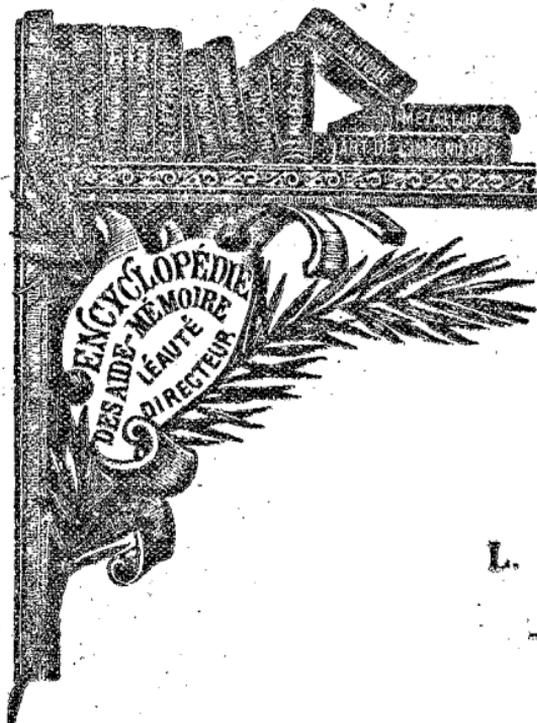


Section de l'Ingénieur



L. GAGES

ESSAIS DES MÉTAUX

MACHINES ET APPAREILS

GAUTHIER-VILLARS

MASSON & C^{IE}

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE

DES

AIDE-MÉMOIRE

PUBLIÉE

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

L. GAGES — Essais des métaux, I

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

N° 320 B.

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE DES AIDE-MÉMOIRE

PUBLIÉE SOUS LA DIRECTION

DE M. LÉAUTÉ, MEMBRE DE L'INSTITUT.

ESSAIS DES MÉTAUX

MACHINES & APPAREILS

PAR

L. GAGES

Chef d'escadron d'Artillerie



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)

*OUVRAGES DE L'AUTEUR PARUS
DANS LA COLLECTION DE L'ENCYCLOPÉDIE*

- I. Travail des Métaux dérivés du Fer.**
- II. Élaboration des Métaux dérivés du Fer.**
Foyers métallurgiques.
- III. Élaboration des Métaux dérivés du Fer.**
Réactions métallurgiques.
- IV. Les Alliages métalliques.**
- V. Essais des Métaux.**
Machines et appareils.
- VI. Essais des Métaux.**
Théorie et pratique des essais.

ESSAIS DES MÉTAUX

PRÉLIMINAIRES

L'étude des procédés employés pour essayer les métaux n'est entrée dans une voie vraiment scientifique que depuis un petit nombre d'années.

S'il est vrai que, depuis longtemps, les constructeurs avaient exigé des usines élaborant le métal ou le transformant, certaines épreuves préliminaires d'ordre physique, chimique ou mécanique ayant pour objet de déterminer si ce métal présentait des garanties suffisantes au point de vue de son utilisation ultérieure, il n'est pas téméraire d'affirmer, par contre, qu'un grand pas restait à faire, dans l'exécution de ces épreuves, afin de formuler les règles uniformes à adopter et de déterminer les unités à prendre comme terme de comparaison.

Le problème ainsi posé n'a pas encore reçu actuellement une solution définitive et complètement satisfaisante à tous égards, mais des résultats importants ont été acquis au sujet de la

théorie et de la pratique des essais et l'on est autorisé à penser que les travaux récents relatifs à l'étude des corps solides ne tarderont pas à hâter la réalisation de nouveaux progrès.

Ainsi qu'il résulte des considérations qui suivent, l'étude rationnelle des méthodes d'essais des métaux n'offre pas un caractère spécial, elle ressortit à une question d'un ordre beaucoup plus général concernant les essais des différents matériaux employés dans les constructions et dont elle ne constitue, à proprement parler, que l'un des chapitres.

A la suite de l'Exposition universelle de 1889, le Congrès international des procédés généraux de construction émettait le vœu de voir déterminer les règles qui, dans tous les pays, devraient être uniformément admises pour le contrôle et la réception des chaux et ciments ; d'autre part, le Congrès de mécanique appliquée, *visant plus spécialement les métaux*, émettait le vœu que le Gouvernement français prît, auprès des Gouvernements étrangers, l'initiative de la réunion d'une Commission internationale ayant pour mission de *choisir les unités communes destinées à exprimer les différents résultats des essais des matériaux et d'introduire une certaine uniformité dans les méthodes d'essais.*

Dans son Rapport du 9 novembre 1901 au Président de la République française, le ministre des Travaux publics faisait ressortir la nécessité de donner une sanction à des vœux aussi nettement formulés et dont l'importance était si grande, au double point de vue théorique et pratique.

« Il est incontestable, disait M. Yves Guyot, dans ce Rapport, — et l'accord des deux Congrès le montre bien, — qu'il y a un grand service à rendre, tant aux industries qui fabriquent les matériaux de construction, qu'aux entreprises qui les mettent en œuvre et aux particuliers comme aux États pour lesquels les travaux sont exécutés, en déterminant quels sont *actuellement* les méthodes d'essais à recommander et surtout en définissant d'une façon suffisamment solennelle pour qu'elles s'imposent à tous, *pour le présent et pour un avenir plus ou moins long*, les formes des essais et les unités à prendre comme terme de comparaison. »

Et, plus loin, le Rapport précité ajoutait :

« La France a eu l'honneur de provoquer les conférences qui ont abouti à fixer par un accord

international les unités électriques et leur mesure ; personne ne s'étonnerait qu'en ce qui concerne les essais des matériaux de construction, elle prît une initiative analogue. »

Les conclusions du Rapport dont il s'agit étaient sanctionnées par le décret du 9 novembre 1891 instituant, près le Ministère des Travaux publics, une Commission technique dont la mission consistait à *formuler les règles uniformes à adopter dans l'essai des matériaux de construction et à déterminer les unités à prendre comme terme de comparaison.*

Une première section de cette Commission devait étudier les questions relatives aux métaux ; la seconde section devait étudier les questions relatives aux matériaux de construction autres que les métaux (matériaux d'agrégation des maçonneries, etc.).

Les travaux considérables de la Commission ont fait l'objet d'importants mémoires publiés par ses soins ; ils ont suscité depuis, presque sans interruption, des études analogues sur le même sujet parues dans d'autres publications et du plus haut intérêt.

La présente étude a pour but, en analysant ces travaux, de faire connaître, sous une forme

succincte et cependant suffisamment complète, les données actuellement acquises sur les essais des métaux et de fournir un aperçu sur les méthodes nouvelles proposées depuis peu et soumises à l'expérience.

En vue d'apporter toute la clarté désirable dans l'exposé de notre sujet, il nous a paru nécessaire de séparer la description de l'outillage servant à l'exécution des essais, de la théorie et de la pratique de ces essais.

La présente étude comprendra deux parties correspondant chacune à un volume de l'Encyclopédie, savoir :

I. ESSAIS DES MÉTAUX. *Machines et Appareils.*

II. ESSAIS DES MÉTAUX. *Théorie et pratique des essais.*



MACHINES ET APPAREILS

Ce volume, consacré à la description et au fonctionnement des *machines et appareils* employés pour l'exécution des essais des différents métaux, comprend trois titres :

TITRE I^{er}. — *Traction.*

TITRE II. — *Compression, choc, flexion et torsion.*

TITRE III. — *Essais spéciaux.*

TITRE PREMIER

TRACTION

L'épreuve de traction est un des moyens d'investigation les plus employés pour apprécier les propriétés mécaniques des métaux ; presque toutes les usines font reposer la classification de leurs produits métallurgiques uniquement sur les résultats que fournit cette épreuve.

Les essais à la traction étant très simples à effectuer et ayant été étudiés depuis longtemps, on a été tout naturellement conduit à les considérer comme étant les plus propres à renseigner sur la valeur d'un métal.

Or, au point de vue théorique, rien ne peut justifier que ces essais soient exclusivement aptes à fixer sur la résistance du métal à des efforts statiques différents ou à des efforts dynamiques, même en faisant usage des relations arithmétiques, assez péniblement établies d'ailleurs, existant entre la résistance du métal à la traction

et sa résistance à des efforts tels que la compression, le cisaillement, etc.

Il convient simplement de considérer les essais à la traction, quand on en fait un usage exclusif, comme un moyen permettant de comparer des produits de même espèce et soumis aux mêmes épreuves.

Bien qu'actuellement les idées se soient bien modifiées au sujet de l'importance autrefois si grande attribuée aux résultats des essais de traction, il n'en reste pas moins établi que ces essais présentent pour les constructeurs un intérêt très réel et qu'il convient de les considérer comme étant des plus nécessaires.

CHAPITRE PREMIER

—

NOTIONS PRÉLIMINAIRES A LA DESCRIPTION DES MACHINES ET APPAREILS

Avant d'entreprendre la description des machines et appareils servant aux essais de traction, il est indispensable d'exposer tout d'abord les notions préliminaires se rapportant à la forme sous laquelle le métal dont on veut apprécier les propriétés mécaniques est préparé pour être soumis à l'essai et d'indiquer brièvement ensuite les caractéristiques principales dont l'essai en question doit donner la mesure.

I. ÉPROUVETTES D'ESSAIS

D'une manière générale, les essais à la traction ne s'exécutent pas sur la pièce elle-même ou sur l'objet fini choisi dans l'ensemble de la fourniture ; ces essais sont pratiqués sur des barreaux

de formes et de dimensions fixées par les différents cahiers des charges, d'après des règles qui seront définies dans le second volume de la présente étude et découpés à froid dans le métal dont on veut apprécier la qualité ou même obtenus par voie de transformation mécanique à chaud ou à froid d'une portion déterminée de ce métal.

Le barreau à essayer à la traction prend le nom d'*éprouvette*.

Les éprouvettes de traction ont ordinairement la forme d'un boulon à deux têtes cylindriques ou coniques et reliées quelquefois au corps proprement dit de l'éprouvette par des portées destinées à centrer l'éprouvette dans les attaches de la machine d'essai.

Il est bon de repérer soigneusement et de marquer au poinçon la tête de l'éprouvette sur sa tranche de manière à pouvoir toujours retrouver *sa provenance* et *sa position* dans la pièce qui l'a fournie.

Deux repères, marqués par de légers coups de pointe sur le corps de l'éprouvette à une certaine distance des têtes, déterminent la longueur utile à laquelle devront être rapportées les différentes caractéristiques fournies par la machine d'essai (*fig. 1, 2 et 3*).

Lorsqu'il s'agit d'essayer des tôles, on y découpe des éprouvettes ayant l'épaisseur même de la tôle et une largeur définie ; le corps de ces

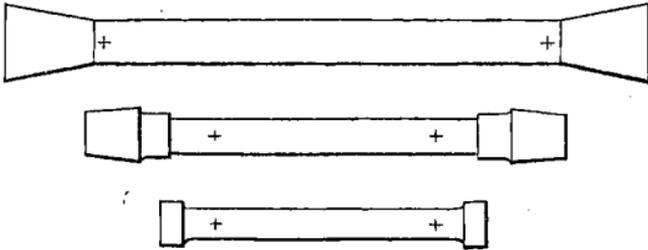


Fig. 1, 2, 3.

éprouvettes, à section rectangulaire, est relié à deux têtes le plus généralement percées d'un trou servant au passage du boulon au moyen duquel on exerce l'effort de traction (fig. 4).

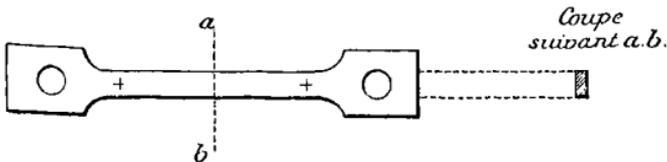


Fig. 4

Quand les éprouvettes des tôles à essayer proviennent d'un métal très malléable à froid et peuvent, par suite, être convenablement serrées par les organes ménagés à cet effet sur la machine d'essai, ces trous sont supprimés.

Quelquefois enfin, les éprouvettes d'essais sont dépourvues de têtes et consistent en un simple barreau cylindrique ou prismatique à section constante, tronçonné à la longueur voulue dans la barre à essayer *brute de laminage*, ou réduite à cette section par voie de forgeage, de travail à froid à la machine-outil, etc.

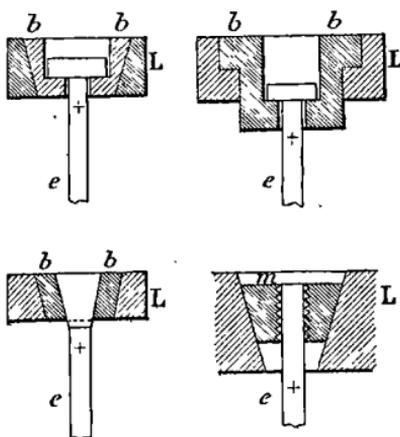


Fig. 5, 6, 7, 8. — Modes d'attache des éprouvettes ordinaires à tête cylindrique ou conique.

b, bague ou coquille en deux pièces ; *L*, lanterne solidaire avec les attaches de la machine d'essai ; *e*, éprouvette.

Les modes d'attache des éprouvettes aux organes de serrage de la machine d'essai sont très variés ; les *fig. 5 à 10* donnent une idée suffisante des principaux dispositifs employés.

Nous ajouterons que la bague forme souvent,

extérieurement, une vis à filets carrés que l'on introduit dans un écrou pratiqué sur les attaches de la machine.

Plus rarement, les extrémités de l'éprouvette sont filetées et vissées dans des écrous appropriés servant d'agrafes.

Pour les fils très fins essayés au dynamomètre Perreaux, le fil est enroulé sur des barres rondes et fendues.

Le mode d'attache usité pour les câbles est généralement obtenu par enroulement sur des cosses à gorges ou par fixation sur des tambours cannelés, suivant qu'ils sont ronds ou plats.

Il importe enfin de remarquer que le mode d'attache adopté doit permettre à l'éprouvette de

s'orienter toujours librement dans la direction de l'effort de traction sous peine de faire intervenir des efforts de flexion ou autres faussant

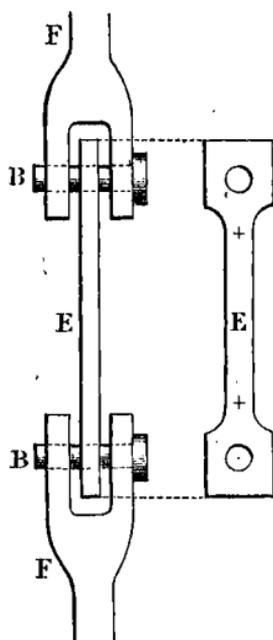


Fig. 9. — Mode d'attache des éprouvettes pour câbles.

E, éprouvette; boulons de fixation; F, fourchette reliée à la machine d'essai.

évidemment les résultats de l'essai qu'on a en vue.

L'utilisation d'une sorte de suspension à la Cardan constituée par l'ensemble des attaches de l'éprouvette et des pièces les reliant aux leviers

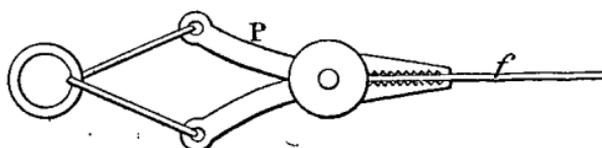


Fig. 10. — Mode d'attache des fils.
f, fil à essayer; P, pince articulée.

de la machine paraît, *a priori*, très avantageuse; mais un tel dispositif, assez compliqué d'ailleurs, se rencontre rarement.

On préfère, en général, remédier à l'inconvénient précité en donnant à l'éprouvette un jeu convenable dans ses attaches en vue de la laisser s'orienter à la demande de l'effort de traction.

II. DÉFINITION DES CARACTÉRISTIQUES DE L'ESSAI DE TRACTION

Les définitions qui suivent ne sauraient être données qu'à titre provisoire; on verra, en effet, dans le second volume de cette étude, com-

bien il est discutable de les considérer comme absolues, au moins en ce qui concerne deux d'entre elles.

Nous les admettrons toutefois pour l'instant comme exactes en vue de donner aux considérations relatives à la description et à l'emploi des machines ou appareils toute la clarté nécessaire et aussi parce que ces définitions peuvent être tenues comme suffisamment approchées en pratique courante.

1. Allongement. — Soumettons une éprouvette à l'essai de traction et examinons comment se répartit l'allongement du métal sous l'effort depuis le commencement de l'épreuve, jusqu'à la rupture de l'éprouvette.

Au début, les allongements sont très petits et sensiblement proportionnels aux efforts qui les produisent; ils sont entièrement *élastiques*, c'est-à-dire qu'ils s'évanouissent quand l'effort cesse d'agir.

Puis, les allongements croissent et sont en grande partie *permanents*. L'effort cessant d'agir, une faible fraction de l'allongement disparaît, l'*allongement total* se composant ainsi d'un *allongement élastique* et d'un *allongement permanent*.

En dernier lieu, sauf dans certains métaux très-raides, l'allongement finit par se localiser, à une distance variable des têtes, dans une certaine zone de l'éprouvette où se produit la rupture, le métal s'y étant élré en forme de *fuseau*.

Pour mesurer l'*allongement total* de l'éprouvette après la rupture, on se contente généralement de rapprocher le mieux possible les deux parties de l'éprouvette rompue et de déterminer, au moyen du compas, l'écartement des deux repères dont la distance initiale était connue.

Nous ne saurions entrer maintenant dans le détail de la mesure des divers allongements autres que l'allongement total; les considérations relatives à cette mesure ressortissant à la théorie et à la pratique des essais.

Les allongements sont rapportés d'ordinaire à l'unité de longueur ou à une longueur de cent unités; mais l'expression d'*allongement p. %* ne saurait avoir de signification qu'à la condition que l'allongement soit uniforme dans toute la longueur de l'éprouvette, ce qui n'arrive pas quand le fuseau s'est formé.

Toutefois, la mesure de l'allongement total A p. % exprimé en centièmes de la longueur primitive étant facile, il convient d'ajouter qu'elle

est toujours mentionnée dans les essais et qu'elle est utilisée le plus ordinairement en pratique.

2. Charge de rupture. — La charge de rupture ou résistance à la rupture R est la charge maxima à partir de laquelle l'allongement commence à se localiser dans la région de l'éprouvette qui s'étire en fuseau; cette charge est exprimée en kilogrammes et elle est rapportée à la section primitive de cette éprouvette avant l'essai évaluée en millimètres carrés.

On remarquera, et nous reviendrons longuement sur ce point, qu'en rapportant les efforts à la section primitive, on n'obtient pas les tensions réellement supportées par unité de surface, car la section varie en même temps que les efforts.

Il arrive même souvent que la section varie inégalement au cours de l'essai dans les différentes régions de l'éprouvette, ce qui prouve que les efforts ne sont pas uniformément répartis sur la surface des sections droites. Il est clair que, dans ce cas, l'effort rapporté, soit à la section primitive, soit à la section actuelle, ne représente pas du tout la tension par unité de superficie.

Quoi qu'il en soit, l'usage admis est de défi-

nir R comme il vient d'être indiqué et c'est celle définition que nous tiendrons comme exacte pour le moment.

A la notion de la résistance à la rupture, nous rattacherons aussi celle de la *striction*.

La section primitive de l'éprouvette étant S et la section de rupture s, on appelle striction le rapport $\frac{S - s}{S}$.

3. Limite élastique. — La limite élastique E est la charge maxima exprimée en kilogrammes par millimètre carré de la section primitive que peut supporter le barreau sans éprouver de déformation permanente.

Tant que la limite élastique n'est pas atteinte, nous admettrons que les allongements sont proportionnels aux efforts et que, par suite, la limite élastique se confond avec celle des allongements proportionnels.

Le quotient du nombre donnant la limite élastique par celui qui mesure l'allongement élastique correspondant prend le nom de *coefficient d'élasticité* et se représente, dans l'étude de la résistance des matériaux, également par E.

Il importe d'éviter toute confusion à cet égard.

Nous conserverons néanmoins pour représenter la limite élastique la notation indiquée, sauf

à préciser lorsque nous aurons à faire intervenir la notion du coefficient d'élasticité.

4. Autres grandeurs. — Les trois grandeurs qu'on vient de définir ne sont pas les seules à considérer dans la pratique des essais de traction.

Poncelet a eu l'idée de déduire de leur mesure l'expression du travail dépensé pour effectuer la traction, soit pour atteindre la limite élastique, soit pour arriver à la charge de rupture.

De là, les notions de *résistance vive élastique* et de *résistance vive de rupture*.

