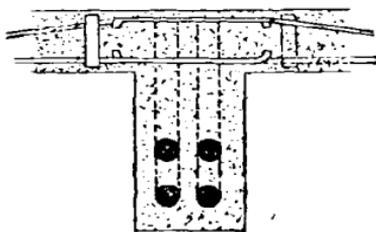


Fig. 69

barres droites et les barres pliées ne sont plus alternées, mais superposées et comprises dans les mêmes étriers.

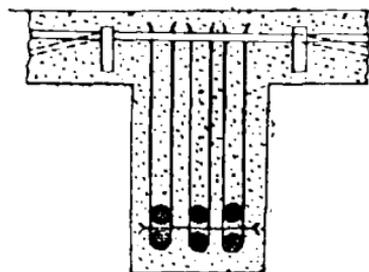


Fig. 70

Le nombre des barres est d'autant plus grand que la poutre doit être plus résistante. Toutes ces barres ont le même diamètre, au

plus 50 millimètres. Le système *Wayss* ressemble au précédent, mais les barres pliées ne s'infléchissent qu'à une certaine distance de l'appui.

Les fig. 71 à 73 indiquent les dispositions adoptées respectivement dans les systèmes *Coularou* et *Luipold* qui ont beaucoup d'analogie avec le système *Hennebique*. Dans le système *Sieewart*, les planchers sont formés de tubes

creux moulés d'avance et ne se construisent pas sur place. Citons enfin les *systèmes Matrai et Picq*.



Fig. 71

Pièces courbes. — Ces pièces subissent la flexion composée. Elles constituent les couver-



Fig. 72



Fig. 73

tures et les parois en forme de *voûtes*. Comme pour les planchers, il y a à distinguer les voûtes ordinaires et les voûtes nervées. Dans ces pièces, l'armature doit résister aux efforts de traction dus à la flexion et aux efforts de glissement.



Fig. 74



Fig. 75



Fig. 76

La pièce courbe est limitée par des surfaces courbes à l'extrados et à l'intrados. L'armature peut recevoir une des dispositions figurées ci-contre (*fig. 74 à 78*). On a la première catégorie de voûtes.

La seconde est constituée par les voûtes dans lesquelles l'extrados est un plan horizontal. Les *fig. 79 à 83* indiquent les diverses dispositions qui peuvent être données à l'armature.



Fig. 77



Fig. 78

Peuvent être rangés dans la première catégorie de voûtes, les *systèmes Monnier* (*fig. 74, 75, 76*



Fig. 79



Fig. 80

et 77), du *métal déployé* et le *système Mélan* (*fig. 76*).

Appartiennent à la seconde catégorie, le *système Fairbairn* (*fig. 81*) dont l'armature infé-



Fig. 81



Fig. 82

rieure est une tôle cintrée, le *système Moreland* qui adopte la tôle ondulée pour l'armature inférieure, les *systèmes Grüning, Roebbing* et *Veyhe*, analogues aux précédents, le *système Wünsch* qui n'est qu'une variante du *système Mélan*.

Quant au système Hennebique, on retrouve les pièces ordinaires de la poutre du même constructeur ; les barres droites sont courbées suivant la ligne d'intrados et les barres pliées suivant la partie

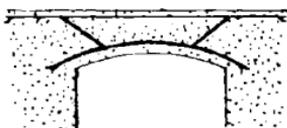


Fig. 83

centrale de cette ligne. Les barres d'intrados et d'extrados sont disposées par couples dans les mêmes sections verticales. Des étriers lient ces barres avec le ciment.

Disons enfin que le système *Matrai* permet de construire des voûtes renversées pouvant être chargées sur la face convexe.

Pièces droites sollicitées à la compression. — Cette catégorie de pièces comprend tous les supports verticaux : murs, cloisons, colonnes, piliers, piles de pont, pieux de fondation, etc. L'ossature de ces pièces comprimées doit pouvoir résister à la compression principale et aux efforts de flexions secondaires qui peuvent agir dans tous les sens. Elle doit donc être symétrique par rapport à l'axe de la pièce. Elle se compose généralement de barres droites parallèles disposées dans le sens de l'effort de compression.

1° *Murs.* — Les murs doivent résister à la flexion dans le sens vertical. Les barres droites principalement sont disposées verticalement et les barres de répartition sont horizontales. Pour

résister aux efforts de glissement, on réunit les barres principales par des liaisons transversales.

Les *fig. 84* et *85* montrent comment M. Hennebique est arrivé, par une combinaison spéciale de son système, à donner une solution complète du problème et qui a toujours donné d'excellents résultats. Les barres verticales sont disposées alternativement près de l'une et de l'autre face

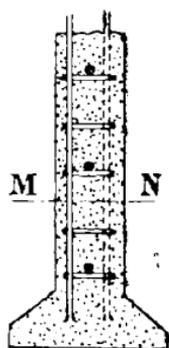


Fig. 84

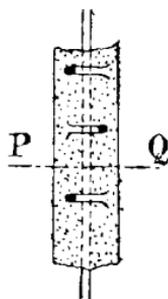


Fig. 85

Des étriers relient ces barres à la masse du béton. Le système *Ransome* ressemble au précédent, mais fait usage de barres tordues. Les fils horizontaux du système *Déyon* sont ondulés. Dans le système *Rabitz*, l'armature est une toile métallique. L'armature du système du métal déployé (*fig. 86*) est formée de barres rondes verticales autour desquelles s'enlacent des feuilles de métal déployé. Citons encore les systèmes *Monier-Chaudy*, *Huguet*, *Luther* et *Gesche*, les

trois derniers utilisant des panneaux mobiles et construits à l'avance.



Fig. 86

2° *Piliers*. — Un pilier se compose de barres verticales, noyées dans le ciment et reliées entre elles par des entretoises horizontales. La section des piliers peut être carrée, rectangulaire, polygonale, ronde et même quelquefois évidée, utilisant ce vide pour le passage des tuyauteries et des fils. Dans certains piliers, les barres verticales sont rondes ou carrées et sont reliées par des entretoises ligaturées ou non avec elles (systèmes Hennebique, Boussiron, Dégon, Wayss, Ransome, Pavin de Lafarge, Harel de la Noë). Dans d'autres, les barres principales sont des fers profilés et des entretoises assurent la solidarité de tout l'ensemble (systèmes Bonna, Rœbling, du métal déployé). Enfin les barres de l'armature sont courbes et il n'y a pas d'entretoises (système Matrai).

Pièces courbes sollicitées à la compression. — Les voûtes, tuyaux, réservoirs, galeries, etc., appartiennent à cette catégorie de pièces lorsqu'elles sont sollicitées par une pression venant du dehors en dedans. Elles doivent

résister aux efforts de compression principale et de flexions secondaires.

L'ossature est alors constituée par des cercles ou des spires qui forment les lignes de résistances et de barres de répartition disposées parallèlement aux génératrices. La pression venant du dehors, les barres sont à l'extérieur des cercles, lesquels sont placés vers la face concave de la pièce courbe. Les cercles et les barres sont réunis par des ligatures. Parmi les principaux systèmes, citons ceux de Monier, Bordenave, Bonna, Chassin et Cottancin.

Pièces courbes sollicitées à l'extension.
— C'est le cas des tuyaux ayant à supporter une pression intérieure. L'ossature se compose de tiges placées à l'intérieur de cercles ou de spirales qui sont près de la face convexe du tuyau. Les tuyaux en ciment armé destinés aux conduites d'eau transsudent dans les premiers temps de leur mise en service. Cela tient aux vides qui existent dans le mortier de ciment. Mais, à l'usage, l'acide carbonique de l'eau forme, avec les éléments du ciment, un composé insoluble qui colmate le tuyau et celui-ci finit par devenir complètement étanche.

CHAPITRE III

NATURE DES MATÉRIAUX EMPLOYÉS DANS LES CONSTRUCTIONS EN CIMENT ARMÉ

1. Métal. — Le métal joue un rôle très important dans les constructions en ciment armé ; car c'est lui qui doit résister à tous les efforts dangereux. Nous avons vu, dans le chapitre précédent, que les formes généralement adoptées (fers plats, ronds, carrés, cornières, fers à T, I, U, etc.) étaient d'un emploi courant. Il est donc facile de se procurer ces fers qui sont d'un grand usage dans le commerce. Jusqu'à présent, le fer a été presque exclusivement employé pour la composition des armatures, mais l'acier peut concurremment s'employer. Quelques constructeurs, entre autres Coignet, ont substitué l'acier au fer depuis plusieurs années. Dans les armatures à section profilée (type Mélan, Bordenave, Bonna, etc.), on donne maintenant la préférence à l'acier. Enfin le *métal déployé* est aussi de l'acier.

Le fer et l'acier sont à peu près au même prix,

quoique l'acier offre un avantage marqué au point de vue de la résistance. Ce métal a un coefficient de sécurité que l'on peut facilement porter jusqu'à 15 kilogrammes dans le ciment armé, tandis que l'on ne fait presque jamais travailler le fer à 10 kilogrammes.

Le choix à faire entre les deux métaux constitue une question délicate qui a été étudiée par M. Christophe. D'après cet ingénieur, la substitution de l'acier au fer se recommande dans les pièces fortement sollicitées ; mais elle doit correspondre à une amélioration de la qualité du béton de ciment. Dans la pratique courante, où jusqu'à présent l'on n'a guère fait varier le dosage du béton, la substitution de l'acier au fer ne peut amener de plus grandes résistances, à moins d'augmenter le taux de fatigue du béton, ce qui peut être dangereux. Si, au contraire, on maintient ce taux, on ne peut majorer le taux de travail de l'armature qu'en augmentant la hauteur de la pièce et le cube de béton. Tout calcul fait, il y a peu d'avantage à remplacer le fer par l'acier.

M. Hennebique dit que l'acier peut être choisi pour le cas de points d'appui verticaux. Pour les planchers, il lui préfère le fer n° 3, bien laminé.

Pour constituer, les armatures, on se sert du même fer qui, en barres rondes, doit donner

à la rupture, une résistance minima de 35 kilogrammes par millimètre carré avec un allongement de 8 à 12 % mesuré sur 0^m,20 de longueur. Le fil de fer qui sert pour les ligatures doit être recuit.

L'acier doit être doux, sa résistance à la rupture doit être au moins de 42 et au plus de 50 kilogrammes par millimètre carré, l'allongement variant de 20 à 24 %.

Le métal déployé est un acier extra-doux, de qualité supérieure, aussi pur que possible. La résistance à la rupture est de 35 à 40 kilogrammes par millimètre carré, le coefficient d'allongement mesuré sur 0^m,10 étant de 25 à 26 %.

L'assemblage des fers profilés se fait ordinairement par des éclisses. Dans les réservoirs et les tuyaux, M. Coignet ferme les barres directrices en soudant électriquement les deux extrémités. Le travail du fer se fait en grande partie sur le chantier et l'on se fait livrer par le commerce des barres de longueur déterminée. Le pliage des barres se fait généralement à froid, on fait alors usage de machines spéciales.

2. Béton de ciment. — Le ciment à prise rapide n'est employé que dans des cas spéciaux, notamment quand on a besoin d'une prise immédiate dans les travaux de réparation et dans certains travaux hydrauliques. Le ciment prompt a pourtant trouvé son usage dans la fabrication

des tuyaux en ciment armé (*systèmes Bordenave, Bonna, etc.*) parce que le démoulage peut s'effectuer rapidement, mais il faut le gâcher par petites parties et à grande eau.

Le véritable ciment employé dans les constructions en ciment armé est le *ciment Portland artificiel à prise lente*. Ce ciment doit remplir toutes les qualités requises pour les travaux publics. Son volume doit tout particulièrement être très stable et son adhérence au métal doit être très grande. Enfin sa prise doit être très régulière.

Les ciments de laitier n'ont pas encore été l'objet de nombreuses applications dans les travaux en ciment armé. Si leur composition est bien constante, ils donnent de bons résultats ; mais malgré les nombreux perfectionnements apportés dans la fabrication de ces ciments, ceux-ci sont de qualité variable parce que les laitiers varient de composition chimique avec les minerais dont ils proviennent.

Le meilleur sable est celui qui est propre, à grains anguleux et qui crie dans la main. Sa grosseur varie avec l'épaisseur des pièces et la largeur des mailles de l'armature métallique. Il est quelquefois seul uni au ciment pour former un véritable mortier. C'est le cas de pièces de petite épaisseur et des ouvrages du type Monier. On a le plus souvent recours à un mélange de sable et de petit gravier ou de pierraille. Dans

tous les cas, il faut rigoureusement déterminer la proportion des sables ou graviers de diverses grosseurs.

On utilise aussi le mâchefer pour remplacer le sable et le gravier. On obtient ainsi un béton plus léger, très mauvais conducteur de la chaleur, qui ne transmet pas facilement le son, absorbe l'humidité de l'air et se laisse pénétrer par les clous. Malheureusement ce béton n'atteint pas la résistance du béton fait avec le sable et peut attaquer le métal.

Le dosage du ciment a une importance capitale dans la qualité du béton. La proportion des matières qui entrent dans la composition du béton, varie avec la nature de l'ouvrage. Si on a en vue la *résistance*, il faut faire emploi de béton riche en ciment. Cependant on ne dépasse guère la proportion de 400 à 450 kilogrammes de ciment par mètre cube de sable. M. Considère a d'ailleurs montré que si on fait un béton dont la richesse dépasse 500 kilogrammes, il est économique de se servir de l'acier pour constituer l'ossature métallique. Quand on veut obtenir l'*imperméabilité*, le dosage riche s'impose afin d'obtenir le béton le moins poreux possible. Par prudence même, dans ce cas, il est bon de recouvrir la maçonnerie armée d'un enduit contenant au moins une partie de ciment pour une de sable.

M. Considère a indiqué qu'il était préférable d'employer à l'air des mortiers plutôt maigres, en ayant soin d'entretenir les maçonneries humides aussi longtemps que possible et que, pour les maçonneries immergées, il convenait, au contraire, de se servir des mortiers riches en ciment, sans cependant dépasser le dosage de 800 à 900 kilogrammes qui offre la plus grande résistance avec une imperméabilité suffisante.

Il existe plusieurs dosages, nous les diviserons en dosages en volume et dosages en poids.

1° *Système Monier*. — Pour les dalles de planchers : 1 volume de ciment pour 3 de sable ;

Pour les voûtes : 1 volume de ciment pour 4 ou 4,5 de sable.

Système Mélan. — 1 volume de ciment pour 2 de sable et 4 de gravier ou pierraille ;

2° *Système Monnier*. — 400 ou 450 kilogrammes de ciment pour 1 mètre cube de sable ;

Système Hennebique. — 300 kilogrammes de ciment pour $0^m^3,4$ de sable et $0^m^3,85$ de gravier ou pierraille, ce qui donne en moyenne $1^m^3,1$ de béton mis en place et damé.

M. Hennebique, dans certains cas, emploie le dosage suivant : 300 kilogrammes de ciment pour $0^m^3,15$ à $0^m^3,25$ de sable et 1^m^3 de gravier ou pierraille.

Système Boussiron. — 300 kilogrammes de ciment pour $0^m^3,5$ de sable et $0^m^3,7$ de gravier.

Système Coignet. — 400 ou 450 kilogrammes de ciment pour 1^m³ de sable.

Ces règles ne sont pas générales et il importe, surtout quand il s'agit de grands travaux, de faire des essais préalables afin de bien connaître les qualités des ciments, sables et graviers.

Disons en terminant qu'on peut estimer à 2500 kilogrammes le poids du mètre cube du béton armé.

Mise en œuvre. — Non seulement il faut que les matériaux qui constituent le ciment armé soient tous de première qualité ; mais il faut encore qu'ils soient judicieusement employés et que le travail soit exécuté avec soin et régularité.

Il vaut mieux préparer le béton mécaniquement que manuellement, son homogénéité sera plus parfaite et sa composition plus régulière. Les matières sont tout d'abord bien mélangées à sec après avoir été rigoureusement dosées, et l'eau n'est ajoutée qu'après ce travail préalable et par petites quantités successives. La quantité d'eau employée dans chaque malaxage varie avec la température, l'état du ciel, la nature des matériaux et la manière de procéder des constructeurs. Le gâchage ne doit être ni trop sec, ni trop mou. Un béton bien préparé doit, lorsqu'il est pétri en petite boule, laisser monter l'eau à sa surface et ne pas se déformer quand on la met sur la main plate.

Le plus souvent, l'ouvrage est tout entier construit sur place ; quelquefois, cependant, certains de ses éléments sont moulés à l'avance dans un chantier *ad hoc*. Cette dernière manière de procéder présente certains avantages. Elle permet de fabriquer les pièces à l'avance, de contrôler leur façon et la mise en place peut se faire en toute saison. Les constructeurs spécialistes donnent pourtant leur préférence aux constructions monolithiques qui se moulent sur place et qui sont plus homogènes et plus solidaires dans tous leurs éléments, mais il faut alors avoir recours aux *coffrages*.

La confection des coffrages préoccupe toujours le praticien, car elle entre dans la dépense pour une forte proportion et est sujette à de grandes exigences. Ils doivent être suffisamment résistants pour pouvoir supporter, sans se déformer, la masse du béton et sa poussée, les effets du pilonnage et le poids des hommes qui exécutent le travail. De plus, ils doivent facilement se monter et se démonter et être assez solides pour pouvoir servir plusieurs fois. Ils sont généralement en bois.

Dans le moulage du béton, on opère par assises successives, de faible épaisseur, pilonnées séparément, de façon à donner une grande compacité au béton et à rendre bien homogène toutes les couches successives. On effectue le damage du

béton, on se sert d'outils spéciaux. Quand on veut comprimer le mortier dans des espaces très réduits, on fait usage de *pieds-de-biche*. C'est une barre de fer longue de 2 mètres, terminée par deux têtes présentant des tranchants de 0^m,025 à 0^m,01 d'épaisseur.

