

## Conditions d'utilisation des contenus du Conservatoire numérique

1- Le Conservatoire numérique communément appelé le Cnum constitue une base de données, produite par le Conservatoire national des arts et métiers et protégée au sens des articles L341-1 et suivants du code de la propriété intellectuelle. La conception graphique du présent site a été réalisée par Eclydre ([www.eclydre.fr](http://www.eclydre.fr)).

2- Les contenus accessibles sur le site du Cnum sont majoritairement des reproductions numériques d'œuvres tombées dans le domaine public, provenant des collections patrimoniales imprimées du Cnam.

Leur réutilisation s'inscrit dans le cadre de la loi n° 78-753 du 17 juillet 1978 :

- la réutilisation non commerciale de ces contenus est libre et gratuite dans le respect de la législation en vigueur ; la mention de source doit être maintenue ([Cnum - Conservatoire numérique des Arts et Métiers - http://cnum.cnam.fr](http://cnum.cnam.fr))
- la réutilisation commerciale de ces contenus doit faire l'objet d'une licence. Est entendue par réutilisation commerciale la revente de contenus sous forme de produits élaborés ou de fourniture de service.

3- Certains documents sont soumis à un régime de réutilisation particulier :

- les reproductions de documents protégés par le droit d'auteur, uniquement consultables dans l'enceinte de la bibliothèque centrale du Cnam. Ces reproductions ne peuvent être réutilisées, sauf dans le cadre de la copie privée, sans l'autorisation préalable du titulaire des droits.

4- Pour obtenir la reproduction numérique d'un document du Cnum en haute définition, contacter [cnum\(at\)cnam.fr](mailto:cnum(at)cnam.fr)

5- L'utilisateur s'engage à respecter les présentes conditions d'utilisation ainsi que la législation en vigueur. En cas de non respect de ces dispositions, il est notamment possible d'une amende prévue par la loi du 17 juillet 1978.

6- Les présentes conditions d'utilisation des contenus du Cnum sont régies par la loi française. En cas de réutilisation prévue dans un autre pays, il appartient à chaque utilisateur de vérifier la conformité de son projet avec le droit de ce pays.

## NOTICE BIBLIOGRAPHIQUE

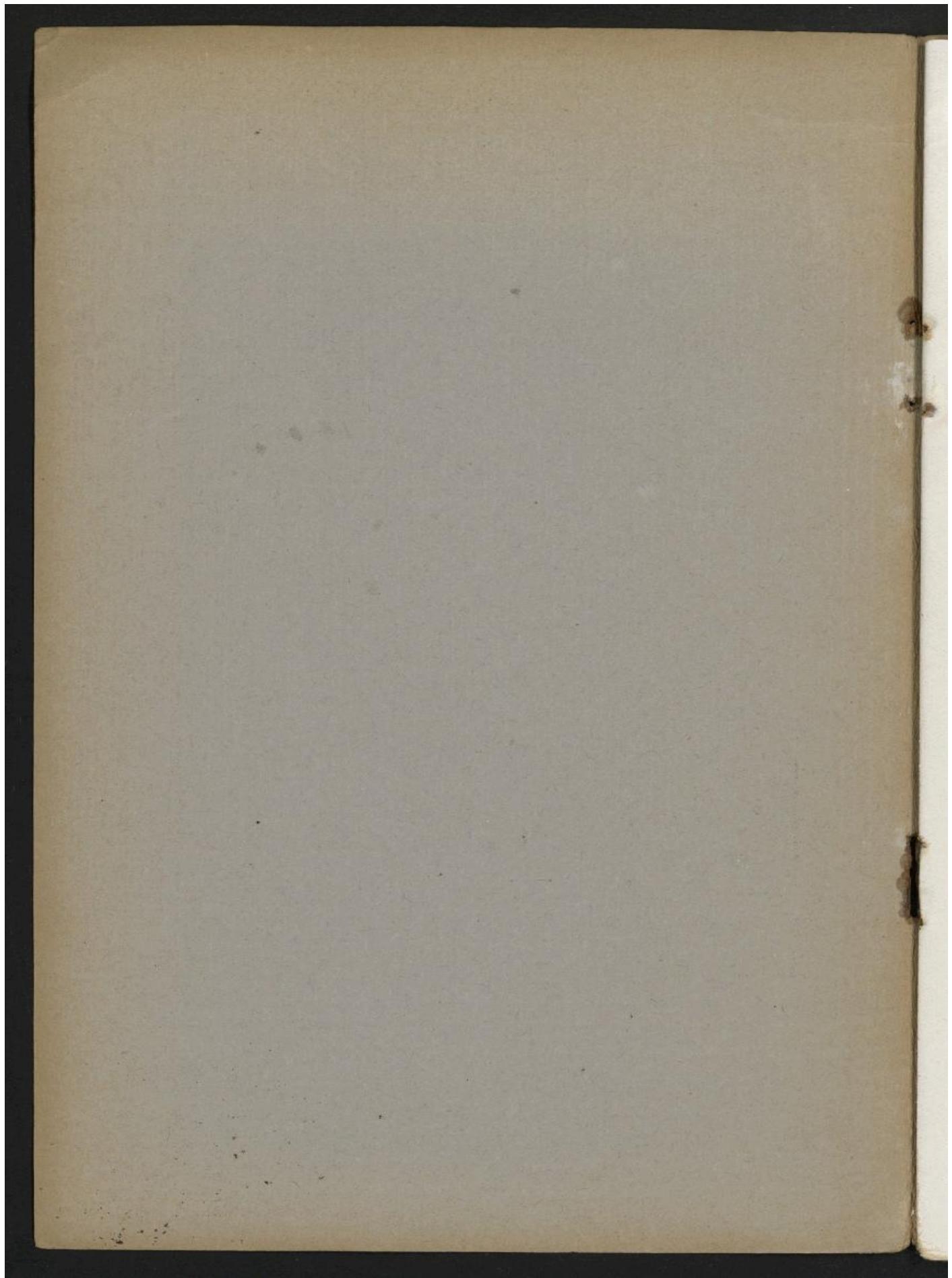
Auteur(s)	Compagnie des forges de Châtillon, Commentry et Neuves-Maisons
Titre	Mouton-pendule système Charpy pour l'essai des métaux par choc, notice n° 531
Adresse	[S.I.] : [s.n.], [1919]
Collation	1 vol. (29 p.) : ill.; 25 cm
Nombre d'images	32
Cote	CNAM-MUSEE MA0.4-COM
Sujet(s)	Métaux -- Essais de résilience Métallurgie Catalogues commerciaux
Thématique(s)	Catalogues de constructeurs Matériaux
Typologie	Ouvrage
Langue	Français
Date de mise en ligne	21/10/2020
Date de génération du PDF	21/10/2020
Permalien	<a href="http://cnum.cnam.fr/redir?M15992">http://cnum.cnam.fr/redir?M15992</a>



