

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).

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 - https://cnum.cnam.fr](https://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

NOTICE DE LA REVUE	
Auteur(s) ou collectivité(s)	Laboratoire d'essais mécaniques physiques chimiques et de machines du Conservatoire national des Arts et Métiers
Auteur(s)	Laboratoire d'essais mécaniques physiques chimiques et de machines du Conservatoire national des Arts et Métiers
Titre	Bulletin du Laboratoire d'essais mécaniques, physiques, chimiques et de machines du Conservatoire National des Arts et Métiers
Adresse	Paris : Librairie Polytechnique Ch. Béranger, éditeur, 1903-1931
Nombre de volumes	23
Cote	CNAM-BIB P 1329-A
Sujet(s)	Conservatoire national des arts et métiers (France) Génie industriel -- 20e siècle
Notice complète	https://www.sudoc.fr/039047083
Permalien	https://cnum.cnam.fr/redir?P1329-A
LISTE DES VOLUMES	
	N° 1 - Tome I (1903-1904)
	N° 2 - Tome I (1903-1904)
	N° 3 - Tome I (1903-1904)
VOLUME TÉLÉCHARGÉ	N° 4 - Tome I (1903-1904)
	N° 5 - Tome I (1903-1904)
	N° 6 - Tome I (1905-1906)
	N° 7 - Tome I (1905-1906)
	N° 8 (1906)
	N° 9 (1906)
	N° 10 (1907)
	N° 11 (1907)
	N° 12 (1907)
	N°13 (1908)
	N°14 (1908)
	N°15 (1908)
	N°16 (1911)
	N°17 (1917)
	N°18 (1919)
	N°19 (1919)
	N° 20 (1922)
	N° 21 (1924)
	N°22 (1927)
	N°23 (1931)

NOTICE DU VOLUME TÉLÉCHARGÉ	
Auteur(s) volume	Laboratoire d'essais mécaniques physiques chimiques et de machines du Conservatoire national des Arts et Métiers
Titre	Bulletin du Laboratoire d'essais mécaniques, physiques, chimiques et de machines du Conservatoire National des Arts et Métiers
Volume	N° 4 - Tome I (1903-1904)
Adresse	Paris : Librairie Polytechnique Ch. Béranger, éditeur, 1904
Collation	1 vol. (129 p.-22 p. de pl.) : fig., tabl. ; 25 cm
Nombre de vues	128
Cote	CNAM-BIB P 1329-A (4)
Sujet(s)	Conservatoire national des arts et métiers (France) Génie industriel -- 20e siècle
Thématique(s)	Histoire du Cnam
Typologie	Revue
Langue	Français
Date de mise en ligne	10/04/2025
Date de génération du PDF	10/04/2025
Notice complète	https://www.sudoc.fr/039047083
Permalien	https://cnum.cnam.fr/redir?P1329-A.4

80 Ku 107 (100)

BULLETIN
DU
LABORATOIRE D'ESSAIS
MÉCANIQUES, PHYSIQUES, CHIMIQUES ET DE MACHINES
DU
CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET MÉTIERS

N° 4. — Tome I (1903-1904).

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DES
relations entre les effets des sollicitations lentes
et ceux des sollicitations vives

DANS LE CAS DES MÉTAUX FERREUX

(Barreaux lisses et Barreaux entaillés)

PAR

PIERRE BREUIL

Chef de la Section des Métaux du Laboratoire d'essais du Conservatoire National
des Arts et Métiers à Paris

PARIS

LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE CH. BÉRANGER, ÉDITEUR

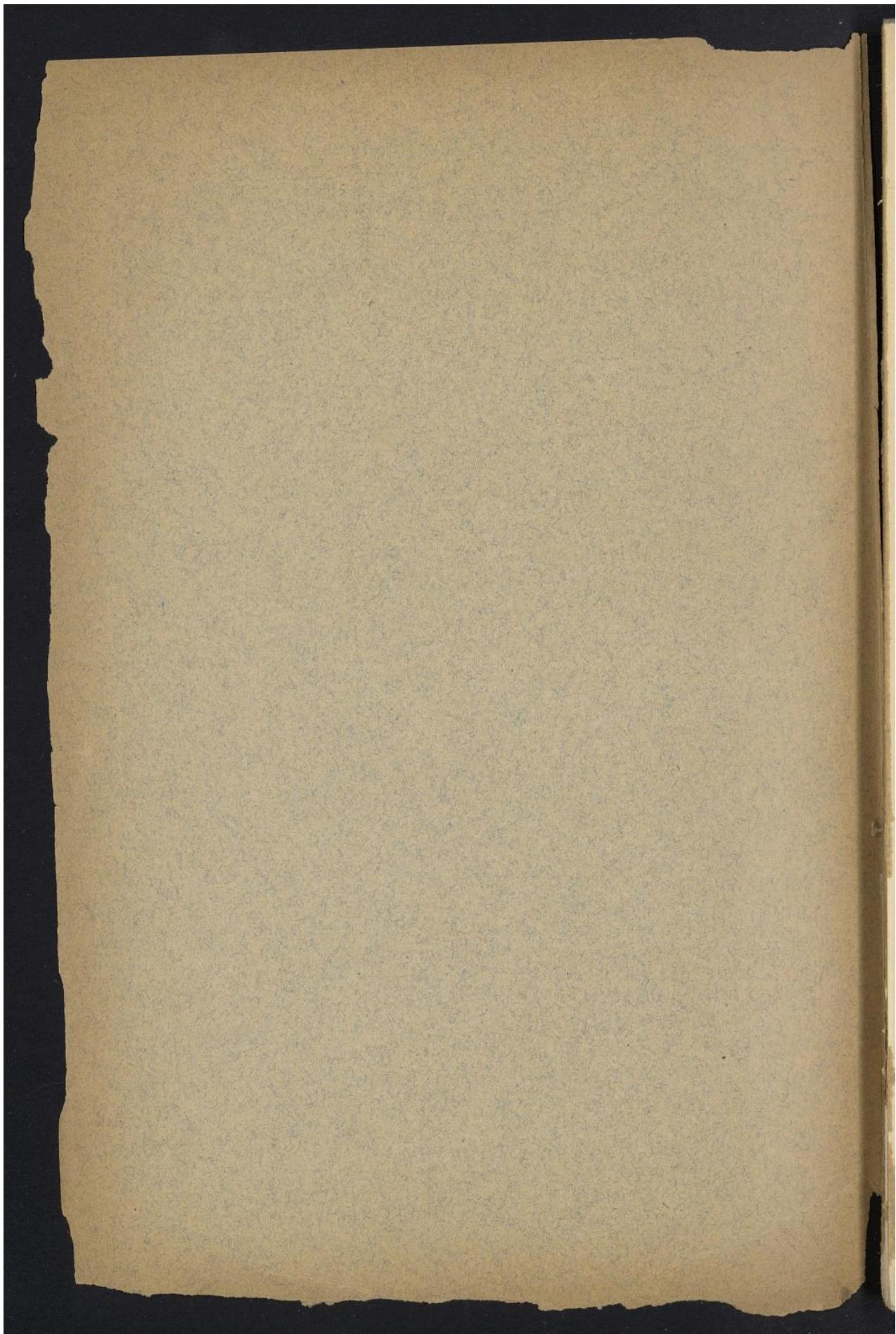
Successeur de BAUDRY & C^{ie}

15, RUE DES SAINTS-PÈRES, 15

MÊME MAISON A LIEGE, 21, RUE DE LA RÉGENCE

—
1904

Tous droits réservés



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

80 km 107 (100)