La résistance vive est un travail et, par suite, elle doit s'exprimer en kilogrammètres en étant rapportée à l'unité de volume de la pièce considérée. On obtiendra ainsi des kilogrammètres par millimètre cube, et comme les nombres ainsi formés peuvent être très petits, on pourra être amené à prendre pour unité de volume le centimètre cube, le décimètre cube, ou même le mètre cube.

On verra ultérieurement l'importance des notions précédentes lorsqu'on a en vue d'éprouver la résistance effective des pièces finies sous les efforts les plus grands qu'ils peuvent supporter sans se déformer ou sous l'action de ceux qui sont susceptibles d'en provoquer la rupture.

CHAPITRE II



MACHINES A LEVIERS

Il était naturel de penser à utiliser les engins habituels de pesage pour *peser* l'effort exercé sur le barreau d'épreuve ; de là l'emploi des machines à leviers des types les plus divers.

On pèse, en général, par l'un des deux moyens suivants, savoir :

Ou bien, l'on ajoute en quantité variable sur un plateau approprié des poids dont la position est constante par rapport aux leviers ;

Ou bien, l'on fait mouvoir des poids constants sur un ou plusieurs leviers, en faisant occuper à ces poids des positions variables, suivant le principe de la romaine.

Le cadre restreint de ce volume ne nous permet pas de passer en revue toutes les machines industrielles dont la construction repose sur l'application des principes énoncés ci-dessus ; il

sera suffisant de décrire trois types principaux de ces machines les plus répandus.

I. MACHINE A LEVIER SIMPLE A PLATEAU

Dans cette machine, l'éprouvette est saisie par deux mâchoires M représentées schématiquement sur la *fig. 11* et reliées, l'une à un point fixe Q, l'autre au point A du grand levier OL.

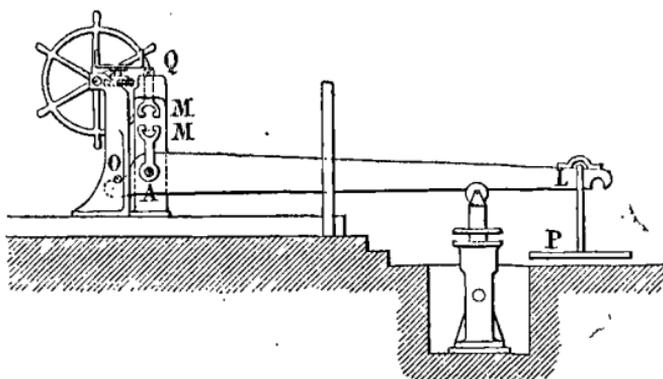


Fig. 11. — Machine à levier simple à plateau.

M, M, mâchoires saisissant le barreau ; OL, levier ; Q, point fixe ; P, plateau à poids.

Ce levier pivote autour d'un axe O et porte à son extrémité opposée un plateau P sur lequel on place un à un des poids de 20 ou de 50 kilo-

grammes jusqu'à ce qu'on ait déterminé la rupture de l'éprouvette. On a soin, pendant tout le cours de l'épreuve de maintenir constamment l'horizontalité du levier en abaissant l'axe O au moyen d'un volant de manœuvre.

A un moment quelconque de l'opération, la somme des poids placés sur le plateau étant égale à P, la charge supportée par l'éprouvette sera exprimée par le produit $P \cdot \frac{OL}{OA}$.

La machine en question est simple et robuste ; elle présente l'avantage de ne pas être exposée à se dérégler, aussi est-elle très employée dans les usines pour servir à comparer les résultats obtenus avec les autres machines.

Ses inconvénients sont les suivants :

La charge du plateau obtenue par l'addition de poids marqués occasionne des secousses à l'éprouvette en variant brusquement à chaque nouveau poids ; l'effort supporté par l'éprouvette ne s'exerce donc pas d'une façon continue.

Enfin, l'exécution de l'essai exige un temps trop long.

II. TYPES SIMPLES DE ROMAINE

La *fig. 12* représente un type de romaine aussi simple que possible.

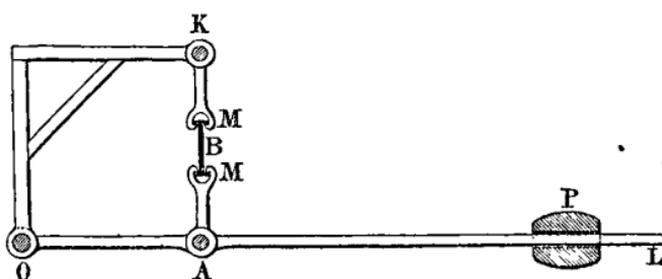


Fig. 12. — Romaine ordinaire.

K, point fixe ; B, barreau ; M, M, mâchoires ; OL, levier ; P, poids constant mobile sur OL.

La charge est obtenue à l'aide d'un poids constant P qu'on fait glisser le long du levier OL portant une graduation qui permet de mesurer à chaque instant le rapport $\frac{OP}{AO}$.

Les manipulations de cette romaine sont plus faciles et moins longues que celles de la machine à levier simple à plateau ; toutefois, l'augmentation de charge, quoique ne procédant pas par à-coups aussi forts, n'est pas rigoureusement continue et exige une certaine habitude de la part de l'opérateur pour être bien conduite.

Si l'on accélère un peu trop le mouvement de glissement du poids constant lorsqu'on approche de la rupture de l'éprouvette, on s'expose à obtenir un nombre trop fort pour la valeur de la résistance à la rupture qu'on veut déterminer.

La *fig.* 13 représente la disposition de la machine de l'ingénieur anglais Kirkaldy.

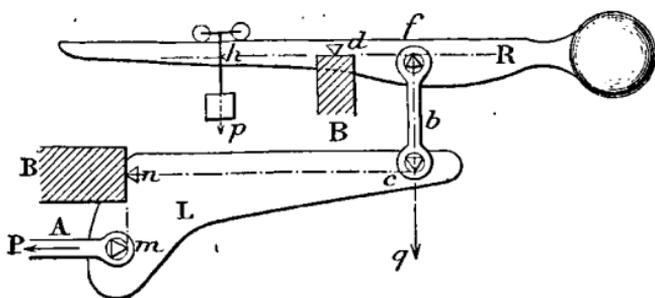


Fig. 13. — Romaine Kirkaldy.

A, attache de la machine d'essai reliée à l'éprouvette; L, levier courbé; R, romaine simple; *b*, brette de réunion des deux leviers; *p*, poids mobile de la romaine; B, bâti de la machine; *m, n, c, f, d*, couteaux-axes et couteaux.

Les conditions d'équilibre de cette machine sont établies de la manière suivante, P étant la tension de l'éprouvette, *q*, celle de la bielle et *p*, le poids mobile de la romaine, le levier R étant horizontal :

$$(1) \quad P \times mn = q \times nc$$

$$(2) \quad q \times fd = p \times dh$$

d'où l'on tire :

$$P = p \frac{nc}{mn} \cdot \frac{dh}{df}.$$

Chacune des divisions du grand bras dh étant égale au petit bras df , le nombre des divisions représentera le rapport $r = \frac{dh}{df}$; en désignant par r' le rapport constant $\frac{nc}{mn}$, on aura finalement :

$$P = r(r'p).$$

III. ROMAINE A LEVIERS MULTIPLES

La romaine à leviers multiples (*fig. 14*) est constituée par une série de leviers L_1, L_2, L_3, L_4 , reliés les uns à la suite des autres par des coudes articulés et prenant appui sur des couteaux c .

L'éprouvette e est saisie par ses deux têtes entre des mâchoires, représentées schématiquement sur la figure, reliées l'une au point M du premier levier L_1 et l'autre au piston d'un corps de pompe dont la face supérieure reçoit de l'eau envoyée par un compresseur.

Le fonctionnement de la machine est des plus simples.

L'eau envoyée par le compresseur agit sur le piston de haut en bas exerçant sur l'éprouvette un effort de traction qui croît d'une manière continue. L'extrémité du dernier levier L_4 disposé comme une romaine tendant à se soulever en raison de l'effort transmis par le barreau

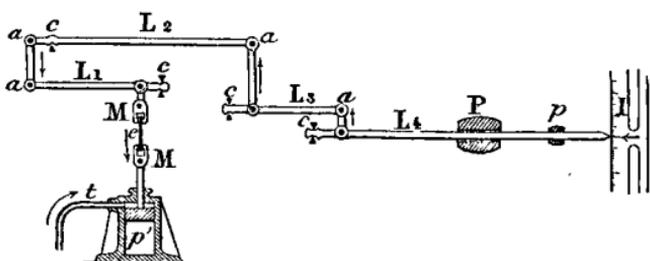


Fig. 14. — Romaine à leviers multiples.

e , éprouvette ; M, M , mâchoires ; L_1, L_2, L_3, L_4 , leviers ; p' , piston ; t , tuyau d'amènée ; c , couteaux ; a , articulations ; P , poids mobile ; p , poids additionnel ; I , index.

d'essai, l'opérateur fait glisser le poids principal P ou le poids additionnel p de manière à maintenir constamment horizontal le levier L_4 , ce qu'on constate en observant le déplacement de l'extrémité de ce levier par rapport à un index I marqué sur une règle graduée placée à proximité.

Les poids P et p étant déplacés à la main, il est nécessaire que l'opérateur soit bien exercé, surtout pour déterminer la limite élastique E .

Les rapports des bras de leviers successifs dans la romaine à leviers multiples dite *machine des chemins de fer*, sont les suivants : $\frac{1}{5}, \frac{1}{10}, \frac{1}{4}, \frac{1}{8}$.

Il en résulte que la valeur de l'effort exercé sur l'éprouvette peut être égale à 1 600 fois celle de P.

Nous ajouterons enfin qu'un certain nombre de machines à poids présentent les dispositions combinées des machines à levier simple à plateau et des romaines.

Certains constructeurs n'adoptent la romaine que pour les petites divisions de la charge; ils conservent à l'extrémité du levier, pour la mesure des grandes charges, soit un plateau où l'on met des poids marqués, soit une tige où l'on fixe des rondelles de fonte correspondant à des charges déterminées sur le barreau d'épreuve.

IV. CONDITIONS QUE DOIT REMPLIR UNE MACHINE A LEVIERS

Les machines à leviers exigent certaines précautions spéciales en raison de la grandeur particulière des efforts à mesurer et des chocs provoqués par l'essai.

Il importe surtout de proportionner le rayon de l'arête des couteaux à l'effort qu'ils doivent supporter et de placer les couteaux sur les leviers et les chapes sur les bielles de connexion.

Si les couteaux s'allèrent, soit en s'usant, soit en s'égrenant, les rapports des bras de levier se modifient et les bielles peuvent subir une certaine obliquité.

Cet inconvénient se produira également si la machine n'a pas été construite avec toute la précision désirable pour qu'en fin d'essai, soit lorsque la rupture de l'éprouvette s'est accomplie, ses divers organes ne reviennent pas d'eux-mêmes exactement en place.

Les machines horizontales comportant nécessairement un levier coudé, on conçoit que cet organe ne puisse pas, en raison de son poids généralement assez fort, revenir facilement en place après la rupture du barreau. Nous ne saurions décrire les divers dispositifs imaginés par les constructeurs pour obvier à cet inconvénient et consistant, soit à supporter le couteau principal du levier coudé lorsque la machine n'est pas en charge, soit à maintenir toujours en charge le couteau du levier coudé à l'aide d'un plateau assez lourd.

Enfin, il conviendra d'éviter, dans l'organi-

sation des machines à poids, des rapports de bras de leviers exagérés ; un déplacement très faible dans l'assiette des couteaux produisant évidemment une erreur d'autant plus grande que ces rapports sont plus grands. C'est pour se mettre à l'abri de cette erreur que les constructeurs préfèrent souvent, malgré les frottements supplémentaires qui résultent de cette disposition, multiplier le nombre des leviers.

CHAPITRE III

—

MACHINES A MANOMÈTRE

On a cherché à éviter les défauts attribués aux leviers en en diminuant le nombre ou même en les supprimant ; l'emploi de la *presse hydraulique*, permettant d'exercer un effort considérable avec une course limitée, se trouvait tout indiqué dans ce but.

Pour transformer la compression réalisée par la presse en traction, deux agencements sont utilisés :

Ou bien, le piston se prolonge par une tige de plus faible diamètre passant par le fond du pot de presse ;

Ou bien, la tête du piston se termine par un sommier où sont fixées deux ou quatre bielles qui entourent le pot de presse et se réunissent sur un second sommier,

Les machines d'essais à presse hydraulique les plus répandues présentent la première de ces dispositions ; telles sont les machines Thomasset et Maillard que nous décrirons.

Nous nous contenterons de citer parmi les machines d'essais construites d'après la seconde disposition, les types suivants qu'on rencontre assez rarement :

a) *Machine Werder*, dans laquelle la tige du piston s'appuie sur une traverse qui porte l'appareil de mesure, cette traverse transmettant l'effort à un deuxième sommier par quatre bielles de traction.

Sur le côté du bâti est disposée une pompe de compression à levier.

b) *Machine Kirkaldy*, dans laquelle la pompe de compression à volant est au-dessus du pot de presse. La tête du piston porte un sommier monté sur galets ainsi d'ailleurs que le sommier de connexion. Une chaîne, portant un contrepoids logé dans un puits, rappelle le piston en arrière lorsqu'on ouvre le robinet de décharge.

c) *Machine Adamson*, d'un type analogue au précédent. Sur le bâti même est également disposée la pompe de compression ; une chaîne à contrepoids ramène le piston en place après l'essai.

I. MACHINE THOMASSET

La machine de l'ingénieur Thomasset (*fig. 15*) ne comporte plus qu'un seul levier coudé transmettant à un manomètre à air libre, comme on

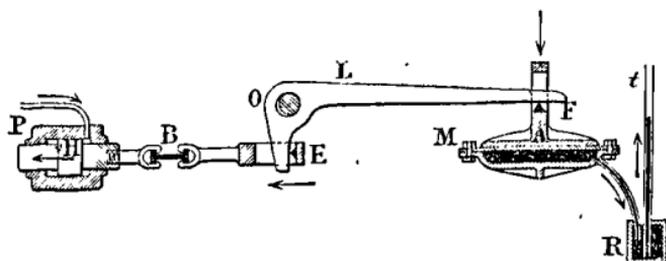


Fig. 15 — Machine Thomasset.

M, multiplicateur plein d'eau : A, plateau supérieur du multiplicateur ; t, manomètre à air libre ; P, corps de pompe ; H, piston ; B, Barreau d'épreuve ; E, étrier ; L, levier coudé ; O, axe-couteau prenant appui sur le bâti ; F, couteau ; R, réservoir plein de mercure.

va l'indiquer, la pression qu'une presse hydraulique transforme en traction sur le barreau d'épreuve.

1. Description sommaire. — L'eau sous pression arrive dans un corps de pompe P et elle agit sur un piston H relié à l'une des extrémités de l'éprouvette B.

L'effort supporté par l'éprouvette est ainsi transmis à un étrier E qui prend appui par un couteau sur le levier coudé EOF dont il est fait mention ci-dessus.

Une sorte d'axe-couteau O, prenant appui sur le bâti de la machine, sert de pivot à ce levier coudé qui transmet sur un couteau F, dans un rapport donné, l'effort de traction exercé sur le levier par le barreau d'épreuve.

Le couteau F est disposé à l'extrémité de l'axe vertical du plateau A d'un *multiplicateur*; ce plateau prend appui sur une large membranc en caoutchouc servant d'obturateur et communique la pression de l'eau qui remplit la cuvette C du multiplicateur au réservoir R plein de mercure d'un manomètre à air libre.

2. Conditions d'équilibre. — Les conditions d'équilibre de la machine sont les suivantes :

$$P = \frac{OF}{Oc} \cdot q = kq = kpS,$$

P étant l'effort supporté par l'éprouvette, k , le rapport des deux bras de levier, q , la pression exercée sur le plateau du multiplicateur, p , la pression par unité de surface dans la cuvette, S , la surface du multiplicateur.

La pression p est déterminée par la hauteur $n = oh$ (fig. 16) de la colonne de mercure au-dessus du zéro; n étant exprimé en décimètres,

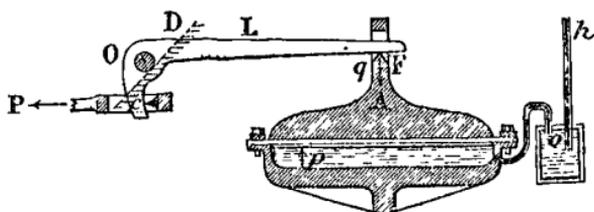


Fig. 16

P, tension de l'éprouvette; q , pression exercée sur le plateau du multiplicateur; p , pression par unité de surface dans la cuvette; c , pointe du couteau de l'étrier.

$p = n \times 13^{\text{kg}},6$ par décimètre carré, et la tension de l'éprouvette est, en kilogrammes,

$$P = n(kS.13,6),$$

S étant exprimé en décimètres carrés.

Les déplacements du plateau multiplicateur ou de l'extrémité F du levier coudé seront égaux aux déplacements du niveau du mercure dans le tube, divisés par le rapport de la surface S à la section du tube et, par conséquent, très petits, à la condition que la cuvette, le manomètre et le tube de communication soient bien remplis de liquide purgé d'air.

3. Avantages et inconvénients de l'emploi de la machine. — L'avantage de l'emploi de cette machine est l'automatisme, en ce sens que l'appareil manométrique fait équilibre à chaque instant à l'effort supporté par l'éprouvette, sans intervention d'un opérateur. Ce n'est pas que l'opérateur ne doive pas apporter une très grande attention à l'essai, car les indications du manomètre sont fugitives et ne laissent aucune trace, notamment au moment de la rupture du barreau.

Son principal inconvénient consiste dans l'incertitude de l'évaluation de l'effort. La hauteur du mercure peut être mesurée exactement sans doute, mais la section du plateau, ou plutôt de la surface pressante, ne peut pas l'être, parce qu'on ignore quelle est l'importance de la section annulaire de la membrane qui est intéressée par la pression. D'ailleurs, cette section peut varier dans le cours d'une même expérience, suivant la pression qui déforme le caoutchouc.

Nous ajouterons, à titre de renseignement, que, dans la plupart des machines de ce modèle, le rapport de la surface de la membrane à celle du tube manométrique est de 3 000.

Dans ces conditions, étant donnée la légère incertitude qu'on vient de signaler concernant

l'effort supporté par l'éprouvette en fonction de la pression manométrique, on adjoint quelquefois à l'appareil un dispositif qui permet de vérifier ses indications, au moyen d'un poids comprimant le plateau, soit directement, soit par l'intermédiaire de leviers.

II. MACHINE MAILLARD

La machine du colonel Maillard (*fig. 17*) n'a pas de levier ; mais comme il n'est plus prévu,

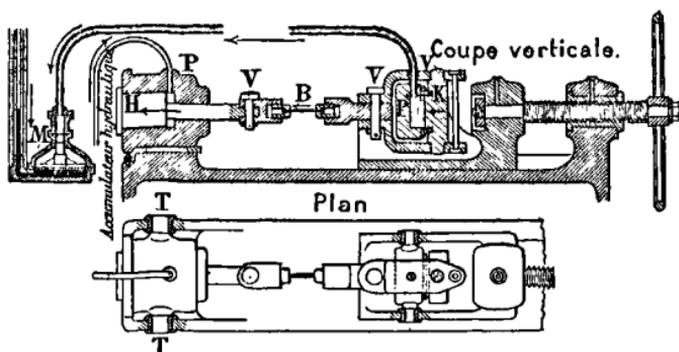


Fig. 17. — Machine Maillard.

B, barre d'épreuve ; PP', corps de pompe ; II, K, pistons ; V, axes verticaux ; T, touillon ; M, manomètre.

dans cette machine, de moyen de multiplication des efforts, l'emploi du manomètre à air libre

est interdit ; cet appareil est remplacé par un manomètre Galy-Cazalat exigeant une vérification et un tarage spéciaux.

1. Description sommaire. — Les deux têtes du barreau d'épreuve B sont saisies entre des mâchoires placées à l'extrémité des tiges des deux pistons H et K. Le premier supporte la pression de l'eau introduite dans le corps de pompe P et exerce l'effort de traction sur l'éprouvette B qui transmet cet effort au piston K. Ce dernier comprime alors le liquide placé dans son corps de pompe P', soit directement, soit en pressant sur une feuille obturatrice de caoutchouc, et le refoule sur le piston du manomètre multiplicateur M Galy-Cazalat.