## Mouton-Pendule système Charpy

pour essai des métaux par choc

**COMPAGNIE DES FORGES DE CHATILLON,  
COMMENTRY ET NEUVES-MAISONS  
19, Rue de la Rochefoucauld, Paris**



Droits réservés au [Cnam](#) et à ses partenaires

MAP-4-COM

nr 14389

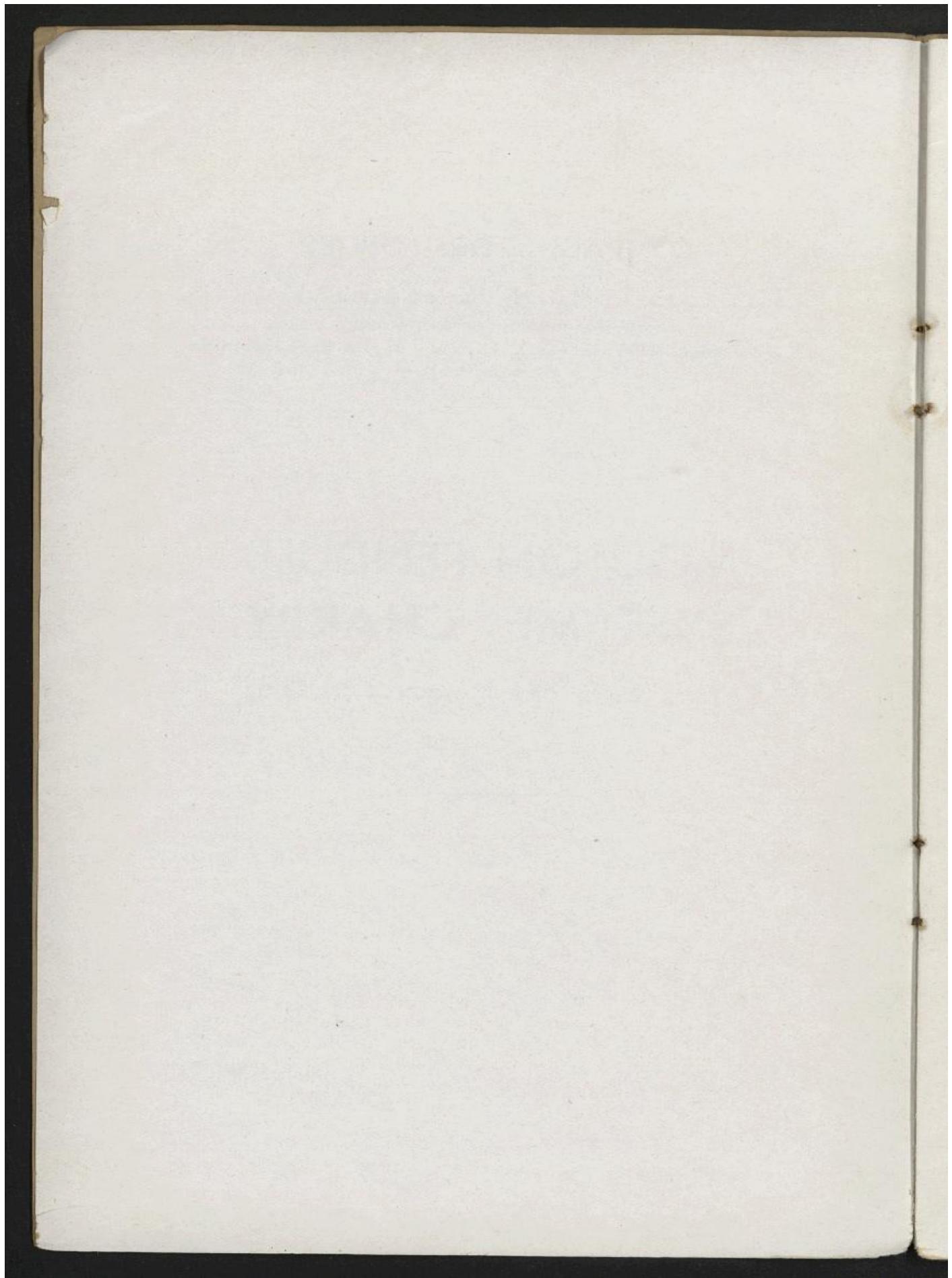


COMPAGNIE DES FORGES  
DE  
CHATILLON, COMMENTRY & NEUVES-MAISONS  
Société anonyme au capital de 45.000.000 de fr.  
Siège Social à PARIS (IX<sup>e</sup>), 19, Rue de La Rochefoucauld  
R. C. Seine N° 50.987

# MOUTON-PENDULE SYSTÈME CHARPY

Pour l'Essai des Métaux par Choc

Notice N° 531



Droits réservés au [Cnam](#) et à ses partenaires

# MOUTON-PENDULE SYSTÈME CHARPY

Pour l'Essai des Métaux par Choc

## INTRODUCTION

---

### MESURE DE LA FRAGILITÉ DES MÉTAUX. ESSAIS DE CHOC SUR BARREAUX ENTAILLÉS

Si, pendant un temps et à leur début, les épreuves au choc sur barreaux entaillés sont restées dans le domaine de la recherche scientifique pure, il faut reconnaître que, depuis vingt ans, elles se sont imposées aux métallurgistes et qu'elles sont actuellement employées, dans les industries sidérurgiques, au même titre que les essais de traction, de dureté, etc...

C'est ainsi que les cahiers des charges, qui prescrivent l'essai de choc sur barreau entaillé comme épreuve de réception, sont de jour en jour plus nombreux. Tels sont : le cahier des charges de la Marine, du 30 mars 1912, fixant les spécifications des pièces en acier forgé ; les cahiers des charges de l'Aéronautique Militaire, établis pendant la guerre ; les premiers cahiers des charges unifiés, relatifs aux fournitures d'aciers en barres, rédigés, en 1919, par la Commission Permanente de standardisation, ceux des grandes sociétés de constructions mécaniques et d'automobiles ; etc., etc...

Pourquoi les métallurgistes sont-ils amenés, maintenant, à introduire dans les ateliers cette méthode d'investigation effectuant le choc sur entaille et si longtemps reléguée au rang des curiosités scientifiques ? C'est que, seule, elle met en évidence la fragilité des métaux, alors que toutes les autres méthodes usuelles, actuellement pratiquées, sont inopérantes à ce point de vue.

Voici, à titre d'exemple, une expérience facile à exécuter et qui semble particulièrement probante.

On prélève, à la suite l'un de l'autre, dans une même barre d'acier doux de bonne qualité, deux fragments identiques et on les chauffe simultanément à une température de 900° environ : l'un des fragments est alors trempé dans l'eau froide, tandis que l'autre est refroidi lentement dans le four ; puis, en chacun des 2 fragments, on découpe deux barreaux normaux, et, avant de les essayer au choc, on entaille seulement l'un d'entre eux, l'autre conservant sa section carrée entière. Examinons les résultats obtenus.

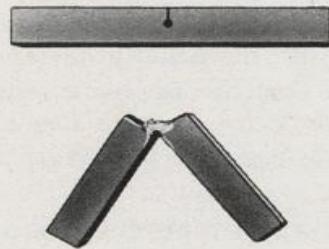
Les 2 barreaux non entaillés ne sont pas différenciés par l'essai de choc : sous l'effet du coup de mouton, ils fléchissent tous deux sans se rompre, en absorbant un travail considérable.

Les 2 barreaux entaillés, au contraire, se comportent de façon toute différente : celui qui provient de l'échantillon refroidi lentement se rompt presque sans flexion, en donnant une cassure à grains et en absorbant un travail à peu près nul, moins de 1 kilogrammètre par centimètre carré, en général ; tandis que le barreau provenant de l'échantillon trempé plie sans se briser : la déchirure au fond de l'entaille présente une texture nerveuse caractéristique et la déformation absorbe un travail souvent voisin de 50 kilogrammètres par centimètre carré.

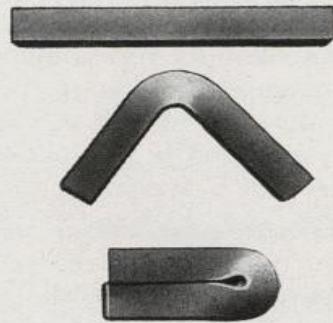
La figure 1 illustre les considérations qui viennent d'être présentées et fait ressortir clairement la nécessité de l'entaille pour déceler la fragilité de l'acier doux.

Le métal à tôles de chaudières n'est, d'ailleurs, pas le seul à marquer nettement l'influence de la vitesse plus ou moins grande de refroidissement. Les aciers au chrome et au nickel

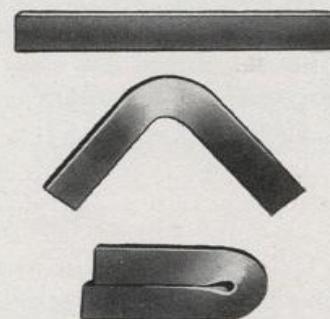
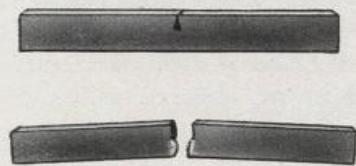
Essais de choc  
sur barreaux entaillés



Essais de choc  
sur barreaux non entaillés



Acier doux trempé (non fragile)



Acier doux refroidi lentement (fragile)

Fig. 1 — Mise en évidence, par l'essai de choc sur entaille  
de la fragilité éventuelle des aciers doux.

présentent une « fragilité de revenu » spéciale, au sujet de laquelle, en particulier, de nombreux mémoires ont été lus au Meeting de l'Iron and Steel Institute, en septembre 1919. Les métallurgistes les plus éminents, assistant à cette réunion, se sont accordés à reconnaître, également, l'inefficacité des épreuves usuelles dans la recherche de la fragilité de ces aciers au chrome et au nickel et l'obligation de faire appel à l'essai de choc sur entaille pour mettre en évidence cette propriété dangereuse de ces métaux.

D'autre part, l'essai sur barreau entaillé met, mieux en évidence que tout autre, la fragilité des métaux écrouis et la supériorité, au point de vue résilience, des aciers spéciaux à haute résistance à la traction sur les aciers au carbone de même résistance.

Des considérations analogues ont conduit, pendant la guerre, à utiliser couramment ce mode d'essais pour sélectionner les métaux nécessaires aux moteurs d'aviation, dont les défaillances eussent été particulièrement dangereuses.