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DES
relations entre les effets des sollicitations lentes
et ceux des sollicitations vives dans le cas
des
métaux ferreux



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

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DES
relations entre les effets des sollicitations lentes
et ceux des sollicitations vives
DANS LE CAS DES MÉTAUX FERREUX (1)

(Barreaux lisses et Barreaux entaillés)

PAR

PIERRE BREUIL

Chef de la Section des Métaux du Laboratoire d'essais du Conservatoire national
des Arts et Métiers à Paris

INTRODUCTION

C'est pour nous un agréable devoir de faire connaître, au début de cette étude, qu'elle eût été bien plus incomplète, sinon impossible, sans le concours généreux des industriels français. Nous devons adresser tous nos remerciements à MM. de Montgolfier, administrateurs des Hauts fourneaux et Aciéries de la Marine et des Chemins de fer ; à MM. Pralon et Werth, administrateur et directeur des Forges et Aciéries de Denain et Anzin ; à MM. Girin et Carlioz, administrateur et ingénieur de la Compagnie de Commentry-Fourchambault ; à M. Jourjon, directeur des Forges d'Alais ; à M. Schneider, administrateur-propriétaire des grandes usines du Creusot et à M. Delabroise son ingénieur ; à M. Séjournet, administrateur de la Société française d'Electrométaux de Froges ; enfin et surtout à M. G. Chehet propriétaire des Forges d'Athis-Mons.

Que chacun de ces Messieurs veuille bien trouver ici l'expression de notre plus profonde gratitude pour les admirables sacrifices qu'ils ont bien voulu consentir en faveur de notre étude, pour laquelle il a été mis à notre disposition plus de 5.000 kilos de métaux variés et spécialement fabriqués.

(1) Ce travail a été présenté au meeting de mai dernier de The Iron and Steel Institute ; il est le fruit d'une subvention de M. Carnegie ; il a valu à son auteur une médaille d'or délivrée par l'Institut précité dans ce meeting de mai. La reproduction de ce travail en français a été aimablement consentie par l'Institut qui a mis à la disposition du Laboratoire tous les clichés des figures.

Le programme que nous avions en vue, dès les premiers instants, était considérable. Il eut été par trop outrecuidant de notre part de vouloir le remplir dans le temps si court qui nous était dévolu ; nous n'en avons abordé qu'une partie ; nous ne disons pas que nous l'avons épuisée.

Grâce aux admirables ressources dont dispose le Laboratoire d'essais du Conservatoire national des arts et métiers de Paris, où nous dirigeons la section des métaux, il nous avait paru possible de rechercher d'une façon méthodique, *quelles sont les relations qui existent entre les effets des actions lentes et ceux des actions vives sur les métaux.*

C'est un vieux problème qui a tenté maints expérimentateurs, mais tous n'avaient peut-être pas des machines, des instruments, des concours aussi variés et aussi puissants que ceux dont nous disposons.

C'est pour nous le moment d'exprimer la reconnaissance que nous éprouvons pour notre éminent directeur, M. Perot, qui a approuvé ces études et pour la Commission technique de notre laboratoire qui les a autorisées.

Les sollicitations lentes et les sollicitations vives dont nous voulons parler ne pouvaient amener pour nous à des résultats définis qu'autant qu'elles s'exerçaient sur des pièces simples et suivant des modes opératoires simples. Cela nous a conduit immédiatement à ne considérer comme formes de sollicitations que celles de *traction*, de *compression*, de *flexion*, de *torsion*. Parmi ces quatre sortes nous nous sommes borné à prendre les sollicitations de *traction* et de *flexion* et même avec ces deux genres d'action nous avons dû nous contenter d'examiner les essais de traction lents, les essais de flexion lents et les essais de flexion par choc dans des conditions qui auraient besoin d'être encore davantage généralisées.

Notre effort a porté surtout sur l'étude de l'influence de la forme des éprouvettes ; nous avons laissé de côté les sentiers battus ; il eût été superflu de rechercher après tant d'auteurs les lois des déformations des barreaux lisses de sections variées, aujourd'hui bien connues et faisant la base des transactions commerciales des métaux.

Nous avons cherché plutôt à voir ce qu'il y a de particulier et de vrai dans une nouvelle manière d'apprécier les métaux qui depuis quelques années s'est introduite en France, y fait grand bruit actuellement et qu'on tente de substituer aux anciennes méthodes d'investigation, sans raisons probantes, à notre avis. *Nous voulons parler de la méthode des barreaux entaillés.*

Bien que cette étude paraisse bien éloignée de celle tracée dans notre programme, elle en est un des articles et c'est son actualité brûlante qui nous l'a fait poursuivre aussi complètement que nous avons pu, mais à moitié seulement.

Nous ne connaissons pas, à propos des barreaux entaillés de travail d'ensemble résumant mieux l'état de cette question que celui du professeur Rudeloff de Charlottenbourg (Stahl und Eisen 1^{er} et 15 avril 1902). On pourra y voir que jusqu'à ce jour les essais de ce genre ont été de deux sortes : 1^o des essais

de traction lente (essais de Barba, Martens, Bach, Unwin, etc.) ; 2^o des essais de flexion lente ou vive (essais de Tetmajer, Kerpely, Considère, etc., et les récents essais français ou étrangers).

L'essai dans son essence consiste à faire une entaille variée dans une barrette de dimensions variées et à chercher à rompre cette barrette par traction ou flexion lentes ou vives et à déduire de ces essais des appréciations variées au sujet du métal examiné.

Depuis 4 à 5 ans il a été fait des travaux considérables sur ces questions. Tous ces travaux ont porté sur des essais au choc par flexion de barreaux entaillés dont l'entaille et les dimensions variaient avec leur auteur.

On a fait couler des flots d'encre pour savoir s'il valait mieux prendre une entaille ronde au lieu d'une entaille aiguë ; les arguments pour et contre ont été étayés très souvent sur de fort justes raisons et c'est l'entaille ronde qui paraît aujourd'hui avoir la supériorité sous le prétexte qu'elle est moins sévère que l'entaille aiguë, comme si, pour juger d'une matière, il suffisait de dire : « nous allons la regarder sous une obliquité de 60° et non de 45° ». Cela ne devrait, à notre avis avoir aucune importance, si le *modus faciendi* était raisonnable ; en quoi, en effet, les propriétés intrinsèques de la matière peuvent-elles en être troublées ?