Le piston métallique de ce manomètre est formé de deux cylindres raccordés par un tronc de cône, les surfaces terminales de ces cylindres prenant appui sur des feuilles obturatrices.

Une sorte de suspension à la Cardan est censée assurer la traction du barreau d'épreuve exactement suivant son axe. A cet effet, les corps de pompe sont supportés par des tourillons horizontaux T et les mâchoires par des axes verticaux V. L'ensemble peut donc théoriquement se déplacer de manière à permettre à chaque tête

de l'éprouvette de prendre une position quelconque dans l'espace. Dès que l'action du piston H commence à s'exercer, les deux têtes se placent naturellement de manière que l'effort se produise suivant l'axe de l'éprouvette : les tractions ou compressions s'exercent suivant le sens des flèches.

De nombreuses modifications aux plans primitifs du constructeur ont été apportées depuis à cette machine ; nous nous contenterons d'énumérer les plus importantes.

Les pistons ont été disposés de manière à tourner librement autour de leur axe, en vue d'empêcher toute torsion du barreau.

Les mâchoires ont été organisées pour pouvoir mettre l'éprouvette en place très rapidement.

Le corps de pompe a été aménagé de telle sorte qu'il soit possible de rapprocher rapidement et automatiquement les mâchoires après la rupture d'un barreau.

Pour éviter les coups de bélier qui se produisaient au moment de la rupture de l'éprouvette, dans le tuyau qui relie le deuxième corps de pompe au manomètre, on a constitué ce tuyau en plusieurs parties articulées.

Enfin, on a eu l'idée de rendre la machine réversible en donnant aux deux corps de pompe

la même organisation, soit celle du premier corps de pompe P.

Il existe, en outre, certains dispositifs sur lesquels nous ne saurions nous appesantir mais qu'il importe de signaler ; ces dispositifs sont les *joints* qu'il est nécessaire de constituer avec le plus grand soin en vue d'assurer à la machine un fonctionnement régulier.

2. Conditions d'équilibre. — La pression exercée dans le manomètre multiplicateur par la grande base du piston sur la feuille obturatrice est, en conservant les mêmes notations que précédemment pour la machine Thomasset :

$$pS = n \cdot 13^{\text{kg}},6 \cdot S.$$

La pression exercée sur la petite base s de ce piston est la même, soit :

$$qs = pS = n \cdot 13^{\text{kg}},6 \cdot S,$$

ou, par unité de surface,

$$q = p \cdot \frac{S}{s} = n \cdot 13^{\text{kg}},6 \cdot \frac{S}{s}.$$

La pression q est transmise au liquide du deuxième corps de pompe, et l'équation générale d'équilibre est :

$$P = qS_1 = p \cdot \frac{SS_1}{s} = n \left(13^{\text{kg}},6 \cdot \frac{SS_1}{s} \right),$$

P étant la tension de l'éprouvette (fig. 18) et S_1 , la surface du piston du deuxième corps de pompe sur laquelle s'exerce la pression q .

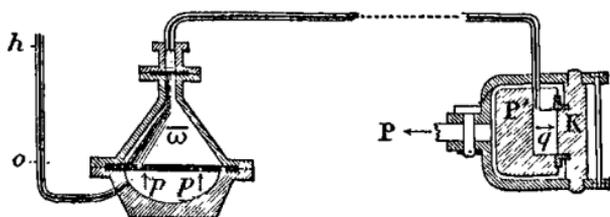


Fig. 18

ω , piston métallique cylindro-conique ; P , tension de l'éprouvette ; p , pression exercée sur le grand obturateur ; Pq , pression du corps de pompe transmise au petit obturateur.

La section S de la cuvette du réservoir étant beaucoup plus grande que celle du tube du manomètre, les déplacements du piston tronconique seront très petits ; ceux du piston du deuxième corps de pompe seront encore plus faibles, car S_1 est plus grand que s .

Ces conditions étant remplies, les feuilles obturatrices de caoutchouc fonctionneront d'une manière très satisfaisante.

3. Avantages et inconvénients de l'emploi de la machine. — Les avantages et les inconvénients de cette machine sont les mêmes

que ceux de la machine Thomasset, sauf ceux inhérents à l'emploi du levier.

Comme la machine Thomasset, la machine Maillard constitue un excellent appareil de mesure et, comme elle, elle est fort avantageusement employée dans les usines.

III. COMPRESSEUR STERHYDRAULIQUE

L'emploi des pompes servant à envoyer l'eau sous pression dans les presses hydrauliques des machines d'essais n'est pas sans présenter quelques inconvénients ; ces inconvénients résultent des secousses qui se répercutent sur l'éprouvette pendant l'épreuve.

Or, il n'est pas indispensable que l'appareil de compression de l'eau fasse partie intégrante de la machine ; il sera très avantageux d'avoir à proximité une conduite d'eau comprimée par un accumulateur pour s'y brancher et faire les essais commodément.

Aussi, fait-on toujours usage, dans les machines à manomètre précédemment décrites, et souvent dans divers autres types de machines, d'un *compresseur sterhydraulique*.

Ce compresseur se compose d'un piston plongeur en bronze qu'un mouvement de vis fait pénétrer à l'intérieur d'une capacité fermée ; ce mouvement étant déterminé à bras ou mécaniquement. Lorsque le piston arrive en bas ou en haut de sa course, un débrayage automatique met les courroies sur les poulies folles et arrête le mouvement.

L'emploi de cet appareil évite absolument les secousses et, comme son débit est faible et constant, l'opérateur dispose du temps voulu pour suivre la période de déformation élastique, parfois difficile à limiter pour certains métaux, avec toute l'attention nécessaire.

Toutefois, en vue de ne pas prolonger l'épreuve, des agencements destinés à faire varier la vitesse de marche du compresseur ont été prévus ; ils consistent généralement en cônes à plusieurs vitesses.

Pour passer d'une vitesse à une autre sans arrêter l'expérience, on emploie quelquefois une sorte de poulie extensible dont on fait varier le diamètre, au moyen d'un mécanisme approprié.

On verra, au cours de la présente étude, que les résultats obtenus aux essais de traction peuvent différer assez notablement suivant la

vitesse adoptée pour l'exécution de ces essais ; il convenait de signaler dès maintenant ce fait important.

L'appareil sterhydraulique, distinct de la machine, est ordinairement placé à proximité.



CHAPITRE IV

—

APPAREILS DIVERS

L'objet de ce chapitre est de donner quelques indications sur les appareils d'essais employés dans la petite mécanique et sur les appareils enregistreurs.

I. APPAREILS EMPLOYÉS DANS LA PETITE MÉCANIQUE

Dans les machines précédemment décrites, on a eu recours, pour mesurer l'effort, soit à des poids agissant sur elles *directement* ou par l'*intermédiaire de leviers*, soit à une pression manométrique.

La petite mécanique emploie surtout toute une série d'appareils dans lesquels on fait usage

de *ressorts* comme organes de mesure ou de pesage. Ces appareils servent non seulement aux essais des métaux, mais encore aux essais d'autres matières telles que lissus, papiers, etc. ; ce sont, en somme, des *dynamomètres*.

Une condition essentielle, pour le bon emploi des ressorts, est qu'ils ne travaillent toujours que fort en dessous de leur limite élastique afin de ne pas les déformer d'une façon permanente.

En outre, pour que les appareils, dans la constitution desquels figurent les ressorts comme organes de mesure, soient suffisamment sensibles, il convient de demander à ces ressorts de grandes courses.

Les conditions que nous venons d'énumérer limitant la puissance de ces appareils de mesure des efforts, on conçoit que seule la petite mécanique puisse s'en servir.

Nous nous contenterons de citer, comme rentrant dans cette catégorie, le dynamomètre Perreaux dont l'organisation générale est la suivante :

Un ressort à lames étant tiré par une de ses extrémités lorsque l'opérateur, à l'aide d'une transmission de mouvement appropriée, exerce à la main l'effort de traction, une crémaillère qui suit le mouvement engrène avec un pignon portant une aiguille.

Au moment de la rupture, l'aiguille reste en place en indiquant la charge maxima supportée par le barreau d'épreuve. En outre, à cet instant, un volant en fonte, immobile jusque-là, s'encliquette et, se mettant à tourner, oppose son inertie au retour trop brusque du ressort.

L'emploi des ressorts est souvent très avantageusement remplacé, dans les machines d'essais de la petite mécanique, par l'application d'autres principes, sinon plus simples, du moins plus élégants.

C'est ainsi que, dans le dynamomètre Chévefy, on trouve un *pendule* comme organe de mesure.

Ce pendule est calé sur l'axe d'une came dont les rayons vecteurs sont proportionnels aux sinus des angles, en sorte que l'arc parcouru par le pendule est proportionnel aux efforts exercés. ✓

Sur cette came, une chaîne plate se développe et porte une mâchoire.

A la partie inférieure du bâti, un volant conduit deux roues d'angle dont la deuxième forme écrou sur la vis de traction. Le pendule porte un cliquet qui engrène sur une crémaillère fixée à l'intérieur du secteur et s'arrête ainsi au moment de la rupture de l'éprouvette.

En outre, un plateau destiné à recevoir des

poids marqués, peut être suspendu à des crochets spéciaux de la mâchoire supérieure en vue de vérifier fréquemment, par une opération de pesée directe, la justesse de l'appareil.

Nous ne saurions, sans sortir du cadre de cette étude, fournir de plus longs détails sur l'organisation si variée de ces nombreux appareils ; l'essentiel était surtout de les signaler en raison de leur utilisation générale pour les essais des métaux peu résistants ou éprouvés dans des conditions spéciales et pour les essais des autres matières.

II. APPAREILS AMPLIFICATEURS ET ENREGISTREURS

L'allongement total d'une éprouvette rompue à l'essai de traction se mesure le plus souvent en rapprochant le mieux possible les deux fragments de l'éprouvette et en déterminant au moyen du compas le nouvel écartement des deux traits de repère dont la distance avant l'essai était connue.

C'est également au moyen du compas qu'on mesure généralement les allongements sous les charges successives au cours de l'essai.

Pour avoir des indications plus précises, on a recours à des appareils à vis micrométriques et à coulisses munies de lunettes.

Ces appareils se composent, en principe, d'un grand chariot qui peut glisser dans un socle parallèle à l'éprouvette ; le chariot porte une règle à coulisse et deux lunettes. L'éprouvette étant en place, les opérateurs visent les traits de repère avec les lunettes ; la graduation donne la distance des repères. Pendant que s'effectue la traction, l'un des opérateurs suit un trait en déplaçant le chariot tout entier au moyen d'une vis et d'une manivelle ; l'autre suit le second trait en déplaçant seulement sa lunette au moyen d'une vis micrométrique de rappel ; la graduation du tambour indique, à chaque instant, la variation de distance des deux lunettes ou l'allongement de la partie de l'éprouvette comprise entre les repères.

Les dispositions les plus variées combinées avec l'emploi du cathétomètre suivant le genre des machines d'épreuves se rencontrent aujourd'hui dans la plupart des laboratoires d'essais.

L'emploi des lunettes et cathétomètres exige plusieurs opérateurs et prend beaucoup de temps, aussi a-t-on imaginé des appareils amplificateurs souvent fort ingénieux et que nous ne pouvons que signaler.

Nous citerons, dans cette catégorie, les appareils Rosset, Uchatius, Kennedy, Bauschinger, etc.

Dans l'appareil amplificateur Bauschinger, la multiplication de l'allongement est obtenue à l'aide de ressorts en liaison avec les points de repère de l'éprouvette, d'une part, et qui, d'autre part, au moyen d'une transmission appropriée, communiquent, au fur et à mesure de la déformation de l'éprouvette, un déplacement angulaire à un système de deux miroirs plans.

Depuis quelques années, et le plus généralement, c'est aux appareils dits *enregistreurs* qu'on a recours pour suivre la marche du phénomène de traction.

Ces appareils tracent, au cours même de l'essai du barreau d'épreuve, une courbe dont les abscisses sont proportionnelles aux allongements et les ordonnées aux charges, ou inversement.

La réalisation pratique de l'inscription d'ordonnées proportionnelles aux charges est assez facile ; il n'en est pas de même pour l'inscription des allongements, et cela pour les motifs suivants :

a) Si l'appareil a été construit de manière à fournir des indications suffisamment amplifiées pour les allongements élastiques, la courbe des

allongements permanents, qui sont d'un ordre de grandeur bien supérieur à celui des précédents, sera trop développée pour trouver sa place dans les limites du cadre du tableau ou du cylindre enregistreur.

b) Les organes de l'appareil enregistreur qui prennent appui sur les repères et fixent ainsi la longueur utile de l'éprouvette sont d'une organisation difficile ; car, en même temps que l'éprouvette s'allonge, sa section diminue (1).

D'une manière générale, les appareils enregistreurs ne permettent pas toujours d'obtenir une courbe complète, car il est nécessaire de pouvoir retirer de la machine la plupart d'entre eux un peu avant la rupture de l'éprouvette afin que la secousse qui se produit brusquement à ce moment de l'épreuve ne les dérange ou ne les mette hors de service.

Enfin, il importe de faire remarquer qu'un certain nombre de ces appareils ne fournissent pas des indications à l'abri de toute critique en raison de la difficulté d'évaluer, soit le jeu des

(1) Pour mesurer les diamètres des différentes sections d'une éprouvette déformée, on se sert ordinairement d'un instrument à vis micrométrique et à pression constante.

différents organes, soit les frottements développés.

Les dispositions adoptées dans l'organisation des appareils enregistreurs sont très variées; aussi ne pourrons-nous donner qu'un rapide aperçu sur celles qui sont avantageusement employées.

On peut, par exemple, avec une machine Maillard, établir un organe amplificateur des efforts se composant d'un manomètre métallique en hélice actionnant une longue aiguille dont l'extrémité trace un trait sur un cylindre. L'hélice se développe en raison de la pression qu'elle reçoit d'un manomètre Galy-Cazalat, connexe de la machine Maillard.

Pour inscrire les allongements, on a eu l'idée de fixer, au moyen de vis, deux butées aux extrémités de l'éprouvette. L'une de ces butées porte deux cylindres hydrauliques dont les pistons s'appuient constamment sur l'autre butée; ces cylindres communiquent avec une conduite dans laquelle un piston, pressé par un ressort, comprime de l'eau, en sorte qu'ils sont toujours remplis. Le piston à ressort parcourra un chemin inversement proportionnel au rapport des sections des pistons. Si les butées s'écartent en raison de l'allongement de l'éprouvette, le res-

sort enfoncera le piston d'une quantité correspondante. Comme le piston est muni d'une crémaillère et d'un train d'engrenages dont la dernière roue est montée sur l'axe du cylindre enregistreur, on obtiendra un déplacement angulaire proportionnel aux allongements.

Dans d'autres machines, les efforts sont mesurés par un cylindre hydraulique interposé entre l'éprouvette et l'organe de mesure; la pression obtenue servant à comprimer un petit ressort taré qui déplace un crayon. D'autre part, deux leviers à genouillère, reliés aux deux extrémités de l'éprouvette, déplacent un châssis couvert d'une feuille de papier; le mouvement du châssis est vertical tandis que celui du ressort est horizontal. De la combinaison de ces deux mouvements résulte le tracé de la courbe.

Dans certaines romaines, un crayon s'élève ou s'abaisse suivant le déplacement du curseur sur la romaine à l'aide de transmissions souvent assez simples.

Nous citerons, sans pouvoir les décrire, les enregistreurs de Wicksteed, Goodmann, Unwin, etc.

Enfin, d'autres appareils ne sont pas construits pour tracer la courbe entière de l'allongement jusqu'à la rupture; tel est l'appareil de

M. Klein qui n'enregistre que la loi de déformation dans la période élastique.

L'élasticimètre Neel et Clermont ne trace pas un diagramme par abscisses et ordonnées ; il inscrit seulement des longueurs proportionnelles aux allongements de l'éprouvette sous les efforts successifs.



TITRE II

COMPRESSION, CHOC, FLEXION ET TORSION

Le nombre et l'importance des machines ou appareils dont il a été question dans le titre premier font ressortir tout l'intérêt que les constructeurs attachent aux essais de traction; ces essais ne suffisent pas cependant pour fixer d'une manière complète sur les propriétés mécaniques des métaux.

D'autres essais complémentaires sont indispensables; nous examinerons, dans le présent titre, les machines et appareils divers employés pour les exécuter.

CHAPITRE PREMIER



MACHINES ET DISPOSITIFS EMPLOYÉS POUR LES ESSAIS DE COMPRESSION

Les essais de compression sont rarement effectués et ne rentrent pas dans la pratique courante des usines; il a été reconnu, en effet, qu'on pouvait déduire la plupart des résultats qui s'y rapportent, au moins pour les aciers, de ceux que fournissent les essais de traction.

Il n'en est cependant pas toujours ainsi; aussi, est-il nécessaire de recourir dans certains cas à l'emploi de machines ou dispositifs appropriés dont nous donnerons un aperçu rapide dans ce chapitre.

I. NOTIONS GÉNÉRALES

Les éprouvettes sur lesquelles on effectue l'essai de compression ont la forme de cylindres ou de prismes droits; c'est sur leurs bases que s'exerce l'effort.

En vue d'observer uniquement l'effet dû à la compression, il est indispensable d'adopter, pour toute éprouvette soumise à cet essai, un rapport déterminé entre sa longueur et le diamètre ou le côté de sa section droite.

Les éprouvettes longues se courbent sous l'action des efforts de compression; seules, les éprouvettes plus courtes que deux fois la plus petite dimension transversale se déforment symétriquement sans se courber, si les bases n'ont pas de déplacement pendant la compression (fig. 19).

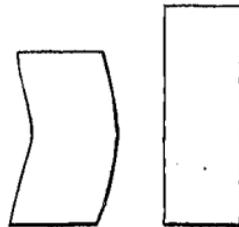


Fig. 19. — Compression d'une éprouvette trop longue.

Pour s'opposer au déplacement des bases sur les appuis et obtenir ainsi, dans le cas des éprouvettes courtes, une compression symétrique, les organes d'attache à la

machine devront être appropriés en conséquence. Souvent, il suffira de quadriller ou de creuser seulement de quelques traits perpendiculaires entre eux les bases des éprouvettes.

Une éprouvette courte dont les bases peuvent se déplacer dans leur plan en glissant sur les appuis *se courbe en S*, au lieu de prendre la forme normale *en tonneau* (fig. 20).

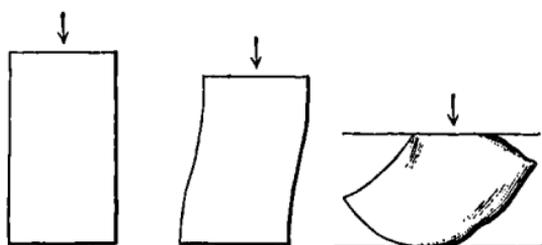


Fig. 20. — Compression d'une éprouvette glissant sur ses appuis.

Dans son remarquable traité sur la *Déformation des corps solides*, le capitaine d'artillerie Duguet a fait connaître les importantes restrictions qu'il convenait d'apporter aux définitions des caractéristiques de l'essai de traction lorsqu'on les rapporte à l'essai de compression.

Tout *raccourcissement* produit par un effort suffisamment grand se compose d'un *raccourcissement permanent* et d'un *raccourcissement élastique* qui disparaît quand l'effort de compression cesse d'agir.

Le plus grand effort ne produisant pas de raccourcissement permanent se nomme *limite élastique* ou *limite d'élasticité de compression*. Cet effort, rapporté à la section primitive, exprimé en kilogrammes par unité de surface, est très variable, pour une même matière, suivant les dimensions de l'éprouvette.

La limite élastique d'une éprouvette comprimée et déformée d'une façon permanente est égale à l'effort qui a produit la compression primitive.

Puis, précisant les définitions qui précèdent, le capitaine Duguet ajoute que la limite élastique d'une éprouvette de compression varie avec les dimensions relatives ou absolues de cette éprouvette, avec la forme de sa section droite et avec la nature des appuis.

Les éprouvettes de sections identiques sont déformées d'une façon permanente sous des charges d'autant plus faibles que la longueur est plus grande ; les barreaux de même longueur et de sections égales en superficie ont une limite élastique d'autant plus faible que la plus petite dimension transversale est moindre.

Pour obtenir la limite d'élasticité de compression proprement dite, il faudrait comprimer des éprouvettes très courtes et de telle façon que ces

éprouvettes restent constamment droites et cylindriques.

Comme la limite élastique, la charge de rupture à la compression, varie beaucoup avec les dimensions de l'éprouvette.