C'est donc à juste titre que les essais par sollicitation vive et sur entaille figurent parmi les conditions de réception des principaux cahiers des charges, et, à l'heure actuelle, tous les métallurgistes sont amenés, journallement, à faire usage de ce genre d'épreuves.

# MOUTON-PENDULE SYSTÈME CHARPY

L'essai de choc sur barreau entaillé comporte l'emploi d'un dispositif mécanique permettant d'obtenir la rupture du barreau en un seul coup et de mesurer le travail absorbé par la rupture.

La COMPAGNIE DES FORGES DE CHATILLON, COMMENTRY et NEUVES-MAISONS construit un appareil qui a été spécialement établi pour répondre à ces conditions : le Mouton-Pendule système CHARPY.

Cette machine a été constamment suivie et étudiée depuis son apparition : la mise au point en a été si heureuse, que, dès 1912, le Congrès de New-York de l'Association Internationale pour l'essai des Matériaux désignait le Pendule CHARPY comme le type des appareils de choc et recommandait son emploi dans tous les Laboratoires.

Les cahiers des charges de l'aéronautique militaire français ont choisi le Mouton-Pendule CHARPY comme appareil étalon pour leurs essais de résilience.

Voici la description de cet appareil :

Le mouton-pendule se compose d'une masse pesante oscillant autour d'un axe horizontal monté sur des roulements à billes. Cette masse abandonnée à elle-même à partir d'une hauteur convenable, brise le barreau à essayer en passant par la position la plus basse qu'elle puisse atteindre et remonte à une hauteur qui est enregistrée automatiquement. Cet enregistrement est obtenu au moyen d'une aiguille serrée à frottement doux sur un axe placé dans le prolongement de l'axe d'oscillation du pendule. Pendant la remontée de la masse frappante, après rupture du barreau, l'aiguille est entraînée par un doigt solidaire du pendule ; elle se déplace devant un cercle gradué et la division à laquelle elle s'arrête indique la

hauteur maximum à laquelle le mouton est remonté. La différence des hauteurs de départ et d'arrivée permet d'évaluer le travail absorbé par la rupture du barreau.

Les avantages présentés par le dispositif sont principalement les suivants :

1° La mesure à faire et qui est celle du travail de rupture du barreau, résulte de l'enregistrement direct et simple de la hauteur de remontée du pendule.

Pour cette mesure du travail, on n'a pas besoin de se servir de dispositifs compliqués et peu sûrs tels que ceux comportant la compression de ressorts, le tracé de courbes, etc... Les erreurs qui peuvent résulter de ces dispositifs sont, par suite, éliminées.

2° L'enregistrement du résultat de l'essai par une aiguille qui se fixe à une position déterminée, sur un cadran, facilite grandement la lecture, évite les erreurs personnelles et détermine le travail restitué par le pendule après la rupture du barreau, travail qui, déduit de celui développé par le pendule au moment de l'impact permet de mesurer exactement le travail dépensé pour la rupture du barreau.

3° L'axe d'oscillation étant muni de roulements à billes, les frottements sont réduits au minimum. Ils sont beaucoup plus faibles que dans les moutons à chute verticale, glissant le long de deux guides ; ils sont également beaucoup plus constants, d'un essai au suivant.

L'appareil permet, d'ailleurs, de vérifier très facilement l'importance de ces frottements. Il convient, pour cela, de laisser osciller librement le pendule et de s'assurer qu'il présente toujours la même hauteur de remontée pour un même nombre d'oscillations. Pratiquement, il suffit, avant chaque série d'observations, de contrôler que l'angle de remontée, correspondant à la chute libre de la masse frappante à partir de l'angle de départ maximum, reste constamment le même.

4° La graduation est facile à établir et à vérifier rapidement. Elle ne dépend que du poids de la partie mobile, de la position de son centre de gravité et des hauteurs de chute et de remontée que l'on peut déterminer, dans chaque essai, par mesure directe.

La position du centre de gravité de la partie mobile est marquée ostensiblement sur la pièce. Il est facile de la vérifier très exactement par une expérience de suspension.

Les conditions de justesse et de sensibilité, dont on fait généralement ressortir l'importance à propos des balances, au moyen de raisonnements qui s'appliquent à toutes les machines d'essais, sont donc réalisées d'une façon satisfaisante dans le dispositif des moutons-pendules et, de plus, ce qui est absolument capital, elles sont faciles à vérifier à chaque instant.

5° La disposition du mouton-pendule se prête bien à l'exécution d'essais de diverses natures, à l'emploi d'éprouvettes de flexion entaillées ou non entaillées, de formes et de dimensions différentes, aux essais de traction par choc, etc., etc.



## MODÈLES COURANTS DES MOUTONS CHARPY

La COMPAGNIE DES FORGES DE CHATILLON, COMMENTRY ET NEUVES-MAISONS construit normalement deux modèles courants de moutons-pendules, qui sont caractérisés par leur puissance : 30 et 300 kilogrammètres, et également deux autres modèles spéciaux de 10 et de 75 kilogrammètres.

**Mouton-pendule de 30 kilogrammètres.** — Les caractéristiques principales de cet appareil, représenté par la figure 2, sont les suivantes :

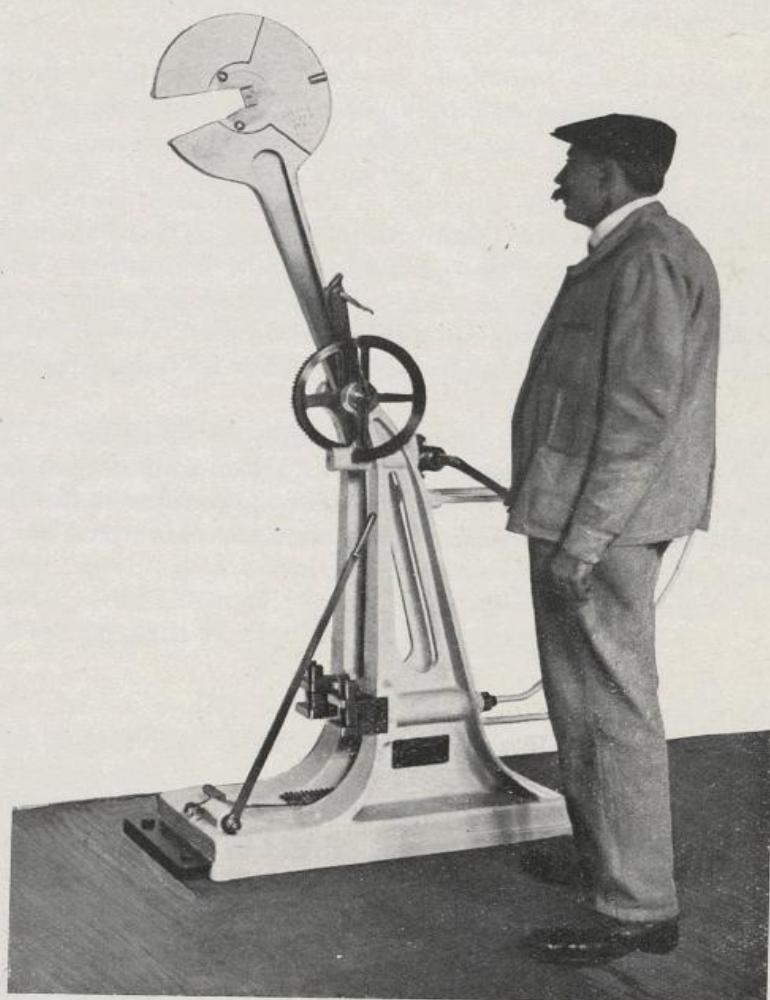


Fig. 2 — Mouton-pendule de 30 kgm.

Poids du pendule .....	22*500 (1)
Rayon du centre de gravité.....	0 <sup>m</sup> 700
Hauteur de chute du centre de gravité.....	1 <sup>m</sup> 350

Le mouton permet de rompre des barreaux de flexion de  $10 \times 10^{\text{mm}}$  de section placés sur appuis distants de  $40^{\text{mm}}$  (Voir figure 7, page 26).

Le pendule est constitué par une pièce en acier forgé dans laquelle est rapporté un couteau en acier dur trempé.

L'axe d'oscillation est monté sur roulements à billes. Il est supporté par les deux jambages d'un bâti dont la partie inférieure forme chabotte.

Sur ce bâti sont fixés solidement, par des clavettes, les supports en acier forgé destinés à recevoir le barreau soumis à l'essai.

Un bras, articulé au sommet des jambages, concentriquement à l'axe d'oscillation, permet de relever le pendule à sa position de départ. Ce bras est muni d'un dispositif d'accrochage automatique. Il est commandé à la main par l'intermédiaire d'un jeu d'engrenages coniques et d'une roue à vis sans fin.