Il a été créé des moutons spéciaux très ingénieux pour expérimenter ces barrettes spéciales. On a fait des milliers d'essais, sans se demander quelles étaient les causes d'erreurs du procédé, tant dans les barrettes employées que dans les machines utilisées pour les rompre. On est loin de la prudence et de la sagesse lente avec laquelle opéraient Bauschinger, Kirkaldy, Morin et les vieux maîtres.

Mais il s'agissait de jeter à bas ce malheureux essai de traction, objet d'horreur pour les adeptes des nouvelles méthodes.

Si l'on se représente l'état d'âme des industriels qui fabriquent ou achètent le métal, devant la suspicion jetée sur leurs manières de faire courantes, par les nouveaux processus opératoires, on ne pourra se défendre d'une certaine compassion.

Et nous dirons avec eux et avec Martens par exemple : « en quoi cette méthode est-elle supérieure aux anciennes méthodes d'essais pour la sécurité de qui vend et de qui achète ? » Et si, ce qui est douteux, le nouveau mode d'appréciation est meilleur que l'ancien, pourquoi ne pas chercher, avant de le substituer à lui, à convaincre qui en a besoin de son efficacité plus grande et pourquoi ne pas établir de transition entre ce qui existe et ce que l'on veut imposer.

Ainsi parmi toutes les recherches parues en France sur les essais de flexion par choc de barreaux entaillés, nous n'avons pas vu qu'il ait été établi de comparaison entre les résultats de barreaux non entaillés et entaillés d'un même métal. MM. Charpy et Mesnager par exemple, ont bien étudié l'action des profondeurs plus ou moins grandes d'entailles ; d'autres ont examiné la question par d'autres côtés, mais nous n'avons pas vu que la transition dont il est question

ci-dessus ait été abordée. Pourquoi n'avoir pas fait d'essais de traction par choc, essais bien plus rigoureux que ceux par flexion.

Et si encore les résultats des essais obtenus avec les barrettes et les machines indiquées par les auteurs eussent été concordants on aurait pu avoir confiance, mais pour donner un exemple pour un même métal, essayé dans des conditions identiques on constate des écarts énormes (50 à 100 o/o).

Jamais on eût adopté les essais de traction si dénigrés si l'on eût constaté de telles variations, et jusqu'à plus ample informé il est impossible d'accorder à une méthode semblable la confiance qui règle les transactions commerciales étendues.

C'est en nous appuyant sur notre propre expérience, en nous basant sur les hésitations justifiées de nombreux industriels avec qui nous sommes en contact que nous venons, au risque de déplaire, attirer l'attention impartiale des ingénieurs de partout sur cette question à l'ordre du jour et qui est un article important du programme que nous nous sommes tracé.

On a admis, en effet, jusqu'à présent que les métaux qui se comportaient mal aux essais de choc par flexion de barreaux entaillés étaient fragiles et on a posé comme une règle définie que pour déceler cette fragilité il fallait déterminer le nombre de kilogrammètres exact pour rompre par choc des barrettes de ce métal aussi variées que leurs inventeurs. D'abord il nous sera permis de douter qu'il y ait correspondance absolue entre les essais au choc de tels barreaux (et de barreaux quelconques d'ailleurs) et la manière dont se comporteront les pièces de ces métaux en service. Un bandage de locomotive par exemple est en général constitué par un acier dur fragile qui reçoit des chocs en service et qui pourtant se conduit bien mieux qu'un bandage en acier doux ; faudra-t-il refuser un tel métal parce qu'aux essais de barreaux entaillés il donnera un nombre de kilogrammètres insignifiant pour rompre ?

En outre pourquoi admettre en principe que ce qui doit être mesuré dans un choc c'est le travail dépensé ? Pourquoi ne pas envisager la force produite, ou la déformation éprouvée. M. Charpy a trouvé dans ses essais qu'il y avait corrélation entre les angles de rupture des barreaux et les travaux en kilogrammètres et a témoigné ainsi que ce n'est pas le travail seul qui importe. Nous croyons que les plus importantes constatations faites pour élucider le phénomène sont celles de M. de Frémerville, qui a attiré le premier l'attention sur une déformation critique dans les barrettes entaillées. Nous retrouverons cette déformation ultérieurement et la suivrons aussi complètement que possible dans ses transformations successives pour les différents aciers.

Pourquoi également adopter des barreaux de flexion pour déterminer la fragilité ; nul n'ignore qu'il y a des pertes de travail énormes dues aux frottements de ces barreaux sur les appuis quand ces barreaux fléchissent ; ces pertes varient avec une foule de causes (dureté du barreau, état des arêtes, etc., longueur des barrettes, etc.). N'aurait-il pas été plus simple et surtout plus exact de faire ces essais sur des barrettes de traction qui, bien façonnées eussent per-

mis d'établir des résultats sans causes d'erreurs grossières comme c'est le cas pour les barrettes de flexion ?

Est-on sûr qu'il y aurait une correspondance absolue entre les résultats des essais au choc de barreaux fléchis et ceux des essais de traction des mêmes métaux ? Il est permis d'en douter. Dans quel sens faudra-t-il conclure alors ?

Prenons un exemple : si l'on fléchit une bande de caoutchouc para ou de plomb, le travail dépensé sera très faible, beaucoup plus faible que celui d'une même bande de fer, parce que l'effort sera très petit, le caoutchouc passera entre les appuis sans se rompre ; prenons la même bande, tractionnons-la, des essais nous prouvent qu'à volume égal le travail dépensé pour la rompre sera à peu près égal à celui du fer. Donc, d'après la mesure du travail dans le premier cas, le caoutchouc est un corps fragile, dans le deuxième cas, il a la même fragilité que le fer. On voit de suite nettement que seule la mesure du travail ne peut nous satisfaire, la notion de la force développée, celle de la déformation interviennent à coup sûr.

On a si bien compris cette objection que la plupart des auteurs des nouvelles méthodes indiquent que la fragilité n'apparaît que pour une vitesse d'impact donnée (pour une hauteur de chute donnée dans le cas d'un poids tombant pour produire le choc) ; on verra ultérieurement ce qu'il y a de vrai à ce propos.

Toutes ces questions qui se sont posées à notre esprit, comme à celui d'autres expérimentateurs assurément, devenaient inextricables dès qu'on se les posait à propos des barreaux non pas lisses, mais entaillés, c'est-à-dire portant une complication de plus. Nous avions pu constater expérimentalement des anomalies frappantes : ainsi de très bons aciers des meilleures marques françaises étaient beaucoup plus fragiles (du moins comme on le comprend dans le domaine des barreaux entaillés) que des aciers de même résistance à la traction et de qualité très ordinaire. Nous avions vu que ce nouveau genre d'essais excluait souvent irrationnellement les produits un peu durs au bénéfice de produits doux ; nous avons perdu confiance en ces essais ; nous n'avons plus pu considérer comme un acte de foi tout ce qui a été dit et fait à ce sujet, c'est ce qui a été une des causes qui nous ont incité à entreprendre la présente étude. D'autre part, nous avons cherché à rattacher les vieux modes opératoires à ces nouveaux, pensant pouvoir par là être de quelque utilité à tout le monde. Malheureusement notre étude n'est pas complète, le temps nous a manqué pour aborder complètement les effets des sollicitations brusques de barreaux entaillés, mais nous poursuivrons ce travail sans arrêt.