D'une manière générale, pendant la compression, l'éprouvette se gonfle transversalement en même temps qu'elle se raccourcit. Si la matière est très raide, l'éprouvette se raccourcit peu avant de se briser, et la dilatation transversale, faible, est la même dans toutes ses parties. Il en est tout autrement dans le cas où la matière est un peu douce ; les raccourcissements et les dilatations transversales sont alors considérables et très variables d'une section à l'autre. Le gonflement, minimum aux extrémités, est maximum dans le plan de symétrie situé à égale distance des bases, en sorte que, par la compression, l'éprouvette prend la forme en tonneau signalée précédemment.

II. COURBES DE TRACTION ET DE COMPRESSION

On a l'habitude de mesurer les efforts en les rapportant à la section primitive, ainsi qu'on l'a dit à l'étude des machines de traction.

Cela posé, il est intéressant de signaler le mode de représentation graphique employé pour se rendre compte du phénomène observé.

A cet effet, on prend deux axes de coordonnées rectangulaires ; il est clair qu'un point ayant pour abscisse un effort de traction ou de compression et pour ordonnée l'allongement ou le raccourcissement d'une éprouvette, représentera à la fois l'effort et l'allongement ou le raccourcissement.

La courbe qui réunira tous les points ainsi obtenus représentera les allongements ou les raccourcissements en fonction des efforts.

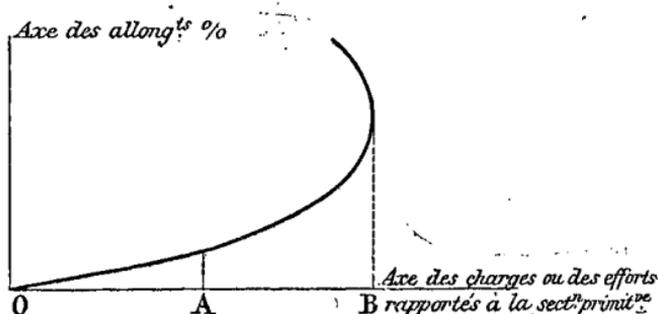


Fig. 21. — Courbe de traction.

OA, limite élastique ; OB, charge de rupture.

Les fig. 21 et 22 donnent une idée de l'allure des courbes de traction et de compression.

L'étude des courbes de traction, notamment,

fera l'objet de longs développements lorsque nous examinerons en détail la théorie et la pratique des essais dans la deuxième partie de ce travail.

En ce qui concerne plus spécialement le phénomène de compression, on peut remarquer que les petits raccourcissements élastiques sont sensiblement proportionnels aux efforts. De la

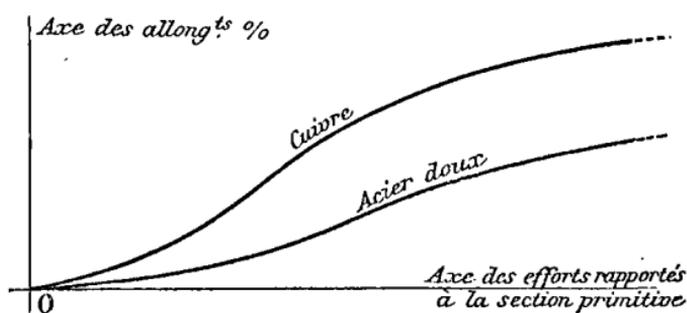


Fig. 22. — Courbe de compression.

limite d'élasticité à un autre effort beaucoup plus grand, les raccourcissements croissent plus vite que les efforts; c'est l'inverse qui a lieu ensuite.

La courbe des raccourcissements se composera donc d'une partie à peu près droite peu inclinée sur l'axe des efforts, puis d'une partie courbe de plus en plus inclinée sur cet axe et tournant sa concavité vers celui des raccourcissements; elle

s'infléchit alors et tourne sa concavité vers l'axe des efforts.

III. APERÇU SUR LES MACHINES ET DISPOSITIFS EMPLOYÉS

Il existe peu de machines construites spécialement pour ce genre d'essai, en raison, d'une part, de l'appropriation facile de la plupart des machines de traction pour l'exécution de l'essai de compression et, d'autre part, de la non utilisation par les constructeurs des résultats directs fournis par l'essai dont il s'agit.

Presque toutes les machines d'essais à la traction peuvent servir pour faire un essai à la compression lorsqu'on y attelle un *appareil de réversion*.

La *fig. 23* représente un de ces appareils composé de deux sommiers S reliés par des tirants avec les points d'attache A A

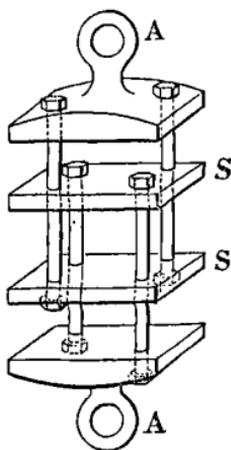


Fig. 23. — Appareil de réversion.

S,S, sommiers entre lesquels est placée l'éprouvette à compresser ; A,A, attaches reliées à la machine d'essai.

de la machine, de telle sorte que les sommiers tendent à se rapprocher l'un de l'autre pendant le fonctionnement de la machine, les éprouvettes à comprimer étant placées entre les plateaux.

La *fig. 24* représente également un appareil de réversion plus robuste constituant un ensemble auquel on donne généralement, comme au précédent, le nom de *mordaches croisées*.

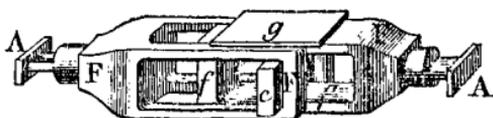


Fig. 24. — Appareil de réversion.

F, grande fourchette ; f, petite fourchette ; c, clef d'assemblage ; A,A, attaches reliées à la machine d'essai ; g, plaque de guidage.

Quand, pour certains essais, on veut comprimer un objet ou une pièce finie, au lieu d'une éprouvette à faces d'appuis bien parallèles, il peut être utile que l'un des sommiers ou plateaux contre lesquels s'appliquent les faces extrêmes de l'objet soumis à l'épreuve soit mobile, de façon que lorsque les deux faces de la pièce à comprimer ne sont pas parallèles, la machine puisse jouer d'elle-même en agissant sur cette pièce.

Quelques machines sont cependant spéciale-

ment construites en vue des essais à la compression, mais elles ont plutôt pour objet de servir à essayer à la compression, et souvent aussi à la flexion, certains produits finis tels qu'essieux, bandages de roues, ressorts, etc., qu'à effectuer des essais proprement dits de compression sur barreaux d'épreuves.

Nous citerons, dans cette catégorie, la machine de la C^{ie} Paris-Lyon-Méditerranée (1) qui se compose d'un bâti en fonte sur lequel est posée une presse hydraulique à action directe, fonctionnant à l'aide d'un compresseur sterhydraulique susceptible de comprimer l'eau jusqu'à 1 200 atmosphères. Cette presse peut, au moyen d'un système de sommiers et de bielles appropriés, agir par compression ou par flexion sur les pièces que l'on soumet à son action ; les efforts peuvent croître jusqu'à 200 tonnes.

Les efforts sont évalués en mesurant la pression d'eau au moyen d'appareils spéciaux et en vérifiant l'exactitude de ce mode d'évaluation

(1) Pour plus de détails sur cette machine, se reporter aux ouvrages suivants :

Annales des Ponts et Chaussées, novembre 1892.

Commission des méthodes d'essais des matériaux de construction (Rapports particuliers, t. II) ; planche XXIX, fig. 74 et planche XXVI, fig. 41.

des efforts à l'aide d'un dynamomètre hydraulique.

Enfin, nous mentionnerons également la machine Kennedy particulièrement aménagée pour les essais de compression.

L'organe de compression, dans cette machine, est constitué par un cylindre hydraulique; l'organe de mesure se compose d'une chape qui est un véritable appareil de réversion et qui agit sur le petit bras d'un levier coudé reportant l'effort sur une romaine dont le curseur est mû par un cordon.

IV. TARAGE DES MACHINES

Les machines de compression et de traction sont, en somme, à l'appareil de réversion près, organisées de même manière; il en résulte qu'un certain nombre des considérations relatives à leur réglage notamment leur sont communes.

C'est pour ce motif que nous avons reporté, dans ce chapitre, les notions indispensables à connaître au sujet du tarage de ces machines.

Étant donné ce que nous savons sur les rap-

ports existant entre ces deux classes d'appareils, nous ne nous occuperons que du tarage des machines d'essais à la traction.

1. Considérations générales. — Tout d'abord, il est nécessaire que les machines d'essais soient exactes de construction, réalisant comme les appareils de pesage usuels les conditions imposées de justesse et de sensibilité.

Il convient d'ajouter toutefois que la pratique courante des essais industriels peut ne pas comporter une rigueur aussi absolue que celle qui résulte des règlements concernant les pesées ; mais, à notre avis, tous les efforts des constructeurs et des opérateurs doivent tendre à n'organiser et à ne se servir que de machines aussi parfaites que possible sous ce rapport.

La nécessité du tarage des machines est presque évidente.

Les conditions d'équilibre établies précédemment ne sont pas tout-à-fait exactes et ne peuvent servir qu'à l'établissement du projet de machine ; il faut tenir compte, en effet, de certaines résistances passives.

Mais, en admettant que la machine ait été pourvue d'une *graduation pratique* substituée à la *graduation théorique* de manière que, par

ce tarage préalable, les indications fournies soient acceptables, il n'en reste pas moins vrai que cette machine est sujette à des dérangements résultant de son emploi.

Il conviendra, comme pour les balances et les bascules, de procéder à des vérifications périodiques et de recourir, à cet effet, à des moyens de tarage rationnels dont nous allons dire quelques mots.

2. Procédés de tarage. — Le tarage sera *direct* ou *indirect*.

Les machines verticales présentent le grand avantage de pouvoir être tarées directement à l'aide de poids suspendus à la place de l'éprouvette.

Il importe toutefois de remarquer que ce procédé de tarage ne peut être appliqué aux machines verticales ayant l'appareil de mesure disposé à leur partie inférieure ou à celles d'une trop grande puissance, en raison, dans ce dernier cas, des difficultés résultant de l'accrochage et de la manœuvre d'une quantité de poids considérable.

On a cependant imaginé des dispositifs permettant de remédier en partie à l'inconvénient dont il s'agit, en se servant de leviers appropriés

qui constituent comme une sorte de romaine accessoire donnant le moyen de réduire la quantité de poids à manipuler et de déplacer, dans les machines verticales dont l'organe de mesure est situé à la partie inférieure, le point d'application de la charge de tarage.

Le tarage direct ne peut être appliqué aux machines horizontales, au moins pour leur vérification intégrale; ce procédé ne peut servir tout au plus qu'à des vérifications partielles de certains organes.

Aussi a-t-on recours le plus souvent au tarage indirect en employant l'une des méthodes indiquées ci-après :

a) On brise un certain nombre d'éprouvettes identiques, soit avec la machine à tarer, soit directement avec des poids.

Ce procédé n'est pas très précis parce que, d'une part, il est difficile de se procurer des éprouvettes identiques et que, d'autre part, si l'on n'agit pas avec de grandes précautions, les éprouvettes seront brisées par des poids très différents de la charge statique qui produira la rupture sur la machine.

b) On peut aussi produire, sous la réserve des inconvénients précédents, une même déforma-

ESSAIS DE COMPRESSION

tion permanente sur des éprouvettes identiques, soit avec des poids, soit sur la machine.

c) Enfin, on peut produire, soit avec des poids, soit à la machine, et sur un *même* appareil spécial, une série de déformations élastiques sur la même éprouvette..

Ce procédé sera à l'abri de tout reproche si les déformations élastiques sont assez grandes pour être mesurées avec exactitude et si l'appareil employé comme tare est un ressort puissant susceptible de grandes déformations.

Le *ressort Belleville* sera très avantageusement employé dans ce but.

d) Deux machines d'essais peuvent encore être comparées en mesurant successivement sur chacune d'elles la limite élastique d'une même éprouvette.



CHAPITRE II



APPAREILS DE CHOC

Les *essais de choc* constituent des méthodes d'épreuves dans lesquelles l'effort exercé sur l'éprouvette ou sur la pièce finie est brusque au lieu d'être simplement gradué, comme dans les essais précédemment analysés ou dans ceux dont il sera question dans la suite.

A ce point de vue, il semble qu'il y aurait lieu de les étudier séparément, mais il convient d'ajouter qu'en raison de l'importance des résultats qu'ils fournissent et de la place qu'ils occupent en pratique, le moment est venu de procéder à l'examen des appareils employés pour l'exécution de ces essais.

L'essai de choc met en jeu, dans le métal éprouvé, une qualité de résistance toute spéciale qui est la propriété inverse de la fragilité et souvent désignée sous le nom de *ténacité*.

C'est la ténacité qui permet au métal de résister à des chocs plus ou moins violents et répétés tels qu'en comportent un grand nombre de pièces entrant dans les constructions de la marine et des chemins de fer notamment ou constituant des engins de guerre.

La connaissance des caractéristiques de l'essai de traction ou des autres essais gradués ne fournit aucun renseignement précis sur l'aptitude du métal à résister aux chocs violents. L'effort lent et continu exercé sur une pièce métallique finit, en effet, par intéresser toutes les molécules en agissant sur chacune d'elles d'une manière à peu près uniforme ; dans le cas de l'effort brusque, au contraire, la transmission n'a pas le temps de s'opérer et les premières molécules atteintes peuvent être profondément altérées, désagrégées ou même séparées, sans que les molécules voisines aient subi un effort appréciable.

I. FLEXION PAR CHOC

Les essais de flexion par choc s'appliquent à des pièces finies ou à des éprouvettes.

Dans le premier cas, ces essais varient forcément avec la nature et la forme de ces pièces ;

le plus souvent, on cherche à déterminer, soit la résistance à la rupture, soit la résistance à la flexion, sous un choc d'une intensité déterminée produit par la chute d'un *mouton* tombant d'une hauteur donnée sur la pièce qui repose sur des appuis aménagés.

Dans le second cas, ces essais ont pour objet de plier sous un choc produit dans des conditions déterminées par un cahier des charges, une éprouvette reposant librement sur deux appuis en continuant le plus généralement la flexion dans le même sens jusqu'à la rupture ou en retournant l'éprouvette sur elle-même après un ou plusieurs coups.

1. Éprouvettes. — Les éprouvettes ont presque toujours la forme d'un barreau prismatique à section carrée ; elles sont prélevées sur la pièce en une région fixée par le cahier des charges.

En raison des dimensions adoptées depuis fort longtemps par la pratique et pour conserver une valeur comparative aux résultats des expériences effectuées jusqu'à présent, la Commission des méthodes d'essai a proposé de donner aux barreaux de choc une longueur uniforme de 20 centimètres pour un espacement des couteaux d'appuis de 16 centimètres.

La section est carrée, son côté étant de 4 centimètres pour la fonte et de 3 centimètres pour les autres métaux (*fig. 25*)



Fig. 25. — Barreau de choc.

Le barreau d'épreuve peut ne pas être prélevé directement en une région déterminée de la pièce dans un excédent de métal qu'un usinage ultérieur est destiné à faire disparaître.

Pour les pièces venant par voie de moulage ou lorsqu'on veut apprécier au préalable, et d'une manière générale, les qualités de résistance au choc d'une coulée de métal devant fournir des pièces qu'on ne se propose pas d'essayer individuellement soit directement, soit par prélèvement d'éprouvettes, on obtient le barreau d'épreuve par une opération préalable.

En ce qui concerne la fonte, par exemple, le barreau est ordinairement coulé dans un moule en sable surmonté d'une masselotte M (*fig. 26*) destinée à récupérer les crasses ou impuretés qui tendent à surnager. Une gorge venant d'un cordon pratiqué dans le moule permet aisément de

séparer par un coup de marteau la masselotte du barreau après le démoulage.

Le barreau ainsi obtenu est, s'il y a lieu, rectifié à l'aide d'un rabotage effectué sur ses faces, ses arêtes sont adoucies à la lime, etc.

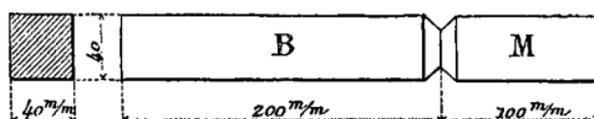


Fig. 26.

En général, les conditions de moulage et de coulée du barreau d'épreuve doivent se rapprocher le plus possible de celles qui seront réalisées lors de la coulée principale.

Les barreaux de choc n'ont pas toujours la forme et les dimensions précédemment indiquées ; il peut arriver, en effet, que les régions de la pièce en lesquelles il est nécessaire de prélever le métal pour en éprouver la résistance au choc ne soient pas capables du solide voulu.

Dans ce cas, en raison de l'impossibilité de pouvoir disposer l'éprouvette sur les couteaux du mouton trop espacés pour sa longueur réduite, on encastre l'une des extrémités de cette éprouvette dans la mortaise d'un appareil de choc approprié et l'on fait tomber le mouton sur l'autre extrémité.

Un dispositif spécial permet de rétablir l'horizontalité de l'éprouvette après chaque coup.

L'éprouvette est alors constituée simplement par une lamette prismatique à section rectangulaire dont les dimensions sont variables suivant les cas considérés.

Les quantités qu'on évalue dans un essai de choc sont la *hauteur de chute* du mouton et le *nombre de coups* que doivent supporter le barreau ou la lamette sans se rompre.

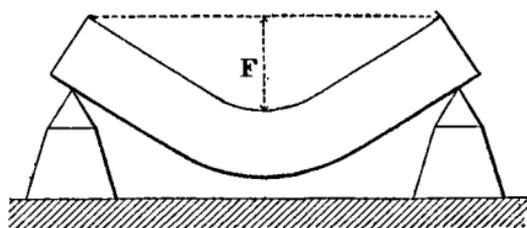


Fig. 27.

A titre de renseignement complémentaire, on mesure souvent la *flèche F* (fig. 27) prise par le barreau après un nombre déterminé de coups de mouton.

Pour les lamettes encastrées, on apprécie l'angle de pliage, soit sous un nombre déterminé de coups de mouton sur une extrémité, soit au moment de la rupture.

2. Moutons. — Les moutons employés doivent avoir des poids et des hauteurs de chute maxima en rapport avec la masse des objets que l'on veut soumettre aux chocs.

La Commission des méthodes d'essai propose de fixer le poids du mouton à 12 kilogrammes pour les éprouvettes en fonte, à 18 kilogrammes pour les autres métaux et à 50 kilogrammes pour les gros aciers ou les gros fers en barres.

Or, en dehors des épreuves de choc sur éprouvettes, il importe de remarquer que l'industrie, surtout pour le matériel des chemins de fer, effectue, soit des essais de rupture, soit des essais de flexion par choc, sur des pièces finies telles que rails, coussinets, essieux, etc.

Dans ce cas, les poids des moutons employés dépassent nécessairement les limites précédemment fixées pour les essais au choc des éprouvettes; ces poids peuvent atteindre 1 000 kilogrammes.

Le mouton peut être en fonte, en acier fondu ou en métal forgé; mais sa partie active ou panne de frappe doit être complètement indéformable afin d'obtenir des actions comparables sur le barreau d'épreuve.

Cette panne de frappe devra être constituée, en conséquence, par un métal très dur, l'acier

dur trempé, par exemple. Il pourra être utile, dans ce cas, de prévoir une panne démontable dont la liaison avec le corps du mouton sera parfaitement assurée.

On a proposé pour la forme de cette panne les conditions suivantes :

La panne sera terminée par une partie cylindrique, à axe horizontal et placé dans le plan du guidage du mouton ; le développement de cette partie cylindrique sera de 90° et son rayon fixé à 5 centimètres pour les essais de fonte et à 3 centimètres pour les essais d'autres métaux. Le poids de la chabotte pourra varier de 300 à 800 kilogrammes pour les moutons destinés à l'essai des éprouvettes et atteindre 10 tonnes pour les moutons de grande masse employés pour les essais de choc sur pièces finies. Dans ce dernier cas, il sera nécessaire de faire reposer la chabotte sur un massif en maçonnerie aménagé en conséquence.

Les arêtes des couteaux sur lesquels est disposé le barreau de choc sont formées de deux faces formant entre elles un angle de 45° et raccordées par un arc de cercle de 2 millimètres de rayon ; l'écartement des couteaux varie de 15 à 18 centimètres.

L'appareil de choc sur lequel est monté le

mouton est constitué dans son ensemble par des montants en charpente, en bois ou métalliques dont la hauteur peut atteindre 10 mètres. Sur l'un des montants est disposé l'appareil élévatoire, treuil mû à bras ou mécaniquement; à cet appareil est associé un déclie, manœuvré à distance, qui permet de provoquer la chute du mouton presque instantanément.