Le damage doit être fait jusqu'à ce qu'on voit apparaître de l'eau à la surface du béton. Il est reconnu qu'un damage bien fait augmente beaucoup la résistance du béton, améliore sa compacité et son homogénéité, expulse l'excès d'eau et chasse l'air incorporé. Ce travail ne doit être exécuté que par des ouvriers habiles et consciencieux. Quant aux joints de reprise, ils doivent être faits avec le plus grand soin. L'ancien béton doit être lavé avec un lait de ciment pur, puis on bat le nouveau béton contre l'ancien avec force et l'on pilonne vigoureusement contre la surface de contact.

Il faut éviter toute interruption de travail pendant le bétonnage. Tout particulièrement, un même panneau de plancher doit être exécuté en une seule fois. On n'admet que les joints de reprise verticaux.

Le décoffrage doit toujours être fait avec précaution. Le décintrement d'une voûte étant l'objet de soins spéciaux, il est prudent de faire reposer les poteaux sur des cales ou mieux encore sur des boîtes à sable.

Après le décoffrage, le béton armé se présente sous un aspect rugueux et peu agréable à la vue. On le recouvre alors d'un enduit plus ou moins épais. En moyenne, l'épaisseur est de 5 millimètres. Ce travail ne peut être fait que par des spécialistes, car il exige beaucoup de soins. L'enduit doit être fortement comprimé, puis poli avec une taloche en bois. Le mortier qui sert à faire les enduits, contient de 1 à 2 de ciment pour 2 à 3 de sable pas trop gros. Le ciment ne doit pas être à prise trop lente.

CHAPITRE IV

MÉTHODES PRÉCONISÉES PAR LES PRINCIPAUX CONSTRUCTEURS

Système Hennebique. — Les premières applications du ciment armé, faites par M. Hennebique, remontent à 1879. Ce constructeur avait alors pour but d'obtenir une plus grande sécurité contre l'incendie et de donner plus de légèreté à ses ouvrages. Puis, peu à peu, il se rendit compte de tout le parti que l'on pouvait tirer de l'association du fer et du béton au double point de vue de la résistance et de l'économie. Il étudia la question, fit des essais, et en 1892 prit un premier brevet dans lequel il exposait les principes de son système. L'année suivante, M. Hennebique prenait un second brevet dans lequel il décrivait l'étrier destiné à relier les barres tendues et les barres comprimées. Les ouvrages exécutés depuis cette époque par cet habile constructeur, tant en France qu'à l'étranger, sont considérables, et cet essor est loin de se ralentir.

Résumons ici les méthodes dont se sert M. Hennebique pour calculer les diverses pièces :

Soient (fig. 87) une poutre de section

$$\Omega = he.$$

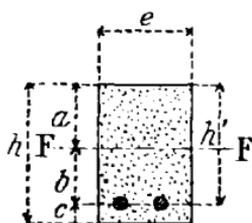


Fig. 87

FF, la fibre neutre ;

M, le moment fléchissant maximum en kilogrammètres ;

ω' , la section des armatures ;

p , le coefficient de résistance du béton par unité de surface ;

τ' , le coefficient de résistance du métal par unité de surface.

La position de l'axe neutre est donnée par la formule

$$(1) \quad a = \sqrt{\frac{M}{pe}}.$$

de plus la section ω' est déterminée par

$$(2) \quad \omega' = \frac{M}{2b\tau'} = \frac{M}{2\tau' \left(h' - \sqrt{\frac{M}{pe}} \right)}.$$

M. Hennebique admet, pour le taux du travail, 25 kilogrammes par centimètre carré pour le béton, 1 000 kilogrammes par centimètre carré pour le fer, et 1 200 à 1 500 kilogrammes par centimètre carré pour l'acier. Les équations (1)

et (2) deviennent alors en rapportant le tout au mètre carré

$$(3) \quad a = \sqrt{\frac{M}{250\,000\,e}}$$

et

$$(4) \quad \omega' = \frac{M}{20\,000\,000 \left(h' - \sqrt{\frac{M}{250\,000\,e}} \right)},$$

ces formules servent aussi pour le calcul des dalles.

Quand la poutre supporte un hourdis (fig. 88), M. Hennebicq fait concourir le hourdis à la résistance totale. On obtient ainsi une poutre en T.

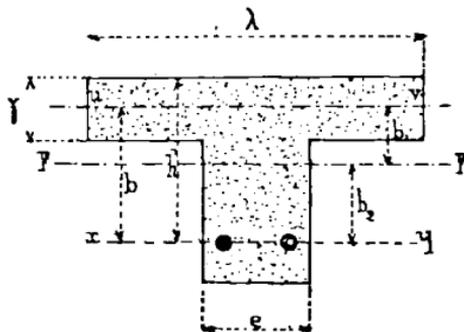


Fig. 88

Si on se donne, *a priori*, λ , e , b , γ , p et ω' , on détermine la fibre neutre par la formule

$$(5) \quad b_1 = - \frac{B \pm \sqrt{B^2 + 4AC}}{2A}$$

dans laquelle

$$(6) \quad \begin{cases} A = pe \\ B = 2p\lambda\gamma + 2\omega'\tau' - pe\gamma \\ C = 2\omega'b\tau' - \frac{1}{4}\gamma^2pe. \end{cases}$$

Quand on connaît b_2 , la section ω' de l'armature est donnée par la formule

$$(7) \quad \omega' = \frac{M}{2b_2\tau'}.$$

Si k désigne l'effort tranchant maximum, c'est-à-dire, la réaction d'appui, M. Hennebique admet que la moitié de cet effort est supportée par les barres pliées et la moitié par les étriers. θ_m étant le taux limite de cisaillement du métal, il détermine la section σ des étriers par la formule

$$(8) \quad \sigma = \frac{K}{2\theta_m},$$

σ est la section totale des étriers sur une longueur de poutre égale à la hauteur comprise entre le centre des pressions et le centre des tractions $h' - \frac{\gamma}{2}$. Quand la distance Δx des deux premiers étriers voisins des appuis diffère de cette valeur, on modifie proportionnellement la section à donner aux étriers.

Pour déterminer la résistance des piliers et des murs, M. Hennebique admet que le béton et

l'armature peuvent atteindre en même temps leurs taux limites de compression. Il pose simplement

$$(9) \quad P = \tau\Omega + \tau'\omega'.$$

Il serait long de décrire toutes les applications du système Hennebique : parmi les plus importantes, signalons la couverture du canal de Martinetto en Italie, les planchers du petit palais des Beaux-Arts, la couverture du salon lon-

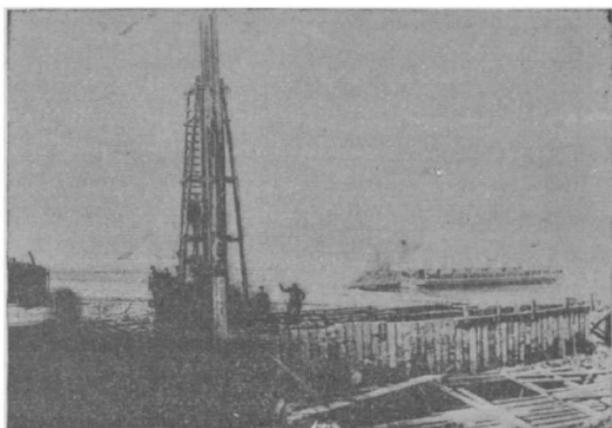


Fig. 89

geant la façade du grand palais des Beaux-Arts, la couverture de la tranchée du chemin de fer des Moulineaux, les planchers de l'hôpital des Enfants assistés, rue Michel Bizot, à Paris, les murs de quai de Southampton (fig. 89), le revêtement des berges du canal de Terneuzen, les

grands moulins de Corbeil, l'élargissement de la voie du chemin de fer de ceinture de Paris, l'estacade de Chantenay, la toiture des nouveaux magasins du Bon Marché de Paris, la terrasse des entrepôts de la Chambre de Commerce de Calais, la coupole du grand hall de l'établissement

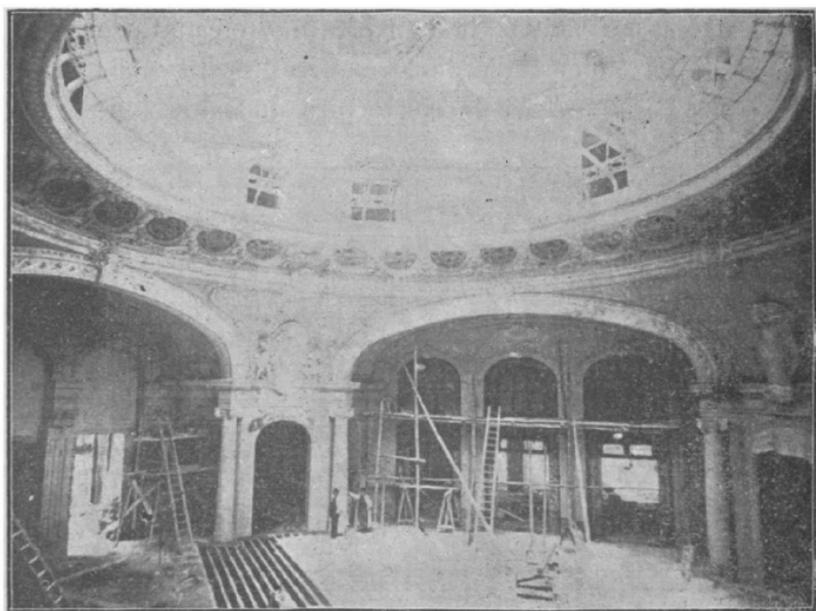


Fig. 90

thermal de Vichy (fig. 90), plusieurs escaliers du petit et du grand Palais des Beaux-Arts, l'immeuble qui porte le n° 1 de la rue Danton, à Paris, le pont de l'Abbaye, à Saint-Maurice (Suisse), le pont viaduc du Tratto, à Giaviano

(Italie), le pont de Tonnerre, le pont de Châtelierault (*fig. 91*), les silos des mines de Lens (*fig. 92*), de Roubaix, le réservoir de Scafeti, les usines Babcock et Wilcox (*fig. 93*), etc.

Système Coignet. — À l'Exposition universelle de 1855, figurait un bateau dont les parois

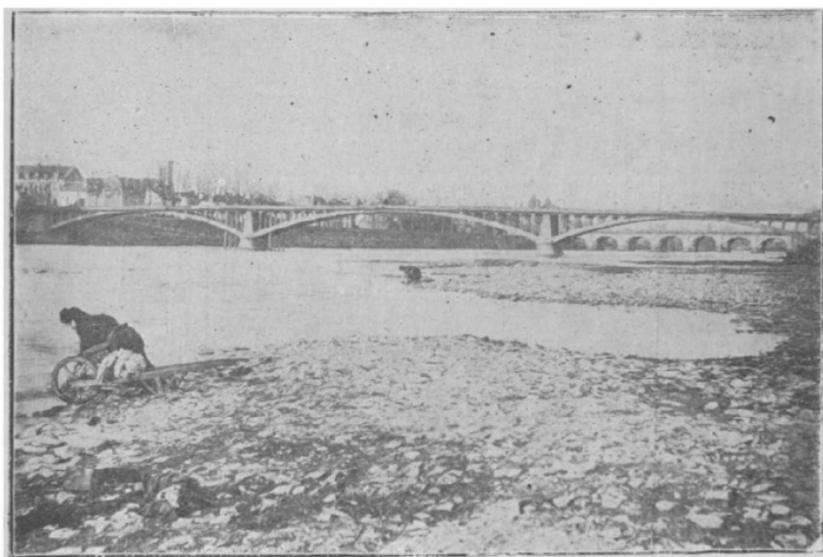


Fig. 91

étaient constituées par une couche mince de ciment dans laquelle était enrobé un treillis formé de barres de fer rond, fixées entre elles au moyen d'attaches de treillageur. M. François Coignet père avait ainsi pressenti le parti qu'on pouvait tirer de l'association du fer et du ciment.

En 1861, M. Coignet signale, dans une brochure, les avantages de l'emploi du fer sous forme d'ancrage dans les maçonneries ou dans le béton, et la plus grande cohésion qui en résulte. M. Ed. Coignet poursuit l'œuvre de son père, et, dès 1888, il développait, devant la Société des



Fig. 92

Ingénieurs civils, ses idées sur la répartition du fer et du béton. En collaboration avec Tedesco, il créa des méthodes de calcul et développa les résultats de ses recherches en 1894, dans une communication à la dite Société.

On peut résumer comme suit, les points principaux sur lesquels ont porté les recherches de M. Coignet :

1° Nécessité d'attaches métalliques entre les deux armatures d'extension et de compression ;

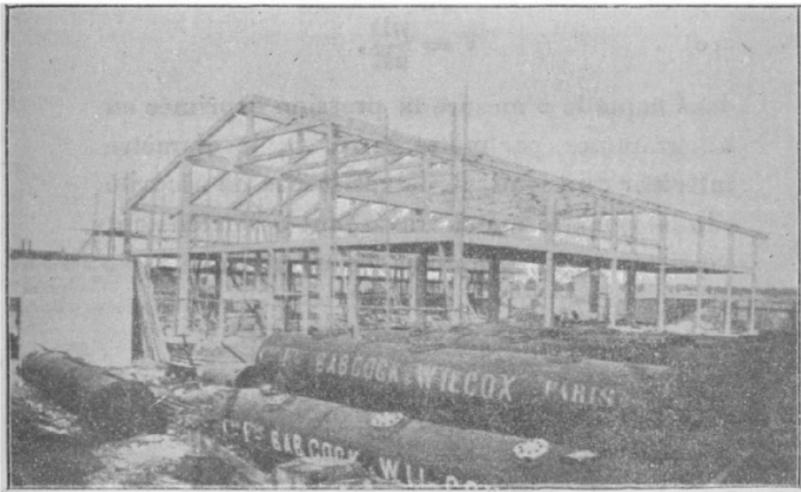


Fig. 93

2° Convenance des fers ronds au point de vue de la compacité du béton et de son adhérence au métal ;

3° Allongement excessif du béton armé pouvant être 20 fois supérieur à celui du béton isolé.

M. Ed. Coignet a beaucoup contribué à la vulgarisation des constructions en ciment armé. Nous allons résumer ci-après, ses méthodes de calcul.

R' , la résistance du métal à l'extension, R , celle du béton à la compression, V , la distance des fibres de métal les plus éloignées à la fibre neutre Xy et M , le moment fléchissant. M. Coignet propose la formule

$$(11) \quad x = \frac{8}{5} \omega' \frac{R'}{R},$$

mais $R' = 1500$ et $R = 40$, alors

$$(12) \quad x = 60 \omega'.$$

Les formules pratiques de M. Coignet sont :

$$(13) \quad \omega' = \frac{2}{3} H,$$

$$(14) \quad x = \frac{2}{5} H,$$

$$(15) \quad M = 6,4 H^2.$$

Pour calculer les murs de soutènement, ce constructeur détermine la poussée des terres que le mur a à soutenir à l'aide de la formule

$$(16) \quad F = \frac{\delta}{2} h^2 \lg^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) = Kh^2$$

dans laquelle δ désigne le poids spécifique de la terre ; h , la hauteur des terres ; φ , l'angle que fait le talus naturel des terres avec l'horizon.

En différentiant (16), on trouve

$$(17) \quad dF = \frac{1}{2} Kh dh;$$

cette relation peut représenter la pression exercée par les terres à une hauteur quelconque du mur sur une largeur d'un mètre. M. Coignet constitue le masque au moyen d'un hourdis vertical d'épaisseur décroissante soutenu par des contreforts noyés dans les terres, ou apparents extérieurement. Le moment fléchissant maximum sollicitant le hourdis est $\frac{K}{2} h^2 \frac{l^2}{8}$, l étant l'écartement des contreforts. L'épaisseur e du mur à la hauteur h est donnée par la formule

$$(18) \quad e = \sqrt{\frac{1}{80} K h^2 l^2} = h l \sqrt{\frac{K}{80}}$$

Le moment de flexion qui sollicite les contreforts a pour valeur $\frac{K}{2} h^2 l \frac{h}{3} = \frac{K h^3 l}{6}$. M. Coignet les calcule en supposant qu'ils ne font pas corps avec le hourdis. Il se donne préalablement la section σ d'une barre, et si l'on admet que l'on utilisera deux couples de barres, le moment de flexion aura pour valeur

$$(19) \quad M = 2 \sigma h' \times 15 \text{ kilogrammes}$$

h' étant l'écartement à la base entre les barres d'extension et celles de compression. La relation

$$(20) \quad 30 \sigma h' = \frac{K h^3 l}{6}$$

donne

$$(21) \quad h' = \frac{K h^3 l}{180 \sigma}$$

Parmi les travaux exécutés par M. Coignet, citons l'aqueduc d'Achères, les réservoirs de la gare de Toucy et de l'arsenal de la marine à Toulon, l'esclade sur la Seine à Levallois-Perret, le château d'eau de l'Exposition Universelle de 1900, etc.

Système Matrai. — M. Matrai, ingénieur hongrois, s'est occupé depuis longtemps de travaux en ciment armé. Il est l'inventeur d'un système dans lequel l'ossature métallique est prévue pour résister seule à tous les efforts, en faisant totalement abstraction de la résistance propre du béton. Il fait usage de fils d'acier auxquels ils laissent prendre la forme de la chaînette. Ils résistent exclusivement à la tension. Le réseau métallique ressemble à une toile d'araignée dont les fils sont solidement attachés sur les appuis. Ces fils transmettent les forces presque directement sur les appuis.