Une butée, fixée au bâti, limite la hauteur de chute du pendule à la valeur correspondant à la puissance maximum de l'appareil, indiquée au tableau d'emploi.

La chute du pendule s'obtient en agissant, à la main, sur un petit levier solidaire du crochet porté par le bras de relevage.

L'aiguille, destinée à enregistrer l'angle de remontée, est reliée au bâti par une friction réglable. Elle se déplace, concentriquement à l'axe d'oscillation, devant un secteur gradué de 0 à  $180^{\circ}$ . Après la rupture du barreau, cette aiguille est entraînée par un doigt fixé à une extrémité de l'axe d'oscillation.

(1) Les chiffres indiqués ne sont qu'approximatifs; ils peuvent varier légèrement d'un appareil à l'autre. Les tableaux d'emploi, fournis avec chaque mouton-pendule, sont établis d'après les caractéristiques relevées sur l'appareil livré.

Un frein à bande, disposé sur le socle du bâti et actionné à la main, permet d'arrêter l'oscillation du pendule après rupture du barreau par freinage sur la tête de ce dernier.

**Mouton-pendule de 10 kilogrammètres.** — Le mouton-pendule de 30 kilogrammètres ci-dessus, muni d'un pendule moins lourd, peut-être transformé en mouton de 10 kilogrammètres de puissance ayant les caractéristiques suivantes :

Poids du pendule .....	8 <sup>+</sup> 600
Rayon du centre de gravité.....	0 <sup>m</sup> 620
Hauteur de chute du centre de gravité.....	1 <sup>m</sup> 164

Ce mouton de 10 kilogrammètres convient particulièrement aux métaux à faible résilience, tels que les métaux blancs (aluminium, zinc, etc...). Il permet de rompre des barreaux de flexion de  $10 \times 10 \text{ mm}^2$  placés sur appuis distants de 40  $\text{mm}$  (Voir figure 7, page 26).

**Mouton-pendule de 300 kilogrammètres.** — Les caractéristiques principales de cet appareil, représenté par la figure 3, sont les suivantes :

Poids du pendule .....	94 <sup>+</sup> 000 <sup>(1)</sup>
Rayon du centre de gravité.....	1 <sup>m</sup> 600
Hauteur de chute du centre de gravité.....	3 <sup>m</sup> 200

Ce mouton permet d'essayer des barreaux de flexion de  $30 \times 30 \text{ mm}^2$  placés sur appuis distants de 120  $\text{mm}$  (Voir figure 7, page 26).

Les dispositions générales, adoptées pour la construction du mouton-pendule de 300 kilogrammètres, sont les mêmes que pour le modèle de 30 kilogrammètres. Nous indiquerons seulement les particularités nécessitées par la puissance et les dimensions de l'appareil.

Le mécanisme de relevage du pendule est actionné par un moteur électrique, à courant continu ou alternatif, fixé sur un côté du bâti et attaquant le bras de relevage par un double

<sup>(1)</sup> Les chiffres indiqués ne sont qu'approximatifs. Voir la note de la page 13.

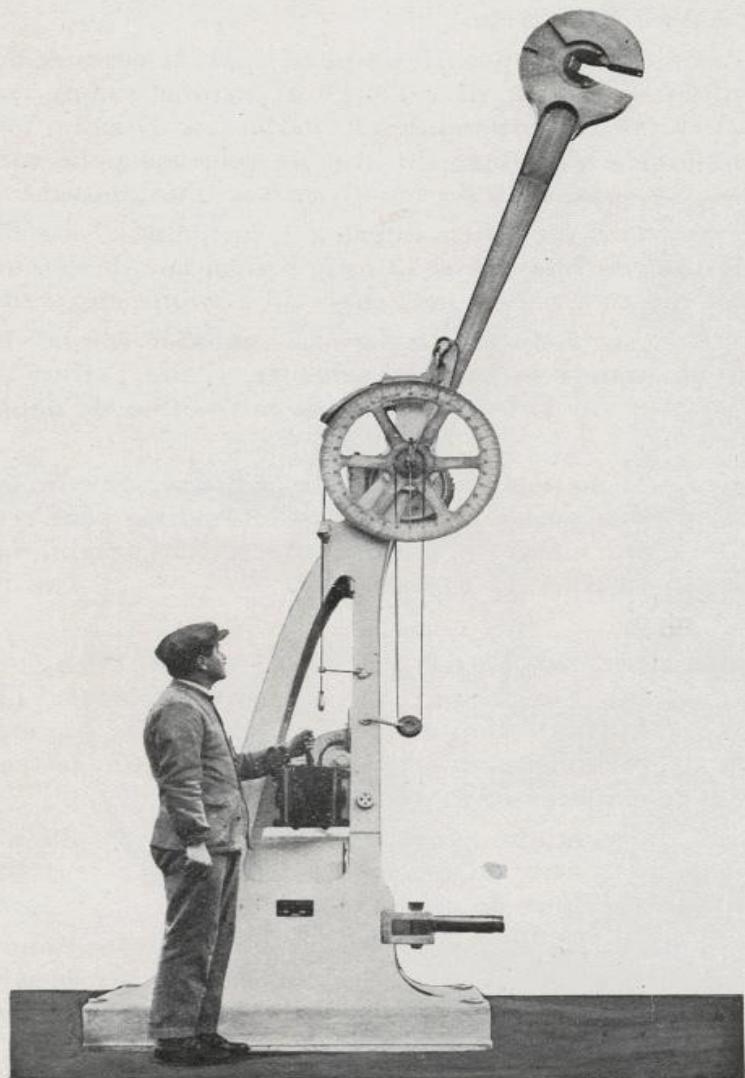


Fig. 3 — Mouton-pendule de 300 kgm.

jeu de roues et vis sans fin. La montée ou la descente sont obtenues par la simple manœuvre, à droite ou à gauche, de la manette d'un démarreur.

En utilisant ce dispositif, on peut, après la rupture du barreau, abaisser le bras de relevage à enclanchement automatique et accrocher le pendule en oscillation. Il suffit, ensuite, de commander la montée du bras de relevage pour ramener le pendule à sa position de départ, en vue d'un nouvel essai.

Un dispositif à cliquets intérieurs, formant « roue libre », entre le bras de relevage et la roue hélicoïdale de commande, permet l'enclanchement, sans choc, du pendule en oscillation.

Une friction à disques superposés, montée sur la vis sans fin qui commande le bras de relevage, limite l'effort exercé par le moteur sur la butée qui règle la position de départ du pendule.

L'arbre du moteur électrique est prolongé, du côté opposé au bâti, par une portée hexagonale. Cette portée peut recevoir la douille d'une manivelle pour le relevage, à la main, du pendule, en cas d'arrêt du courant.

**Mouton-pendule de 75 kilogrammètres.** — La COMPAGNIE DES FORGES DE CHATILLON, COMMENTRY et NEUVES-MAISONS construit enfin, hors série, un mouton-pendule de 75 kilogrammètres de puissance ayant les caractéristiques principales suivantes :

Poids du pendule.....	39 <sup>1/2</sup> 650
Rayon du centre de gravité.....	1 <sup>1/2</sup> 020
Hauteur de chute du centre de gravité.....	1 <sup>1/2</sup> 695

Ce mouton est construit avec les mêmes dispositions générales que celui de 300 kilogrammètres ; le relevage de son pendule peut être effectué à la main ou avec moteur électrique.

Ce mouton peut rompre des barreaux de  $10 \times 10$  <sup>m/m</sup> en métal extra résilient ou des barreaux de  $15 \times 15$  <sup>m/m</sup> (figure 7, page 26).