Le mouton doit être guidé dans sa descente par des glissières parfaitement verticales de façon qu'aucune réaction venant des guides ne puisse modifier la force vive que la masse frappante doit acquérir pendant sa chute.

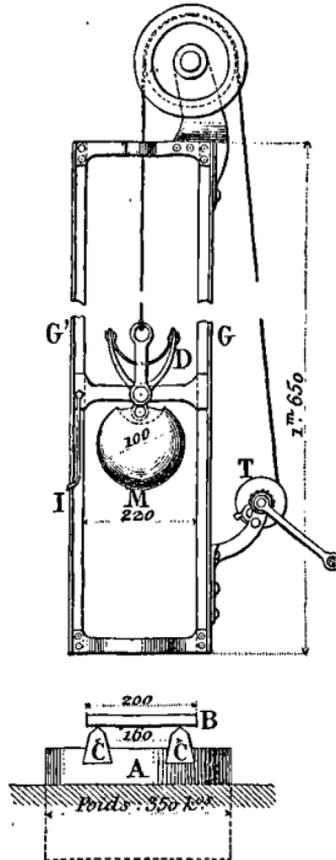


Fig. 28. — Mouton sphérique à chute libre.

A, enclume ou enclume; B, barreau d'épreuve; C, couteaux; G, G', montants ou gradins; G', montant portant l'échelle des hauteurs; I, index; M, mouton; T, treuil de manœuvre; D, déclie.

Les essais au choc ne peuvent s'exécuter avec quelque précision qu'avec des moutons guidés ; cependant, on trouve encore des *moutons à chute libre* constitués par une masse sphérique (*fig. 28 et 29*).

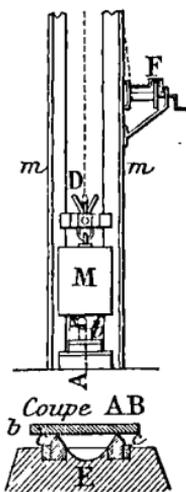
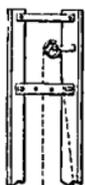


Fig. 29. — Mouton à guidage.

b, barreau de choc ; M, mouton ; m, montants ; D, délie ; F, appareil élévatoire ; C, cou-teaux ; E, enclume.

3. Exécution de l'essai. — Tantôt on opère à hauteur constante et tantôt à hauteurs variables, généralement croissantes.

En l'état actuel de la science, il n'est pas possible d'indiquer à laquelle de ces deux méthodes il convient de donner la préférence ; un vaste champ d'expériences méthodiques à effectuer à ce sujet reste ouvert aux directeurs des laboratoires d'essais. Il semble toutefois qu'il vaudrait mieux, au moins pour la fonte, procéder par hauteurs de chute variables.

Dans l'essai de chute à hauteur constante, cette hauteur est déterminée par les cahiers des charges, pour

chaque nature de métal ; dans l'essai de chute à hauteurs variables, on fixe d'abord la hauteur du premier coup, puis souvent celle du second et ensuite la loi de progression uniforme ou variable à adopter pour la variation des hauteurs.

Quelques expérimentateurs ont eu l'idée de préconiser l'emploi des hauteurs décroissantes, et cela avec grande raison, en vue de mettre en évidence les conditions dans lesquelles une pièce ayant résisté sans rupture à un choc de grande intensité peut se rompre ensuite sous un choc plus faible qu'elle aurait supporté antérieurement. Les données acquises sur ce point important sont encore en trop petit nombre pour qu'on puisse en tirer des conclusions suffisamment précises.

En outre, on peut se demander, lorsque l'essai de choc comporte une succession de coups, ce qui est le cas le plus général, s'il ne conviendrait pas de retourner le barreau d'épreuve après chaque coup ou après un nombre de coups déterminés, au lieu de faire constamment supporter le choc par la même face du barreau, en vue d'apprécier la résistance du métal à l'énerve-ment par choc.

Enfin, il conviendra d'adopter dans les essais

de choc effectués par les différents services constructeurs des conditions exactement comparables, pour chaque classe de métaux, soit pour le poids de la masse frappante, soit pour sa hauteur de chute.

Si P est le poids du mouton, H , la hauteur de chute, le travail de la chute sera mesuré par le produit PH . Il semble donc, à première vue, que, pour l'exécution de l'essai de choc, il soit seulement nécessaire de réaliser une dépense déterminée de travail arithmétiquement égale à PH , sans se préoccuper des valeurs relatives des éléments constitutifs de la force vive développée, savoir : hauteur de chute H et poids du mouton P .

Or, l'expérience montre qu'on ne peut altérer le rapport de ces deux éléments sans modifier en même temps les résultats obtenus avec une dépense égale de travail.

Les considérations qui précèdent sont d'une extrême importance; le fait de les avoir méconnues a conduit quelques praticiens à des conclusions erronées au sujet de la résistance des métaux à la pénétration des projectiles. Et, pour préciser, nous ajouterons qu'il serait dangereux de conclure qu'une tôle d'acier ne sera pas traversée par une balle de masse m et de vi-

tesse v parce qu'un mouton à panne de frappe de forme appropriée, tombant d'une hauteur telle que $PH = \frac{1}{2}mv^2$, l'aura simplement déformée.

Sans vouloir entrer dans des développements que ne comporte pas le cadre restreint de cette étude, nous remarquerons cependant que, dans le cas du tir, l'effet produit est purement local et n'intéresse pour ainsi dire en rien le reste de la pièce éprouvée qui ne subit aucune déformation notable, tandis que dans l'essai de flexion par choc, même avec une panne de frappe spéciale ayant le profil de la balle essayée, cet effet est réparti sur une portion indéterminée du barreau d'épreuve ou de la lame de tôle en expérience et dont l'étendue varie avec les circonstances de l'essai.

II. PÉNÉTRATION ET PERFORATION PAR CHOC

Bien que le mode opératoire des *essais de pénétration par choc* soit étudié depuis peu et que ces essais spéciaux ne soient pas encore appliqués couramment dans la pratique, nous ne pouvons nous dispenser de faire connaître

l'importance des résultats récemment acquis à ce sujet.

L'essai de pénétration par choc proposé par M. le Colonel Martel (*Commission des méthodes d'essais, t. I, Documents généraux*) a pour objet la mesure des empreintes obtenues par choc sur le métal au moyen d'un couteau aménagé à cet effet.

Le métal à essayer ayant été disposé sur une enclume à laquelle il est solidement fixé par des étriers, pour obtenir l'empreinte, il suffit de laisser tomber, sur une région de ce métal spécialement dressée et polie, un mouton cylindrique guidé de 10 à 20 kilogrammes environ portant, vissé à sa partie inférieure, un couteau en acier très dur présentant une forme pyramidale avec angles plus ou moins ouverts.

D'une manière générale, les volumes des empreintes obtenues sont proportionnels au poids et à la hauteur de chute des moutons employés et, toutes choses égales d'ailleurs, ils sont indépendants de la forme des couteaux.

La résistance au refoulement des molécules à la surface peut être définie, par suite, par un coefficient, véritable indice de la dureté à la pénétration, indépendant de la forme du couteau et des circonstances de l'essai et mesurant effecti-

vement le travail nécessaire pour resouler l'unité de volume du métal éprouvé.

L'effet produit étant purement local, le travail de la chute du mouton paraît donc influencer seul sur le volume déformé sans que chacun des éléments constitutifs de la force vive développée, hauteur de chute et poids du mouton, y joue un rôle distinct.

D'où il résulte une différence essentielle entre cette épreuve et l'épreuve de flexion par choc usuelle telle qu'elle a été précédemment décrite.

Pour fixer les idées sur l'importance des grandeurs à mesurer, il suffira de savoir, à titre d'exemple, que, pour un acier à canon ordinaire, un mouton de 20 kilogrammes tombant d'une hauteur de chute comprise entre 10 centimètres et 1 mètre, donne une empreinte ayant une longueur correspondante comprise entre 10 et 20 millimètres et une profondeur de quelques millimètres.

La méthode d'essai dont il s'agit a conduit naturellement à examiner les résultats obtenus en passant au cas extrême où la hauteur de chute devient aussi petite que possible, le poids du mouton augmentant en conséquence, et

d'appliquer la *pression statique* à la production des empreintes (1).

C'est dans cet ordre d'idées qu'on a songé à apprécier la dureté des fontes en opérant avec un poinçon agissant sur le métal sous une pression graduée. En vue de donner aux résultats obtenus toute leur valeur comparative, il est nécessaire d'étalonner le poinçon employé en mesurant la profondeur de la pénétration qu'il peut fournir sous une pression déterminée sur une barre de métal étalon choisi spécialement à cet effet.

Qu'on utilise le choc ou la pression statique en vue d'obtenir l'empreinte, la méthode d'essai par pénétration semble fournir des renseignements fort précieux surtout au point de vue de l'homogénéité du métal en ses différentes régions ; mais il convient d'ajouter que, pour être en mesure d'apprécier la valeur intrinsèque de

(1) On peut signaler comme se rattachant à cette méthode :

- 1° *Les essais de pénétration par striage* ;
- 2° *Les essais de poinçonnage* . .

Ces essais sont l'objet actuellement de nombreuses expériences ; il ne semble pas que les résultats acquis soient suffisants pour qu'il soit possible de les considérer comme étant susceptibles d'être utilisés à brève échéance par la pratique industrielle.

cette méthode et pouvoir, le cas échéant, la substituer aux autres épreuves actuellement en usage, il serait indispensable de connaître les tableaux comparatifs des résultats obtenus, avec un métal donné, aux essais de traction, de compression et de choc, par exemple.

Il n'est pas à notre connaissance que des expériences suffisamment concluantes aient été encore entreprises en vue d'établir une corrélation entre les divers phénomènes dont il s'agit.

En ce qui concerne les *essais de perforation par choc*, nous dirons qu'ils constituent l'épreuve la plus rigoureuse à laquelle le métal puisse être soumis, car elle intéresse à la fois toutes ses propriétés : résistance à la pénétration et au cisaillement, fragilité, malléabilité et dureté.

Ces essais consistent à soumettre une plaque de métal, tôle d'épaisseur variable ou plaque de blindage, à un tir exécuté dans des conditions déterminées.

Bien que cette épreuve soit très onéreuse et qu'elle ne fixe que sur le spécimen essayé, on a dû la conserver jusqu'à ce jour sans pouvoir la remplacer par un essai ordinaire de compression, de choc ou de traction pratiqué sur échantillons, en raison même de la difficulté très grande de

pouvoir discerner exactement la part afférente à chacune des propriétés mécaniques du métal dans sa résistance à la pénétration des projectiles.

Il faudrait aussi tenir compte dans ces essais sur échantillons de l'aptitude que présente le métal à la plus ou moins grande propagation des fentes sous l'action des chocs, soit de sa *fissilité*. Or, l'étude de ce phénomène est encore peu avancée ; on sait cependant quelle importance il convient de lui attribuer dans l'ensemble des propriétés de résistance à la pénétration que doit présenter une plaque de blindage.

Nous ajouterons que, depuis l'apparition des plaques cémentées dans des conditions spéciales donnant toute garantie au sujet de la réussite de cette opération métallurgique (procédé Harvey) on semble devoir attribuer, en outre, à la *dureté* superficielle du métal une influence prépondérante.

Il ne saurait être question, dans ce volume, des formules empiriques établies en vue de relier entre eux les résultats obtenus dans des tirs pratiques avec des projectiles de poids et de calibres divers contre des plaques d'épaisseurs différentes. Nous nous contenterons de signaler les difficultés de plus en plus grandes qui se présentent dans

leur emploi en raison des modifications qu'elles doivent nécessairement subir pour s'adapter aux nouvelles nuances d'aciers spéciaux couramment utilisés aujourd'hui dans la fabrication des plaques de blindage ou des tôles servant de masques contre les feux de mousqueterie.

CHAPITRE III

—

MACHINES ET APPAREILS EMPLOYÉS POUR LES ESSAIS DE FLEXION ET DE TORSION

Ce chapitre sera plus particulièrement consacré à l'étude des machines et appareils employés pour les essais de flexion; nous indiquerons seulement en un rapide aperçu les dispositifs imaginés pour apprécier les qualités de résistance des métaux à la torsion.

Il importe, en effet, de remarquer que les essais à la torsion sont peu usités comme condition de réception, l'expérience ayant prouvé que de bons éléments de résistance à la traction impliquent dans les métaux une bonne résistance à la torsion et que les coefficients de sécurité ne paraissent pas différer notablement dans les deux cas.

En outre, on n'impose pas, en général, aux pièces mécaniques, de grands efforts de torsion.

I. ESSAIS DE FLEXION

Les essais de traction et de compression s'exercent dans la direction même de l'axe de la pièce éprouvée pour en déterminer les réactions longitudinales; l'essai de flexion mesure la résistance transversale *sous un effort continu*.

Comme l'essai de flexion par choc, l'essai de flexion dont il s'agit mesure également la ductilité du métal, mais dans des conditions différentes puisqu'il s'exécute d'une façon lente et progressive; il s'applique aux éprouvettes prélevées dans des conditions fixées par les cahiers des charges et aux pièces finies telles qu'essieux, ressorts de toute nature, bandages de roues, etc., pour la réception desquelles il présente un intérêt exceptionnel.

1. Essais sur éprouvettes. — Les essais sur éprouvettes s'appliquent à un grand nombre de métaux dont les plus importants sont les fontes et les aciers.

Pour les fontes, c'est l'appareil Monge qui est le plus ordinairement employé (*fig. 30*).

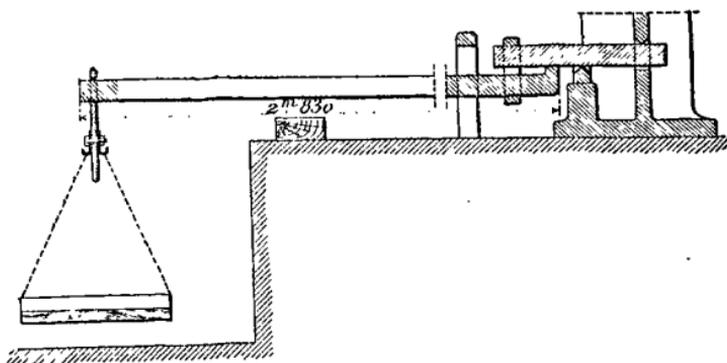


Fig. 30. — Appareil Monge.

Le barreau d'épreuve, à section carrée de 40 millimètres de côté, est coulé dans un moule en sable avec manelotte comme le barreau de choc, mais sa longueur est plus ou moins grande suivant qu'on utilise pour l'essai l'appareil Monge ou toute autre machine.

Dans l'appareil Monge, le barreau s'appuie sur deux couteaux opposés, son extrémité étant reliée par une bride et un tasseau à un levier d'une longueur de 3 mètres environ ; ce levier porte un plateau qu'on charge progressivement de poids de manière à déterminer la flexion du barreau autour du couteau qui se trouve le plus rapproché de l'extrémité du levier.

Les couteaux adoptés ont des faces convergentes formant un angle de 45° , leur arête étant arrondie suivant un rayon de 2 millimètres.

On emploie aussi, pour l'essai des fontes à la flexion sur éprouvettes, la romaine équilibrée de Joëssel qui applique la pression au milieu du barreau essayé reposant sur deux appuis invariables et que nous ne faisons que signaler.

Tandis que l'appareil Monge ne permet pas de lire les flèches prises par le barreau d'épreuve avant la rupture, la romaine de Joëssel permet, par contre, ces lectures très facilement en les amplifiant au moyen d'un appareil automatique enregistreur qui fournit le diagramme des flèches prises par le barreau d'épreuve sous les charges variables et progressives auxquelles il est soumis.

Pour les métaux autres que la fonte, pour les aciers notamment, on apprécie la ductilité du métal sur des éprouvettes ou plutôt sur des lamettes dont les dimensions sont fixées par les cahiers des charges, d'après l'importance du pli ou de la courbure obtenus par les méthodes d'épreuve de *pliage*, *cintrage* et *courbage* plus communément désignées sous le nom générique unique de *méthodes de pliage*.

L'épreuve de *pliage* proprement dite est la déformation qu'on produit en déterminant au milieu de la barrette un véritable pli initial sur une arête de faible rayon et en agissant ensuite sur les deux branches rectilignes ainsi formées pour les rapprocher sans les cintrer.

L'épreuve de *cintrage* consiste à enrouler le barreau expérimenté sur un mandrin de diamètre déterminé généralement multiple de l'épaisseur ; cette épreuve intéresse donc par la courbure une région plus étendue que celle qu'on obtient par le pliage.

L'épreuve de *courbage* est un cintrage opéré librement sans mandrin en rapprochant les deux extrémités de la barrette sans fournir aucun appui à la région centrale ; la courbure obtenue se règle d'elle-même d'après la qualité du métal et l'épaisseur de la barrette considérée.

L'épreuve de pliage proprement dite est très couramment employée ; le pliage est pratiqué à l'aide de machines spéciales qui ne sont en somme que des étaux de forme appropriée. On l'exécute aussi, soit à la presse, soit au marteau ; on peut même utiliser à cet effet les machines d'épreuve à la traction ou à la compression munies de dispositifs très simples.

Quel que soit le procédé mis en œuvre pour l'épreuve, le pliage proprement dit a pour objet de limiter essentiellement la déformation à la charnière du pli formé en mettant surtout en jeu l'allongement de striction en ce point. Suivant les dimensions de la lamette ou suivant la nature du métal essayé, on mesure l'angle $a b c$ (fig. 32) des deux parties de la lamette soumise à l'épreuve.

L'angle choisi est toujours l'angle intérieur d'ouverture des branches rapprochées et non pas le supplément de cet angle à 180° . De cette définition, il résulte que le métal éprouvé est d'autant plus ductile que l'angle de pliage mesuré comme il est indiqué est plus faible.

Souvent l'épreuve de pliage est confondue avec celle du cintrage, car on l'effectue avec de véritables mandrins de diamètre, supérieur à l'épaisseur des barrettes. On mesure alors le rayon

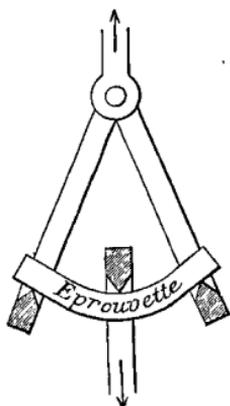


Fig. 31. — Dispositif adapté à une machine à traction pour l'essai de flexion.

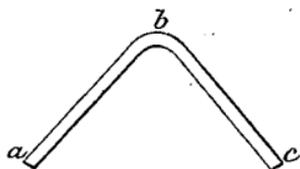


Fig. 32

de courbure r de la partie ployée autour du mandrin.

Dans chaque cas déterminé, le cahier des charges fixe la valeur de l'angle de ployage ou du rayon de courbure auxquels on doit arriver sans qu'il se produise de criques dans la région du métal qui se déforme ou sans que la rupture s'ensuive.

Les essais de flexion dont il s'agit doivent être effectués en développant un effort progressif et sans choc, surtout pour les



Fig. 33

sans choc, surtout pour les métaux qui ne peuvent supporter qu'un pliage limité à un angle obtus ou faiblement aigu, sous peine d'obtenir des criques prématurées ; c'est dans ce but d'ailleurs qu'on réduit

la largeur de la barrette d'essai pour que l'effort demandé à l'opérateur ou à la machine ne soit pas excessif.

Cet inconvénient disparaît évidemment avec les métaux très ductiles pour lesquels le pliage à bloc des deux branches de l'éprouvette est imposé. Pour ces métaux doux, il convient de remarquer qu'en raison de la facilité avec laquelle ils supportent le pliage à bloc, l'essai de simple pliage est insuffisant le plus souvent

pour bien caractériser le métal; aussi est-on conduit quelquefois à effectuer un double pliage dans les barettes déjà rabattues.

On peut aussi faire des plis à 90° alternatifs dans les deux sens; la qualité se trouve alors définie par le nombre de plis ainsi obtenus.

Les trois méthodes de pliage, cintrage et courbage sont appliquées dans des conditions très variées, à froid ou à chaud, sur métal naturel, simplement trempé, ou trempé et recuit, etc., on obtient alors, suivant le cas, des résultats différents qui précisent mieux la qualité du métal en faisant ressortir l'influence du traitement appliqué.

Les essais dont il vient d'être question déterminent dans le métal des *déformations permanentes*; or, il est nécessaire, en vue de certaines applications, de pouvoir effectuer des flexions sur éprouvettes sans que la *limite élastique de flexion* soit dépassée.

Les essais à la flexion ainsi définis sont particulièrement utiles pour apprécier la qualité des lames d'acier à ressorts.