Dans les applications, M. Matrai admet que la chaînette se rapproche suffisamment de la parabole pour qu'on puisse appliquer les propriétés de cette courbe. Dans le cas d'une poutre chargée uniformément, l'arc de courbe subit des tensions sensiblement égales dans toutes ses sections. Si Q est la charge totale, E, la portée du hourdis,

f , la flèche du fil suspendu, on a, pour la tension T

$$(22) \quad T = \frac{Ql}{8f}$$

Or

$$(23) \quad f = \frac{5}{8} \cdot \frac{pl^4}{48EI},$$

p étant la charge uniformément répartie par mètre courant ; mais $p = \frac{16RI}{hl^2}$ pour une poutre de hauteur h , donc

$$(24) \quad f = \frac{RI^2}{4,8Eh}$$

Pour le fer

$R = 8 \times 10^6$ par mètre carré, et $E = 20 \times 10^{10}$;

donc

$$(25) \quad f = \frac{1}{12\,000} \frac{l^2}{h}$$

Voici comment M. Matrai calcule la déformation des câbles. Soient l , la portée d'un câble et f , sa flèche sous l'action d'une charge δ par m^2 . R étant la résistance du métal par unité de section. Si la poutre prend une flèche Δf ; la flèche totale est $f + \Delta f$. Il s'agit de trouver la relation qui existe entre Δf et R . On sait que la longueur d'un arc de parabole est donnée par la formule

$$(26) \quad s = l \left[1 + \frac{8}{3} \left(\frac{f}{l} \right)^2 - \frac{32}{5} \left(\frac{f}{l} \right)^4 \right];$$

remplaçons f par $f + \Delta f$, il vient

$$(27) \left\{ \begin{aligned} s + \Delta s &= l \left[1 + \frac{8}{3} \left(\frac{f + \Delta f}{l} \right)^2 - \right. \\ &\quad \left. - \frac{32}{5} \left(\frac{f + \Delta f}{l} \right)^4 \right], \end{aligned} \right.$$

ou, en développant et négligeant les puissances de Δf supérieures à la deuxième :

$$(28) \left\{ \begin{aligned} s + \Delta s &= l \left[1 + \frac{8}{3} \left(\frac{f}{l} \right)^2 + \frac{16}{3} \frac{f \cdot \Delta f}{l^2} - \right. \\ &\quad \left. - \frac{32}{5} \left(\frac{f}{l} \right)^4 - \frac{128}{5} \frac{f^3 \cdot \Delta f}{l^4} \right]. \end{aligned} \right.$$

Par soustraction, on obtient :

$$(29) \Delta s = l \left[\frac{16}{3} \times \frac{f}{l} \times \frac{\Delta f}{l} - \frac{128}{5} \times \left(\frac{f}{l} \right)^3 \times \frac{\Delta f}{l} \right],$$

ce qui donne, en remarquant que $\Delta s = s \times \frac{R}{E}$ et en remplaçant s par sa valeur (26)

$$(30) \frac{\Delta f}{l} = \frac{R \left[1 + \frac{8}{3} \left(\frac{f}{l} \right)^2 - \frac{32}{5} \left(\frac{f}{l} \right)^4 \right]}{E \left[\frac{16}{3} \cdot \frac{f}{l} - \frac{128}{5} \left(\frac{f}{l} \right)^3 \right]},$$

ou, en négligeant les termes contenant $\frac{f}{l}$ à une puissance supérieure à la première

$$(31) \frac{\Delta f}{l} = 0,19 \frac{R}{E} \cdot \frac{l}{f}.$$

Cette formule permet de calculer la flèche d'un ouvrage en fer-béton, système Matrai.

Cet ingénieur donne les formules ci-après pour le calcul des piliers. Si le pilier est de section carrée, $s = a^2$ en centimètres carrés et si P est la charge totale que supporte le pilier. On doit avoir

$$(32) \quad a = \sqrt{\frac{P}{25}},$$

25 étant le travail admissible du béton à la compression par centimètre carré. La section ω' en centimètre carré d'un des quatre câbles est donnée par la formule

$$(33) \quad \omega' = \frac{150 l^2}{R} = 0,10 l^2,$$

l étant la hauteur du pilier et R étant supposé égal à 1500 kilogrammes par centimètre carré pour le fer.

Dans le cas d'un pilier octogonal, le diamètre d du centre circonscrit à l'octogone est donné par

$$(34) \quad d = 2 \sqrt{\frac{P}{2 \times 25 \sqrt{2}}}.$$

On calcule les câbles en procédant comparativement avec un pilier carré de même hauteur.

M. Matrai a exécuté des travaux de grande importance entre autres : les planchers de la

Maison d'éducation de la Légion d'honneur à Saint-Denis, les planchers de l'usine de MM. Lumière de Lyon, les silos à ciment de Chantemelle, le globe céleste de l'Exposition universelle de 1900.

Système Bonna. — M. Bonna a imaginé en 1893, un système de construction en ciment armé, uniquement dans le but d'établir des conduites satisfaisant à toutes les exigences de résistance et d'étanchéité et pouvant se fabriquer rapidement et économiquement. Cet ingénieur chercha à réaliser les conditions suivantes :

1° L'armature doit résister seule à tous les efforts intérieurs et extérieurs, le rôle du mortier étant réduit à la répartition uniforme des pressions ou des tensions sur les barres cintrées et à la constitution de la paroi continue nécessaire à l'étanchéité.

2° Les barres longitudinales de l'armature doivent avoir une résistance suffisante pour ne pas fléchir, même sans le secours du ciment, dont l'effet est non seulement nul, mais négatif, pendant la coulée dans le moule.

M. Bonna fit choix des fers en croix, estimant que ce profil possédait les deux propriétés essentielles dont il avait besoin : la rigidité propre et la plus grande surface d'adhérence rapportée à l'unité de section.

Dans le système Bonna, le calcul des poutres

se fait très simplement. La loi de dissymétrie admise par ce constructeur est des plus simples : Si ω' est la section de la barre inférieure, calculée pour la charge totale, il prend $\frac{2}{3} \omega'$ pour la section de la barre supérieure. Soit M , le moment de flexion qui résulte des forces extérieures qui sollicitent une poutre droite posée librement sur ses appuis, la section ω' de la membrure inférieure est donnée par la formule

$$(35) \quad \omega' = \frac{M}{15h},$$

h étant la distance verticale des centres de gravité des deux membrures, la section ω'' de la membrure supérieure est

$$(36) \quad \omega'' = \frac{2}{3} \omega' = \frac{2M}{45h}.$$

Cette méthode dispense de rechercher la position de la fibre neutre, toujours longue à déterminer. M. Bonna a exécuté un grand nombre de canalisations parmi lesquelles nous citerons la conduite de refoulement de la galerie d'Argenteuil ; le réseau de distribution de la plaine d'Achères, le revêtement de l'aqueduc de La Frette, la canalisation de la ville de Nîmes, celles de Brest, de Méry, du réservoir de Ménilmontant, etc. Ce constructeur a encore édifié les réservoirs de Rochefort, de Gennevilliers, les

nouveaux ateliers de MM. Sautter-Harlé, la cheminée de la distillerie de Conflans-Sainte-Honorine, le magasin à phosphates de Sfax, les ponts de Toulouse sur le canal du Midi, d'Esbly sur le Grand-Morin, d'Auch sur le Gers, de Saint-Denis et la passerelle pour le chemin de la Belle-Croix, etc.

Système Boussiron. — Dans ce système on ne fait travailler le béton qu'à la compression, le fer devant seul supporter les efforts de tension. On place une armature dans toutes les parties où le béton travaille à l'extension. Les méthodes de calcul employées par M. Boussiron sont basées sur la théorie générale de la flexion appliquée aux corps hétérogènes.

Désignons par e (*fig. 95 et 96*) l'épaisseur d'une poutre, ω' , la section totale des fers de l'arma-

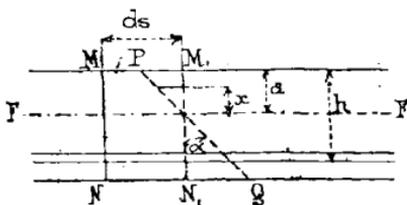


Fig. 95

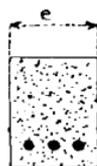


Fig. 96

ture, h , la distance de l'axe de l'armature à la face supérieure de la poutre, a , la distance de la fibre neutre à la face supérieure de la pente.

Cette distance a est déterminée par la formule

$$(37) \quad a = \frac{\omega'}{e} \times \frac{E'}{E} \left(\sqrt{1 + \frac{2 h E e}{E' \omega'}} - 1 \right).$$

M. Boussiron adopte, pour $\frac{E}{E'}$, la valeur moyenne de 10, alors

$$(38) \quad a = \frac{10 \omega'}{e} \left(\sqrt{1 + \frac{2 h e}{10 \omega'}} - 1 \right).$$

Soit maintenant une poutre à double armature (fig. 97), désignons par ω' , la section de l'armature inférieure, ω'' , celle de l'armature supérieure, a est donnée par l'équation

$$(39) \quad \frac{E e}{2} a^2 + (a - b) \omega'' (E' - E) - (h - a) \omega' E' = 0.$$

Posant

$$\frac{E'}{E} = 10$$

on obtient pour a la valeur

$$(40) \quad a = \frac{9 \omega'' + 10 \omega'}{e} \left[\sqrt{1 + \frac{2 e (10 h \omega' + 9 b \omega'')}{(10 \omega' + 9 \omega'')^2}} - 1 \right];$$

dans le cas d'une poutre symétrique. on a la formule simplifiée

$$(41) \quad a = \frac{19 \omega'}{e} \left[\sqrt{1 + \frac{2 e (10 h + 9 b')}{361 \omega'}} - 1 \right].$$

Ces deux formules (40) et (41) peuvent encore se simplifier quand les poutres sont à faible pourcentage métallique. Elles deviennent

$$(42) \quad \alpha = \frac{10(\omega' + \omega'')}{e} \left[\sqrt{1 + \frac{2e(\hbar\omega' + b\omega'')}{10(\omega' + \omega'')}} - 1 \right],$$

et

$$(43) \quad \alpha = \frac{20\omega'}{e} \left[\sqrt{1 + \frac{\hbar e}{20\omega'}} - 1 \right].$$

Dans le calcul des pièces comprimées (piliers, poteaux...), M. Boussiron fait intervenir le béton et le métal dans la résistance en attribuant à chaque élément un coefficient de travail proportionnel à son coefficient d'élasticité. Dési-

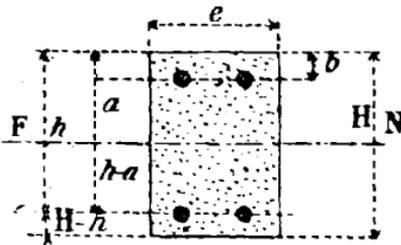


Fig. 97

gnons par R' , le coefficient de travail du métal par millimètre carré, par R , la résistance du béton par centimètre carré, E' , le coefficient d'élasticité du métal, E , celui du béton, ω' , la section de l'armature, ω , celle du béton, on a les formules

$$(44) \quad R' = \frac{P}{\omega + 10\omega'}$$

et

$$(45) \quad R = \frac{10 P}{\omega + 10 \omega'}$$

P étant l'effort auquel doit résister la pièce.

M. Boussiron a construit les réservoirs de La Madeleine-lès-Lille, de Garches, le revêtement de la digue du réservoir de la Mouche, près Langres; le restaurant des Congrès à l'Exposition universelle de 1900, le pont de Perpignan.

Système Coularou. — Le calcul des poutres et hourdis dans ce système est basé sur l'hypothèse suivante : Le coefficient de rupture du béton soumis à la flexion est le tiers du coefficient de rupture à la compression. M. Coularou admet, en principe, l'encastrement, ce qui lui permet d'appliquer, pour le moment fléchissant maximum aux appuis, la formule

$$(46) \quad M = \frac{1}{12} p l^3.$$

Dans le calcul des poutres des planchers, il fait intervenir en même temps les résistances du hourdis supérieur et du hourdis inférieur qui forme plafond. La poutre constituée donne ainsi la forme d'un I (fig. 98).

Le moment d'inertie a pour valeur

$$(47) \quad \left\{ \begin{aligned} I &= \frac{1}{12} [l h^3 - (l - \lambda) (h - 2e)^3] = \\ &= \frac{1}{12} [l h^3 - (l - \lambda) h^3] \end{aligned} \right.$$

et on a

$$(48) \quad M = R \frac{I}{V} = R \frac{2I}{h}.$$

On se donne les quantités e , h et λ et on tient compte de l'effort tranchant T en calculant le travail correspondant ρ du béton par la relation

$$(49) \quad \rho = \frac{T}{\omega}$$

ω étant la section du béton. Le travail total du béton $R + \rho$ doit être inférieur, suivant le dosage à 33 ou 40 kilogrammes par centimètre

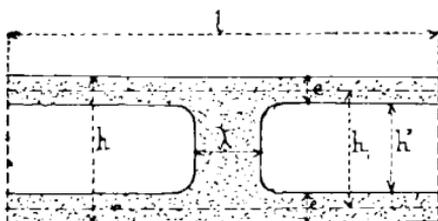


Fig. 98

carré. La section ω' de l'armature est déterminée par la formule

$$(50) \quad \omega' = \frac{M}{R' h}.$$

L'escalier de MM. Laroche-Joubert à Angoulême, a été construit par M. Coularou.

Système Giros-Loucheur. — MM. Giros et Loucheur, ingénieurs, se sont fait une spécialité dans la construction des grandes canalisations.

en ciment armé. L'armature des tuyaux est constituée par des fers ronds, enroulés en hélice et reliés par des génératrices rectilignes. Ces ingénieurs font les joints à l'aide de bagues armées. Ils ont, en outre, construit les réservoirs de Sidi-Lhassen, de Mellinet, les soutes à charbon de Berey pour le Métropolitain de Paris, l'escalier d'accès du collecteur Marceau, etc.

Système Pavin de Lafarge. — Il est admis dans ce système que l'encastrement existe toujours pour les poutres en ciment armé, même lorsque celles-ci s'appuient librement sur des murs en maçonnerie, cet encastrement provenant de l'adhérence du mortier de ciment à la maçonnerie. Les poutres Pavin de Lafarge sont doublement armées et on les calcule comme si elles étaient symétriques, en faisant abstraction du ciment. On calcule la section totale ω' des barres par la formule très simple

$$(51) \quad \omega' = \frac{M}{10h}$$

h étant la distance des deux armatures et l'expérience a montré qu'elle n'entraînait pas pour le béton un travail exagéré et dangereux.

M. Pavin de Lafarge considère les dalles comme encastrees, au droit des poutres qui les soutiennent. L'épaisseur e est donnée par la formule

$$(52) \quad e = \frac{1}{2} \sqrt{M}.$$

M est le moment en kilogrammètres par mètre de largeur de la dalle ;
e est donné en centimètres. Dans les voûtes, (fig. 99), M. Pavin de Lafarge calcule les fers au moyen de la compression tangentielle donnée en fonction de la charge totale 2P et de la poussée Q par

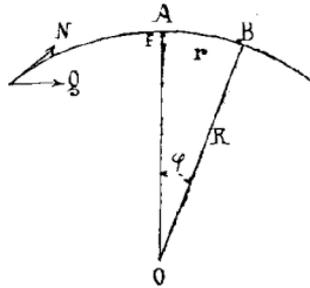


Fig. 99

$$(53) \quad N = P \sin \varphi + Q \cos \varphi$$

avec

$$(54) \quad Q = \frac{Pr}{2f},$$

si ω' est la section de chaque fer de l'armature et n , leur nombre, on doit avoir

$$(55) \quad N = 10 n \omega'.$$

Comme applications de ce système, citons les bâches du Hamiz, de Chélif, de Masséna, la cheminée du bassin de radoub d'Alger.

Système Dégon. — Dans ce système, il y a solidarité complète entre les armatures et les liens secondaires. La section à donner aux barres inférieures est calculée en déterminant l'effort de traction qui les sollicite par la formule

$$(56) \quad F = \frac{pl^2}{8h}$$

dans laquelle F est l'effort de traction, L , la portée de la poutre, h , la distance des axes des deux armatures. La section ω' du métal de la membrure inférieure est donnée par

$$(57) \quad \omega' = \frac{F}{R}$$

R étant le coefficient de travail adopté pour le métal. On donne aux barres supérieures une section égale aux $\frac{7}{10}$ de celle des barres inférieures.

M. Dégon a construit les planchers de Cuvelette à Guise, de M. Pagnier à Buironfosse, le silo de Momignies, l'amidonnerie de Marcoing, etc.

Système Bordenave. — M. Bordenave s'est surtout spécialisé dans les travaux hydrauliques. Il calcule ses travaux de la manière suivante : Soient e , l'épaisseur d'un tuyau fictif en métal continu, qui aurait même diamètre intérieur d , exprimé en centimètres et serait soumis à la même pression p , exprimée en atmosphères ; k , le nombre de kilogrammes auquel doit travailler l'acier par cm^2 . M. Bordenave emploie la formule

$$(58) \quad e = \frac{1,033dp}{2k}$$

Quand e est connu, il répartit la quantité de métal entre un certain nombre de barres, dont

l'écartement ε est déterminé par la formule

$$(59) \quad \varepsilon = \frac{\omega'}{e},$$

ω' étant la surface d'une section du profil adopté.

Les principales canalisations exécutées par M. Bordenave sont celles de Venise, de Bône, d'Alfortville, etc.