Métaux employés dans notre étude.

Les métaux qui ont été mis à notre disposition pour notre étude sont les suivants : (les barres de tous les métaux où nous avons prélevé les éprouvettes avaient toutes 18 mm. \times 18 mm.).

A. ACIERS. — 1^o De l'acier dur Martin acide ayant la composition chimique suivante :

$$C = 0,700 \quad Si = 0,338 \quad S = 0,053 \quad Ph = 0,077 \quad Mn = 0,530.$$

Les barres de cet acier ont été tirées d'un lingot ayant à la grande base 200 mm. \times 200 mm., et à la petite base 160 \times 160. Leur laminage a été fait en 3 chaudes et la dernière passe a été faite un peu froid comme nous avons pu en juger par la couleur superficielle des barres. Cet acier a été marqué I ; il nous a été fourni par la Compagnie de Commentry-Fourchambault (usine d'Imphy).

2^o De l'acier dur Martin acide dont la composition chimique était la suivante :

$$C = 0,45 \quad S = 0,090 \quad Ph = 0,060 \quad Mn = 0,77.$$

Les lingots qui avaient fourni les barres avaient 160 mm. \times 200 mm. de section. Ces barres nous ont été livrées recuites au rouge cerise par l'usine.

Cet acier a été marqué T, il nous a été fourni par les forges d'Alais (usine de Tamaris).

3^o De l'acier demi-dur Martin acide ayant la composition suivante :

$$C = 0,380 \quad Si = 0,222 \quad S = 0,038 \quad Ph = 0,041 \quad Mn = 0,360$$

On est parti d'un lingot de 400 mm. de côté pour produire les barres, l'opération a été faite en une seule chaude commencée à 1.000° et terminée à 800°, puis les barres ont été mises à refroidir sur la plaque de l'atelier et nous ont été livrées telles qu'elles. Cet acier a été marqué C, il provient du Creusot.

4^o De l'acier doux ayant la composition suivante :

$$C = 0,12 \quad Si = \text{traces} \quad S = 0,022 \quad Ph = 0,035 \quad Mn = 0,049.$$

Acier marqué DJ.

5^o Le l'acier extra-doux de composition suivante :

$$C = 0,10 \quad Si = \text{traces} \quad S = 0,031 \quad Ph = 0,27 \quad Mn = 0,36.$$

Acier marqué DR.

Nous ne connaissons pas le degré de corroyage de ces deux derniers aciers qui nous ont été remis par les aciéries de Denain et Anzin.

6^o De l'acier extra-doux avec la composition suivante :

$$C = 0,125 \quad S = 0,033 \quad Ph = 0,020 \quad Mn = 0,260.$$

Les barres de cet acier ont été tirées de lingots de 260 mm. \times 260 mm. de côté, le laminage a été fait en deux chaudes et terminé chaud.

Cet acier a été fourni par les aciéries de la Marine (usine de Saint-Chamond).

7^o Trois aciers fabriqués au four électrique par la Société électrique métallurgique française de Froges et dont l'analyse est la suivante :

	Carbone	Silicium	Soufre	Phosphore	Manganèse
Coulée..... 329	0,31	0,140	Trace	0,003	1,00
Coulée..... 268	0,515	0,055	d°	Trace	0,425
Coulée..... 313	0,60	0,110	d°	d°	0,72

Les barres de ces aciers durs nous ont été livrées brutes de laminage.

B. — Enfin 11 qualités de fers que nous devons à l'obligeance de M. Georges Chehet, propriétaire des Forges d'Athis-Mons. Nous croyons, eu égard à l'espèce de défaveur injustifiée, dans laquelle le fer paraît être tombé depuis quelques années, devoir donner ci-dessous le mode de fabrication de ces fers, pour qu'on puisse bien juger qu'il est possible de faire encore avec eux de bons produits tout à fait comparables aux aciers doux. Nous devons les renseignements qui suivent à M. Simon, l'aimable directeur des Forges d'Athis-Mons.

Tous les fers ont été obtenus par laminage de paquets. Leur dénomination est la suivante :

N° DES FERS	MARQUES	GENRES DE FABRICATION	NOMBRE DE CHAUDES
1	Corroyé	Boîtes n° 4	2
2	Corroyé n° 4	Fagots n° 4	2
3	Corroyé n° 5	Boîtes n° 6	2
4	Corroyé n° 6	Fagots n° 6	2
5	Aciéré	Paquets lames 1/2 corroyé 4, 1/2 acier doux.	3
6	Grain fin	» 1/2 corroyé 6, 1/2 acier doux.	3
7	Acier athis	» corroyé n° 4	3
8	Acier doux	» corroyé n° 6	3
9	Fer ordinaire	» puddlé n° 2	3
10	Fer fin	» puddlé n° 5	3
11	Supérieur	» puddlé n° 7	3

Les 8 premiers fers sont des fers de ferrailles, les 3 derniers sont des fers obtenus par laminage de loupes de fer brut.

Parmi les huit premiers numéros, 1 et 3 ont été fabriqués avec des boîtes, c'est-à-dire avec des ferrailles entourées de largets, qui ont été d'abord chauffées au blanc soudant puis laminées en billettes ogivales de 60 mm. de côté; ces billettes réchauffées de nouveau au blanc soudant ont été laminées en carrés de 18 mm. \times 18 mm.; les boîtes initiales avaient 200 mm. \times 200 mm. de section.

On a procédé aux mêmes opérations pour les fers 2 et 4, mais ce qui les différencie des précédents, outre les variations des ferrailles, c'est la manière dont ces ferrailles sont maintenues. Une tôle les recouvre au lieu des largets des boîtes précédentes, et les dimensions des fagots ainsi obtenus sont de 220 mm. \times 220 mm.

Les fers 5, 6, 7 et 8 ont été fabriqués en partant de boîtes ou de fagots, mais

au lieu de laminer ces boîtes ou fagots en billettes, on les a transformés en lames ou plats de 80 mm. \times 18 mm. et 55 mm. \times 18 mm.

Ces lames ont été mises en paquets de 180 mm. \times 200 mm. de façon à croiser les joints des lames, puis les paquets ont subi une chaude suante pour leur transformation en billettes ogivales de 60 mm. \times 60 mm. qui, dans une troisième chaude ont été amenées à 18 mm. \times 18 mm.

Les fers 5 et 6 sont des mélanges de fers de ferrailles et d'acier doux Thomas. Ils correspondent à la qualité « acieré » du commerce.