On se sert, pour les exécuter, soit d'une machine à traction munie d'un dispositif approprié,

soit d'une simple bascule sur le plateau de laquelle est disposée la lamette à essayer.

Dans ce dernier cas, la flexion est opérée par un levier articulé autour d'un point fixe indépendant du plateau de la bascule et la pression est mesurée par des poids posés sur le plateau de la balance.

Quel que soit l'appareil employé, il faut pouvoir être en mesure de relever facilement la valeur des flèches de la barrette en expérience; cette barrette reposant par ses deux extrémités sur deux chariots qui lui permettent de fléchir sans frottement de glissement sur les points d'appui.

L'épreuve de flexion sur les lames d'acier à ressorts a pour but de déterminer la limite élastique de flexion et l'allongement correspondant en vue de calculer le module d'élasticité.

On peut terminer l'essai en déterminant la charge de rupture à la flexion.

La limite élastique de flexion peut être obtenue par deux méthodes dont la comparabilité est fort discutable, ainsi qu'on le verra à l'étude de la théorie des essais :

a) L'une de ces méthodes consiste à opérer par applications et suppressions alternatives de charges croissantes, de manière à vérifier après

chacune d'elles la flexion initiale et à déterminer ainsi l'instant où une déformation permanente se produit ;

b) L'autre est également basée sur l'emploi de charges croissantes, mais sans aucune interruption pour ramener la barre à sa flexion initiale, en observant, en définitive, le moment où les allongements cessent de croître proportionnellement aux efforts exercés.

2. Essais sur pièces finies. — Pour les essais de traction, on peut dire qu'en général l'épreuve ne s'applique qu'aux éprouvettes, les essais spéciaux sur pièces finies n'étant exécutés que sur les fils métalliques, les câbles et les chaînes dans des conditions que nous ne saurions décrire en détail sans sortir des limites de ce travail.

Par contre, les essais de flexion sur pièces finies présentent un grand intérêt, pour celles qui ont à supporter en pratique, de grands efforts de flexion, comme les ressorts de toute nature, les rails, les éclisses, etc.

On distingue principalement parmi les appareils d'essais :

Les machines à essayer les ressorts ;

Les machines à essayer les rails.

L'essai pratiqué sur les ressorts a pour but de vérifier si ces objets pourront supporter, en service courant, les conditions de fatigue prévues.

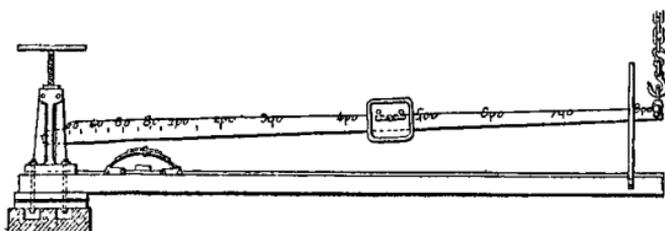


Fig. 34. — Machine à essayer les ressorts.

A cet effet, on exécute une flexion correspondant à un effort inférieur à celui pour lequel apparaissent les déformations permanentes, en vue d'éviter précisément le relèvement de la limite élastique de flexion qu'entraînent les essais successifs pratiqués sous une charge un peu supérieure à cette limite.

On procède ensuite à l'essai par oscillations répétées ou par balancement, de manière à obtenir, pour les ressorts à lames parallèles, un appui parfait des lames les unes sur les autres.

Les deux extrémités du ressort reposent, pendant l'essai, sur des petits chariots qui leur permettent de se déplacer sans résistance sous l'action de l'effort de flexion.

La machine d'essai est organisée de telle sorte

que l'épreuve des ressorts soit effectuée avec très grande rapidité pour se rapprocher, autant que possible, des conditions de fatigue de leur emploi.

En dehors du type d'appareil représenté plus haut, on trouve un grand nombre de machines à essayer les ressorts du modèle général des machines-outils dites à *mortaiser*. Le mouvement de va-et-vient du porte-outil est employé à produire la flexion du ressort qui repose sur une bascule servant à mesurer les efforts exercés.

Quelquefois on fait usage d'un pilon à vapeur dont le marteau spécialement aménagé à cet effet agit directement sur le ressort, la charge étant mesurée au moyen d'un manomètre métallique donnant la pression de la vapeur dans le cylindre du pilon.

En ce qui concerne les machines à essayer les rails par flexion, nous citerons seulement celle de Marié, construite par les ateliers de Grafenstaden et très employée dans les usines françaises et celle de Thomasset.

Les machines à essayer les rails doivent être très robustes et agencées en vue de faciliter la manutention des objets pesants auxquels elles s'appliquent; elles sont généralement munies d'un appareil enregistreur.

II. ESSAIS DE TORSION

L'épreuve de torsion, on l'a dit, présente un intérêt plutôt théorique ; elle n'est appliquée couramment qu'à la réception des fils. Ces produits ont souvent à supporter, en effet, des torsions importantes dans les enroulements et déroulements qu'ils subissent continuellement.

Ce n'est pas que bon nombre d'organes de machines ne soient soumis, d'autre part, à des efforts de torsion au cours de leur fonctionnement normal ; mais il importe de remarquer que ces pièces travaillent, sous ces efforts, au-dessous de leur limite élastique. Dès lors, il a semblé inutile de recourir à une épreuve spéciale destinée à apprécier la résistance du métal à ce point de vue.

1. Données générales. — Dans son ouvrage sur la *Limite d'élasticité et résistance à la rupture*, le capitaine Duguet signale quelques résultats concernant le phénomène de torsion.

D'après ses expériences, la forme et les dimensions d'un solide de révolution tordu autour

de son axe restent invariables, quelque grande que soit la torsion.

La longueur, la section et, par suite, le volume et la densité se maintiennent constants.

Les sections droites restent planes et normales à l'axe, la torsion ne produisant sur les corps de révolution qu'une simple rotation des sections droites autour de l'axe de symétrie, rotation infiniment petite d'une section relativement à une section infiniment voisine, rotation finie d'une section relativement à une autre située à une distance finie.

Pour un corps quelconque, un prisme par exemple, le phénomène est conservé, mais avec légère déformation des sections droites toutefois. Dans le cas d'un prisme à section carrée, le capitaine Duguet a remarqué que les sections droites restent sensiblement carrées, les angles étant devenus plus obtus et les diagonales s'étant légèrement raccourcies. La surface du prisme, après la torsion, peut être considérée comme engendrée par les quatre côtés d'un carré dont les sommets se meuvent sur quatre hélices parallèles en lesquelles se sont transformées les arêtes rectilignes du prisme.

En traçant à la surface des éprouvettes cylindriques des génératrices, on reconnaît que ces

droites se transforment en hélices par la torsion ; d'où il résulte que toute section droite tourne, relativement à une autre, d'un angle proportionnel à la distance des deux sections.

En prenant pour abscisses (fig. 35), les moments de torsion ou les efforts exercés aux extrémités d'un même bras de levier sur une éprouvette

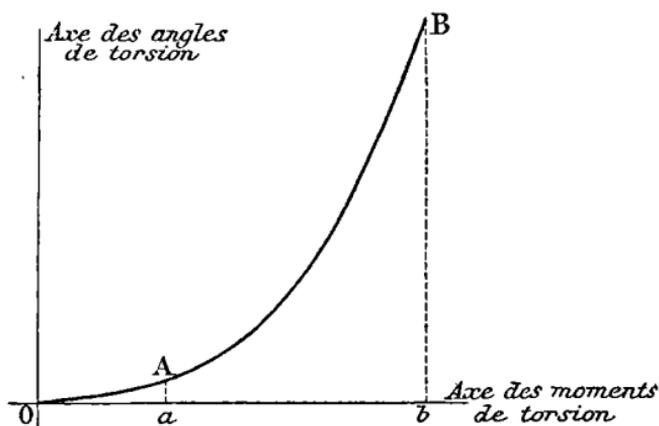


Fig. 35. — Allure générale d'une courbe de torsion.

tordue à l'aide d'une machine d'épreuve et pour ordonnées les angles de torsion correspondants, on obtient une courbe se rapprochant beaucoup, comme forme générale, d'une courbe de traction.

On y retrouve, comme dans celle-ci, une portion rectiligne qui correspond à la torsion entièrement élastique donnant à son extrémité oppo-

sée à l'origine une abscisse égale au moment limite d'élasticité et une ordonnée représentant l'angle de torsion correspondant.

Au delà de la torsion élastique, on constate que tout moment supérieur au moment limite d'élasticité produit une torsion totale qui se compose d'une torsion élastique et d'une torsion permanente. Les efforts de torsion cessant d'agir, la barre se détord d'un certain angle et conserve une torsion permanente. Une éprouvette tordue primitivement par un moment supérieur à la limite élastique naturelle acquiert une nouvelle limite élastique superficielle précisément égale au moment qui a produit la déformation primitive.

L'analogie avec le phénomène de traction permet de retenir facilement les données qui précèdent; il suffira de remplacer les notions d'allongement et de charge de traction par les notions correspondantes spécifiées ci-dessus.

La courbe de torsion tourne sa concavité vers l'axe des angles de torsion; au delà de la limite élastique, les torsions croissent plus vite que les moments.

Le point B correspond à la rupture; il est plus ou moins rapproché de A suivant la raideur de la matière; l'abscisse Ob est égale au

moment de rupture et l'ordonnée Bb à la torsion extrême.

2. Machines d'épreuve. — L'épreuve de torsion pour les fils se pratique généralement à la main ; une extrémité du fil à essayer est placée dans un étau fixe, l'autre extrémité étant serrée dans une mâchoire mobile à laquelle on imprime une rotation continue.

Au lieu de ce procédé peu précis, on a recours aujourd'hui le plus souvent, soit pour les fils, soit pour les éprouvettes, à des machines construites spécialement dans ce but donnant à chaque instant la valeur du moment de torsion développé et l'angle de torsion correspondant.

Ces machines sont plus ou moins robustes suivant la nature des éprouvettes ou suivant les métaux qu'on a à y éprouver.

On trouve dans toutes les machines de torsion deux tourillons creux portés par des supports appropriés ; c'est donc dans des logements pratiqués à l'intérieur de ces tourillons que sont fixées les têtes du barreau d'épreuve.

Dans la machine Wade ; un tourillon est à peu près fixe, l'autre tourillon porte un secteur solidaire d'une chaîne reliée à une romaine qui

mesure l'effort, tout en le produisant. Chaque tourillon est muni d'une aiguille qui se meut sur un cadran divisé, et l'angle de torsion est la différence des deux lectures faites.

Dans la machine Thomasset; l'effort est produit à l'une des extrémités du barreau par une vis sans fin et est mesuré à l'autre extrémité par un manomètre.

Dans certaines machines, on rencontre des enregistreurs plus ou moins ingénieux traçant des diagrammes dont les abscisses sont proportionnelles aux angles de torsion du barreau et les ordonnées aux moments de torsion correspondants.

En plus des machines signalées ci-dessus, nous citerons celles de MM. Mohr et Federhaff, Amsler et Laffon, et enfin celle de M. Thürston.

D'une manière générale, on peut dire que les machines dont il s'agit ont plutôt servi à la recherche des données théoriques relatives à la torsion qu'à celle de résultats susceptibles de fournir des renseignements pratiques aux constructeurs. Il ne semble pas, actuellement du moins, qu'on soit fixé d'une manière définitive sur les dimensions à adopter pour les barreaux d'épreuve, sur l'importance des différentes caractéristiques de l'essai et sur leur relation avec les

résultats fournis, pour un métal donné, par les autres essais pratiques.

Un vaste champ d'expériences et de recherches reste ouvert à ces points de vue aux laboratoires d'essais.



TITRE III

ESSAIS SPÉCIAUX

Nous étudierons successivement les essais au choc de barreaux entaillés et les essais de fabrication.

CHAPITRE PREMIER

ESSAIS AU CHOC DE BARREAUX ENTAILLÉS

L'essai au choc de barreaux entaillés a pour but de reconnaître la *fragilité* des métaux et d'en chercher une mesure ayant au moins une valeur comparative.

La fragilité peut être considérée comme suffisamment définie par la facilité avec laquelle le métal se brise sous un faible travail de l'effort destructeur quand celui-ci est le résultat d'un choc.

I. PRÉLIMINAIRES

Cet essai, imaginé il y a quelques années à peine, n'est pas encore entré dans la pratique industrielle en vue de sa substitution définitive aux essais de flexion par choc toujours en usage.

L'idée de pratiquer une entaille sur l'échantillon à éprouver avant de le soumettre à l'effort n'est cependant pas nouvelle, mais il faut bien reconnaître qu'elle avait été appliquée jusqu'à ces dernières années d'une façon par trop rudimentaire.

Dans son très intéressant mémoire sur les *Essais des métaux par pliage de barrettes entaillées*, M. Frémont signale qu'au xviii^e siècle déjà les métallurgistes essayaient le fer en pratiquant à la tranche des entailles correspondantes et en opérant par le choc du mouton (*Bulletin de la Société d'Encouragement*, septembre 1901).

Plus tard, cet essai au choc sur barreau entaillé, fut utilisé d'une façon analogue, mais mieux définie ; c'est dans ce but que, pour unifier l'entaille, on tarauda les fers ronds et carrés, le pliage au marteau s'opérant sur la partie taraudée.

L'essai de traction, décrit par Réaumur en 1722, n'était pas ignoré, mais il servait spécialement pour l'étude de la résistance des métaux afin d'en déduire, en appliquant un certain coefficient de sécurité, la résistance maxima qu'ils jugeaient à propos de ne pas dépasser dans les efforts qu'ils attribuaient aux métaux employés (1).

Lorsque les progrès de la métallurgie permirent à l'industrie d'obtenir, à la fois et en grande masse, presque toutes les variétés d'aciers fondus, soit vers 1860, l'essai de traction domina les autres méthodes d'essais et servit presque

(1) L'essai de traction n'est devenu un essai de recette que depuis 1860, à la suite d'une importante étude due à M. David Kirkaldy, étude coïncidant avec l'apparition et le développement des aciers Bessemer. La méthode répondant au besoin nouveau de classer numériquement les nouveaux produits, les essais au choc qui n'avaient pas encore été mis en état de fournir des chiffres, furent laissés de côté (FRÉMONT, *loc. cit.*).

d'unique criterium pour le classement des métaux.

On se contenta de lui adjoindre, comme nous l'avons antérieurement expliqué, l'essai de flexion par choc au mouton en vue de se garer contre une trop grande fragilité.

Or, dans ce dernier essai, on l'a dit, *l'effet produit est une fonction complexe du poids du mouton, de la hauteur de chute, des dimensions du barreau et surtout des déformations successives qu'il éprouve.*

On ne saurait négliger, en outre, l'effet de la répétition des chocs non plus que celui de l'écrouissage.

Il importerait par suite au plus haut point, pour apprécier la fragilité du métal, de se servir d'un procédé permettant *d'effectuer d'un seul coup de mouton la rupture* du barreau d'essai.

La méthode d'essai au choc de barreaux entaillés a pour objet de répondre à ce desideratum.

II. DESCRIPTION DE L'ESSAI

Sur une barrette d'une assez grande longueur du métal à essayer, l'acier par exemple, on pratique une série d'entailles également espacées.

Le barreau est encastré dans un étau en ne laissant dépasser que son extrémité qui doit recevoir le choc du mouton, l'entaille étant à fleur de l'étau comme l'indique la *fig. 36*.

On évite l'inconvénient de la répétition des chocs, en cherchant la hauteur de chute qui amène la rupture d'un seul coup. La masse de métal en porte-à-faux surbissant le choc est constante, car on a le soin, après chaque coup de mouton, de détacher le tronçon quand la rupture ne s'est pas produite.

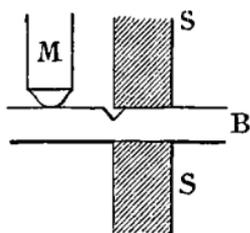


Fig. 36. — Essai au choc sur le barreau entaillé.

M, mouton ; B, barreau entaillé ; S, S, organes de serrage.

1. Détermination de la hauteur de chute.

— Si le métal était parfaitement homogène en ayant en tous ses points la même résistance, on conçoit qu'on arriverait à définir la hauteur limite de chute en donnant des coups longs et des coups courts de plus en plus rapprochés.

Or, il n'en est pas ainsi ; aussi procède-t-on dans la détermination de cette hauteur de la manière suivante :

Considérons la hauteur h_{\max} , à laquelle le bar-

reau a résisté et la hauteur $h_{\min.}$ à laquelle il s'est rompu ; la moyenne cherchée est comprise entre les deux limites $h_{\max.}$ et $h_{\min.}$.

Soient h, h', h'', \dots les n hauteurs comprises entre $h_{\max.}$ et $h_{\min.}$ ayant provoqué une rupture, pour chacune des sections correspondantes, la hauteur précise de rupture est inférieure à h, h', h'', \dots

La valeur moyenne de ces hauteurs précises de rupture est donc $< \frac{h + h' + h'' + \dots + h_{\min.}}{n + 1}$.

De même, soient h_1, h_2, \dots les n' hauteurs comprises entre $h_{\max.}$ et $h_{\min.}$ n'ayant pas déterminé la rupture, pour chacune des sections correspondantes, la hauteur précise de rupture est supérieure à h_1, h_2, \dots

La valeur moyenne de ces hauteurs précises de rupture est donc $> \frac{h_1 + h_2 + \dots + h_{\max.}}{n' + 1}$.

On prendra, comme hauteur moyenne, la moyenne entre ces deux limites supérieure et inférieure.

Si le métal était homogène et l'essai bien conduit, on devrait trouver pour $h_{\max.}$ et $h_{\min.}$ des valeurs sensiblement égales, $h_{\min.}$ étant légèrement supérieur à $h_{\max.}$.

Quel que soit l'état du métal, en admettant

que h_{\max} , et h_{\min} , soient déterminés exactement, on peut prendre le rapport $\frac{h_{\max} - h_{\min}}{h_{\max}}$ pour évaluer l'importance des écarts de résistance et, par suite, de l'hétérogénéité du métal ; ce rapport a été appelé par M. Barba le *coefficient d'irrégularité*.

Le procédé qu'on vient de décrire exige une assez grande quantité de métal puisqu'il ne donne le résultat qu'après l'essai de plusieurs barrettes, en outre, il ne décèle pas sûrement la fragilité ; la vitesse du marteau au moment du choc pouvant ne pas être suffisante.

Tel acier qui se rompra avec un travail de N kilogrammètres produit par un poids P tombant d'une hauteur H, se rompra avec une quantité de travail plus faible que N, mais produite par un poids plus faible tombant d'une hauteur plus grande.

2. Évaluation du travail de rupture. — Puisque la vitesse du marteau au moment du choc a une influence notable, il conviendrait de donner au marteau une vitesse d'une importance à déterminer par l'expérience en disposant d'un marteau dont le poids, sous la hauteur de chute déterminée, occasionne toujours la rupture, quelle que soit la qualité du métal.

Mais alors, le mouton doit être organisé de manière à pouvoir mesurer le travail résiduel que possède en force vive le marteau du mouton après rupture de l'éprouvette de manière à obtenir la valeur de la résistance vive de rupture.

C'est la méthode due à M. Frémont et qui a fait l'objet d'une communication à l'Académie des sciences, le 4 octobre 1897.

Le mouton ⁽¹⁾ est construit de telle sorte que le marteau porte-poinçon, du poids de 10 kilogrammes, vienne frapper des crushers ou des ressorts après avoir opéré la rupture de l'éprouvette ; les crushers sont d'autant plus comprimés par le choc du marteau que la force vive résiduelle est plus grande.

En pratique, les crushers ne peuvent être employés que lorsqu'il ne s'agit d'essayer qu'une petite quantité d'éprouvettes, mais lorsque le nombre d'essais devient important, il faut employer les ressorts.

L'appareil Frémont permet de mesurer le travail résiduel et, par suite, le travail exactement

(1) La description de cet appareil figure dans le *Bulletin de la Société d'encouragement* de Septembre 1901 : *Essai des métaux par pliage des barrettes entaillées* (par M. Frémont).

dépensé pour effectuer la rupture, avec une très grande approximation.

M. Charpy a également proposé une méthode pour la mesure du travail de rupture en employant un pendule spécial.

En résumé, à la méthode de la détermination des hauteurs de chute précédemment exposée, il convient donc d'ajouter celle qui est basée sur la mesure du nombre des kilogrammètres absorbés dans le travail de rupture et appliquée en pratique, soit avec le mouton de M. Frémont, soit avec le pendule de M. Charpy.