Système Cottancin. — Ce système est un des plus anciens procédés français. Il date de 1889. Il consiste à emprisonner dans une ossature à mailles métalliques tissées une multitude de petits solides de béton qui ne peuvent travailler qu'à la compression. D'après M. Cottancin, le béton ne doit jamais travailler qu'à la compression, et la liaison entre l'armature métallique et le mortier doit être absolue et indépendante de l'adhérence sur laquelle il ne faut pas compter dans la pratique.

Les poutres du système Cottancin peuvent être assimilées aux poutres américaines à treillis; elles comportent des nœuds fixes qui ne subissent que les déplacements élastiques dus au phénomène de la flexion. Les semelles sont renforcées par des barres longitudinales tissée avec l'ossature. On applique aux poutres Cottancin les formules établies pour les solides homogènes.

M. Cottancin a construit les planchers du lycée Victor Hugo, l'église Saint-Jean-de-Montmartre,

le casino d'Enghien, le pavillon de la République de Saint-Marin à l'Exposition universelle de 1900, etc.

Système de la Société de Crèches. — Cette Société calcule ses poutres de la façon suivante : Elle désigne par v et v' , les distances de la fibre neutre aux centres de gravité des

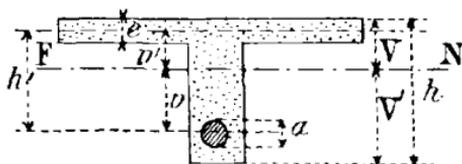


Fig. 100

deux selles (*fig. 100*) ; ω , la section de la semelle supérieure en béton ; ω' , celle du métal ; E et E' , les coefficients de résistance du béton et du métal et pose

$$(30) \quad \frac{v'}{v} = \frac{E'}{E} \cdot \frac{\omega'}{\omega} = m \frac{\omega'}{\omega} = m \frac{R}{R'}$$

R et R' étant les coefficients de travail du béton et du métal. Si V et V' sont les distances à la fibre neutre des fibres extrêmes, on pose l'égalité des travaux maxima du béton et du métal

$$(61) \quad \omega R \frac{v'}{V'} = \omega' R' \frac{v}{V},$$

d'où

$$(62) \quad \frac{\omega}{\omega'} = \frac{R'}{R} \cdot \frac{V'}{V} \cdot \frac{v}{v'} = \frac{R'}{R} \cdot \frac{V'}{v'} \cdot \frac{v}{V}$$

On prend $\frac{v}{V}$ égal à 1 de plus

$$(63) \quad v' + v = h,$$

$$(64) \quad V = v' + \frac{e}{2}.$$

L'élimination de v , $v'V$, V' entre les équations (60), (62), (63) et (64) conduit à

$$(65) \quad \frac{\omega}{\omega'} = \frac{m \left(h' + \frac{e}{2} \right)}{i l' - \frac{e}{2} \frac{R'}{R}} \cdot \frac{R'}{R};$$

de plus, on a, en désignant par i et i' les moments d'inertie du béton et du métal par rapport à l'axe passant par les centres de gravité,

$$(66) \quad 1 = i + \omega v'^2 + m i' + m \omega' v^2,$$

on trouve

$$(67) \quad \frac{I}{v'} = \omega d + \frac{i + m i'}{v'},$$

et

$$(68) \quad \frac{I}{m v} = \omega' d + \frac{i + m i'}{m v},$$

et d est déterminé par la relation

$$(69) \quad \omega' d = \frac{M}{R} = \frac{p l^2}{8 R'}.$$

La Société de Grèches a construit les planchers de l'hôpital militaire de Lyon, la manufacture de M. Gretz, à Dijon, etc.

Certains constructeurs procèdent par des méthodes beaucoup plus compliquées et font usage de formules plus savantes. Nous ne croyons pas que, dans ce genre de construction, il faille trop chercher les questions de détail. Les procédés les plus simples nous paraissent être les meilleurs et sont ceux que nous conseillons de suivre, surtout quand la pratique est venue confirmer les hypothèses admises.

Les méthodes de M. Piketty et de la Société Amsterdamoise de Wittenburg nous paraissent trop savantes, nous ne pouvons que les signaler ; leur exposition dépasserait les limites du cadre de notre ouvrage ; mais si le lecteur veut connaître ces modes de calculer les diverses pièces en ciment armé, il peut avantageusement consulter l'important traité de Berger et Guillerme sur la *Construction en ciment armé*, édité chez Dunod, à Paris.

BIBLIOGRAPHIE

- DELESSE. — *Les matériaux de construction à l'Exposition universelle de 1855*. Paris, 1856.
- F. COIGNET. — *Bétons agglomérés appliqués à l'art de construire*. Paris, Lacroix, 1861.
- T. P. HYATT. — *An account of some experiments with Portland cement and iron*, 1873.
- G. A. WAYSS. — *Das System Monier*. Berlin, 1887.
- PATENT-BETON-EISEN-CONSTRUCTIONEN *system Robert Wünsch*. Budapest, 1892.
- ACTIEN-GESELLSCHAFT FÜR MONIER-BAUTEN. — *Ausgewählte Monier und Beton-Bauwerke*. 2^e Auflage Berlin, 1894.
- SOULEYRE et ANGLADE. — *Expériences sur les matériaux des maçonneries*. Constantine, 1894.
- RUD. LINDER. — *Beton-Eisen-Konstruktion, Système Hennebique*. Basel, 1897.
- DUBOIS. — *Notice sur les constructions en ciment armé*. 2^e édition. Paris, 1898.
- Le sidéro-ciment. Système Bordenave*. Paris, 1898.
- Rapports présentés au VII^{me} Congrès international de navigation*.
- GRENIER. — *Moyens de consolidation des talus des canaux maritimes*. Bruxelles, 1898.
- S. BOUSSIRON. — *Note sur les constructions en ciment armé (système Boussiron)* Paris, 1898.
- PLANAT. — *Théorie des poutres droites en fer et ciment*. Paris. 1899.
- PROF. F. W. BÜSING UND DR C. SCHUMANN. — *Der Portland cement und seine Anwendungen im Bauwesen*. 2^e Auflage. Berlin, 1899.

- LEFORT. — *Calcul des poutres droites et planchers en béton de ciment armé*. Paris, 1899.
- FER-BÉTON. SYSTÈME MATRAI. — *Notice descriptive*. Paris, 1900.
- Tests of the Roebling system of fireproof construction*. New-York, 1899.
- Expanded-metal. Its production and uses in fire resisting and other building constructions*. 2^e édition. London, 1899.
- Fire tests with floors. A floor by the Expanded metal Company*. London, 1899.
- G. VACCBELLI. — *Le costruzioni in calcestruzzo ed in cemento armato*. Milano, 1900.
- Communications présentées devant le Congrès international des méthodes d'essais des matériaux de construction :
- CONSIDÈRE. — *Méthode d'épreuve des constructions en béton armé*. Paris, 1900.
- Idem. FERET. — *Recherches sur les résistances à la rupture des matériaux isotropes non ductiles*.
- G. LAVERGNE. — *Étude des divers systèmes de constructions en ciment armé*. 2^e édition. Paris, 1901.
- PAUL CHRISTOPHE. — *Le béton armé et ses applications*. 2^e édition. Paris, 1902.
- C. BERGER et V. GUILLERME. — *La construction en ciment armé*. Paris, 1902.
- LE BÉTON ARMÉ, *journal des constructions du système Hennebique*.
- LE FER-BÉTON, *journal des constructions du système Matrai*.
- Un grand nombre d'articles sur le Ciment armé ont paru dans les revues périodiques suivantes :
- Comptes-rendus des séances de l'Académie des Sciences.*
Nouvelles annales de la Construction.
Annales des Ponts et Chaussées.
Annales des Travaux publics de Belgique.
Le Ciment.
Le Génie civil.

- Mémoires de la Société des Ingénieurs civils de France.*
Revue du génie militaire.
La Revue technique.
Der Bautechniker.
Centralblatt der Bauverwaltung.
Der Civilingenieur.
Österreichische Monatschrift für den öffentlichen Baudienst.
Schweizerische Bauzeitung.
Stahl und Eisen.
Zeitschrift für Architektur und Ingenieurwesen.
Zeitschrift für Bauwesen.
Zeitschrift des österreichischen Ingenieur und Architekten-Vereines.
Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure.
Wahenschrift, des österreichischen Ingenieur Architekten-Vereines.
Österreichische Wochenschrift für den öffentlichen Baudienst.
The Doings of expanded metal Journal des constructions en métal déployé aux Etats-Unis.
The Engineer.
Engineering News.
Engineering Record.
Minutes of proceedings of the Institution of civil engineers.
Transactions of the American Society of civil engineers.
Transactions of the American Society of mechanical engineers.
Annali della Società degli ingegneri e degli architetti italiani.
Giornale del Genio Civile.
Tijdschrift van het koninklijk Institut van Ingenieurs, La Haye.
Ingeniören, Copenhague.

TABLE DES MATIÈRES

	Pages
PRÉFACE	5
AVANT-PROPOS. — <i>Considérations générales sur les constructions en ciment armé.</i>	7

CHAPITRE PREMIER

<i>Théorie du ciment armé.</i>	14
Travaux de M. Christophe.. . . .	21
Travaux de M. Lefort.	54
Travaux de M. Considère.	66
Travaux de M. Harel de la Noë.	78
Travaux de M. Resal.. . . .	84

CHAPITRE II

<i>Principaux systèmes de construction armée.</i>	88
---	----

CHAPITRE III

<i>Nature des matériaux employés dans les constructions en ciment armé.</i>	113
---	-----

CHAPITRE IV

<i>Méthodes préconisées par les principaux constructeurs.</i>	123
Système Hennebique.. . . .	123
Système Coignet.	129
Système Matrai.	135

	Pages
Système Bonna	139
Système Boussiron.	141
Système Coularou.	144
Système Giros-Loucheur.	145
Système Pavin de Lafarge.	146
Système Dégon	147
Système Bordenave.	148
Système Cottancin.	149
Système de la Société de Crèches.	150
BIBLIOGRAPHIE	153

SAINT-AMAND (CHER), — IMPRIMERIE BUSSIÈRE

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

55, QUAI DES GRANDS-AUGUSTINS, A PARIS (6^e).

Envoi *franco* contre mandat-poste ou valeur sur Paris.

HISTOIRE DES MATHÉMATIQUES DANS L'ANTIQUITÉ ET AU MOYEN AGE,

Par **H.-G. ZEUTHEN**,
Professeur à l'Université de Copenhague.

ÉDITION FRANÇAISE, REVUE ET CORRIGÉE PAR L'AUTEUR,
Traduite par **JEAN MASCART**.

Un volume in-8 de xv-296 pages, avec 31 figures; 1902..... 9 fr.

HISTOIRE DE L'OBSERVATOIRE DE PARIS DE SA FONDATION A 1793,

Par **C. WOLF**,
Membre de l'Institut, Astronome honoraire de l'Observatoire.

Un volume gr. in-8 de xii-392 pages, avec 16 planches; 1902. 15 fr.

TIR DES FUSILS DE CHASSE

Par **JOURNÉE**,
Lieutenant-Colonel au 69^e régiment d'Infanterie.

DEUXIÈME ÉDITION ENTIÈREMENT REFOUNDUE.

Un beau volume gr. in-8 de vi-387 pages, avec 147 fig.; 1902.. 12 fr.

COURS DE MÉCANIQUE

A L'USAGE DES CANDIDATS

A L'ÉCOLE CENTRALE DES ARTS ET MANUFACTURES,

Par **P. APPELL**,
Membre de l'Institut, Professeur à l'École Centrale,
Professeur à la Faculté des Sciences de Paris.

Un volume in-8 de 272 pages, avec 143 figures; 1902.. 7 fr. 50 c.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

LECONS SUR L'ÉLECTRICITÉ

PROFESSÉES A L'INSTITUT ÉLECTROTECHNIQUE MONTEPIORE
annexé à l'Université de Liège,

Par **Eric GÉRARD**,

Directeur de cet Institut.

6^e ÉDITION, DEUX VOLUMES GRAND IN-8, SE VENDANT SÉPARÉMENT.

TOME I : *Théorie de l'Électricité et du Magnétisme. Électrométrie. Théorie et construction des générateurs et des transformateurs électriques*; avec 388 figures; 1900..... 12 fr.

TOME II : *Canalisation et distribution de l'énergie électrique. Applications de l'Électricité à la téléphonie, à la télégraphie, à la production et à la transmission de la puissance motrice, à la traction, à l'éclairage, à la métallurgie et à la chimie industrielle*; avec 387 figures; 1900..... 12 fr.

TRACTION ÉLECTRIQUE,

Par **Eric GÉRARD**,

(Extrait des *Leçons sur l'Électricité* du même Auteur.)

Volume grand in-8 de vi-136 pages, avec 92 figures; 1900..... 3 fr. 50 c.

MESURES ÉLECTRIQUES,

Par **Eric GÉRARD**,

2^e édition, gr. in-8 de 532 p., avec 217 fig.; 1901. Cartonné toile anglaise.... 12 fr.

LES DÉCHARGES ÉLECTRIQUES DANS LES GAZ,

Par **J.-J. THOMSON**, D. Sc. F. R. S.

OUVRAGE TRADUIT DE L'ANGLAIS, AVEC DES NOTES; PAR LOUIS BARBILLION,
ET UNE PRÉFACE DE CH.-ED. GUILLAUME.

Volume in-8 de xiv-172 pages, avec 41 figures; 1900..... 5 fr.

TRAITÉ DE MAGNÉTISME TERRESTRE,

Par **E. MASCART**,

Membre de l'Institut.

Volume grand in-8 de vi-441 pages, avec 94 figures; 1900..... 15 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

COURS DE LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

TRAITÉ D'ANALYSE

Par **Émile PICARD**,

Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences.

TOME I : Intégrales simples et multiples. — L'équation de Laplace et ses applications. Développement en séries. — Applications géométriques du Calcul infinitésimal. 2^e édition, revue et corrigée; 1901..... **16 fr.**

TOME II : Fonctions harmoniques et fonctions analytiques. — Introduction à la théorie des équations différentielles. Intégrales abéliennes et surfaces de Riemann. 1893..... **15 fr.**

TOME III : Des singularités des intégrales des équations différentielles. Étude du cas où la variable reste réelle et des courbes définies par des équations différentielles. Equations linéaires; analogies entre les équations algébriques et les équations linéaires. 1896..... **18 fr.**

TOME IV : Équations aux dérivées partielles..... (*En préparation.*)

LEÇONS

SUR LA THÉORIE DES FONCTIONS

Par **Émile BOREL**,

Maître de Conférences à l'École Normale supérieure.

TOME I : *Exposé de la théorie des ensembles et applications*; 1898... **3 fr. 50 c.**

TOME II : *Leçons sur les fonctions entières*; 1900..... **3 fr. 50 c.**

TOME III : *Leçons sur les séries divergentes*; 1901..... **4 fr. 50 c.**

TOME IV : *Leçons sur les séries à termes positifs*; 1902..... **3 fr. 50 c.**

COURS D'ANALYSE MATHÉMATIQUE

Par **E. GOURSAT**,

Professeur à la Faculté des Sciences de Paris.

TOME I : *Dérivées et différentielles. Intégrales définies. Développements en séries. Applications géométriques*. Grand in-8; 1902..... **20 fr.**

LE SYSTÈME MÉTRIQUE

DES POIDS ET MESURES

SON ÉTABLISSEMENT ET SA PROPAGATION GRADUELLE

Par **G. BIGOURDAN**,

Astronome titulaire à l'Observatoire de Paris.

Petit in-8 en caractères elzéviens, titre en 2 couleurs, 17 figures et 10 planches ou portraits; 1901..... **10 fr.**

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

SERVICE GÉOGRAPHIQUE DE L'ARMÉE

NOUVELLES TABLES DE LOGARITHMES A CINQ DÉGIMALES

POUR LES LIGNES TRIGONOMÉTRIQUES
DANS LES DEUX SYSTÈMES DE LA DIVISION **CENTÉSIMALE**
ET DE LA DIVISION **SEXAGÉSIMALE** DU QUADRANT
ET POUR LES NOMBRES 1 A 12000.

*Édition spéciale à l'usage des Candidats aux Écoles Polytechnique
et de Saint-Cyr.*

UN VOLUME GRAND IN-8; 1901. CARTONNÉ..... 3 FR.

LEÇONS SUR LA THÉORIE DES GAZ

Par **L. BOLTZMANN**,
Professeur à l'Université de Leipzig,

TRADUITES PAR **A. GALLOTTI**, ancien Élève de l'École Normale;
AVEC UNE *Introduction* ET DES *Notes*

PAR **M. BRILLOUIN**, Professeur au Collège de France.

1^{re} PARTIE. GRAND IN-8 DE XIX-204 PAGES AVEC FIGURES; 1902. 8 fr.

NOTIONS FONDAMENTALES

DE

CHIMIE ORGANIQUE,

Par **Ch. MOUREU**,

Professeur agrégé à l'École supérieure de Pharmacie de l'Université de Paris.

UN VOLUME IN-8 DE VI-292 PAGES; 1902.

BROCHÉ..... 7 FR. 50 C. | CARTONNÉ..... 8 FR. 50 C.

LA TRACTION ÉLECTRIQUE

PAR COURANTS SUPERFICIELS DU SYSTÈME DIATTO,

Par **Ch. JULIUS**, Ingénieur.

GRAND IN-8 DE 66 P., AVEC 12 FIG. OU PLANCHES; 1902. 2 FR. 75 C.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

TRAVAUX

DU

CONGRÈS DE PHYSIQUE

RÉUNI A PARIS EN 1900, SOUS LES AUSPICES DE LA SOCIÉTÉ
FRANÇAISE DE PHYSIQUE,

Rassemblés et publiés par

Ch.-Éd. GUILLAUME et L. POINCARÉ,
Secrétaires généraux du Congrès.

QUATRE VOLUMES GRAND IN-8, AVEC FIGURES.