Les fers 9, 10 et 11 dit « de puddlage » ont été obtenus en partant d'une loupe qui a été transformée en ébauchés de 80 \times 18 et 55 \times 18. Ces ébauchés paquetés ont fourni des billettes qui, à leur tour, ont donné lieu aux barres finales carrées de 18 mm. \times 18 mm.

Voici la composition chimique des fers :

NUMÉROS	CARBONE	SILICIUM	MANGANESE	SOUFRE	PHOSPHORE
1	0,05	0,440	0,288	Traces	Traces
2	0,10	0,440	0,432	—	—
3	0,04	0,140	0,215	—	—
4	0,04	0,111	0,144	—	—
5	0,06	0,055	0,504	0,033	—
6	0,130	0,056	0,430	Traces	0,006
7	0,100	0,435	0,215	—	0,009
8	0,120	0,035	0,145	—	0,080
9	0,100	0,040	0,425	0,035	0,166
10	0,120	0,040	0,225	Traces	0,067
11	0,200	0,0140	0,425	—	0,065

Ces analyses et celles des aciers électriques du tableau précédent ont été faites par M. Charles Griffiths, ingénieur-chimiste au Laboratoire de M. Le Verrier. Nous lui exprimons ici toute notre reconnaissance.

On nous excusera de donner tant de détails sur la fabrication de tous les métaux dont nous avons disposé. Nous croyons que c'est une nécessité de connaître leur naissance exacte. Nous n'aurons pas tout au moins la déconvenue de certains auteurs qui prennent n'importe quelles barres de métal pour entreprendre une longue série d'études et qui s'aperçoivent ultérieurement qu'ils ignorent tout du métal objet de leurs soucis.

Ce qui a rendu notre tâche extrêmement facile dans tous nos essais, c'est d'avoir pu réunir tout ce stock de métaux en barres ayant presque exactement les mêmes dimensions. En effet toutes nos barres avaient 18 mm. \times 18 mm. à quelques dixièmes de millimètres près. Nous n'avons donc pas eu à nous préoccuper du travail de rabotage, tournage de barrettes qui eût absorbé tout notre temps et nos moyens d'action.

Mais c'est un jeu de faire d'un acier un autre métal jouissant de nouvelles propriétés et favorisant de cette façon l'étude serrée des phénomènes qu'on

envisage. Nous n'avons pas manqué d'en profiter. Chacun de nos aciers a subi un traitement thermique qui le classait entre d'autres aciers et permit d'avoir à peu près tous les maillons de la chaîne de dureté de nos divers métaux.

Ainsi :

- 1^o L'acier extra-dur I a subi un recuit lent;
- 2^o L'acier dur T a subi le même traitement ;

Ce mode de recuit a été opéré comme suit :

Les barrettes de ces deux métaux, découpées dans les barres correspondantes ont été placées dans le moufle d'un four à chauffage à la houille. La température de ces barrettes a atteint le rouge cerise et a été maintenue pendant deux heures à ce degré. Puis le feu a diminué et les barrettes n'ont été défournées que quand elles étaient froides.

Nous avons eu en vue dans ce mode de traitement, d'amener la cristallisation très nette de ces aciers, de les rendre plus doux et plus fragiles.

3^o L'acier mi-dur C a subi un recuit avec chute de température. Ce recuit a consisté à réchauffer dans le même four à moufle que ci-dessus, les barrettes de cet acier jusqu'au rouge cerise clair, puis à ouvrir les deux extrémités du moufle de façon à laisser pénétrer l'air extérieur et à provoquer un abaissement assez rapide de la température. Puis lorsque les éprouvettes ont atteint le rouge sombre (au bout de 20 minutes environ) on a fermé de nouveau le moufle et on a laissé refroidir doucement les barreaux dans le four.

C'est là un procédé employé souvent dans les ateliers pour les pièces de forge de la dureté de cet acier C.

4^o Les aciers DR, DJ et A, après chauffage au rouge cerise clair ont été trempés dans un grand bac d'eau ayant une température de 18°.

On n'ignore pas que les administrations imposent aux aciers de cette nuance (acières de tôles) des pliages après trempe, c'est ce qui nous a donné l'idée d'opérer de la sorte.

5^o Les aciers électriques et les fers, en trop petite quantité, n'ont subi aucun traitement.

Machines d'essais employées

Ainsi qu'on l'a dit plus haut, nos essais ont été des essais de traction et de flexion. Partant de l'idée qu'on ne sait peut-être pas assez auquel des facteurs de ces essais il faut accorder la priorité pour qualifier les métaux d'une façon cadrant avec les résultats de la pratique, nous avons été de suite amené à nous imposer la mesure de tous les éléments prépondérants de ces essais. Ce sont :

Pour la traction : la limite apparente d'élasticité, la charge maximum, la charge réelle de rupture, l'allongement jusqu'à la charge maximum, l'allongement après la charge maximum la striction, le travail jusqu'à la charge maximum, le travail après la charge maximum.

Pour la flexion : la limite apparente d'élasticité, la charge maximum, la

charge de rupture, la flèche à la charge maximum, celle à la rupture, le travail dans tous les cas.

C'était pour nous l'obligation de tracer pour tous les barreaux les diagrammes complets de leurs essais. Nous l'avons fait et cet énorme travail a porté sur plus de 1.000 éprouvettes.

Disons de suite que tous les calculs qui ont résulté de nos mesures ont été établis à la règle à calcul, il y a sûrement de ce fait une moins grande exactitude, mais nous avons pensé que la chose était suffisante, *car nous avons eu surtout en vue l'établissement des lois reliant les divers éléments de mesure entre eux ; les mesures en valeur absolue ne pouvaient avoir pour nous de valeur préremptoire.*

Pour l'exécution de nos essais, nous nous sommes servi de deux machines. L'une plus spécialement affectée aux essais de traction est une machine verticale à vis, elle est capable de développer un effort de 25 tonnes.

Les éprouvettes ont été rompues avec des amarrages par coins striés. Nous avons eu, il faut l'avouer quelques ruptures près de ces coins dans le cas des

barreaux sans entailles, mais elles forment la très grande exception et nous avons, pour ces barreaux, recommencé les essais, jusqu'à ce qu'on ait eu des ruptures normales.

D'ailleurs dans le cas de barreaux entaillés, sauf quelques rares exceptions, la rupture a toujours eu lieu dans l'entaille. Ce serait là un avantage de ce genre de barreaux s'il devait être adopté.

L'inconvénient des coins est qu'ils conviennent mal aux aciers très durs, non pas parce qu'ils provoquent la rupture près d'eux, mais parce qu'ils créent, malgré les précautions qu'on prend, des sollicitations à la flexion qui provoquent vraisemblablement des ruptures prématuées. Comme on le verra plus loin, cet effet est surtout appréciable dans les aciers durs.

Mais l'économie de main-d'œuvre est énorme quand on se sert de barrettes sans têtes.