Nous ajouterons qu'on peut aussi substituer à la mesure du travail de rupture celle de l'angle de rupture du barreau, ainsi que l'a également proposé M. Charpy en faisant usage, comme dans la méthode des hauteurs de chute, d'un mouton quelconque.

Il résulte, en effet, de l'expérience que cet angle varie dans le même sens que le travail correspondant ; on pourra ainsi ne pas être à la merci d'une erreur d'essai et recommencer autant de fois qu'on le veut cette mesure d'angle, tandis qu'il suffit d'un moment d'inattention pour manquer la mesure du travail.

III. DIMENSIONS DES ÉPROUVETTES

Les dimensions des barreaux entaillés ne sont pas soumises à une réglementation définie, l'étude de la méthode dont il s'agit se poursuivant encore actuellement ; il est possible toutefois d'indiquer celles qui ont été le plus généralement adoptées par les différents expérimentateurs.

M. Barba en appliquant à des essais de tôle la méthode basée sur la détermination de la hauteur de chute a donné aux barreaux l'épaisseur de la tôle, en adoptant une largeur uniforme de 30 millimètres et une longueur de 300 millimètres. Les entailles triangulaires sous un angle de 45° ont été pratiquées à l'outil tous les 25 millimètres.

Le fond de l'entaille a été constitué par un arrondi dont le rayon ne dépassait pas deux dixièmes de millimètres ; les épaisseurs après entailles étaient les suivantes :

Tôles de 8^{mm} à 13^{mm} : 5^{mm}

Tôles de 13^{mm} à 18^{mm} : 10^{mm}

Tôles de 18^{mm} à 22^{mm} : 15^{mm}

Il a été reconnu par cet ingénieur que la profondeur rigoureuse des entailles n'a pas une importance absolue ; il suffit qu'elle soit assez grande pour soustraire à toute déformation sérieuse le métal compris entre l'entaille d'encastrement et le point qui reçoit le choc, une erreur de près d'un millimètre dans cette profondeur ne donnant lieu qu'à des écarts assez minimes dans les hauteurs de chute.

Seule, l'acuité de l'angle déterminant la longueur de la fibre extrême soumise à la tension a besoin d'être bien réglée.

Dans la méthode de mesure du travail résiduel, M. Frémont a été conduit à adopter, après un très grand nombre d'essais, une largeur de 10 millimètres sous une épaisseur de 8 millimètres.

D'ailleurs, les tôles pour chaudières, pour coques, — les larges plats employés dans la construction des ponts, — les cornières et les profilés divers n'ont souvent que 8 millimètres d'épaisseur.

La distance entre entailles a été fixée à 30 millimètres par cet ingénieur.

L'entaille est pratiquée à la scie ; elle a un millimètre de largeur et une profondeur voisine de 1 millimètre, son fond est arrondi. L'expé-

rience a montré que le barreau peut être entaillé à la scie ou avec la fraise sans que l'essai en soit influencé.

Il semble que la profondeur de l'entaille puisse ne pas être réglée d'une manière aussi rigoureuse que sa largeur.

IV. RÉSULTATS GÉNÉRAUX

Quelles que soient les données numériques adoptées pour mesurer la fragilité d'un métal, on constate toujours une certaine discontinuité dans les résultats fournis par les essais. Cette discontinuité ne permet pas d'affirmer, ainsi que le fait remarquer M. H. Le Chatelier ⁽¹⁾, qu'il existe une solution de continuité entre les métaux fragiles et les métaux non fragiles. En fait, la position de cette discontinuité dépend autant du mode d'essai employé que de la qualité même du métal.

Si l'on étudie une série de métaux variant dans leur qualité d'une façon continue, ce que

(1) H. LE CHATELIER. — *De la discontinuité dans les essais de fragilité* (Bulletin de la Société d'encouragement, juillet 1902).

l'on peut obtenir facilement en prenant un métal de très bonne qualité et le surchauffant, le brûlant, pendant des temps régulièrement croissants, *on observe que la coupure entre la fragilité et la non fragilité se produit pour un surchauffage variable avec la nature de l'entaille adoptée.*

Ces résultats ont été obtenus, soit en mettant à contribution le nombre de kilogrammètres absorbés dans le travail de rupture avec le mouton de M. Frémont et le pendule de M. Charpy, soit en mesurant, dans l'essai au mouton ordinaire, l'angle de rupture du barreau.

Il semble donc insuffisant de diviser les métaux en deux catégories, les fragiles et les non fragiles, ce qui est la conséquence du choix de l'une ou de l'autre des méthodes de choc sur barreaux entaillés.

On arriverait, en s'arrêtant à des conditions d'essai d'une sévérité moyenne, à ne pouvoir établir de distinction parmi les métaux de premier choix, comme les tôles à chaudière, qui seraient à peu près toutes non fragiles, ni parmi les métaux de qualité médiocre, comme les rails, qui seraient tous fragiles. Il est nécessaire, si l'on veut se contenter de cette division en deux catégories, de varier les conditions de l'essai

suivant la nature des métaux auxquels il doit s'appliquer.

On y arrivera en changeant la *largeur* de l'entaille ou sa *profondeur*.

Laissant de côté la question des formes d'entailles que l'expérience autorise à considérer comme étant d'une influence secondaire sur les résultats des essais, il semble, par contre, que le moment est venu d'étudier très exactement le rôle joué par la largeur et la profondeur de ces entailles.

Des expériences ne tarderont pas à être entreprises sur ce point important.

Il deviendra possible alors de pouvoir différencier les degrés de sévérité à adopter suivant la qualité des métaux soumis aux essais et d'agir sur les limites de la solution de continuité précédemment signalée.

CHAPITRE II

ESSAIS DE FABRICATION

Les méthodes d'essai antérieurement étudiées, telles que l'épreuve de traction, de flexion par choc, etc., ont surtout pour objet d'apprécier une propriété déterminée du métal plutôt que la manière dont il pourra se comporter sous l'action d'efforts de l'ordre de ceux qu'il est appelé à supporter soit en service, soit au cours des transformations mécaniques de son façonnage.

Le présent chapitre est destiné à faire connaître les procédés employés pour donner satisfaction à ces divers desiderata; nous rappellerons seulement que les essais de flexion, de traction et de choc sur pièces finies précédemment signalés doivent s'y rattacher au point de vue didactique.

I. ESSAIS DE FAÇONNAGE A FROID

Les épreuves de *façonnage à froid* comportent l'essai d'élargissement au mandrin pratiqué sur des trous percés dans des éprouvettes ou dans des pièces finies, comme les moyeux de roues, les frettes à canons, etc., l'essai d'emboutissage pratiqué sur les tôles et sur certaines pièces finies, l'essai d'écrasement et d'aplatissement.

La Commission des méthodes d'essais, plusieurs fois citée dans le cours de ce volume, recommande l'emploi presque exclusif de la machine pour l'exécution de ces épreuves en vue de pouvoir réaliser dans un délai aussi court que possible l'uniformisation des méthodes et de donner aux résultats obtenus une certaine valeur de comparaison.

1. Essais d'élargissement au mandrin. — On pratique ces essais, soit sur éprouvettes, soit sur pièces finies.

L'épreuve sur éprouvettes s'exécute sur trous forés ou poinçonnés, soit au marteau à devant,

soit au pilon, à l'aide de mandrins d'une conicité de $\frac{1}{10}$; elle donne de précieuses indications sur la *fissilité* du métal.

L'épreuve sur pièces finies appliquée aux frettes, tubes résistants, moyeux de roues, etc., a pour objet, en raison de l'effort exercé supérieur à la limite élastique, de déterminer une distension totale fixée à l'avance qui, en élevant la limite élastique primitive, mettra en évidence les défauts locaux qui n'eussent pu être révélés sans cette dilatation permanente anormale.

2. Essais d'emboutissage. — Ces essais sont pratiqués spécialement sur les métaux doux, tôles minces de fer ou d'acier, échantillons de cuivre même en forte épaisseur.

On se sert, à cet effet, de presses hydrauliques munies de manomètres permettant de mesurer l'effort développé pour obtenir à l'aide d'un mandrin un creux de diamètre et de profondeur déterminés, la malléabilité étant appréciée par la valeur de la flèche qu'on peut obtenir avant l'apparition des criques.

3. Essais d'aplatissement et d'écrasement. — L'essai d'*aplatissement* est pratiqué sur les métaux mous ou sur les fers et aciers des-

tinés à la fabrication des rivets, soit au marteau, soit au pilon.

On note, soit le rapport de la surface élargie à la surface initiale, soit la réduction de hauteur d'un rond de diamètre déterminé, avant qu'il se produise aucune déchirure.

A cette épreuve se rattache l'évaluation des résultats obtenus dans la fabrication même quand on observe des défauts d'homogénéité dans l'érouissage au marteau des feuilles de cuivre ou dans le planage nécessaire au dressage des tôles de fer et d'acier.

II. ESSAIS DES MÉTAUX A CHAUD

Les essais de *façonnage à chaud* ne s'appliquent d'ordinaire qu'aux fers et aux aciers misés obtenus par voie de puddlage.

Ces essais ne présentent pas les mêmes caractères pour les aciers fondus que pour le fer ou l'acier soudé; on reconnaît, en effet, qu'un bon acier de fabrication normale possède, aux températures élevées voisines de 800 ou 900°, une ductilité énorme, 40 fois plus forte qu'à la température ordinaire et 15 fois supérieure à celle du fer puddlé.

Dans ces conditions, l'essai ne peut plus être utilisé pour distinguer les différentes nuances d'aciers de bonne qualité; c'est seulement un moyen de contrôle servant à éliminer les métaux rouverins.

Les fers et aciers misés ne pouvant pas supporter les mêmes déformations que les aciers fondus, les résultats obtenus seront, par contre, très différents d'un de ces métaux à un autre et pourront servir de base à une classification assez précise.

Quant aux métaux autres que les fers et les aciers, tels que les bronzes et les laitons supportant le travail à chaud, on se contente d'effectuer sur un échantillon de ces métaux un essai de forgeage ou de matriçage en rapport avec la nature du travail auquel on les soumettra au cours de la fabrication.

D'une manière générale, on cherche à produire dans l'essai à chaud des fers et des aciers un travail analogue à celui qui doit être effectué dans la pièce à confectionner, mais sous des conditions d'autant plus dures que le métal à fournir sera de meilleure qualité.

C'est ainsi que, pour les fers en barres, on plie, on étire, on refoule, on perce, on soude le métal à chaud.

Pour les tôles, on exécute des ployages et des emboutissages, etc.

Il est bon de remarquer que, dans ces épreuves exécutées à la main, à l'aide du marteau, de poinçons et de tranches, etc., le résultat peut dépendre dans une certaine mesure de l'habileté de l'opérateur; aussi ne constituent-elles pas un criterium absolu.

On peut dire cependant que si un ouvrier inhabile peut ne pas réussir l'essai avec un bon métal, un ouvrier adroit ne parviendra pas à le réussir avec un mauvais métal.

Nous nous contenterons de donner quelques exemples d'essais à chaud, choisis parmi les plus importants.

1. Essai des crochets. — Cet essai est pratiqué à chaud sur éprouvettes façonnées par forgeage.

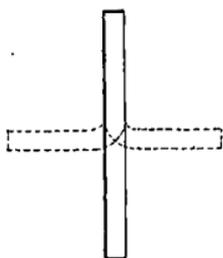


Fig. 37

A cet effet, on détache un morceau de la pièce à éprouver et on le forge en un rond dont le diamètre est fixé à 20^{mm} pour le fer et à 16^{mm} pour l'acier. On chauffe le rond ainsi

obtenu au rouge plus ou moins avancé, suivant la nuance du métal, sur une longueur pouvant

atteindre 0^m,50 puis, à l'aide d'un étau et d'un marteau, on le plie à 90°; on le redresse ensuite, on le plie à nouveau et on le redresse.

On continue enfin dans ces conditions jusqu'à ce qu'on ait atteint un nombre de pliages déterminé ou jusqu'à rupture.

Cet essai s'exécute en une seule chaude.

Dans les aciéries, on a quelquefois recours à l'essai des crochets en opérant sur des témoins détachés des lingots; on peut ainsi distinguer immédiatement le métal rouverin.

2. Rabattements, perçage avec rabattement. — Ces essais sont spéciaux aux métaux misés.

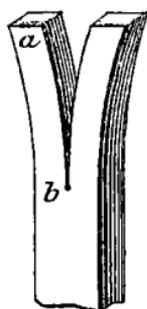


Fig. 38

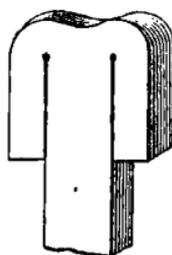


Fig. 39

Pour les exécuter, on procède de la manière suivante :

Chauffer au rouge cerise très clair (blanc de lune) le métal mis en barre plate ou en tôle ; faire, suivant la largeur de la barre, une ou deux entailles *ab*, *cd* avec une tranche.

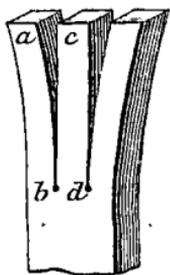


Fig. 40

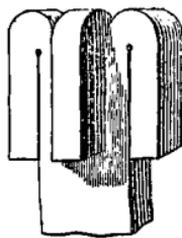


Fig. 41

Rabattre sur les côtés de la barre, les deux lames extrêmes et la lame du milieu sur le plat de la barre au cas où on a donné deux coups de tranche.

Avec les fers supérieurs, cette épreuve doit se faire en une seule chaude et sans que le métal présente de traces de déchirures, même suivant les fibres qui ont subi le plus grand allongement.

Avec les fers de qualité moyenne, l'essai se fait en deux chaudes.

Pour les perçages avec rabattement, chauffer la barre au rouge cerise très-clair, percer avec un poinçon un ou deux trous dont les dimen-

sions sont données d'après la largeur de la barre et suivant la qualité du métal.

Plier ensuite la barre à bloc autour du diamètre du ou des trous percés, le ployage étant effectué au rouge sombre.

On ne doit observer aucune crique, ni déchirure, ni dessoudure.



Fig. 42



Fig. 43

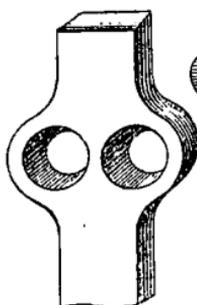


Fig. 44

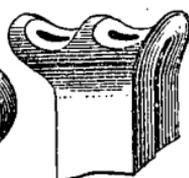


Fig. 45

3. Emboutissages, pliages à chaud, soudure. — Les tôles qui doivent le plus souvent être déformées *par emboutissage*, subissent un essai particulier se rapportant à ce genre de travail.

Suivant la qualité des tôles, on forme à chaud avec un fragment de la tôle à examiner une cuvette à angle presque vif, une calotte sphérique à bords plats ou un cylindre.

Les dimensions fixées pour ces essais dépendent de la nature et de l'épaisseur de la tôle à éprouves.



Fig. 46



Fig. 47

Le *pliage à chaud* est également effectué dans la réception des tôles ; l'essai est poussé d'autant plus loin que la qualité exigée est meilleure.

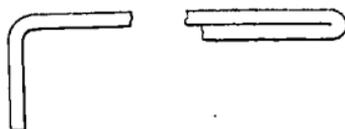


Fig. 48

Les *fig. 48 à 50* indiquent les rayons de pliage qu'on doit atteindre en fonction de l'épaisseur,

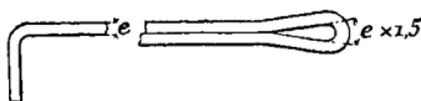


Fig. 49

suivant que la tôle en expérience est fine, ordinaire ou commune.

Le pliage obtenu dans ces conditions ne doit pas révéler de gerçure.

L'épreuve de soudure consiste à souder deux morceaux de deux barres différentes ou d'une



Fig. 50

même barre et à leur faire subir, à la soudure même, l'épreuve des trous ou une épreuve de torsion qui ne doivent donner lieu à aucune des-soudure.

On pratique enfin quelquefois l'épreuve du *dou-ble pliage*; un morceau de tôle carré, ayant comme côté 20 fois son épaisseur, est plié une première fois

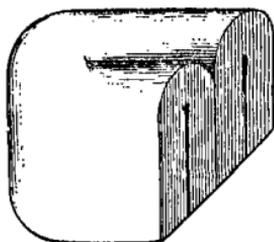


Fig. 51

à bloc; la tôle ainsi doublée est ensuite pliée sur elle-même. L'essai ne doit pas produire de *criques* ou de *gerçures*.

III. ESSAIS SUR PIÈCES FINIES

L'épreuve hydraulique sur pièces finies est une des plus importantes ; elle s'applique aux tubes, tuyaux, chaudières, obus, réservoirs à air comprimé, etc.

Cette épreuve peut même être poussée à outrance sur quelques échantillons d'un lot présenté en recette en allant au besoin jusqu'à la rupture, de manière à permettre une comparaison complète des objets fabriqués suivant des procédés divers et à se rendre compte de la sécurité qu'ils présentent en cas d'effort anormal survenant dans leur emploi.

Les conditions de l'épreuve varient suivant les divers cahiers des charges établis pour la réception de ces divers objets, elles sont soumises à une réglementation très précise et très détaillée en ce qui concerne les appareils à vapeur notamment.

L'essai de traction graduée est pratiqué sur les chaînes complètement terminées de fabrication, soit en essayant seulement un échantillon jusqu'à rupture, soit en éprouvant toutes les

chaînes et en se bornant dans ce cas à développer un effort limité, supérieur à ceux qui sont prévus en service mais insuffisant toutefois pour déterminer une déformation permanente.

On combine, en général, l'application des deux méthodes en essayant toutes les chaînes sous un effort limité et en réservant quelques maillons pour l'essai à outrance poussé jusqu'à la rupture.

La durée minima de l'application de la charge dans l'épreuve individuelle est fixée à cinq minutes ; pendant l'essai, on examine soigneusement les maillons et on vérifie qu'il ne se produit ni crique, ni dessoudure ou une déformation permanente sensible.

L'épreuve de résistance des rivets, dont le métal aura été reçu au préalable à l'essai de qualité, consiste à introduire une tranche ayant un biseau d'angle déterminé entre deux bandes de tôle rivées d'épaisseur au moins égale à celle des rivets, ceux-ci étant espacés de quatre diamètres au plus.

On complète cette épreuve de résistance des rivets par une épreuve de choc ; à cet effet, on assemble au moyen d'un des rivets à essayer deux touches en acier croisées et on cherche à les séparer par la rupture du rivet, en frappant

à coups de marteau sur une chasse à fourche posée sur l'une des touches pendant que l'autre est maintenue immobile sur les bords de la rainure d'une enclume appropriée. Le rivet ne devra pas se rompre avant un certain nombre de coups de mouton et sans avoir atteint un allongement proportionnel déterminé.

Les *fils, câbles, etc.*, subissent également, en fin de fabrication, des essais de traction, d'enroulement, etc.

Les *essieux* sont soumis à l'épreuve de flexion proprement dite sous un effort au plus égal à la limite élastique, à l'épreuve de flexion par choc au mouton, à l'épreuve à outrance pour un certain nombre d'entre eux pris dans l'ensemble de la fourniture et, souvent aussi, à l'essai de l'escarpolette qui consiste à éprouver les fusées de l'essieu par leur choc sur des supports appropriés, etc.

Les exemples qui précèdent suffisent pour donner une idée de la nature des essais ordinairement pratiqués ; certains d'entre eux font partie intégrante des fabrications elles-mêmes, elles ne sauraient à ce titre, être décrites dans le présent travail.

CONCLUSION

La description des machines et appareils d'essais a fait ressortir l'importance de l'évaluation des propriétés mécaniques des métaux employés dans les constructions. Ces données étant acquises, il est nécessaire d'examiner en détail la pratique et la théorie de ces essais et de voir ensuite quelles déductions il est permis de tirer des faits actuellement connus sur cet important sujet en vue du perfectionnement des méthodes existantes.

La deuxième partie de ce travail aura précisément pour objet de traiter ces points essentiels, en s'appuyant sur les mémoires et les expériences les plus remarquables et les plus récents qui s'y rapportent.