TOMES I, II et III. *Rapports présentés au Congrès.* 3 volumes se vendant
ensemble..... 50 fr.

On vend séparément :

TOME I : *Questions générales. Métrologie. Physique mécanique. Phy-*
sique moléculaire..... 18 fr.

TOME II : *Optique. Électricité. Magnétisme*..... 18 fr.

TOME III : *Électro-optique et ionisation. Applications. Physique cos-*
mique. Physique biologique..... 18 fr.

TOME IV : *Procès-verbaux. Annexes. Liste des membres; 1901*.....

LEÇONS ÉLÉMENTAIRES

D'ACOUSTIQUE ET D'OPTIQUE

A L'USAGE DES CANDIDATS AU CERTIFICAT D'ÉTUDES PHYSIQUES.
CHIMIQUES ET NATURELLES (P. C. N.),

Par **Ch. FABRY,**

Professeur adjoint à la Faculté des Sciences de Marseille.

Un volume in-8, avec 205 figures; 1898..... 7 fr. 50 c.

TRAITÉ ÉLÉMENTAIRE

DE

MÉTÉOROLOGIE

Par **Alfred ANGOT,**

Météorologiste titulaire au Bureau Central météorologique,
Professeur à l'Institut national agronomique et à l'École supérieure
de Marine.

UN VOLUME GRAND IN-8, AVEC 103 FIG. ET 4 PL.; 1899. 12 FR.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

LEÇONS SUR LA THÉORIE DES FORMES

ET LA GÉOMÉTRIE ANALYTIQUE SUPÉRIEURE,
à l'usage des Étudiants des Facultés des Sciences,

Par **H. ANDOYER**,

Maître de Conférences à l'École Normale supérieure.

DEUX BEAUX VOLUMES GRAND IN-8, SE VENDANT SÉPARÉMENT :

TOME I : Volume de vi-508 pages; 1900..... 15 fr.
TOME II..... (En préparation.)

COURS D'ÉLECTRICITÉ

Par **H. PELLAT**,

Professeur à la Faculté des Sciences de l'Université de Paris.

3 volumes grand in-8, se vendant séparément :

TOME I : *Électrostatique. Loi d'Ohm. Thermo-électricité*, avec 145 figures;
1901..... 10 fr.
TOME II : (Sous presse.) — TOME III : (En préparation.)

ESSAI SUR LES FONDEMENTS DE LA GÉOMÉTRIE

Par **B.-A.-W. RUSSELL**,

Traduction par **C. CADENAT**, revue et annotée par l'Auteur
et par **Louis COUTURAT**.

Grand in-8, avec 11 figures; 1901..... 9 fr.

GUIDE PRATIQUE POUR LES CALCULS DE RÉSISTANCE

DES

CHAUDIÈRES A VAPEUR ET L'ESSAI DES MATÉRIAUX EMPLOYÉS,

Publié par l'Union Internationale des Associations de surveillance d'Appareils à vapeur,

TRADUIT SUR LA 7^e ÉDITION ALLEMANDE,

Par **G. HUIN**, Ancien Élève de l'École Polytechnique, Capitaine d'Artillerie,

E. MAIRE, Ingénieur E. C. P., Directeur de l'Association des
Propriétaires d'appareils à vapeur du Nord-Est,

Avec la collaboration de **H. WALTHER MEUNIER**, Ingénieur E. C. P.,
Ingénieur en chef de l'Association alsacienne des Propriétaires d'appareils à vapeur.

Un volume in-12 raisin, avec 10 figures; 1901..... 2 fr. 75 c.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

COURS DE PHYSIQUE MATHÉMATIQUE DE LA FACULTÉ DES SCIENCES.

THÉORIE ANALYTIQUE DE LA CHALEUR

MISE EN HARMONIE AVEC LA THERMODYNAMIQUE
ET AVEC LA THÉORIE MÉCANIQUE DE LA LUMIÈRE,

Par J. BOUSSINESQ,

Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences de l'Université de Paris.

Deux volumes grand in-8 se vendant séparément :

TOME I : *Problèmes généraux.* Vol. de xxvii-333 p.; av. 14 fig.; 1901. 10 fr.

TOME II : *Échauffement par contact et échauffement par rayonnement. Conductibilité des aiguilles, lames et masses cristallines. Courants de convection. Théorie mécanique de la lumière.....* (Sous presse.)

LES CARBURES D'HYDROGÈNE (1851-1901)

RECHERCHES EXPÉRIMENTALES

Par M. BERTHELOT,

Sénateur, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences.

3 volumes grand in-8, se vendant ensemble..... 45 fr.

TOME I : *L'Acétylène : synthèse totale des carbures d'hydrogène.* Volume de x-114 pages. — TOME II : *Les Carbures pyrogénés. — Séries diverses.* Volume de iv-558 pages. — TOME III : *Combinaison des carbures d'hydrogène avec l'hydrogène, l'oxygène, les éléments de l'eau.* Vol. de iv-459 pages.

COMPTES RENDUS DU

Deuxième Congrès international des Mathématiciens

TENU A PARIS DU 6 AU 12 AOUT 1900.

PROCÈS-VERBAUX ET COMMUNICATIONS

PUBLIÉS PAR

E. DUPORCQ,

Ingénieur des Télégraphes, Secrétaire général du Congrès.

UN BEAU VOLUME GRAND IN-8 DE 456 P., AVEC FIGURES; 1902. 16 FR.

L'ANNÉE TECHNIQUE (1901-1902)

TRAMWAYS. CYCLES. TRAVAUX PUBLICS. CONSTRUCTIONS MARITIMES
ET NAVALES. ARMEMENTS. NAVIGATION AÉRIENNE,

Par A. DA CUNHA, Ingénieur des Arts et Manufactures;

Avec Préface de **M. Émile Trélat,** Directeur de l'École spéciale d'Architecture.

UN BEAU VOL. GR. IN-8 DE VIII-271 P. AVEC 114 FIG.; 1902. 3 FR. 50 C.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

COURS DE PHYSIQUE

DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,

Par J. JAMIN et E. BOUTY.

Quatre tomes in-8, de plus de 4000 pages, avec 1587 figures et 14 planches; 1885-1891. (OUVRAGE COMPLET)..... 72 fr.

TOME I. — 9 fr.

1^{re} fascicule. — *Instruments de mesure. Hydrostatique*; avec 150 figures et 1 planche..... 5 fr.

2^e fascicule. — *Physique moléculaire*; avec 93 figures..... 4 fr.

TOME II. — CHALEUR. — 15 fr.

1^{re} fascicule. — *Thermométrie, Dilatations*; avec 98 figures. 5 fr.

2^e fascicule. — *Calorimétrie*; avec 48 fig. et 2 planches..... 5 fr.

3^e fascicule. — *Thermodynamique. Propagation de la chaleur*; avec 47 figures..... 5 fr.

TOME III. — ACOUSTIQUE; OPTIQUE. — 22 fr.

1^{re} fascicule. — *Acoustique*; avec 123 figures..... 4 fr.

2^e fascicule. — *Optique géométrique*; 139 fig. et 3 planches. 4 fr.

3^e fascicule. — *Étude des radiations lumineuses, chimiques et calorifiques; Optique physique*; avec 249 fig. et 5 planches, dont 2 planches de spectres en couleur..... 14 fr.

TOME IV (1^{re} Partie). — ÉLECTRICITÉ STATIQUE ET DYNAMIQUE. — 13 fr.

1^{re} fascicule. — *Gravitation universelle. Électricité statique*; avec 155 figures et 1 planche..... 7 fr.

2^e fascicule. — *La pile. Phénomènes électrothermiques et électrochimiques*; avec 161 figures et 1 planche..... 6 fr.

TOME IV (2^e Partie). — MAGNÉTISME; APPLICATIONS. — 13 fr.

3^e fascicule. — *Les aimants. Magnétisme. Électromagnétisme. Induction*; avec 240 figures..... 8 fr.

4^e fascicule. — *Météorologie électrique; applications de l'électricité. Théories générales*; avec 84 figures et 1 planche..... 5 fr.

TABLES GÉNÉRALES des quatre volumes. In-8; 1891..... 60 c.

Des suppléments destinés à exposer les progrès accomplis viennent compléter ce grand Traité et le maintenir au courant des derniers travaux.

1^{er} SUPPLÉMENT. — *Chaleur. Acoustique. Optique*, par E. BOUTY, Professeur à la Faculté des Sciences. In-8, avec 41 fig.; 1896. 3 fr. 50 c.

2^e SUPPLÉMENT. — *Électricité. Ondes hertziennes. Rayons X*; par E. BOUTY. In-8, avec 48 figures et 2 planches; 1899. 3 fr. 50 c.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

ENCYCLOPÉDIE DES TRAVAUX PUBLICS ET ENCYCLOPÉDIE INDUSTRIELLE.

TRAITÉ DES MACHINES A VAPEUR

CONFORME AU PROGRAMME DU COURS DE L'ÉCOLE CENTRALE (E. I.)

Par **ALHEILIG** et **G. ROCHE**, Ingénieurs de la Marine.

TOME I (412 fig.); 1895 20 fr. | TOME II (281 fig.); 1895..... 18 fr.

CHEMINS DE FER

MATÉRIEL ROULANT. RÉSISTANCE DES TRAINS. TRACTION.

PAR

E. DEHARME,

Ing^r principal à la Compagnie du Midi.

A. PULIN,

Ing^r Insp^r p^{al} aux chemins de fer du Nord.

Un volume grand in-8, xxii-441 pages, 95 figures, 1 planche; 1895 (E. I.). 15 fr.

CHEMINS DE FER.

ÉTUDE DE LA LOCOMOTIVE. — LA CHAUDIÈRE.

PAR

E. DEHARME.

Un volume grand in-8 de vi-608 p. avec 131 fig. et 2 pl.; 1900 (E. I.). 15 fr.

A. PULIN.

CHEMINS DE FER D'INTÉRÊT LOCAL TRAMWAYS

Par **Pierre GUÉDON**, Ingénieur.

Un beau volume grand in-8, de 393 pages et 141 figures (E. I.); 1904 11 fr.

LA BETTERAVE AGRICOLE ET INDUSTRIELLE

Par **L. GESCHWIND** et **E. SELLIER**, Chimistes.

Grand in-8 de iv-688 pages avec 130 figures; 1902 (E. I.)..... 20 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

INDUSTRIES DU SULFATE D'ALUMINIUM, DES ALUNS ET DES SULFATES DE FER,

Par Lucien GESCHWIND, Ingénieur-Chimiste.

Un volume grand in-8, de viii-364 pages, avec 195 figures; 1899 (E. I.). 10 fr.

COURS DE CHEMINS DE FER

PROFESSÉ A L'ÉCOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSEES,

Par G. BRICKA,

Ingénieur en chef de la voie et des bâtiments aux Chemins de fer de l'État.

DEUX VOLUMES GRAND IN-8; 1894 (E. T. P.)

TOME I : avec 326 fig.; 1894.. 20 fr. | TOME II : avec 177 fig.; 1894.. 20 fr.

COUVERTURE DES ÉDIFICES

ARDOISES, TUILES, MÉTAUX, MATIÈRES DIVERSES,

Par J. DENFER,

Architecte, Professeur à l'École Centrale.

UN VOLUME GRAND IN-8, AVEC 429 FIG.; 1893 (E. T. P.).. 20 FR.

CHARPENTERIE MÉTALLIQUE

MENÜISERIE EN FER ET SERRURERIE,

Par J. DENFER,

Architecte, Professeur à l'École Centrale.

DEUX VOLUMES GRAND IN-8; 1894 (E. T. P.).

TOME I : avec 479 fig.; 1894.. 20 fr. | TOME II : avec 571 fig.; 1894.. 20 fr.

ÉLÉMENTS ET ORGANES DES MACHINES

Par Al. GOUILLY,

Ingénieur des Arts et Manufactures.

GRAND IN-8 DE 406 PAGES, AVEC 710 FIG.; 1894 (E. I.).... 12 FR.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

MÉTALLURGIE GÉNÉRALE

PROCÉDÉS DE CHAUFFAGE

Par **U. LE VERRIER**,

Ingénieur en chef des Mines, Professeur au Conservatoire des Arts et Métiers.

Grand in-8, de 367 pages, avec 174 figures; 1902 (E. I.)..... 12 fr.

VERRE ET VERRERIE

Par **Léon APPERT** et **Jules HENRIVAUX**, Ingénieurs.

Grand in-8 avec 130 figures et 1 atlas de 14 planches; 1894 (E. I.)..... 20 fr.

BLANCHIMENT ET APPRÊTS

TEINTURE ET IMPRESSION

PAR

Ch.-Er. GUIGNET,

Directeur des teintures aux Manufactures nationales des Gobelins et de Beauvais,

F. DOMMER,

Professeur à l'École de Physique et de Chimie industrielles de la Ville de Paris,

E. GRANDMOUGIN,

Chimiste, ancien Préparateur à l'École de Chimie de Mulhouse.

GR. IN-8, AVEC 368 FIG., ET ÉCH. DE TISSUS IMPRIMÉS; 1895 (E. I.). 30 FR.

RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX

Par **Aug. FÖPPL**, Professeur à l'Université technique de Munich.

TRADUIT DE L'ALLEMAND PAR **E. HAHN**, Ing. de l'École Polytechnique de Zurich.

GRAND IN-8, DE 489 PAGES, AVEC 74 FIG.: 1901 (E. I.)... 15 FR.

CONSTRUCTION PRATIQUE des NAVIRES de GUERRE

Par **A. CRONEAU**,

Professeur à l'École d'application du Génie maritime.

TOME I : avec 305 fig. et un Atlas de 11 pl. in-4°; 1894..... 18 fr.

TOME II : avec 359 fig.; 1894..... 15 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

**PONTS SOUS RAILS ET PONTS-ROUTES A TRAVÉES
MÉTALLIQUES INDÉPENDANTES.**

FORMULES, BARÈMES ET TABLEAUX

Par Ernest HENRY,

Inspecteur général des Ponts et Chaussées.

UN VOLUME GRAND IN-8, AVEC 267 FIG. ; 1894 (E. T. P.). 20 FR.

Calculs rapides pour l'établissement des projets de ponts métalliques et pour le contrôle de ces projets, sans emploi des méthodes analytiques ni de la statique graphique économie de temps et certitude de ne pas commettre d'erreurs).

CHEMINS DE FER.

EXPLOITATION TECHNIQUE

PAR MM.

SCHÖELLER,

Chef adjoint des Services commerciaux
à la Compagnie du Nord.

FLEURQUIN,

Inspecteur des Services commerciaux
à la même Compagnie.

UN VOLUME GRAND IN-8, AVEC FIGURES: 1901 (E. I.)..... 12 FR.

TRAITÉ DES INDUSTRIES CÉRAMIQUES

TERRES CUITES.

PRODUITS RÉFRACTAIRES. FAÏENCES. GRÈS. PORCELAINES.

Par E. BOURRY,

Ingénieur des Arts et Manufactures.

GRAND IN-8, DE 755 PAGES, AVEC 349 FIG. ; 1897 (E. I.). 20 FR.

RÉSUMÉ DU COURS

DE

MACHINES A VAPEUR ET LOCOMOTIVES

PROFESSÉ A L'ÉCOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSÉES,

Par J. HIRSCH,

Inspecteur général honoraire des Ponts et Chaussées,
Professeur au Conservatoire des Arts et Métiers.

2^e édition. Gr. in-8 de 510 p. avec 314 fig. ; 1898 (E. T. P.). 18 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

LE VIN ET L'EAU-DE-VIE DE VIN

Par **Henri DE LAPPARENT**,

Inspecteur général de l'Agriculture.

INFLUENCE DES CÉPAGES, DES CLIMATS, DES SOLS, ETC., SUR LA QUALITÉ DU VIN, VINIFICATION, CUVERIE ET CHAIS, LE VIN APRÈS LE DÉCUVAGE, ÉCONOMIE, LÉGISLATION.

GR. IN-8 DE XII-533 P., AVEC 111 FIG. ET 28 CARTES; 1895 (E. I.) 12 FR.

TRAITÉ DE CHIMIE ORGANIQUE APPLIQUÉE

Par **A. JOANNIS**,

Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux,
Chargé de cours à la Faculté des Sciences de Paris.

DEUX VOLUMES GRAND IN-8; 1896 (E. I.).

TOME I: 688 p., avec fig.; 1896. 20 fr. | TOME II: 748 p., avec fig. 1896. 15 fr.

MANUEL DE DROIT ADMINISTRATIF

SERVICE DES PONTS ET CHAUSSÉES ET DES CHEMINS VICINAUX,

Par **G. LECHALAS**, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

DEUX VOLUMES GRAND IN-8, SE VENDANT SÉPARÉMENT (E. T. P.).

TOME I; 1889; 20 fr. — TOME II: 1^{re} partie; 1893; 10 fr. 2^e partie; 1898; 10 fr.

MACHINES FRIGORIFIQUES

PRODUCTION ET APPLICATIONS DU FROID ARTIFICIEL,

Par **H. LORENZ**,

Ingénieur, Professeur à l'Université de Halle.

TRADUIT DE L'ALLEMAND AVEC L'AUTORISATION DE L'AUTEUR, PAR

P. PETIT,

Prof. à la Faculté des Sciences de Nancy,
Directeur de l'École de Brasserie.

J. JAQUET,

Ingénieur civil.

Grand in-8 de ix-186 pages, avec 131 figures; 1898 (E. I.)... 7 fr.

COURS DE GÉOMÉTRIE DESCRIPTIVE

ET DE GÉOMÉTRIE INFINITÉSIMALE,

Par **Maurice D'OCAGNE**,

Ingr et Prof. à l'École des Ponts et Chaussées, Répétiteur à l'École Polytechnique.