Pour tracer les diagrammes de traction, on a disposé sur chaque éprouvette deux

pince à ressorts ; la pince supérieure (fig. 1) portait une poulie sur laquelle passait un fil venant de la pince inférieure et qui allait entraîner un tambour enregistreur. La rotation du tambour a toujours été telle qu'on enregistrait le double de l'allongement réel de la partie du barreau entre les pinces,

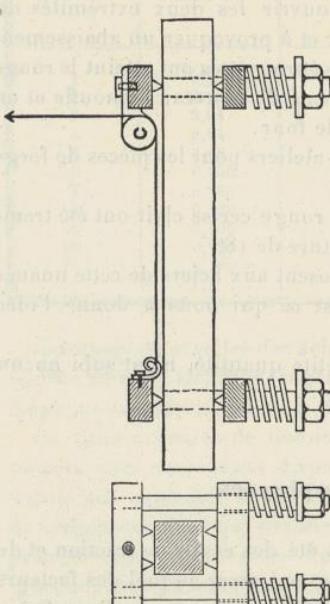


Fig. 1.

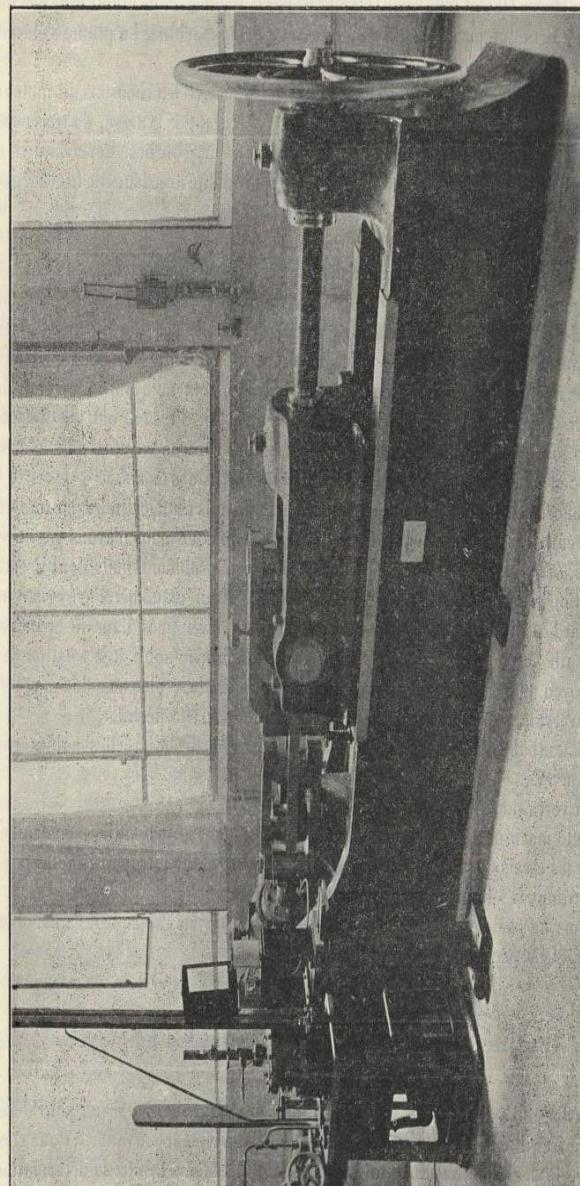


Fig. 2.

Cette partie avait 80 mm. de longueur. Cette cote a été choisie dans le but d'économiser du métal.

Les efforts étaient tracés sur le tambour par la montée d'une plume mue par un cordon actionné par la vis du poids curseur de la machine. La plume s'élevait de 10 mm. par tonne.

Comme l'opérateur avait sous sa main la balance et les rhéostats du moteur commandant la machine, il a été possible, en réglant la vitesse, de tracer les parties du diagramme, même après le maximum des courbes. Cependant il a pu y avoir là quelques anomalies à cause de la rapidité avec laquelle les charges baissent après ce maximum.

On verra les diagrammes dans les planches.

La machine qui a servi aux essais de flexion est une machine Maillard à commande hydraulique. La figure 2 la représente avec l'appareil qui a servi à la flexion. C'est un dispositif qui renverse l'effort de traction dû au cylindre de gauche et le transforme en effort de compression ; entre les deux plateaux de cet appareil qui se rapprochent on a placé un couteau ayant un arrondi de 2 mm. 5 de rayon et deux appuis qui, dans une série d'essais, ont été distants de 80 mm., dans l'autre de 100 mm. Nous avons cherché en effet qu'elle était l'influence de la distance des appuis sur les résultats des essais.

L'effort développé sur la pièce essayée est transmis à un cylindre muni d'un cuir embouti. Ce cuir a provoqué des frottements que nous n'avons pas envisagés de prime abord pour ne pas compliquer le problème, mais dont il sera question plus loin. Sur ce cylindre est branché un manomètre enregistreur Richard qui indique sur un tambour les efforts développés dans le cylindre, par suite sur la pièce essayée. D'autre part, le tambour subit une rotation par le moyen d'un fil métallique qui, attaché entre les deux plateaux de l'appareil de réversion, se raccourcit de la quantité dont la barrette fléchit.

Le tambour enregistre des flèches doubles des flèches réelles subies par l'éprouvette.

On verra nos diagrammes dans les planches.

Cette machine, qui a une puissance de 50 tonnes, a été utilisée également pour les essais de traction des barrettes d'acier extra-dur I, trop résistantes pour être rompues à la machine précédente.

Nous ne parlerons pas des mesures faites au moyen des courbes ainsi obtenues, elles s'expliquent d'elles-mêmes.

But de l'entaillage, formes d'entailles employées

Barba, qui a été l'un des promoteurs de l'entaillage des barreaux pour déceler la fragilité des métaux, s'était tenu le raisonnement suivant : « Pour connaître le degré de fragilité d'un métal, il faut forcément limiter la déformation de la partie qu'on cherche à rompre, pour pouvoir dire que l'on a bien dépensé une certaine somme de travail pour réformer une quantité de métal donnée.

Pour mieux faire, prenons une section de barreau aussi bien délimitée que possible, la meilleure manière d'opérer sera de faire une incision aiguë, aussi parfaitement aiguë que possible, pour n'avoir à dépenser comme travail que celui nécessaire à arracher les molécules métalliques les unes des autres sans les déformer ».

C'est ce qui, au premier coup d'œil, paraît simple, mais on verra plus loin qu'il n'en est rien.

Barba, dont les travaux sont remplis de bon sens et de valeur, a eu le tort, à notre avis, après être parti d'un tel raisonnement, de faire des entailles aiguës sur barreaux plats en ne les disposant que sur deux faces des barreaux ; il laissait deux petits côtés non incisés qui ne répondaient plus à sa manière de voir. De plus, il a fait des essais de flexion vive et la flexion fait autrement travailler les molécules de la partie comprimée que celles de la partie tendue. On ne voit pas bien la rupture passer entre les cristaux se pressant l'un sur l'autre, en effet.