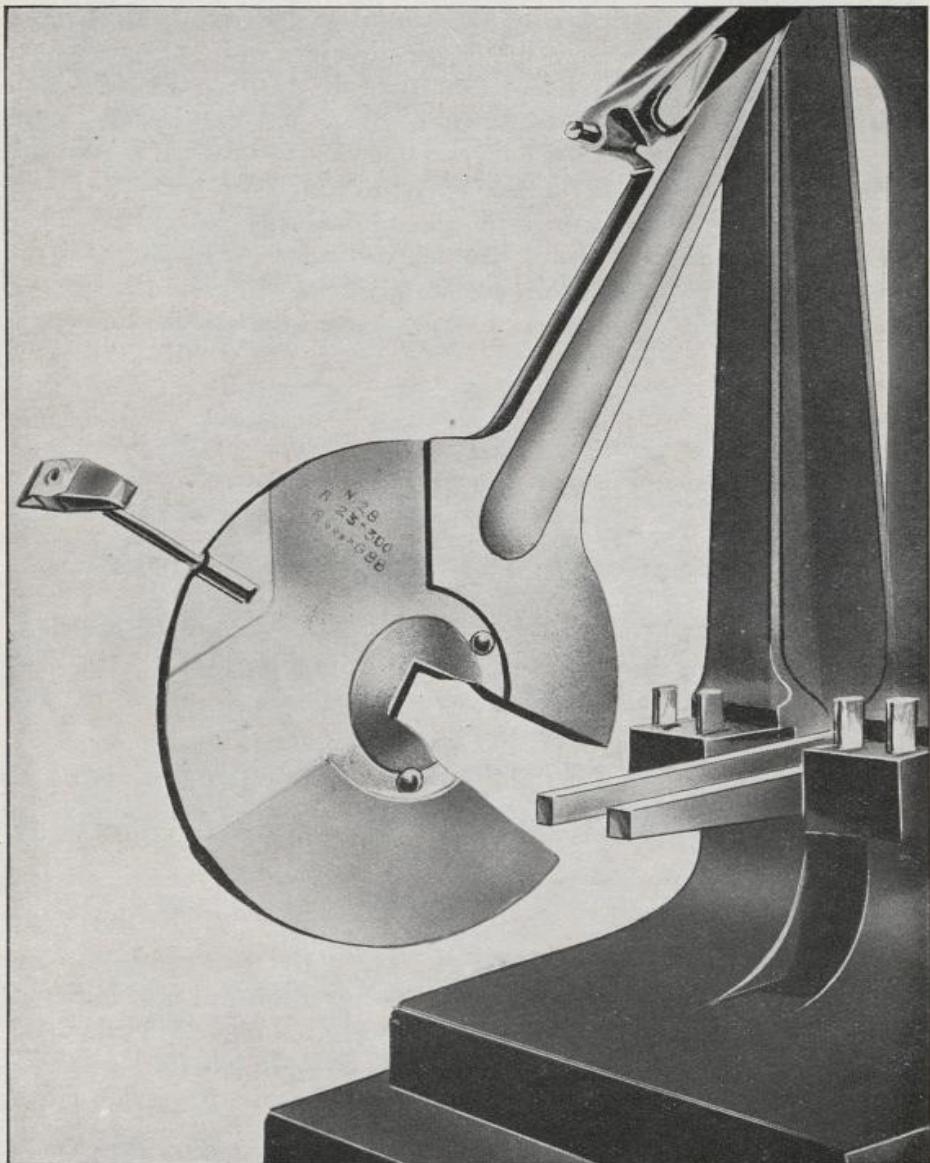


Fig. 4. — Dispositif pour l'exécution des essais de traction par choc

## ESSAIS DE TRACTION PAR CHOC

Les moutons-pendules de 10, 30, 75 et 300 kilogrammètres sont livrés avec les accessoires nécessaires pour l'exécution d'essais de traction par choc. On emploie, pour ces essais, des barreaux d'un modèle déterminé, dont les extrémités sont filetées. L'une des têtes du barreau est vissée dans un logement pratiqué à l'arrière de la masse principale du pendule; sur l'autre tête, on visse une traverse métallique qui vient s'arrêter, au moment du choc, sur deux butées fixées au bâti de l'appareil. Le pendule, en continuant sa course, allonge et rompt le barreau. La figure 4 représente le dispositif adopté.

## TARAGE

### ÉTABLISSEMENT DES BARÈMES D'ESSAI

Chaque mouton-pendule est livré avec deux tableaux d'emploi qui lui sont particuliers et qui correspondent, l'un aux essais de flexion par choc, l'autre aux essais de traction par choc. Ces tableaux comprennent :

- 1° le relevé des caractéristiques de l'appareil ;
- 2° Un barème donnant, en regard de chaque angle de remontée, le travail correspondant absorbé par la rupture du barreau.

L'établissement des barèmes est basé sur les considérations suivantes :

**Travail absorbé par la rupture du barreau.** — La différence entre l'énergie disponible au moment du choc et l'énergie restante, après le choc est égale au travail  $T$  absorbé par la rupture du barreau, augmenté, dans le cas de l'essai de flexion par choc, du travail  $\mathcal{T}$  absorbé par la projection des fragments du barreau <sup>(1)</sup>.

<sup>(1)</sup> On considère comme négligeable, en raison du mode de construction de l'appareil, l'énergie absorbée par les appuis et le couteau.

L'énergie disponible au moment du choc est égale au produit du poids  $P$  de la masse frappante par la hauteur de chute du centre de gravité, diminué du travail  $II_1$  absorbé par les frottements mécaniques et la résistance de l'air à la descente.

L'énergie restante, après le choc, est égale au produit du poids de la masse frappante par la hauteur de remontée du centre de gravité, augmenté du travail  $II_2$  absorbé par les frottements à la remontée.

En désignant par  $\gamma$  l'angle de départ, par  $\alpha$  l'angle de remontée et par  $d$  le rayon d'oscillation du centre de gravité, on a donc :

$$Pd(1 - \cos \gamma) - II_1 - [Pd(1 - \cos \alpha) + II_2] = T + \mathcal{E}.$$

d'où

$$T = Pd(\cos \alpha - \cos \gamma) - II_1 - II_2 - \mathcal{E} \quad (1).$$

On détermine, par des expériences préalables et des calculs exposés ci-après, les valeurs des différents termes correctifs  $II_1$ ,  $II_2$  et  $\mathcal{E}$  qui figurent dans cette formule.

En rapportant au centimètre carré de la section utile du barreau le travail de rupture  $T$ , exprimé en kilogrammètres, on obtient une grandeur, caractéristique de l'essai de choc sur entaille, à laquelle on a donné le nom de *résilience*.

**Travail absorbé par les frottements mécaniques et la résistance de l'air.** — Le pendule étant abandonné librement à sa position de départ, on note successivement tous les angles de remontée correspondant aux oscillations simples d'ordre impair et on inscrit la valeur de leur cosinus en regard de chacun des angles ainsi déterminés.

Soient  $A$  et  $B$  les angles correspondant respectivement à la  $(2n - 1)$ <sup>ème</sup> et à la  $(2n + 1)$ <sup>ème</sup> oscillation simple; on admet que la différence  $\cos B - \cos A$  représente la perte de hauteur  $\varphi$  du point situé à l'unité de distance de l'axe de suspen-

(1) Cette expression donne également le travail de rupture du barreau soumis à l'essai de traction par choc; mais, dans ce cas, 1<sup>o</sup> le terme  $\mathcal{E}$  est nul et 2<sup>o</sup> le terme  $P$  doit comprendre, en plus du poids du pendule, le poids du fragment de barreau qui reste fixé au pendule après rupture. Pour le calcul on admet que le barreau se rompt par le milieu et on ajoute au poids du pendule la moitié du poids du barreau.

sion, au cours d'une oscillation double d'amplitude égale à B.

Pour le même point, la perte de hauteur à la remontée ou à la descente (une demi-oscillation simple) est donc  $\frac{\varphi}{4}$  et, pour le centre de gravité, cette perte de hauteur est égale à  $d \frac{\varphi}{4}$

On a donc :

$$H_1 = P d \frac{\varphi_1}{4}$$

et

$$H_2 = P d \frac{\varphi_2}{4}$$

$\varphi_1$  correspondant à l'oscillation d'amplitude  $\gamma$ .

$\varphi_2$  correspondant à l'oscillation d'amplitude  $\alpha$ .

**Travail absorbé par la projection des fragments du barreau.** — On admet que, dans l'essai de flexion, les fragments du barreau sont animés, après la rupture, d'une vitesse V, égale à la vitesse restante au milieu du couteau. La force vive absorbée par la projection de ces fragments est donc

$$T = \frac{1}{2} \frac{P}{g} V^2,$$

P étant le poids du barreau essayé.

On convient de faire abstraction, dans le calcul de ce terme correctif, du travail absorbé par les frottements. Dans ces conditions, si l'on appelle l la longueur du pendule simple synchrone, v la vitesse du point pesant à son passage par la verticale, avant sa remontée d'un angle  $\alpha$ , et R la distance de l'axe d'oscillation au centre de l'impact, on peut écrire les relations

$$V = v \frac{R}{l} \quad (1)$$
$$v^2 = 2 g l (1 - \cos \alpha)$$

---

(1) Par construction  $\frac{R}{l}$  est, d'ailleurs, très voisin de l'unité dans les moutons-pendules.

d'où l'on tire

$$T = p \frac{R^2}{l} (1 - \cos \alpha)$$

$\frac{R^2}{l}$  étant une constante de l'appareil considéré.

### TARAGE DES MOUTONS-PENDULES

Ce tarage est effectué à la construction par détermination des constantes entrant dans la formule de calcul de l'énergie et en vérifiant, par l'étude de l'amortissement des oscillations, l'absence de frottements anormaux.