GR. IN-8, DE XI-428 P., AVEC 340 FIG.; 1896 (E. T. P.)... 12 FR

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

LES ASSOCIATIONS OUVRIÈRES
ET LES ASSOCIATIONS PATRONALES,

Par P. HUBERT-VALLEROUX,
Avocat à la Cour de Paris, Docteur en Droit.

GRAND IN-8 DE 361 PAGES; 1899 (E. I.)..... 10 FR.

TRAITÉ DES FOURS A GAZ
A CHALEUR RÉGÉNÉRÉE.

DÉTERMINATION DE LEURS DIMENSIONS.

Par Friedrich TOLDT,
Ingénieur, Professeur à l'Académie impériale des Mines de Leoben.
TRADUIT DE L'ALLEMAND SUR LA 2^e ÉDITION REVUE ET DÉVELOPPÉE PAR L'AUTEUR,

Par F. DOMMER,
Ingénieur des Arts et Manufactures.
Professeur à l'École de Physique et de Chimie industrielles de la Ville de Paris.
Un volume grand in-8 de 392 pages, avec 68 figures; 1900 (E. I.). 11 fr.

ANALYSE INFINITÉSIMALE
A L'USAGE DES INGÉNIEURS,

Par E. ROUGHÉ et L. LÉVY,

2 VOLUMES GRAND IN-8, AVEC FIGURES (E. T. P.) :

TOME I : *Calcul différentiel*. VIII-557 pages, avec 45 figures; 1900..... 15 fr.

TOME II : *Calcul intégral*..... (Sous presse.)

COURS D'ÉCONOMIE POLITIQUE
PROFESSÉ A L'ÉCOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSÉES,

Par C. COLSON,
Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Conseiller d'État.

TROIS BEAUX VOLUMES GRAND IN-8, SE VENDANT SÉPARÉMENT (E. T. P.) :

TOME I : *Exposé général des Phénomènes économiques. Le travail et les questions ouvrières*. Volume de 600 pages; 1901..... 10 fr.

TOMES II et III..... (Sous presse.)

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS.

QUAI DES GRANDS-AUGUSTINS, 55, A PARIS (6^e).

Envoi franc^o dans l'Union postale contre mandat-poste ou valeur sur Paris.

BIBLIOTHÈQUE PHOTOGRAPHIQUE

La Bibliothèque photographique se compose de plus de 200 volumes et embrasse l'ensemble de la Photographie considérée au point de vue de la Science, de l'Art et des applications pratiques.

DERNIERS OUVRAGES PARUS :

LES PHOTOTYPES SUR PAPIER AU GÉLATINOBROMURE,

Par F. QUÉNISSET.

In-13 jésus, avec figures et 1 planche spécimen; 1901..... 1 fr. 25 c.

LES AGRANDISSEMENTS,

Par G. GUILLON.

In-18 jésus, avec figures; 1901..... 2 fr. 75 c.

A B C DE LA PHOTOGRAPHIE MODERNE,

Par W.-K. BURTON.

5^e édition. Traduction sur la 12^e édition anglaise, par G. HUBERSON.

In-18 jésus, avec figures; 1901..... 3 fr.

LA PHOTOGRAPHIE DES COULEURS,

PAR LA MÉTHODE INTERFÉRENTIELLE DE M. LIPPMANN,

Par A. BERGET.

2^e édition, entièrement refondue. In-18 jésus, avec fig.; 1901... 1 fr. 75 c.

FABRICATION DES PLAQUES AU GÉLATINOBROMURE,

Par BURTON. — Traduction par HUBERSON.

In-18 jésus, avec figures; 1901..... 0 fr. 50 c.

REPRODUCTION DES GRAVURES, DESSINS, PLANS, MANUSCRITS,

Par A. COURRÈGES, Praticien.

In-18 jésus, avec figures; 1900 2 fr.

LA PHOTOGRAPHIE. TRAITÉ THÉORIQUE ET PRATIQUE,

Par A. DAVANNE.

2 beaux volumes grand in-8, avec 234 fig. et 4 planches spécimens ... 32 fr.
Chaque volume se vend séparément..... 16 fr.

LES AGRANDISSEMENTS PHOTOGRAPHIQUES,

Par A. COURRÈGES, Praticien.

In-18 jésus, avec 12 figures; 1901..... 2 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS.

TRAITÉ ENCYCLOPÉDIQUE DE PHOTOGRAPHIE,

Par C. FABRE, Docteur ès Sciences.

4 beaux vol. grand in-8, avec 724 figures et 2 planches; 1889-1891... 48 fr.
Chaque volume se vend séparément 14 fr.

Des suppléments destinés à exposer les progrès accomplis viennent compléter ce Traité et le maintenir au courant des dernières découvertes.

1^{er} Supplément (A). Un beau vol. gr. in-8 de 400 p. avec 176 fig.; 1892. 14 fr.

2^e Supplément (B). Un beau vol. gr. in-8 de 424 p. avec 221 fig.; 1897. 14 fr.

3^e Supplément (C). Un beau vol. gr. in-8 de 400 pages; 1903..... 14 fr.

Les 7 volumes se vendent ensemble..... 84 fr.

LA PHOTOGRAPHIE D'ART

A L'EXPOSITION UNIVERSELLE DE 1900,

Par C. KLARY.

Grand in-8 de 88 pages, avec nombreuses illustrations et planches; 1901..... 6 fr. 50 c.

LE MATÉRIEL PHOTOGRAPHIQUE,

Par Georges MAURION.

Volume in-16 raisin de vi-68 pages; 1902..... 1 fr. 75 c.

MANUEL DU PHOTOGRAPHE AMATEUR,

Par F. PANAJOU,

Chef du Service photographique à la Faculté de Médecine de Bordeaux.

3^e ÉDITION COMPLÈTEMENT REFOUDUE ET CONSIDÉRABLEMENT AUGMENTÉE.

Petit in-8, avec 63 figures; 1899..... 2 fr. 75 c.

TRAITÉ PRATIQUE DES TIRAGES PHOTOGRAPHIQUES,

Par Ch. SOLLET.

Volume in-16 raisin de vi-240 pages; 1902..... 4 fr.

LA PHOTOGRAPHIE ANIMÉE,

Par E. TRUTAT,

Avec une Préface de M. MAREY.

Un volume grand in-8, avec 146 figures et 1 planche; 1899..... 5 fr.

ESTHÉTIQUE DE LA PHOTOGRAPHIE.

Un volume de grand luxe in-4 raisin, avec 14 planches et 150 figures. 16 fr.

**TRAITÉ PRATIQUE
DE PHOTOGRAVURE EN RELIEF ET EN CREUX,**

Par Léon VIDAL.

In-18 jésus de xiv-445 p. avec 65 figures et 6 planches; 1900..... 6 fr. 50 c.

32406. — Paris, Imp. Gauthier-Villars, 55, quai des Grands-Augustins.

MASSON & C^{ie}, Éditeurs
LIBRAIRES DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE
120, Boulevard Saint-Germain, Paris (6^e)
P. n^o 301.

EXTRAIT DU CATALOGUE (1)
(Septembre 1902)

La Pratique Dermatologique

Traité de Dermatologie appliquée

Publié sous la direction de MM

ERNEST BESNIER, L. BROCCQ, L. JACQUET

Par MM. AUDRY, BALZER, BARBE, BAROZZI, BARTHÉLEMY, BENARD, ERNEST BESNIER
BODIN, BROCCQ, DE BRUN, DU CASTEL, J. DARIER
DEHU, DOMINICI, W. DUBREUILH, HUDELO, L. JACQUET, J.-B. LAFFITTE
LENGLET, LEREDDE, MERKLEN, PERRIN
RAYNAUD, RIST, SABOURAUD, MARCEL SÉE, GEORGES THIBIERGE, VEYRIÈRES

4 forts volumes richement cartonnés toile, très largement illustrés de figures en noir et de planches en couleurs. En souscription jusqu'à la publication du tome IV 150 fr.

TOME I. 1 fort vol. gr. in-8^o avec 230 fig. en noir et 24 pl. en coul. 36 fr.

Anatomie et Physiologie de la Peau. — Pathologie générale de la Peau. — Symptomatologie générale des Dermatoses. — Acanthosis Nigricans. — Acnés. — Actinomycose. — Adénomes. — Alopecies. — Anesthésie locale. — Balanites. — Bouton d'Orient. — Brûlures. — Charbon. — Classifications dermatologiques. — Dermatitis polymorphes douloureuses. — Dermatophytes. — Dermatozoaires. — Dermites infantiles simples. — Ecthyma.

TOME II. 1 fort vol. gr. in-8^o avec 168 fig. en noir et 21 pl. en coul. 40 fr.

Eczéma. — Electricité. — Eléphantiasis. — Epithélioma. — Eruptions artificielles. — Erythème. — Erythrasma. — Erythrodermes. — Esthiomène. — Favus. — Folliculites. — Furonculose. — Gale. — Gangrène cutanée. — Gerçures. — Greffe. — Hématodermite. — Herpès. — Hydroa vacciniforme. — Ichtyose. — Impétigo. — Kératodermie. — Kératose pileaire. — Langue.

TOME III. 1 fort vol. gr. in-8^o avec 201 fig. en noir et 19 pl. en coul. 40 fr.

Lèpre. — Lichen. — Lupus. — Lymphadénie cutanée. — Lymphangiome. — Madura (pied de). — Mélanodermies. — Milium et pseudo-Milium. — Molluscum contagiosum. — Morve et Farcin. — Mycosis fongoide. — Nævi. — Nodosités cutanées. — Œdème. — Ongles. — Maladie de Paget. — Papillomes. — Pelade. — Pellagre. — Pemphigus. — Perlèche. — Phtiriase. — Pian. — Pityriasis, etc.

Sous presse : TOME IV

(1) La librairie envoie gratuitement et franc de port les catalogues suivants à toutes les personnes qui lui en font la demande. — Catalogue général. — Catalogues de l'Encyclopédie scientifique des Aide-Mémoire : I. Section de l'ingénieur. II. Section du biologiste. — Catalogue des ouvrages d'enseignement.

Traité de Chirurgie

PUBLIÉ SOUS LA DIRECTION DE MM.

Simon DUPLAY

Professeur à la Faculté de médecine
Chirurgien de l'Hôtel-Dieu
Membre de l'Académie de médecine

Paul RECLUS

Professeur agrégé à la Faculté de médecine
Chirurgien des hôpitaux
Membre de l'Académie de médecine

PAR MM.

BERGER, BROCA, PIERRE DELBET, DELENS, DEMOULIN, J.-L. FAURE FORGUE, GERARD MARCHANT, HARTMANN, HEYDENREICH, JALAGUIER KIRMISSON, LAGRANGE, LEJARS, MICHAUX, NÉLATON, PEYROT PONCET, QUÉNU, RICARD, RIEFFEL, SEGOND, TUFFIER, WALTHER

Ouvrage complet

DEUXIÈME ÉDITION ENTIÈREMENT REFOUNDUE

8 vol. gr. in-8° avec nombreuses figures dans le texte. 150 fr.

TOME I. — 1 vol. grand in-8° de 912 pages avec 218 figures 18 fr.

RECLUS. — Inflammations, traumatismes, maladies virulentes.
BROCA. — Peau et tissu cellulaire sous-cutané.

QUÉNU. — Des tumeurs.
LEJARS. — Lymphatiques, muscles, synoviales tendineuses et bourses séreuses.

TOME II. — 1 vol. grand in-8° de 996 pages avec 361 figures 18 fr.

LEJARS. — Nerfs.
MICHAUX. — Artères.
QUÉNU. — Maladies des veines.

RICARD et DEMOULIN. — Lésions traumatiques des os.
PONCET. — Affections non traumatiques des os.

TOME III. — 1 vol. grand in-8° de 940 pages avec 285 figures 18 fr.

NÉLATON. — Traumatismes, entorses, luxations, plaies articulaires.
QUÉNU. — Arthropathies, arthrites sèches, corps étrangers articulaires.

LAGRANGE. — Arthrites infectieuses et inflammatoires.
GERARD MARCHANT. — Crâne.
KIRMISSON. — Rachis.
S. DUPLAY. — Oreilles et annexes.

TOME IV. — 1 vol. grand in-8° de 896 pages avec 354 figures 18 fr.

DELENS. — L'œil et ses annexes.
GERARD MARCHANT. — Nez, fosses

nasales, pharynx nasal et sinus.
HEYDENREICH. — Mâchoires.

TOME V. — 1 vol. grand in-8° de 948 pages avec 187 figures 20 fr.

BROCA. — Face et cou. Lèvres, cavité buccale, gencives, palais, langue, larynx, corps thyroïde.
HARTMANN. — Planche buccal, glandes

des salivaires, œsophage et pharynx.
WALTHER. — Maladies du cou.
PEYROT. — Poitrine.
PIERRE DELBET. — Mamelle.

TOME VI. — 1 vol. grand in-8° de 1127 pages avec 218 figures 20 fr.

MICHAUX. — Parois de l'abdomen.
BERGER. — Hernies.
JALAGUIER. — Contusions et plaies de l'abdomen, lésions traumatiques et corps étrangers de l'estomac et de l'intestin. Occlusion intestinale, péritonites, appendicite.

HARTMANN. — Estomac.
FAURE et RIEFFEL. — Rectum et anus.
HARTMANN et GOSSET. — Anus contre nature. Fistules stercorales.
QUÉNU. — Mésentère. Rate. Pancréas.
SEGOND. — Foie.

TOME VII. — 1 fort vol. gr. in-8° de 1272 pages, 297 fig. dans le texte 25 fr.

WALTHER. — Bassin.
FORGUE. — Urètre et prostate.
RECLUS. — Organes génitaux de l'homme.

RIEFFEL. — Affections congénitales de la région sacro-coccygienne.
TUFFIER. — Rein. Vessie. Urètres. Capsules surrénales.

TOME VIII. 1 fort vol. gr. in-8° de 971 pages, 163 fig. dans le texte 20 fr.

MICHAUX. — Vulve et vagin.
PIERRE DELBET. — Maladies de l'utérus.
SEGOND. — Annexes de l'utérus,

ovaires, trompes, ligaments larges, péritoine pelvien.
KIRMISSON. — Maladies des membres.

Traité d'Anatomie Humaine

PUBLIÉ SOUS LA DIRECTION DE

P. POIRIER

Professeur agrégé
à la Faculté de Médecine de Paris
Chirurgien des Hôpitaux.

A. CHARPY

Professeur d'anatomie
à la Faculté de Médecine
de Toulouse.

AVEC LA COLLABORATION DE MM.

O. Amoêdo — A. Branca — Cannieu — B. Cunéo — G. Delamare
Paul Delbet — P. Fredet — Glantenay — Gosset
P. Jacques — Th. Jonnesco — E. Laguesse — L. Manouvrier — A. Nicolas
Nobécourt — O. Pasteau — M. Picou
A. Prenant — H. Rieffel — Ch. Simon — A. Soulié

5 volumes grand in-8°. *En souscription* : 150 fr.

Chaque volume est illustré de nombreuses figures en noir et en couleurs.

ÉTAT DE LA PUBLICATION (SEPTEMBRE 1902)

- TOME PREMIER** (*Deuxième édition, entièrement refondue*). — **Embryologie**. Notions d'embryologie. — **Ostéologie**. Considérations générales, des membres, squelette du tronc, squelette de la tête. — **Arthrologie**. Développement des articulations, structure, articulations des membres, articulations du tronc, articulations de la tête. 1 vol. gr. in-8° avec 807 figures. 20 fr.
- TOME II** (*Deuxième édition, entièrement refondue*). — 1^{er} Fascicule : **Myologie**. Embryologie, histologie, peauciers et aponévroses. 1 vol. gr. in-8° avec 331 figures. 12 fr.
- 2^e Fascicule (*Deuxième édition, entièrement refondue*) : **Angéiologie**. Cœur et Artères. Histologie. 1 vol. gr. in-8° avec 150 figures. 8 fr.
- 3^e Fascicule : **Angéiologie** (*Capillaires, Veines*). 1 vol. gr. in-8° avec 75 figures. 6 fr.
- 4^e Fascicule : **Les Lymphatiques**. 1 vol. gr. in-8° avec 117 fig. 8 fr.
- TOME III** (*Deuxième édition, entièrement refondue*). — 1^{er} Fascicule : **Système nerveux**. Méninges, moelle, encéphale, embryologie, histologie. 1 vol. gr. in-8° avec 265 figures. 10 fr.
- 2^e Fascicule (*Deuxième édition, entièrement refondue*) : **Système nerveux**. Encéphale. 1 vol. grand in-8° avec 131 figures. 10 fr.
- 3^e Fascicule : **Système nerveux**. Les nerfs, nerfs craniens, nerfs rachidiens. 1 vol. gr. in-8° avec 205 figures. 12 fr.
- TOME IV**. — 1^{er} Fascicule (*Deuxième édition, entièrement refondue*) : **Tube digestif**. Développement, bouche, pharynx, œsophage, estomac, intestins. 1 vol. gr. in-8°, avec 205 figures. 12 fr.
- 2^e Fascicule : **Appareil respiratoire**. Larynx, trachée, poumons, plèvre, thyroïde, thymus. 1 vol. gr. in-8°, avec 121 figures. 6 fr.
- 3^e Fascicule : **Annexes du tube digestif**. Dents, glandes salivaires, foie, voies biliaires; pancréas, rate, Péritoine. 1 vol. gr. in-8° avec 361 fig. en noir et en couleurs. 16 fr.
- TOME V**. — 1^{er} Fascicule : **Organes génito-urinaires**. Reins, urètre, vessie, urètre, prostate, verge, perinée, appareil génital de l'homme, appareil génital de la femme. 1 vol. gr. in-8° avec 431 figures. 20 fr.
- 2^e Fascicule : **Les Organes des Sens** (sous presse).