C'est cependant de cette idée première qu'une foule d'autres expérimentateurs sont partis pour proposer des améliorations dans l'entaillage. M. Frémont proposa une entaille à la scie. C'est certainement une entaille facile à exécuter et peu coûteuse. M. Charpy, pour arriver à obtenir des entailles calibrées, les fit avec un foret de 4 mm. de diamètre. On arrive très bien à l'exactitude de cette façon, mais on s'éloigne du raisonnement de Barba.

M. Vanderheym, s'en rapprochant le plus, fit une entaille circulaire aiguë au tour, entaille très rigoureuse contre laquelle on objecta la non possibilité de son exécution dans le cas de tôles minces.

Tous ces auteurs et d'autres n'avaient exécuté leurs essais que sur des barreaux fléchis sur deux appuis ou en porte-à-faux et par choc. Martens, dans un très beau mémoire paru dans *Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure*, fit connaître les résultats des essais de traction lente de barreaux de divers métaux entaillés plus ou moins différemment, mais n'établit pas de relation nette entre les résultats des diverses entailles à la traction et à la flexion.

C'est cette liaison que notre étude résume.

Nous avons cherché en effet :

A la traction. — Quelles relations il existait entre les résultats de quatre modes d'entaillage différents.

Quelles étaient les relations à déduire de la profondeur plus ou moins grande de chacune de ces sortes d'entailles.

Comment on pouvait passer des résultats d'essais de barreaux sans entailles à ceux des résultats des mêmes barreaux entaillés diversement.

A la flexion. — Les relations entre les résultats de deux sortes d'entailles semblables à deux des sortes précédentes.

Les relations découlant des profondeurs d'entailles croissantes.

La transition entre les barreaux non entaillés et ceux entaillés.

Autant que possible, nous avons comparé les entailles françaises entre elles.

Enfin nous avons exécuté une série d'essais au choc sur barreaux non entaillés qui permettront de prouver, nous l'espérons, que ce mode d'expérimentation n'est pas aussi à dédaigner qu'on cherche à le faire croire dans quelques milieux.

Pour exécuter les entailles, nous nous sommes servi *de la scie, de la fraise, du foret et du tour.*

Entaillage à la scie — L'entaille à la scie est facile à faire et convient surtout pour les métaux un peu doux ; pour les métaux durs, en effet, les scies s'usent vite. Nous avons exécuté toutes les entailles de ce genre avec des scies à main de première qualité ayant un millimètre d'épaisseur. Ces scies n'étaient employées qu'après avoir perdu l'acuité de leurs pointes par sciage de quelques morceaux d'acier dur ; nous avons cherché de cette façon à avoir une entaille à fond un peu arrondi comme le préconise M. Frémont et comme le bon sens oblige à le faire (fig. 3).

La difficulté dans ce mode d'entaillement à la main consiste à avoir une section bien rectangulaire à fond d'entaille ; la scie tend à plonger, en effet, en avant

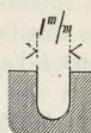


Fig. 3.

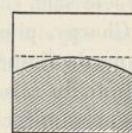


Fig. 4.

et en arrière et l'on a des sections irrégulières comme la figure 4 ci-contre l'indique.

Ce genre d'entailles a été appliqué aux barrettes de traction et à celles de flexion. Pour les premières, on a fait deux entailles opposées l'une à l'autre aussi bien qu'on l'a pu, mais il arrive parfois que ces deux entailles ne sont pas rigoureusement dans le même plan, d'où malfaçon possible. La scie a également tendance à dévier et à tracer l'entaille obliquement par rapport à l'axe du barreau. Enfin il est difficile de s'arrêter exactement à la profondeur d'entaillement qu'on vise, malgré les mesures fréquentes qu'on peut faire de l'incision.

Nous signalons le pour et le contre de ces opérations pour bien faire comprendre les difficultés de l'entaillement et mettre les expérimentateurs futurs en attention sur les erreurs résultant de ces *modus faciendi*.

Entaillage à la fraise. — L'entaillement à la fraise de toutes nos barrettes douces ou dures a été fait par une seule et même petite fraise fournie par la maison Bariquand et Marre de Paris. Cette fraise avait 56 mm. de diamètre et portait 30 dents. Elle était aiguë avec un angle de 60°. Dès le début quelques dents se sont émoussées, mais les autres ont fait un millier d'incisions sans altération, comme nous avons pu en juger par leur examen attentif. Cette fraise était montée sur une fraiseuse horizontale de notre laboratoire munie de mou-

vements de montée et descente gradués avec précision. Il a été possible de faire un ajustage à $1/10$ de millimètre près. Les passes variaient avec la dureté des aciers, on arrosait d'huile la fraise et les barrettes.

Tout s'est très bien comporté jusqu'à la fin de nos entaillages et les opérations se font très vite. Ce mode d'entaillage présente un grand avantage d'exécution sur le précédent, par sa plus grande précision. Il est vrai qu'on pourrait tout aussi bien obtenir la même précision avec une scie mue mécaniquement.

Cette entaille à la fraise a été utilisée pour les barreaux de traction et de flexion ; pour les premiers sur deux côtés opposés, pour les seconds sur un seul côté.

Entaillage au foret. — L'entaillage au foret n'a été appliqué qu'aux barrettes de traction. Pour cela on a percé à la machine à percer des trous de diamètres croissants dans l'axe des éprouvettes.

La grosse question est de placer le trou exactement dans cet axe. Avec du soin on y parvient très bien. C'est là un mode d'entaillage très rapide et très exact.

Entaillage au tour. — Enfin l'entaillage au tour avec un outil pointu avec un angle de 60° se fait d'une façon rigoureuse avec un porte-outil gradué. La seule difficulté, c'est qu'il faut dresser les bouts des barrettes chaque fois pour placer les centres, c'est une petite perte de temps ; il est vrai que le tournage se fait très rapidement.

Une petite difficulté qui se présente avec ce mode d'incision, surtout avec les aciers doux, provient du broutement qui se produit entre l'outil et les côtés de l'angle qu'on découpe, broutement qui était dû à la forme carrée des barreaux, on l'a évité en dégageant d'abord cet angle avec un outil à angle de 80° et en finissant l'entaille avec un outil ayant un angle de 60° .

On verra des traces de ce broutement sur les photographies des cassures d'acier doux.

Ce mode d'entaillage n'a été appliqué qu'à des barrettes de traction, bien qu'il puisse aisément être utilisé pour les barrettes choquées avec flexion en porte-à-faux.

Les entailles à la scie et à la fraise des barreaux de traction étaient placées face à face dans la même section autant que possible et avaient les mêmes dimensions par rapport à l'axe de l'éprouvette.

Pour les barreaux de flexion, tous essayés sur deux appuis, on n'a fait qu'une incision qui a été opposée au couteau d'attaque de la barrette.

Ce couteau avait un arrondi ayant un rayon de 2 mm. 5 ; il était long et bien guidé par rapport au barreau.