La constance de l'étalonnage peut être vérifiée de manière analogue en s'assurant, par mesure directe, que les caractéristiques initiales du pendule, qui sont indiquées sur le tableau d'emploi de chaque appareil, n'ont pas varié.

On peut également opérer à l'aide de *barreaux tarés*, mais comme il ne s'agit que de mesurer l'énergie restante dans le pendule, il est préférable, pour éviter les irrégularités dues à la non uniformité de la fragilité de la barre dans laquelle les étalons sont prélevés, d'utiliser des barreaux de flexion.

Ceux-ci sont constitués par des barrettes non entaillées de même largeur que le barreau normal et d'épaisseur convenablement choisie suivant l'énergie que l'on désire faire absorber par la flexion. Leur longueur est un peu inférieure à celle du barreau normal afin de diminuer l'influence du frottement. Ils sont faits avec un métal choisi et traité pour avoir le maximum d'homogénéité.

Sur demande, la Compagnie des Forges de CHATILLON, COMMENTRY ET NEUVES-MAISONS peut fournir tous renseignements sur la préparation de ces barreaux. Elle peut également fournir des barreaux tarés.

## RÉGLAGE ET ENTRETIEN DES MOUTONS-PENDULES

### RÉGLAGE

Pour que l'appareil soit normalement en état de service, les conditions suivantes doivent être réalisées :

- le plan d'oscillation doit être rigoureusement vertical;
- l'appareil doit se mouvoir librement autour de son axe de suspension sans jeu appréciable;
- dans l'essai de flexion, l'impact doit se produire au point le plus bas de la course du pendule, exactement dans la section centrale du barreau à essayer et au moment où le centre de gravité du pendule traverse le plan vertical passant par l'axe d'oscillation.

**Disposition de l'appareil.** — Le bâti doit être *immobilisé* soigneusement de façon à éviter tout mouvement de l'appareil au moment du choc; on peut, à cet effet, maintenir le socle par des boulons de scellement, ou, plus simplement, arrêter sa partie antérieure contre une butée fixe.

D'autre part, on vérifie, au niveau, que le plan de support des appuis est *horizontal*.

**Liberté d'oscillation du pendule.** — L'angle de remontée, en chute libre, à partir de l'angle de chute maximum, doit avoir la valeur indiquée au tableau d'emploi de l'appareil pour un travail de rupture nul.

Cette condition est à vérifier au début de chaque série d'essais.

Abandonné à partir de l'angle de chute maximum, le pendule, oscillant librement, doit remonter, après 50 oscillations doubles, à une hauteur correspondant à un angle dont la différence avec l'angle de départ ne sera pas supérieure à  $35^\circ$  pour le mouton-pendule de 10 kgm., à  $30^\circ$  pour le mouton de 30 kgm., à  $45^\circ$  pour le mouton de 75 kgm. et à  $60^\circ$  pour le mouton-pendule de 300 kgm.

Les appareils actuels sont munis de mouvements indé-  
réglables. Les premiers modèles fabriqués étaient munis  
de cuvettes à cône dont le jeu devait être réglé occasion-  
nellement à l'aide de clés spéciales.

**Réglage des appuis.** — A vérifier fréquemment.

a) **Essais de flexion.** — Le pendule est fixé sur son axe de suspension, de manière que sa partie inférieure soit située exactement au milieu de l'intervalle des chapes des appuis ou porte-barreaux.

Dans sa position de liberté, au repos, le nez du couteau affleure exactement la partie postérieure du barreau disposé normalement sur les appuis; l'aiguille mobile, touchant le doigt d'entraînement, est au zéro.

On vérifie, en outre, au moyen du gabarit n° 1 fourni avec l'appareil, les points suivants (voir figure 5) :

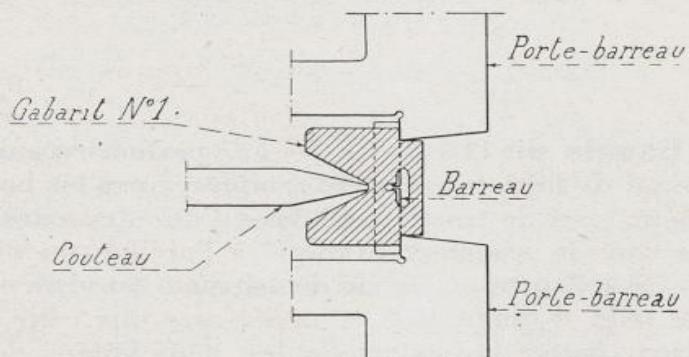


Fig. 5 — Vérification du réglage du pendule et de la position du barreau sur les appareils au moyen du gabarit n° 1

1° La distance des faces intérieures des appuis est égale à  $q$  millimètres <sup>(1)</sup>.

2° Les arêtes des appuis étant engagées dans les logements aménagés aux extrémités du gabarit, les 2 encoches du gabarit marquent les emplacements de l'entaille du barreau et du nez du couteau.

Un gabarit n° 2 (figure 6) permet de placer facilement les barreaux à essayer avec le mouton de 30 kgm.; le gabarit comporte un talon qui se place entre les butées du barreau et un bâton qui s'engage dans l'entaille du barreau.

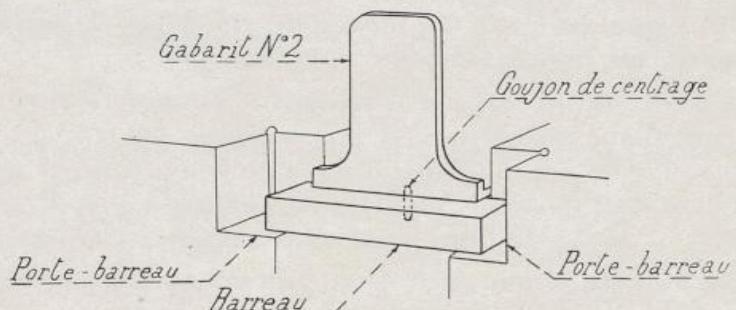


Fig. 6 — Réglage de la position du barreau  
au moyen du gabarit n° 2

b) **Essais de traction.** — Les porte-barreaux utilisés dans l'essai de flexion ayant été remplacés par les butées spéciales pour essai de traction, on visse l'une des extrémités du barreau dans le logement pratiqué à l'arrière du disque du pendule. Sur l'autre extrémité du barreau, on visse ensuite la traverse (fig. 4 page 17) et on s'assure que cette dernière pièce vient porter également sur les deux butées lorsque le

<sup>(1)</sup>  $q = 40 \text{ mm}$  pour les moutons de 10 et de 30 kgm., comme pour ceux de 75 kgm., et  $120 \text{ mm}$  pour les moutons de 300 kgm.

pendule est à sa position la plus basse ; l'aiguille mobile touchant le doigt d'entraînement, doit être au zéro.

### ENTRETIEN

Maintenir les roulements à billes de l'axe de suspension légèrement graissés d'huile non siccative.

Assurer fréquemment, avec de la bonne huile, le graissage des organes qui sont munis de cuvettes ou de trous graisseurs.



## TRACÉ ET USINAGE DES BARREAUX D'ESSAIS

La planche ci-jointe donne les tracés des barreaux les plus employés pour les essais de flexion et de traction au mouton-pendule.

Pour obtenir des résultats comparables dans la série des essais, il est nécessaire que la préparation des éprouvettes soit effectuée avec certaines précautions. Nous indiquons, ci-après, pour les divers types de barreaux, un mode d'usinage qui donne entièrement satisfaction.

### *Barreaux de flexion de 30 × 30 mm.*

Ebauchage à la fraise à 30 mm. 2 × 30 mm. 2.

Finissage à la lime (traits en long).

Perçage au foret hélicoïdal.

Exécution de l'entaille à la fraise-scie.

### *Barreaux de flexion de 15 × 15 mm.*

Ebauchage à la fraise à 15 mm. 2 × 15 mm. 2.

Finissage à la lime (traits en long).

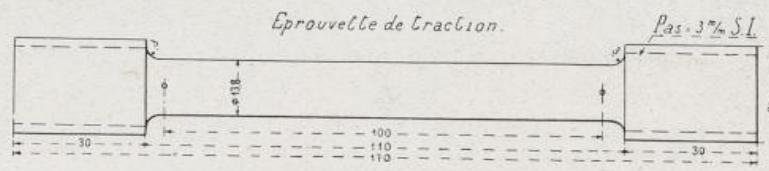
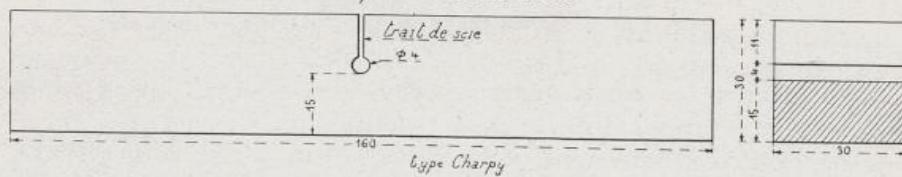
Perçage au foret hélicoïdal.