CHARCOT — BOUCHARD — BRISSAUD

BARINSKI, BALLEZ, P. BLOCQ, BOIX, BRAULT, CHANTEMESSE, CHARRIN, CHAUFFARD, COURTOIS-SUFFIT, DUTIL, GILBERT, GUIGNARD, L. GUINON, G. GUINON, HALLON, LAMY, LE GENDRE, MARFAN, MARIE, MATHIEU, NETTER, OETTINGER, ANDRÉ PETIT, RICHARDIÈRE, ROGER, RUAULT, SOUQUES, THIBIERGE, THOINOT, FERNAND WIDAL.

Traité de Médecine

DEUXIÈME ÉDITION

PUBLIÉ SOUS LA DIRECTION DE MM.

BOUCHARD

Professeur à la Faculté de médecine
de Paris,
Membre de l'Institut.

BRISSAUD

Professeur à la Faculté de médecine
de Paris,
Médecin de l'hôpital Saint-Antoine.

10 vol. gr. in-8°, av. fig. dans le texte. *En souscription.* 150 fr.

TOME I^{er}

1 vol. gr. in-8° de 845 pages, avec figures dans le texte. 16 fr.

Les Bactéries, par L. GUIGNARD, membre de l'Institut et de l'Académie de médecine, professeur à l'École de Pharmacie de Paris. — **Pathologie générale infectieuse**, par A. CHARRIN, professeur remplaçant au Collège de France, directeur du laboratoire de médecine expérimentale, médecin des hôpitaux. — **Troubles et maladies de la Nutrition**, par PAUL LE GENDRE, médecin de l'hôpital Tenon. — **Maladies infectieuses communes à l'homme et aux animaux**, par G. -H. ROGER, professeur agrégé, médecin de l'hôpital de la Porte-d'Aubervilliers.

TOME II

1 vol. grand in-8° de 894 pages avec figures dans le texte. 16 fr.

Fièvre typhoïde, par A. CHANTEMESSE, professeur à la Faculté de médecine de Paris, médecin des hôpitaux. — **Maladies infectieuses**, par F. WIDAL, professeur agrégé, médecin des hôpitaux de Paris. — **Typhus exanthématique**, par L.-H. THOINOT, professeur agrégé, médecin des hôpitaux de Paris. — **Fièvres éruptives**, par L. GUINON, médecin des hôpitaux de Paris. — **Erysipèle**, par E. BOIX, chef de laboratoire à la Faculté. — **Diptérie**, par A. RUAULT. — **Rhumatisme**, par OETTINGER, médecin des hôpitaux de Paris. — **Scorbut**, par TOLLEMER, ancien interne des hôpitaux.

TOME III

1 vol. grand in-8° de 702 pages avec figures dans le texte. 16 fr.

Maladies cutanées, par G. THIBIERGE, médecin de l'hôpital de la Pitié. — **Maladies vénériennes**, par G. THIBIERGE. — **Maladies du sang**, par A. GILBERT, professeur agrégé, médecin des hôpitaux de Paris. — **Intoxications**, par A. RICHARDIÈRE, médecin des hôpitaux de Paris.

TOME IV

1 vol. grand in-8° de 680 pages avec figures dans le texte. 16 fr.

Maladies de la bouche et du pharynx, par A. RUAULT. — **Maladies de l'estomac**, par A. MATHIEU, médecin de l'hôpital Andral. — **Maladies du pancréas**, par A. MATHIEU. — **Maladies de l'intestin**, par COURTOIS-SUFFIT, médecin des hôpitaux. — **Maladies du péritoine**, par COURTOIS-SUFFIT.

TOME V

1 vol. gr. in-8° avec fig. en noir et en coul. dans le texte. 18 fr.

Maladies du foie et des voies biliaires, par A. CHAUFFARD, professeur agrégé, médecin des hôpitaux. — **Maladies du rein et des capsules surrénales**, par A. BRAULT, médecin des hôpitaux. — **Pathologie des organes hématopoïétiques et des glandes vasculaires sanguines**, par G.-H. ROGER, professeur agrégé, médecin de l'hôpital de la Porte-d'Aubervilliers.

TOME VI

1 vol. grand in-8° de 612 pages avec figures dans le texte. 14 fr.

Maladies du nez et du larynx, par A. RUAULT. — **Asthme**, par E. BRISAUD, professeur à la Faculté de médecine de Paris, médecin de l'hôpital Saint-Antoine. — **Coqueluche**, par P. LE GENDRE, médecin des hôpitaux. — **Maladies des bronches**, par A.-B. MARFAN, professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris, médecin des hôpitaux. — **Troubles de la circulation pulmonaire**, par A.-B. MARFAN. — **Maladies aiguës du poumon**, par NETTER, professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris, médecin des hôpitaux.

TOME VII

1 vol. grand in-8° de 550 pages avec figures dans le texte. 14 fr.

Maladies chroniques du poumon, par A.-B. MARFAN, professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris, médecin des hôpitaux. — **Phtisie pulmonaire**, par A.-B. MARFAN. — **Maladies de la plèvre**, par NETTER, professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris, médecin des hôpitaux. — **Maladies du médiastin**, par A.-B. MARFAN.

TOME VIII

1 vol. grand in-8° de 580 pages avec figures dans le texte. 14 fr.

Maladies du cœur, par ANDRÉ PETIT, médecin des hôpitaux. — **Maladies des vaisseaux sanguins**, par W. CERTINGER, médecin des hôpitaux.

Traité de Physiologie

J.-P. MORAT

Professeur à l'Université de Lyon.

PAR

Maurice DOYON

Professeur agrégé
à la Faculté de médecine de Lyon

5 vol. gr. in-8° avec fig. en noir et en couleurs. En souscription. 55 fr.

- I. — **Fonctions d'innervation**, par J.-P. MORAT. 1 vol. gr. in-8°, avec 263 figures noires et en couleurs. 15 fr.
 II. — **Fonctions de nutrition** : Circulation, par M. DOYON; Calorification, par P. MORAT. 1 vol. gr. in-8° avec 173 figures en noir et en couleurs. 42 fr.
 III. — **Fonctions de nutrition (suite et fin)** : Respiration, excrétion, par J.-P. MORAT; Digestion, Absorption, par M. DOYON. 1 vol. gr. in-8°, avec 167 figures en noir et en couleurs. 12 fr.

Traité des Maladies de l'Enfance

PUBLIÉ SOUS LA DIRECTION DE MM.

J. GRANCHER

Professeur à la Faculté de médecine de Paris.
Membre de l'Académie de médecine, médecin de l'hôpital des Enfants-Malades.

J. COMBY
Médecin des hôpitaux.

A.-B. MARFAN
Agrégré, Médecin des hôpitaux.

5 vol. grand in-8° avec figures dans le texte. . 90 fr.

CHAQUE VOLUME EST VENDU SÉPARÉMENT

Traité de Pathologie générale

Publié par **Ch. BOUCHARD**

Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté de Médecine de Paris.

SECRÉTAIRE DE LA RÉDACTION : **G.-H. ROGER**

Professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris, Médecin des hôpitaux.

COLLABORATEURS :

MM. ARNOZAN, D'ARSONVAL, BENNI, R. BLANCHARD, BOULAY, BOURCY, BRUN, CADIOT, CHARRIÉ, CHANTERMESSE, CHARRIN, CHAUFFARD, COURMONT, DEJERINE, PIERRE DELBET, DEVIC, DUCAMP, MATHIAS DUVAL, FÉRÉ, FRÉMY, GAUCHEB, GILBERT, GLEY, GUIGNARD, LOUIS GUINON, J.-F. GUYON, HALLÉ, HÉNOQUE, HUGOUNENQ, LAMBLING, LANDOUZY, LAVERAN, LEBRETON, LE GENDRE, LEJARS, LE NOIR, LERMOYER, LETULLE, LUBET-BARRON, MARFAN, MAYOR, MÉNÉTRIER, NETTER, PIERRET, G.-H. ROGER, GABRIEL ROUX, RUFFER, RAYMOND, TRAPIER, VUILLEMIN, FERNAND WIDAL.

6 volumes, en souscription jusqu'à la publication du tome VI. 120 fr.

TOME I

1 vol. grand in-8^o de 1018 pages avec figures dans le texte : 18 fr.

Introduction à l'étude de la pathologie générale. — Pathologie comparée de l'homme et des animaux. — Considérations générales sur les maladies des végétaux. — Pathologie générale de l'embryon. Tératogénie. — L'hérédité et la pathologie générale. — Predisposition et immunité. — La fatigue et le surmenage. — Les Agents mécaniques. — Les Agents physiques. Chaleur. Froid. Lumière. Pression atmosphérique. Son. — Les Agents physiques. L'énergie électrique et la matière vivante. — Les Agents chimiques : les caustiques. — Les intoxications.

TOME II

1 vol. grand in-8^o de 940 pages avec figures dans le texte : 18 fr.

L'infection. — Notions générales de morphologie bactériologique. — Notions de chimie bactériologique. — Les microbes pathogènes. — Le sol, l'eau et l'air, agents des maladies infectieuses. — Des maladies épidémiques. — Sur les parasites des tumeurs épithéliales malignes. — Les parasites.

TOME III

1 vol. in-8^o de 1400 pages, avec figures dans le texte, publié en deux fascicules : 28 fr.

Fasc. I. — Notions générales sur la nutrition à l'état normal. — Les troubles préalables de la nutrition. — Les réactions nerveuses. — Les processus pathogéniques de deuxième ordre.

Fasc. II. — Considérations préliminaires sur la physiologie et l'anatomie pathologiques. — De la fièvre. — L'hypothermie. — Mécanisme physiologique des troubles vasculaires. — Les désordres de la circulation dans les maladies. — Thrombose et embolie. — De l'inflammation — Anatomie pathologique générale des lésions inflammatoires. — Les altérations anatomiques non inflammatoires. — Les tumeurs.

TOME IV

1 vol. in-8^o de 719 pages avec figures dans le texte : 16 fr.

Evolution des maladies. — Séméiologie du sang. — Spectroscopie du sang. Séméiologie. — Séméiologie du cœur et des vaisseaux. — Séméiologie du nez et du pharynx nasal. — Séméiologie du larynx. — Séméiologie des voies respiratoires. — Séméiologie générale du tube digestif.

TOME V

1 fort vol. in-8^o de 1180 pages avec nombr. figures dans le texte : 28 fr.

Séméiologie du foie. — Pancréas. — Analyse chimique des urines. — Analyse microscopique des urines (Histo-bactériologique). — Le rein, l'urine et l'organisme. — Séméiologie des organes génitaux. — Séméiologie du système nerveux.

TOME VI

1 vol. grand in-8° avec figures dans le texte (sous presse)

Les troubles de l'intelligence. — Sémiologie de la peau. — Sémiologie de l'appareil visuel. — Sémiologie de l'appareil auditif. — Considérations générales sur le diagnostic et le pronostic. — Diagnostic des maladies infectieuses par les méthodes de laboratoire. — Cyto-diagnostic des épanchements séro-fibrineux. — Ponction lombaire. — Applications cliniques de la cryoscopie. — De l'élimination provoquée comme méthode du diagnostic. — Les rayons de Röntgen et leurs applications médicales. — Thérapeutique générale. — Hygiène.

Traité de Physique Biologique

publié sous la direction de MM.

D'ARSONVAL
Professeur au Collège de France
Membre de l'Institut et de l'Académie
de médecine.

GARIEL
Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées
Prof. à la Faculté de médecine de Paris
Membre de l'Académie de médecine.

CHAUVEAU
Profes. au Muséum d'histoire naturelle
Membre de l'Institut
et de l'Académie de médecine.

MAREY
Professeur au Collège de France
Membre de l'Institut
et de l'Académie de médecine.

Secrétaire de la rédaction : M. WEISS

Ingénieur des Ponts et Chaussées
Professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris

3 vol. in-8°. En souscription 60 fr.

TOME PREMIER. 1 fort vol. in-8°, avec 591 figures dans le texte. . 25 fr.

Sous Presse : Tome II

L'ŒUVRE MÉDICO-CHIRURGICAL

D^r CRITZMAN, directeur

Suite de Monographies cliniques

SUR LES QUESTIONS NOUVELLES

en Médecine, en Chirurgie et en Biologie

Chaque monographie est vendue séparément. 1 fr. 25

Il est accepté des abonnements pour une série de 10 Monographies au prix payable d'avance de 10 fr. pour la France et 12 fr. pour l'étranger (port compris).

DERNIÈRES MONOGRAPHIES PUBLIÉES

N° 27. **Traitements modernes de l'Hypertrophie de la Prostata.** par le D^r E. DESNOS, ancien interne des hôpitaux.

N° 28. **La Gastro-entérostomie,** par MM. ROUX et BOURGET, professeurs de l'Université à Lausanne.

N° 29. **Les Ponctions rachidiennes accidentelles et les complications des plates pénétrantes du rachis par armes blanches sans lésions de la moelle,** par le D^r E. MATHIEU, médecin inspecteur de l'armée, ancien directeur et professeur au Val-de-Grâce.

N° 30. **Le Ganglion Lymphatique,** par HENRI DOMINICI.

Traité de Technique opératoire

CH. MONOD

Professeur agrégé à la Faculté
de médecine de Paris
Chirurgien de l'Hôpital Saint-Antoine
Membre de l'Académie de médecine

PAR

J. VANVERTS

Ancien interne lauréat des Hôpitaux
de Paris
Chef de clinique à la Faculté
de médecine de Lille

2 forts vol. gr. in-8^o, avec très nombreuses figures dans le texte.
En souscription. . . 35 fr.

Les Difformités acquises de l'Appareil locomoteur

PENDANT L'ENFANCE ET L'ADOLESCENCE

Par le Dr E. KIRMISSON

Professeur de Clinique chirurgicale infantile à la Faculté de médecine
Chirurgien de l'hôpital Trousseau

1 vol. in-8^o avec 430 figures dans le texte. . . 15 fr.

Ce volume fait suite au **Traité des Maladies chirurgicales d'origine congénitale** (312 figures et 2 planches en couleurs). *Publié en 1898. . . 15 fr.*
Ces deux ouvrages constituent un véritable traité de Chirurgie orthopédique.

Traité d'Hygiène

Par A. PROUST

Professeur d'Hygiène à la Faculté de Paris, Membre de l'Académie de médecine
Inspecteur général des Services sanitaires.

Troisième édition revue et considérablement augmentée

AVEC LA COLLABORATION DE

A. NETTER

et

H. BOURGES

Agrégé
Médecin de l'hôpital Trousseau

Chef du laboratoire d'hygiène
à la Faculté de médecine

Ouvrage couronné par l'Institut et la Faculté de médecine

1 vol. in-8^o, avec fig. et cartes pub. en 2 fasc. En souscription.. 18 fr.

Traité de Chirurgie d'urgence

Par Félix LEJARS

Professeur agrégé, Chirurgien de l'hôpital Tenon.

TROISIÈME ÉDITION, REVUE ET AUGMENTÉE

1 vol. gr. in-8^o de 1005 pages, avec 731 fig. dont 351 dessinées d'après nature, par le Dr DALBINK, et 172 photogr. origio. Relié toile. 25 fr.

Manuel de Pathologie externe, par MM. RECLUS, KIR-
 MISSON, PEYROT, BOUILLY, professeurs agrégés à la Faculté de
 médecine de Paris, chirurgiens des hôpitaux. Édition complète
 illustrée de 720 figures. 4 volumes in-8°. 40 fr.
Chaque volume est vendu séparément. 10 fr.

Manuel pratique du Traitement de la Diphtérie
 (Sérothérapie, Tubage, Trachéotomie), par M. DEGUY, chef
 du laboratoire de la Faculté à l'hôpital des Enfants, et Benjamin
 WEILL, moniteur de tubage et de trachéotomie à l'hôpital des
 Enfants-Malades. Introduction par A.-B. MARFAN, professeur agrégé,
 médecin de l'hôpital des Enfants-Malades. 1 vol. in-8° broché, avec
 figures et photographies dans le texte 6 fr.

Les Maladies infectieuses, par G.-H. ROGER, professeur
 agrégé, médecin de l'hôpital de la Porte-d'Aubervilliers. 1 vol. in-8°
 de 1520 pages publié en 2 fascicules avec figures 28 fr.

Précis d'Histologie, par Mathias DUVAL, professeur à la
 Faculté de médecine de Paris, membre de l'Académie de médecine.
Deuxième édition, revue et augmentée, illustrée de 427 figures dans
 le texte. 1 vol. gr. in-8° de 1020 pages 18 fr.

Traité élémentaire de Clinique thérapeutique,
 par le Dr Gaston LYON, ancien chef de clinique médicale à la
 Faculté de médecine de Paris. *Quatrième édition revue et augmentée*.
 1 fort volume in-8° de 1540 pages, cartonné toile. 25 fr.

Les Maladies du cuir chevelu. — I. Maladies sébor-
 rhéiques : **Séborrhée, Acnés, Calvitie**, par le Dr R. SA-
 BOURAUD, chef du laboratoire de la Ville de Paris à l'hôpital Saint-
 Louis, membre de la Société de Dermatologie. 1 volume in-8°, avec
 91 figures dans le texte dont 40 aquarelles en couleurs . . . 10 fr.

Nouveaux procédés d'Exploration. *Leçons de Patholo-
 gie générale, professées à la Faculté de médecine par Ch. ACHARD,*
 agrégé, médecin de l'hôpital Tenon, recueillies et rédigées par
 MM. P. SAINTON et LÉPER. 1 vol. in-8°, avec figures en noir et
 en couleurs 8 fr.