BIBLIOGRAPHIE

- MORIN (Gal). — *Résistance des matériaux* (Paris, Hachette, 3^e édition, 1862).
- PONCELET. — *Introduction à la mécanique industrielle physique ou expérimentale* (Paris, Gauthier-Villars, 3^e édition, 1870).
- GALLON. — *Cours de machines professé à l'École des mines* (Paris, Dunod, 1877).
- BARBA. — *Expériences à la traction* (Bulletin de la Société des Ingénieurs civils, 1880).
- MADAMET. — *Résistance des matériaux* (Paris, Gauthier-Villars, 1881).
- UNWIN. — *Éléments de construction de machines* (Paris, Gauthier-Villars, 1882).
- DUGUET (Capitaine d'artillerie). — *Limite d'élasticité et résistance à la rupture* (Paris, Gauthier-Villars, 1882).
- CONSIDÈRE. — *Mémoire sur l'emploi du fer et de l'acier dans les constructions* (Annales des Ponts et Chaussées. Paris, Dunod, 1885).
- MINISTÈRE DES TRAVAUX PUBLICS. — *Commission des méthodes d'essai des matériaux de construction* (Paris, Imprimerie nationale, J. Rothschild, éditeur, 1895 et 1900).
- FRÉMONT, LE CHATELIER (H.). — *Bulletin de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale* (années 1899, 1900, 1901, 1902 et 1903. Paris, 44, rue de Rennes).

TABLE DES MATIÈRES

	Pages
PRÉLIMINAIRES.	5

MACHINES ET APPAREILS

TITRE PREMIER

TRACTION

CHAPITRE PREMIER

Notions préliminaires à la description des machines et appareils

I. Éprouvettes d'essais	15
II. Définition des caractéristiques de l'essai de traction	20
Allongement.	21
Charge de rupture.	23
Limite élastique	24
Autres grandeurs	25

CHAPITRE II

Machines à leviers

I. Machine à levier simple à plateau.	27
II. Types simples de romaines	29
III. Romaine à leviers multiples	31
IV. Conditions que doit remplir une machine à leviers.	33

CHAPITRE III

Machines à manomètre

	Pages
I. Machine Thomasset	38
Description sommaire	38
Conditions d'équilibre	39
Avantages et inconvénients de l'emploi de la machine	41
II. Machine Maillard	42
Description sommaire	43
Conditions d'équilibre	45
Avantages et inconvénients de l'emploi de la machine	46
III. Compresseur sterhydraulique	47

CHAPITRE IV

Appareils divers

I. Appareils employés dans la petite mécanique.	50
II. Appareils amplificateurs et enregistreurs. .	53

TITRE II

COMPRESSION, CHOC, FLEXION ET TORSION

CHAPITRE PREMIER

Machines et dispositifs employés pour les essais de compression

I. Notions générales.	63
II. Courbes de traction et de compression. . .	66
III. Aperçu sur les machines et dispositifs employés	69

TABLE DES MATIÈRES

149

	Pages
IV. Tarage des machines	72
Considérations générales	73
Procédés de tarage	74

CHAPITRE II

Appareils de choc

I. Flexion par choc	78
Éprouvettes	79
Moutons	83
Exécution de l'essai	86
II. Pénétration et perforation par choc	89

CHAPITRE III

*Machines et appareils employés pour les essais
de flexion et de torsion*

I. Essai de flexion	97
Essais sur éprouvettes	97
Essais sur pièces finies	105
II. Essais de torsion	108
Données générales	108
Machines d'épreuve	112

TITRE III

ESSAIS SPÉCIAUX

CHAPITRE PREMIER

Essais au choc de barreaux entaillés

I. Préliminaires	116
II. Description de l'essai	118
Détermination de la hauteur de chute	119
Évaluation du travail de rupture	121
III. Dimensions des éprouvettes	124
IV. Résultats généraux	126

CHAPITRE II

Essais de fabrication

	Pages
I. Essais de façonnage à froid	130
Essais d'élargissement au mandrin	130
Essais d'emboutissage	131
Essais d'aplatissement et d'écrasement	131
II. Essais des métaux à chaud	132
Essais des crochets	134
Rabattements, perçage avec rabattement	135
Emboutissages, pliages à chaud, soudure	137
III. Essais sur pièces finies	140
CONCLUSION	143
BIBLIOGRAPHIE.	145

Saint-Amand (Cher). — Imprimerie BUSSIÈRE.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS
55, QUAI DES GRANDS-AUGUSTINS, A PARIS (6°).

Envoi *franco* contre mandat-poste ou valeur sur Paris.

TRAITÉ DE MÉCANIQUE RATIONNELLE

Par **Paul APPELL**,

Membre de l'Institut.

TOME I. — *Statique. Dynamique du point*, avec 178 figures; 2^e édition entièrement refondue: 1902..... 18 fr.

TOME II. — *Dynamique des systèmes. Mécanique analytique*, avec figures. (Sous presse.)

TOME III. — *Equilibre et mouvement des milieux continus*, avec 70 figures; 1903..... 17 fr.

LEÇONS

DE

MÉCANIQUE ÉLÉMENTAIRE

A L'USAGE DES ÉLÈVES DES CLASSES DE PREMIÈRE

(LATIN-SCIENCES OU SCIENCES-LANGUES VIVANTES)

Conformément aux programmes du 31 mai 1902.

PAR

P. APPELL,

Membre de l'Institut,
Professeur à la Faculté des Sciences.

J. CHAPPUIS,

Docteur ès Sciences,
Professeur à l'École Centrale.

Volume in-18 jésus avec figures; 1902..... 2 fr. 75 c.

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.

LE FROMENT ET SA MOUTURE

TRAITÉ DE MEUNERIE D'APRÈS UN MANUSCRIT INACHEVÉ

De **Aimé GIRARD**,

Membre de l'Institut,

Professeur au Conservatoire des Arts et Métiers et à l'Institut national agronomique,

Par **L. LINDET**,

Docteur ès Sciences, Professeur à l'Institut national agronomique.

Un beau volume grand in-8, avec 85 figures et 3 planches; 1903..... 12 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

COURS D'ANALYSE

PROFESSÉ A L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE

Par G. HUMBERT,

Membre de l'Institut, Professeur à l'École Polytechnique.

TOME I : *Calcul différentiel. Principes du calcul intégral. Applications géométriques.* Avec 111 figures; 1903. 16 fr.
TOME II..... (Sous presse.)

COURS D'ANALYSE INFINITÉSIMALE

Par Ch.-J. de la VALLÉE-POUSSIN,

Professeur à l'Université de Louvain.

Un volume grand in-8 de xiv-372 pages; 1903..... 12 fr.

LEÇONS

SUR LA THÉORIE DES FONCTIONS

Par Émile BOREL,

Maître de Conférences à l'École Normale supérieure.

Exposé de la théorie des ensembles et applications; 1898..... 3 fr. 50 c.
Leçons sur les fonctions entières; 1900..... 3 fr. 50 c.
Leçons sur les séries divergentes; 1901..... 4 fr. 50 c.
Leçons sur les séries à termes positifs; 1902..... 3 fr. 50 c.
Leçons sur les fonctions méromorphes; 1903..... 3 fr. 50 c.
Leçons sur les séries de polynomes..... (Sous presse.)

COURS D'ANALYSE MATHÉMATIQUE

Par E. GOURSAT,

Professeur à la Faculté des Sciences de Paris.

TOME I : *Dérivées et différentielles. Intégrales définies. Développement en séries. Applications géométriques.* Grand in-8; 1902..... 20 fr.
TOME II : (Sous presse.)

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**,

Maitre 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-414 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.

COMPTE RENDU 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 436 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.**

L'année 1900-1901 est en vente au même prix.

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^{er} 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^{er} 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^{er} fascicule. — *Acoustique*; avec 123 figures..... 4 fr.
2^e fascicule. — *Optique géométrique*; 139 fig. et 3 planches. 4 fr.
3^e fascicule. — *Etude 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^{er} 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 **C. 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 pal 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.

A. PULIN.

Un volume grand in-8 de vi-608 p. avec 131 fig. et 2 pl.; 1900 (E. I.). 15 fr.

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-668 pages avec 130 figurés; 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 CHAUSSÉES,

Par C. 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, TŪILES, 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

MENUISERIE 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 436 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 171 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 Manufac-
tures 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. HAIN, 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 39 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.

SCHÖLLER,

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, CLIMATS, SOLS, ETC., SUR LE VIN, VINIFICATION,
CUVERIE, CHAIS, 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**, Prof^r à la Faculté de Bordeaux,

TOME I: 688 p., avec fig.; 1896. 20 fr. | TOME II: 718 p., avec fig. 1896. 15 fr.

MANUEL DE DROIT ADMINISTRATIF

Par **G. LECHALAS**, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

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**, Professeur à l'Université de Halle.

TRADUIT DE L'ALLEMAND PAR **P. PETIT**, et **J. JAQUET**.

Grand in-8 de ix-186 pages, avec 131 figures; 1898 (E. I.)... 7 fr.

COURS DE CHEMINS DE FER

(ÉCOLE SUPÉRIEURE DES MINES),

Par **E. VICAIRE**, Inspecteur général des Mines,

rédigé et terminé par **F. MAISON**, Ingénieur des Mines.

Gr. in-8 de 581 pages avec nombreuses fig.; 1903 (E. I.)... 20 fr.

COURS DE GÉOMÉTRIE DESCRIPTIVE

ET DE GÉOMÉTRIE INFINITÉSIMALE,

Par **Maurice D'OCAGNE**,

Ing^r et Prof^r 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**, 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,

TRADUIT DE L'ALLEMAND par **F. DOMMER**, Ingénieur des Arts
et Manufactures.

Un volume grand in-8 de 392 pages, avec 68 figures; 1900 (E. I.). 11 fr.

BETTERAVE AGRICOLE ET INDUSTRIELLE

Par **L. GESCHWIND**, Ingénieur chimiste,
et **E. SELLIER**, Chimiste.

ANALYSE INFINITÉSIMALE
A L'USAGE DES INGÉNIEURS,

Par **E. ROUCHÉ** et **L. LÉVY**,

TOME I : *Calcul différentiel*. VIII-557 pages, avec 45 figures; 1900..... 15 fr.

TOME II : *Calcul intégral*. 829 pages, avec 50 figures; 1903..... 15 fr.

COURS D'ÉCONOMIE POLITIQUE

PROFESSÉ A L'ÉCOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSÉES,

Par **C. COLSON**, Conseiller d'État.

TOME I : *Exposé général des Phénomènes économiques. Le travail et les ques-
tions 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°).

Envoi franco 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-18 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 AU CHARBON,

Par Paul DARBY.

Brochure in-18 de 36 pages..... 1 fr.

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.

COMMENT ON OBTIENT UN CLICHÉ PHOTOGRAPHIQUE,

Par Marcel MOLINIÉ.

Petit in-8 de 188 pages 2 fr.

MANUEL DU PHOTOGRAPHE AMATEUR,

Par F. PANAJOU,

Chef du Service photographique à la Faculté de Médecine de Bordeaux.

3^e ÉDITION COMPLÈTEMENT REFONDUE 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.

33024. — 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 320.

COLLECTION L'ÉAUTÉ

EXTRAIT DU CATALOGUE (1)

(Février 1903)

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, BRAULT, BROCCQ, DE BRUN, DU CASTEL, COURTOIS-SUFFIT
J. DARIER, DEHU, DOMINICI, W. DUBREUILH, HUDELO, L. JACQUET, JEANSELME
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. — Actinomyose. — 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. — Furunculose. — Gale. — Gangrène cutanée. — Gerçures. — Greffe. — Hématodermites. — 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 fongoiide. — 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 franco 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, GÉRARD 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.
GÉRARD 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.
GÉRARD 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. — Plancher buccal, glan-

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. Uretères. 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. Amoëdo — A. Branca — Cannieu — B. Cunéo — G. Delamare
Paul Delbet — P. Fredet — Glantenay — Gosset
P. Jacques — Th. Jonnesco — E. Laguesse — L. Manouvrier — A. Nicolas
P. 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 (FÉVRIER 1903)

- 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 (*Deuxième édition, revue*) : **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 (*Deuxième édition, revue*) : **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, périnée, 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

BABINSKI, BALLEZ, P. BLOCQ, BOIX, BRAULT, CHANTEMESSSE, CHARRIN, CHAUFFARD, COURTOIS-SUFFIT, DUTIL, GILBERT, GUIGNARD, L. GUINON, G. GUINON, HALLION, LAMY, LE GENDRE, MARFAN, MARIE, MATHIEU, NETTER, CÉTTINGER, ANDRÉ PETIT, RICHARDIÈRE, ROGER, RUAULT, SOUQUES, THIBIERGE, THOINOT, TOLLEMER, FERNAND VIDAL.

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^o, av. fig. dans le texte. *En souscription.* 150 fr.

TOME I^{er}

1 vol. gr. in-8^o 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^o de 894 pages avec figures dans le texte. 16 fr.

Fièvre typhoïde, par A. CHANTEMESSSE, professeur à la Faculté de médecine de Paris, médecin des hôpitaux. — **Maladies infectieuses**, par F. VIDAL, 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. — **Diphthérie**, par A. RUAULT. — **Rhumatisme**, par CÉTTINGER, médecin des hôpitaux de Paris. — **Scorbut**, par TOLLEMER, ancien interne des hôpitaux.

TOME III

1 vol. grand in-8^o 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^o 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^o 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 hématopoiétiques 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. BRIS, SAUD, 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. ÖTTINGER, médecin des hôpitaux.

Sous presse : TOMES IX et X. — **Maladies du système nerveux.**

Traité de Physiologie

PAR

J.-P. MORAT
Professeur à l'Université de Lyon.

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. 12 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.

COLLECTION DE PLANCHES MURALES

DESTINÉES A

L'Enseignement de la Bactériologie

PUBLIÉES PAR

L'INSTITUT PASTEUR DE PARIS

65 planches du format 80 × 62 c. m, tirées en couleurs sur papier toile très fort, munies d'œillets permettant de les suspendre et réunies dans un carton, avec un *texte explicatif rédigé en français, allemand et anglais.*

Prix : 250. francs (port en sus). (*Les planches ne sont pas vendues 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, F. BEZANÇON, R. BLANCHARD, BOINET, BOULAY, BOURCY, BRUN, CADIOT, CHABRIÉ, CHANTEMESSE, CHARRIN, CHAUFFARD, J. COURMONT, DEJERINE, PIERRE DELBET, DEVIC, DUCAMP, MATHIAS DUVAL, FÉRÉ, GAUCHER, GILBERT, GLEY, GOUGET, GUIGNARD, LOUIS GUINON, J.-F. GUYON, HALLÉ, HÉNOQUE, HUGOUNENQ, LAMBLING, LANDOUZY, LAVERAN, LEBRETON, LE GENDRE, LEJARS, LE NOIR, LERMOYEFZ, LESNÉ, LETULLE, LUBET-BARBON, MARFAN, MAYOR, MENETRIER, MORAX, NETTER, PIERRET, RAVAUT, G.-H. ROGER, GABRIEL ROUX, RUFFER, SICARD, RAYMOND TRIPIER, VUILLEMIN, FERNAND WIDAL.

6 volumes grand in-8° avec figures dans le texte. 426 fr.

TOME I

1 vol. grand in-8° de 1018 pages avec figures dans le texte : 48 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. — Prédilection 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° de 940 pages avec figures dans le texte : 48 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° 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° de 719 pages avec figures dans le texte : 46 fr.

Evolution des maladies. — Sémiologie du sang. — Spectroscopie du sang. Sémiologie. — Sémiologie du cœur et des vaisseaux. — Sémiologie du nez et du pharynx nasal. — Sémiologie du larynx. — Sémiologie des voies respiratoires. — Sémiologie générale du tube digestif.

TOME V

1 fort vol. in-8° de 1180 pages avec nombr. figures dans le texte : 28 fr.

Sémiologie du foie. — Pancréas. — Analyse chimique des urines. — Analyse microscopique des urines (Histo-bactériologique). — Le rein, l'urine et l'organisme. — Sémiologie des organes génitaux. — Sémiologie du système nerveux.

TOME VI

1 vol. grand in-8° avec figures dans le texte. . . . 18 fr.

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. — La diazoréaction d'Ehrlich. — Valeur de la formule hémolucocytaire dans les maladies infectieuses. — Cyto-diagnostic des épanchements séro-fibrineux et du liquide céphalo-rachidien. — 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

Dr **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° 29. **Les Ponctions rachidiennes accidentelles et les complications des plaies pénétrantes du rachis par armes blanches sans lésions de la moelle**, par le Dr E. MATHIEU, médecin inspecteur de l'armée, ancien directeur et professeur au Val-de-Grâce.
- N° 30. **Le Ganglion Lymphatique**, par HENRI DOMINIGI.
- N° 31. **Les Leucocytes. Technique (Hématologie, cytologie)**, par le professeur COURMONT et F. MONTAGNARD.
- N° 32. **La Médication hémostatique**, par P. CARNOT, docteur ès sciences, chef du laboratoire de Thérapeutique à la Faculté de médecine.

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 interno lauréat des Hôpitaux
de Paris
Chef de clinique à la Faculté
de médecine de Lille

2 vol. gr. in-8° formant ensemble 1960 pages, avec 1908 figures
dans le texte 40 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° 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°, 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° de 1005 pages, avec 751 fig. dont 351 dessinées d'après
nature, par le Dr DALEINE, et 172 photogr. origin. 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. 7^e Édition entière-
ment revue, illustrée. 4 volumes in-8° 40 fr.
Chaque volume est vendu séparément. 10 fr.

Les Maladies infectieuses, par G.-H. ROGER, professeur
agrégé, médecin de l'hôpital de la Porte-d'Aubervilliers. 1 vol. in-8°
de 4520 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.

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.

Les Tics et leur Traitement, par Henry MEIGE et E. FEIN-
DÉL. Préface de M. le Professeur BRISSAUD. 1 vol. in-8° de
640 pages 6 fr.

Les Maladies microbiennes des Animaux, par
Ed. NOCARD, professeur à l'École d'Alfort, membre de l'Académie
de médecine, et E. LECLAINCHE, professeur à l'École vétérinaire
de Toulouse. Ouvrage couronné par l'Académie des sciences (Prix
Monthyon 1898). *Troisième édition, entièrement refondue et considé-
rablement augmenté*. 2 volumes grand in-8°, formant ensemble
4312 pages 22 fr.

**Syphilis et Déontologie : secret médical ; responsabilité
civile ; énoncé du diagnostic ; jeunes gens syphilitiques ; la syphi-
lis avant et pendant le mariage ; divorce ; nourrissons syphili-
tiques ; nourrices syphilitiques ; domestiques et ouvriers syphili-
tiques ; syphilitiques dans les hôpitaux ; transmission de la syphilis
par les instruments ; médecins syphilitiques ; sages-femmes et
syphilis**, par GEORGES THIBIERGE, médecin de l'hôpital Broca.
1 vol. in-8° 5 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.

- Éléments de Physiologie**, par Maurice ARTHUS, chef de laboratoire à l'Institut Pasteur de Lille. 1 vol., avec 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 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
- Manuel de Thérapeutique**, par le Dr BERLIOZ, professeur à l'Université de Grenoble, avec préface du Professeur BOUCHARD. *Quatrième édition revue et augmentée.* 1 vol. . 6 fr.
- Manuel de Bactériologie médicale**, par le Dr BERLIOZ, avec préface de M. le professeur LANDOUZY. 1 vol. avec fig. 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.
- Précis élémentaire d'Anatomie, de Physiologie et de Pathologie**, par P. RUDAUX, ancien chef de clinique à la Faculté de médecine de Paris, avec préface, par M. RIBEMONT-DESSAIGNES, professeur agrégé à la Faculté de Paris. 1 vol., avec 462 figures 8 fr.
- 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 Dr 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.
- Précis de Bactériologie clinique**, par le Dr R. WURTZ, professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris. *Deuxième édition revue et augmentée.* 1 volume, avec tableaux et figures. . 6 fr.

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 LANGELOUB, 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 LUBET BARBON.

Traité

DE

Chimie industrielle

Par R. WAGNER et F. FISCHER

QUATRIÈME ÉDITION FRANÇAISE ENTIÈREMENT REFOUNDUE

Rédigée d'après la quinziesme 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.

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'Etat. 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 10^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 vol. 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.)

Géographie agricole de la France et du Monde

par **J. DU PLESSIS DE GRENÉDAN**

Professeur à l'École supérieure d'Agriculture d'Angers.

AVEC UNE PRÉFACE DE

M. le Marquis DE VOGUÉ

Membre de l'Académie française, président de la Société des Agriculteurs de France.

1 vol. in-8° avec 118 cartes et figures dans le texte. 7 fr.

Éléments de Commerce et de Comptabilité

par **Gabriel FAURE**

Professeur à l'École des Hautes-Études commerciales et à l'École commerciale,
Expert-comptable au Tribunal civil de la Seine.

CINQUIÈME ÉDITION REVUE ET MODIFIÉE

1 vol. petit in-8°, cartonné toile anglaise. 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. — 3821.