Exécution de l'entaille à la fraise-scie.

## TRACES DES BARREAUX

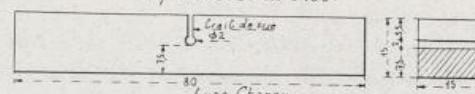
Moulon-Pendule de 300 kilogrammètres

Eprouvette de choc.



Moulon-Pendule de 75 kilogrammètres

Eprouvette de choc.



Moulon-Pendule de 30 kilogrammètres

Eprouvettes de choc.

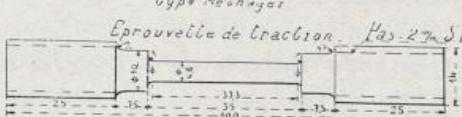
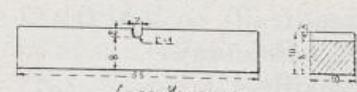
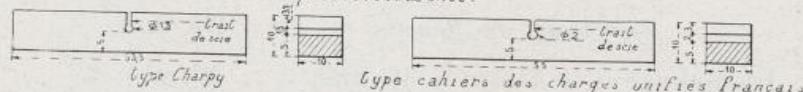


Fig. 7

*Barreaux de flexion de 10 × 10 mm.*

Ebauchage à la fraise à 10 mm.  $6 \times 10$  mm. 6.

Meulage à 10 mm. 05  $\times$  10 mm. 05.

Finissage à la lime (traits en long).

Perçage au foret hélicoïdal.

Exécution de l'entaille à la fraise-scie.

*Barreaux de traction de 13 mm. 8 de diamètre.*

Ebauchage au tour à  $d = 14$  mm. 2.

Rectification à la meule à  $d = 13$  mm. 8.

*Barreaux de 11 mm. de diamètre pour mouton de 75 kgm.*

Ebauchage au tour à  $d = 11$  mm. 5.

Rectification à la meule à  $d = 11$  mm.

*Barreaux de traction de 4 mm. 6 de diamètre*

Ebauchage au tour à  $d = 5$  mm.

Rectification à la meule à  $d = 4$  mm. 6.

**Perçage du trou.** — Le dispositif de guidage, représenté par la figure 8 ci-dessous, permet d'effectuer sans diffi-

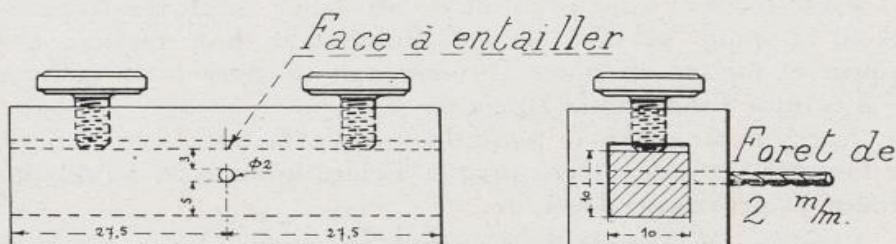


Fig. 8 — Dispositif de guidage pour le perçage des barreaux (Barreau U.F.)

culté le perçage du trou qui correspond au fond de l'entaille des barreaux de flexion pour les barreaux de 10 mm. Opérer de même pour ceux d'autres dimensions.

On fait buter au fond du gabarit la face du barreau opposée à l'entaille. De cette manière, l'épaisseur de la partie non entaillée est toujours correcte, la tolérance de dimension du barreau jouant seulement sur la partie entaillée où son influence est négligeable. Ce dispositif permet de percer facilement l'entaille Mesnager dont le trou est tangent à la face du barreau.

### FONCTIONNEMENT ESSAIS DE FLEXION

Elever légèrement le pendule de manière à permettre l'accès des appuis et mettre le barreau en place.

Pour cela, le barreau étant posé sur les appuis, engager le gabarit, comme l'indique la figure 5, par dessus le barreau. On règle alors la position du barreau de façon que, la face entaillée étant en contact avec les parois verticales des appuis, le fond de l'entaille soit en coïncidence avec le fond de l'encoche correspondante du gabarit.

Pour les moutons de 10 et de 30 kgm., employer le gabarit n° 1 pour vérifier périodiquement le bon réglage des appuis et mettre en place les barreaux au moyen du gabarit n° 2 comme l'indique la figure 6.

Après avoir élevé le pendule jusqu'à la butée, en évitant de heurter cette dernière, amener l'aiguille au zéro du disque gradué et provoquer la chute.

Lire ensuite l'angle de remontée et arrêter le mouvement du pendule.

Avec les modèles de 10 et de 30 kilogrammètres, on fait cesser l'oscillation du pendule en agissant sur le frein à bande.

Pour les modèles de 75 et de 300 kilogrammètres, ce résultat est obtenu en raccrochant le pendule par la descente du bras de relevage.

### ESSAIS DE TRACTION

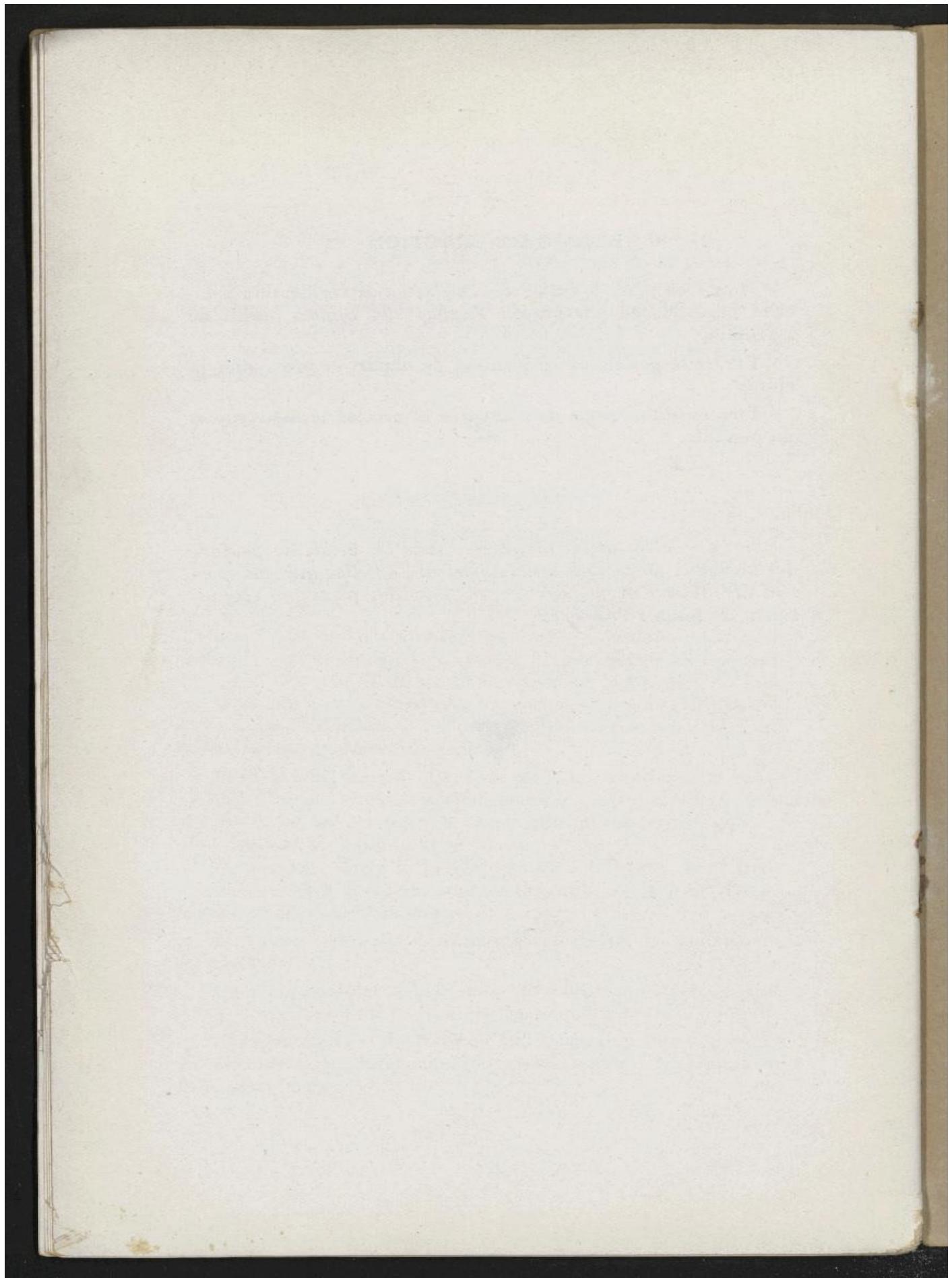
Mettre en place le barreau et effectuer la vérification prescrite page 24, au paragraphe *Réglage des appuis* (essais de traction).