Les Tics et leur traitement, par Henry MEIGE et E. FEIN-
 DEL. Préface de M. le Professeur BRISSAUD. 1 vol. in-8° de
 640 pages 6 fr.

Bibliothèque Diamant

des Sciences médicales et biologiques

Cette collection est publiée dans le format in-16 raisin, avec nombreuses figures dans le texte, cartonnage à l'anglaise, tranches rouges.

Sous presse

Manuel de Bactériologie médicale, par le D^r BERLIOZ, professeur à l'École de médecine de Grenoble. 1 vol.

Derniers volumes publiés dans la Collection

Manuel de Diagnostic médical et d'Exploration clinique, par P. SPILLMANN, professeur à la Faculté de médecine de Nancy, et P. HAUSHALTER, professeur agrégé. *Quatrième édition entièrement refondue.* 1 vol. avec 89 figures. 6 fr.

Précis de Microbie. *Technique et microbes pathogènes*, par M. le D^r L.-H. THOINOT, professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris, et E.-J. MASSELIN, médecin-vétérinaire. Ouvrage couronné par la Faculté de médecine. *Quatrième édition entièrement refondue.* 1 volume, avec figures en noir et en couleurs. . . 8 fr.

Éléments de Physiologie, par Maurice ARTHUS, chef de laboratoire à l'Institut Pasteur de Lille. 1 vol., avec figures. 8 fr.

Manuel de Thérapeutique, par le D^r BERLIOZ, professeur à l'École de médecine de Grenoble, avec préface du Professeur BOUCHARD. *Quatrième édition revue et augmentée.* 1 vol. . 6 fr.

Manuel de Pathologie interne, par G. DIEULAFOY, professeur à la Faculté de médecine de Paris. *Treizième édition entièrement refondue et augmentée.* 4 vol. avec fig. en n. et en coul. 28 fr.

Manuel d'Anatomie microscopique et d'Histologie, par M. P.-E. LAUNOIS, professeur agrégé à la Faculté de médecine. Préface de M. le Professeur Mathias DUVAL. *Deuxième édition entièrement refondue.* 1 volume avec 261 figures 8 fr.

Éléments de Chimie physiologique, par Maurice ARTHUS, professeur à l'Université de Fribourg (Suisse). *Quatrième édition revue et corrigée.* 1 volume, avec figures 5 fr.

Précis de Bactériologie clinique, par le D^r R. WURTZ, professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris. *Deuxième édition revue et augmentée.* 1 volume, avec tableaux et figures. 6 fr.

Précis d'Anatomie pathologique, par M. L. BARD, professeur à la Faculté de médecine de Lyon. *Deuxième édition revue et augmentée.* 1 volume, avec 125 figures 7 fr. 50

Bibliothèque

d'Hygiène thérapeutique

DIRIGÉE PAR

Le Professeur PROUST

Membre de l'Académie de médecine, Médecin de l'Hôtel-Dieu,
Inspecteur général des Services sanitaires.

Chaque ouvrage forme un volume in-16, cartonné toile, tranches rouges,
et est vendu séparément : 4 fr.

Chacun des volumes de cette collection n'est consacré qu'à une seule maladie ou à un seul groupe de maladies. Grâce à leur format, ils sont d'un maniement commode. D'un autre côté, en accordant un volume spécial à chacun des grands sujets d'hygiène thérapeutique, il a été facile de donner à leur développement toute l'étendue nécessaire.

VOLUMES PARUS

- L'Hygiène du Goutteux**, par le professeur PROUST et A. MATHIEU, médecin de l'hôpital Andral.
- L'Hygiène de l'Obèse**, par le professeur PROUST et A. MATHIEU, médecin de l'hôpital Andral.
- L'Hygiène des Asthmatiques**, par E. BRISSAUD, professeur agrégé, médecin de l'hôpital Saint-Antoine.
- L'Hygiène du Syphilitique**, par H. BOURGES, préparateur au laboratoire d'hygiène de la Faculté de médecine.
- Hygiène et thérapeutique thermales**, par G. DELFAU, ancien interne des hôpitaux de Paris.
- Les Cures thermales**, par G. DELFAU, ancien interne des hôpitaux de Paris.
- L'Hygiène du Neurasthénique**, par le professeur PROUST et G. BALLEZ, professeur agrégé, médecin des hôpitaux de Paris. (*Deuxième édition.*)
- L'Hygiène des Albuminuriques**, par le Dr SPRINGER, ancien interne des hôpitaux de Paris, chef de laboratoire de la Faculté de médecine à la Clinique médicale de l'hôpital de la Charité.
- L'Hygiène du Tuberculeux**, par le Dr CHUQUET, ancien interne des hôpitaux de Paris, avec une introduction du Dr DAREMBERG, membre correspondant de l'Académie de médecine.
- Hygiène et thérapeutique des maladies de la Bouche**, par le Dr CRUET, dentiste des hôpitaux de Paris, avec une préface de M. le professeur LANNELONGUE, membre de l'Institut.
- Hygiène des maladies du Cœur**, par le Dr VAQUEZ, professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris, médecin des hôpitaux, avec une préface du professeur POTAIN.
- Hygiène du Diabétique**, par A. PROUST et A. MATHIEU.
- L'Hygiène du Dyspeptique**, par le Dr LINOSSIER, professeur agrégé à la Faculté de médecine de Lyon, membre correspondant de l'Académie de médecine, médecin à Vichy.

Sous presse :

Hygiène du Larynx, du Nez et des Oreilles, par M. le Dr LUBIT BARBON.

Traité

DE

Chimie industrielle

Par R. WAGNER et F. FISCHER

QUATRIÈME ÉDITION FRANÇAISE ENTIÈREMENT REFOUDUE

Rédigée d'après la quinzième édition allemande

par le D^r L. GAUTIER

2 vol. grand in-8° avec de nombreuses figures dans le texte

En souscription. 30 fr.

A l'apparition du Tome II, le prix de l'ouvrage sera porté à 35 francs.

Dans cette quatrième édition, l'ouvrage a subi un remaniement si complet et si profond qu'on peut le considérer comme un livre nouveau, absolument au niveau des progrès de la science et répondant de la manière la plus complète aux besoins de l'industrie chimique actuelle. Tous les perfectionnements de la chimie technologique y sont exposés avec tous les développements qu'ils comportent et afin de rendre encore plus facile l'intelligence du texte, de nombreuses figures nouvelles ont été introduites.

Ainsi refondue et mise au courant, nous espérons que la nouvelle édition française de la *Chimie industrielle* recevra de la part du public un accueil aussi favorable que celui qui a été fait aux éditions précédentes.

Le Constructeur, principes, formules, tracés, tables et renseignements pour l'établissement des *projets de machines* à l'usage des ingénieurs, constructeurs, architectes, mécaniciens, etc., par **F. Reuleaux**. *Troisième édition française*, par **A. Debize**, ingénieur des manufactures de l'État. 1 volume in-8° avec 184 figures. 30 fr.

Traité d'analyse chimique qualitative, par **R. Frésenius**. Traité des opérations chimiques, des réactifs et de leur action sur les corps les plus répandus, essais au chalumeau, analyse des eaux potables, des eaux minérales, du sol, des engrais, etc. Recherches chimico-légales, analyse spectrale. *Dixième édition française* d'après la 16^e édition allemande, par **L. Gautier**. 1 vol. in-8° avec grav. et un tableau chromolithographique 7 fr.

Traité d'analyse chimique quantitative, par **R. Frésenius**. Traité du dosage et de la séparation des corps simples et composés les plus usités en pharmacie, dans les arts et en agriculture, analyse par les liqueurs titrées, analyse des eaux minérales, des cendres végétales, des sols, des engrais, des minerais métalliques, des fontes, dosage des sucres, alcalimétrie, chlorométrie, etc. *Septième édition française*, traduite sur la 6^e édition allemande, par **L. Gautier**. 1 vol. in-8° avec 251 grav. dans le texte . . . 16 fr.

Traité d'Analyse chimique quantitative par Electrolyse, par **J. RIBAN**, professeur Chargé du cours d'Analyse chimique et maître de Conférences à la Faculté des Sciences de l'Université de Paris. 1 volume grand in-8°, avec 96 figures dans le texte 9 fr.

Manuel pratique de l'Analyse des Alcools et des Spiritueux, par **Charles GIRARD**, directeur du Laboratoire municipal de la Ville de Paris, et **Lucien CUNIASSE**, chimiste-expert de la Ville de Paris. 1 volume in-8° avec figures et tableaux dans le texte. Relié toile 7 fr.

Chimie Végétale et Agricole (*Station de Chimie végétale de Meudon, 1883-1889*), par **M. BERTHELOT**, sénateur, secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences, professeur au Collège de France. 4 volumes in-8° avec figures dans le texte . . . 36 fr.

Précis de Chimie analytique, Analyse qualitative, Analyse quantitative par liqueurs titrées, Analyse des gaz, Analyse organique élémentaire, Analyses et Dosages relatifs à la Chimie agricole, Analyse des vins, Essais des principaux minerais, par **J.-A. MULLER**, docteur ès sciences, professeur à l'École supérieure des Sciences d'Alger. 1 volume in-12, broché. 3 fr.

Précis de Géographie économique

PAR MM.

MARCEL DUBOIS
Professeur de Géographie coloniale
à la Faculté des Lettres de Paris

J.-G. KERGOMARD
Professeur agrégé d'Histoire
et Géographie au Lycée de Nantes

DEUXIÈME ÉDITION

entièrement refondue et mise au courant des dernières statistiques

AVEC LA COLLABORATION DE

M. Louis LAFFITTE
Professeur à l'École de Commerce de Nantes

1 vol. in-8°. 8 fr.

On vend séparément :

La France, l'Europe. 1 vol. 6 fr.
L'Asie, l'Océanie, l'Afrique et les Colonies. 1 vol. 4 fr.

Cette œuvre fera époque dans l'enseignement de la Géographie. Elle est la seule, à notre connaissance, en dehors des travaux suscités par la Société de Géographie commerciale, qui traite d'une façon principale cette branche de la géographie.
(*Bulletin de la Chambre de Commerce de Paris.*)

OUVRAGES DE M. A. DE LAPPARENT

Membre de l'Institut, professeur à l'École libre des Hautes-Études.

TRAITÉ DE GÉOLOGIE

QUATRIÈME ÉDITION ENTIÈREMENT REFONDUE ET CONSIDÉRABLEMENT AUGMENTÉE

3 vol. grand in-8°, avec nomb. fig. cartes et croquis . . . 35 fr.

- Abrégé de géologie.** *Quatrième édition, entièrement refondue.* 1 vol. in-16 de VIII-299 pages avec 141 gravures et une carte géologique de la France en chromolithographie, cartonné toile 3 fr.
- Notions générales sur l'écorce terrestre.** 1 vol. in-16 de 156 pages avec 33 figures, broché. 1 fr. 20
- La géologie en chemin de fer.** Description géologique du Bassin parisien et des régions adjacentes. 1 vol. in-18 de 608 pages, avec 3 cartes chromolithographiées, cartonné toile. 7 fr. 50
- Cours de minéralogie.** *Troisième édition, revue et augmentée.* 1 vol. grand in-8° de XX-703 pages avec 619 gravures dans le texte et une planche chromolithographiée. 15 fr.
- Précis de minéralogie.** *Troisième édition, revue et augmentée.* 1 vol. in-16 de XII-398 pages avec 235 gravures dans le texte et une planche chromolithographiée, cartonné toile. 5 fr.
- Leçons de géographie physique.** *Deuxième édition, revue et augmentée.* 1 vol. grand in-8° de XVI-718 pages avec 162 figures dans le texte et une planche en couleurs. 12 fr.
- Le siècle du Fer.** 1 vol. in-18 de 360 pages, broché 2 fr. 50

Guides du Touriste, du Naturaliste et de l'Archéologue

publiés sous la direction de M. Marcellin BOULE

Pour paraître en mai 1903 : **LA SAVOIE**

VOLUMES PUBLIÉS

- Le Cantal,** par M. BOULE, docteur ès sciences, et L. FARGES, archi-
viste-paléographe. 1 vol. avec 85 fig. et 2 cartes en coul.
- La Lozère,** par E. CORD, ingénieur-agronome, G. CORD, docteur en
droit, avec la collaboration de M. A. VIRÉ, docteur ès sciences.
1 vol. in-16 avec 87 fig. et 4 cartes en coul.
- Le Puy-de-Dôme et Vichy,** par M. BOULE, docteur ès
sciences, Ph. GLANGEAUD, maître de conférences à l'Université de
Clermont, G. ROUCHON, archiviste du Puy-de-Dôme, A. VERNIÈRE,
ancien président de l'Académie de Clermont. 1 vol. avec 109 figures
et 3 cartes en coul.
- La Haute-Savoie,** par MARC LE ROUX, conservateur du Musée
d'Annecy. 1 vol. avec 105 fig. et 3 cartes en couleurs.

Chaque volume in-16, relié toile anglaise 4 fr. 50

MISSION SAHARIENNE FOUREAU-LAMY

D'Alger au Congo par le Tchad

Par F. FOUREAU

Lauréat de l'Institut.

1 fort volume in-8°, avec 170 figures reproduites directement d'après les photographies de l'auteur, et une carte en couleurs des régions explorées par la Mission.

Broché : 12 francs. — Richement cartonné : 15 francs.

Traité de Zoologie

Par Edmond PERRIER

Membre de l'Institut et de l'Académie de médecine,
Directeur du Muséum d'Histoire Naturelle.

FASCICULE I : Zoologie générale. 1 vol. gr. in-8° de 412 p. avec 458 figures dans le texte.	12 fr.
FASCICULE II : Protozoaires et Phytozoaires. 1 vol. gr. in-8° de 452 p., avec 243 figures.	10 fr.
FASCICULE III : Arthropodes. 1 vol. gr. in-8° de 480 pages, avec 278 figures.	8 fr.
Ces trois fascicules réunis forment la première partie. 1 vol. in-8° de 1344 pages, avec 980 figures.	30 fr.
FASCICULE IV : Vers et Mollusques. 1 vol. gr. in-8° de 792 pages, avec 556 figures dans le texte.	16 fr.
FASCICULE V : Amphioxus, Tuniciers. 1 vol. gr. in-8° de 221 pages, avec 97 figures dans le texte.	6 fr.
FASCICULE VI : Vertébrés. (<i>Sous presse</i>).	

PETITE BIBLIOTHÈQUE DE " LA NATURE "

Recettes et Procédés utiles, recueillis par Gaston TISSANDIER, rédacteur en chef de *la Nature*. *Dixième édition*.

Recettes et Procédés utiles. *Deuxième série : La Science pratique*, par Gaston TISSANDIER. *Cinquième édition*, avec figures dans le texte.

Nouvelles Recettes utiles et Appareils pratiques. *Troisième série*, par Gaston TISSANDIER. *Quatrième édition*, avec 91 figures dans le texte.

Recettes et Procédés utiles. *Quatrième série*, par Gaston TISSANDIER. *Troisième édition*, avec 38 figures dans le texte.

Recettes et Procédés utiles. *Cinquième série*, par J. LAFFARGUE, secrétaire de la rédaction de *la Nature*. Avec figures dans le texte.

Chacun de ces volumes in-18 est vendu séparément

Broché 2 fr. 25 | Cartonné toile 3 fr.

La Physique sans appareils et la Chimie sans laboratoire, par Gaston TISSANDIER, rédacteur en chef de *la Nature*. *Septième édition des Récréations scientifiques*. *Ouvrage couronné par l'Académie (Prix Montyon)*. Un volume in-8° avec nombreuses figures dans le texte. Broché, 3 fr. Cartonné toile, 4 fr.

LA GÉOGRAPHIE

BULLETIN

DE LA

Société de Géographie

PUBLIÉ TOUS LES MOIS PAR

LE BARON HULOT, Secrétaire général de la Société
ET
M. CHARLES RABOT, Secrétaire de la Rédaction

ABONNEMENT ANNUEL : PARIS : 24 fr. — DÉPARTEMENTS : 26 fr.
ÉTRANGER : 28 fr. — Prix du numéro : 2 fr. 50

Chaque numéro, du format grand in-8°, composé de 80 pages et accompagné de cartes et de gravures nombreuses, comprend des mémoires, une chronique, une bibliographie et le compte rendu des séances de la Société de Géographie. Cette publication n'est pas seulement un recueil de récits de voyages pittoresques, mais d'observations et de renseignements scientifiques.

La chronique, rédigée par des spécialistes pour chaque partie du monde, constitue un résumé complet du *mouvement géographique* pour chaque mois.

La Nature

REVUE ILLUSTRÉE

des sciences et de leurs applications aux arts et à l'industrie

DIRECTEUR : **Henri de PARVILLE**

Abonnement annuel : Paris : 20 fr. — Départements : 25 fr. —
Union postale : 26 fr.

Abonnement de six mois : Paris : 10 fr. — Départements : 12 fr. 50.
— Union postale : 13 fr.

Fondée en 1873 par GASTON TISSANDIER, la *Nature* est aujourd'hui le plus important des journaux de vulgarisation scientifique par le nombre de ses abonnés, par la valeur de sa rédaction et par la sûreté de ses informations. Elle doit ce succès à la façon dont elle présente la science à ses lecteurs en lui ôtant son côté aride tout en lui laissant son côté exact, à ce qu'elle intéresse les savants et les érudits aussi bien que les jeunes gens et les personnes peu familiarisées avec les ouvrages techniques ; à ce qu'elle ne laisse, enfin, rien échapper de ce qui se fait ou se dit de neuf dans le domaine des découvertes qui modifient sans cesse les conditions de notre vie.

Paris. — L. MARETHEUX, imprimeur, 1, rue Cassette. — 2840.