Elever le pendule à sa position de départ et provoquer la chute.

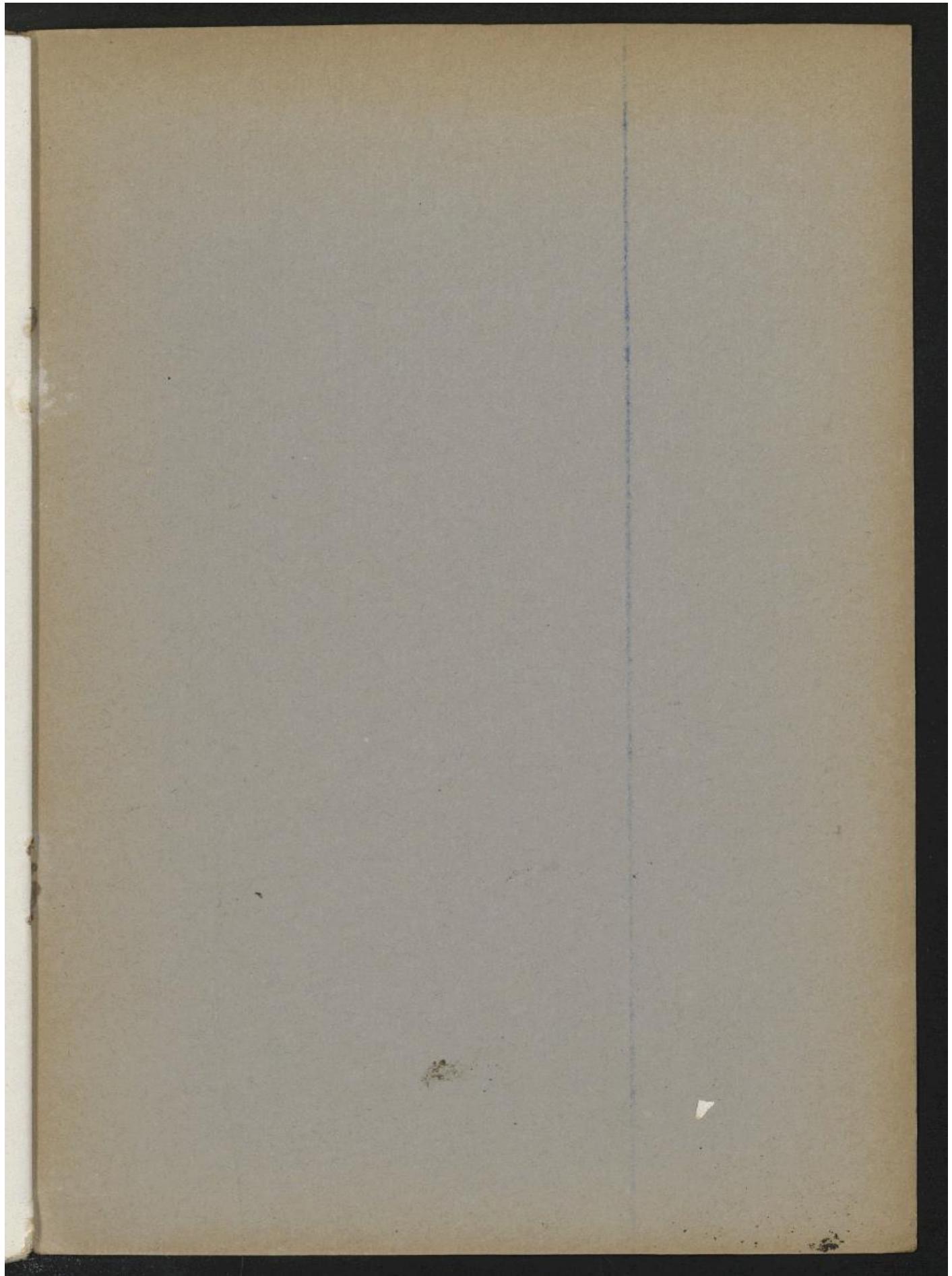
Lire ensuite l'angle de remontée et arrêter le mouvement du pendule.

NOTA. — *Ne jamais employer, dans les essais de flexion, des barreaux de section utile supérieure à celles qui sont portées au tableau de la page 25; de pareilles pratiques risqueraient de fausser l'appareil.*

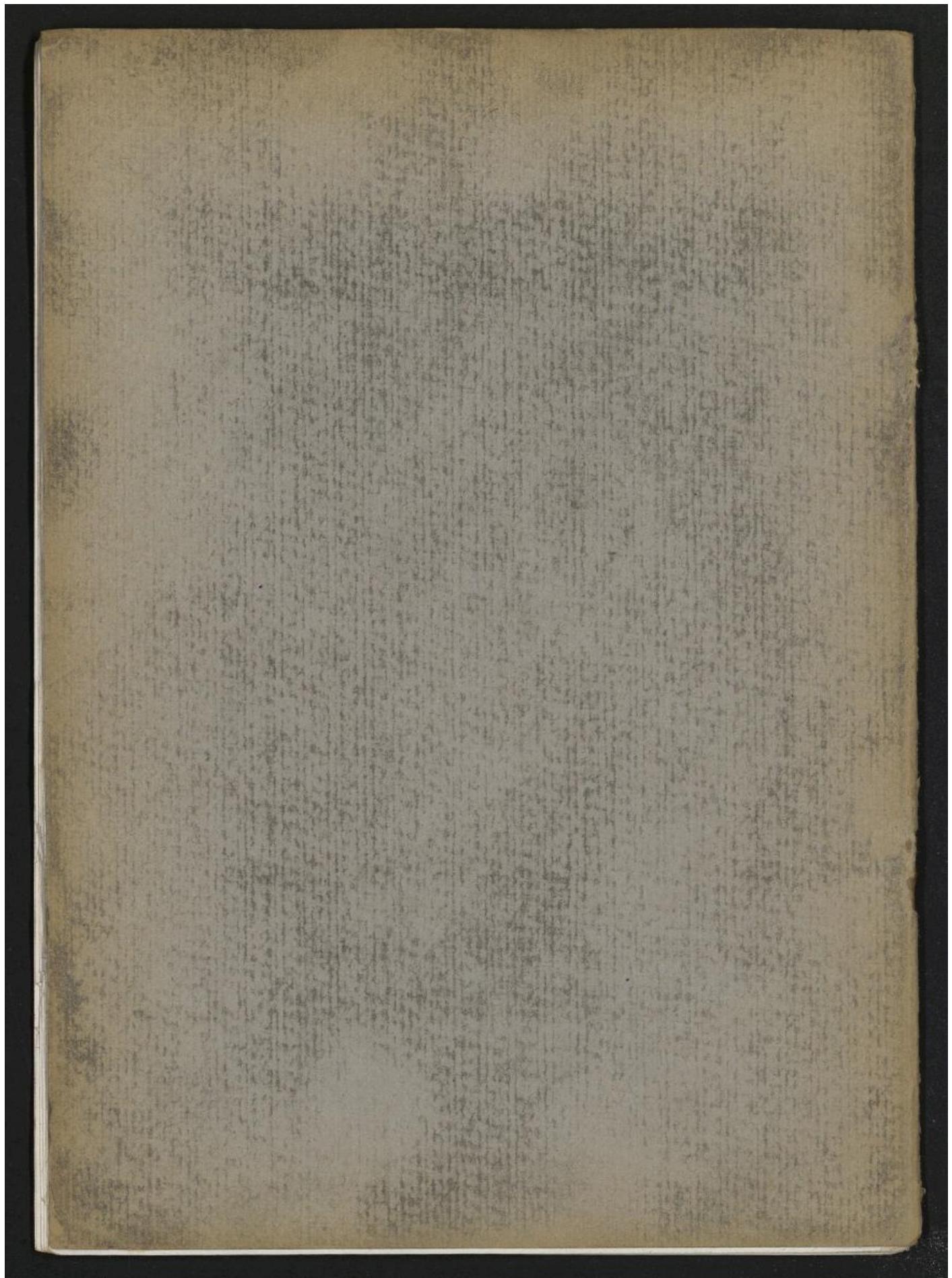




Droits réservés au [Cnam](#) et à ses partenaires



Droits réservés au [Cnam](#) et à ses partenaires



Droits réservés au [Cnam](#) et à ses partenaires