ESSAIS LENTS

Les essais de traction effectués, comme on l'a dit plus haut, sur les diverses nuances de métaux, et appliqués aux barrettes non entaillées et différemment entaillées de ces métaux, ont donné comme résultats immédiats, issus de la machine, des diagrammes que les planches 1 à 4 représentent en partie. Nous n'avons pas cru devoir, pour ne pas encombrer notre mémoire, reproduire tous les diagrammes que nous avons tracés. Les diagrammes représentés dans les planches précitées comprennent ceux :

- 1^o De l'acier extra-doux A, naturel et trempé ;
- 2^o De l'acier mi-dur C, naturel et recuit ;
- 3^o De l'acier dur I, naturel et recuit ;
- 4^o Des différents fers naturels ;

Nous n'avons fait que décalquer nos diagrammes sans les enjoliver ; près de chaque courbe obtenue nous avons indiqué la section de la barrette à fond d'entaille. *Ces sections ont été arrondies.*

Nos entailles allaient en croissant de 1 mm. d'une barrette à la suivante, c'est-à-dire :

- a) Pour les barreaux incisés à la scie les épaisseurs restantes à fond d'entailles étaient successivement :

16 mm., 14, 12, 10, 8 mm.

b) De même pour ceux incisés à la fraise aiguë.

c) Pour ceux incisés au foret, on a pris la série des trous suivants :

2 mm., 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12

de sorte que les épaisseurs restantes étaient :

16 mm., 15, 14, 13, 12, 11, 10, 9, 8, 6.

d) Pour les barreaux incisés au tour, on a pris comme diamètres à fond d'incision :

17 mm., 16, 15, 14.

Quelles que soient les courbes de barreaux entaillés qu'on considère dans toutes ces planches, on ne peut manquer immédiatement de constater qu'elles ont une similitude très grande avec la courbe des barreaux non entaillés formant la tête du groupe auquel ces courbes appartiennent, tout au moins en ce qui concerne la partie de cette courbe située en avant de la charge maximum.

Si d'autre part on examine les limites apparentes d'élasticité (streckgrenze en allemand, yield-point en anglais), on voit que, pour un même métal, toutes ces limites sont les mêmes à quelques exceptions près.

Mais c'est le moment de dire ici qu'il n'y a pas lieu de s'étonner s'il se trouve quelques anomalies dans les résultats, il eût été extraordinaire qu'il en fût

autrement avec tant d'éprouvettes, et nous n'avons rien fait pour faire disparaître ces cas particuliers.

Cette loi de la similitude des courbes et de la constance de la limite apparente d'élasticité s'est vérifiée pour tous les métaux et toutes les formes d'entailles. Nous verrons plus loin ce qu'il faut en conclure et comment on peut en déduire les causes auxquelles il faut attribuer le mode de rupture des barreaux entaillés.

Au moyen des courbes ainsi tracées il a été facile de calculer les éléments de l'essai de traction que nous nous étions imposé. On trouvera dans les tableaux ci-joints tous les calculs relatifs aux différents métaux. On nous excusera s'il s'y trouve, quelques erreurs ; nous avons donné, pour le cas d'une telle éventualité, tous les chiffres totaux que nous avons déterminés dans les essais, de façon que le lecteur puisse rétablir les chiffres exacts, à son gré.

Examen des limites apparentes d'élasticité des courbes. — On peut constater d'abord que les métaux à l'état naturel ou recuit, quels qu'ils soient, accusent cette limite apparente d'une façon marquée, par un coude brusque de la courbe, suivi d'un palier d'autant plus long que le métal est plus doux. Le contraste est frappant quand on compare les courbes de l'acier doux trempé où ce palier n'existe plus, avec celles de ce même acier naturel.

Mais ces phénomènes ont déjà été décrits ailleurs, nous n'y insisterons pas, la constitution moléculaire à grains serrés et durs de l'acier doux trempé et celle à grains lâches du même acier naturel ou recuit, nous paraissent suffisantes pour expliquer ce phénomène. On a dit que l'acier doux trempé était plus homogène que le même acier non trempé, c'est une vérité que les constatations mécaniques corroborées par l'examen micrographique (voir photogrammes n°s 1 à 6 de la planche 15) mettent bien en évidence.

De ce que la limite apparente d'élasticité pour tous les genres de barrettes, quelle que soit la profondeur de l'entaille, est la même, il résulte immédiatement :

1^o Que rapportée à l'unité de la section à fond d'entaille cette limite augmente avec la profondeur de l'entaille ; cette limite serait reliée à la section à fond d'entaille par une formule dont la courbe représentative serait une partie d'hyperbole équilatérale.

On verra qu'il en est à peu près ainsi par l'examen des courbes des limites des différents aciers (planches 17 à 20) ;

2^o Il en résulte aussi que : rapportée à l'unité de section de la partie de la barrette non entaillée, cette limite est constante ; c'est la limite de cette partie du barreau que les courbes ont enregistrée, elle est la même que celle du barreau qui n'a pas reçu d'entaille.

On peut cependant observer que les courbes s'infléchissent un peu avant d'atteindre le palier ; ce fléchissement devient de plus en plus marqué au fur et à mesure que la profondeur d'entaille augmente. Ce fait est dû à ce que la déformation a commencé dans l'entaille avant que le reste du barreau commençât à s'allonger, on verra un peu plus loin comment nous avons mis exacte-

ment en évidence ce commencement de déformation, mais cette déformation portant sur des parties très courtes est faible, elle passe inaperçue sur les diagrammes pour les faibles entaillages, elle ne devient notable que pour des sections restantes faibles.

On remarquera en outre que pour une certaine section d'entaille suffisamment petite, les courbes sont tout entières situées au-dessous de la limite apparente d'élasticité.

Nous dégagerons immédiatement de nos calculs que la section pour laquelle la chose arrive n'est pas la même pour tous les métaux, *elle varie, pour un même métal, avec la forme de l'entaille et le traitement du métal et elle varie d'un métal à l'autre. C'est là un point capital de notre étude.*

Examen des courbes entre les limites apparentes d'élasticité et les charges maxima. — Ainsi que nous l'avons dit précédemment les limites apparentes d'élasticité sont suivies d'un palier plus ou moins long dans lequel les efforts subissent des fluctuations, puis les courbes reprennent leur allure ascendante avec une inclinaison d'autant plus faible sur l'axe des allongements que la dureté des métaux est plus grande.

La forme de ces courbes nous paraît avoir un grand intérêt. La rapidité de leur élévation nous semble être l'indice d'un métal manquant de malléabilité et deux métaux de même catégorie (du fer par exemple) peuvent donner quelquefois des charges maxima semblables et cependant avoir une forme de courbe différente. Celui dont la courbe aura une montée plus rapide manquera de ductilité évidemment (voir fer n° 2 planche n° 4). Thurston donne comme formule représentative de ces courbes, la formule suivante :

$$P = A \frac{e}{l} - B \frac{e^2}{l^2}$$

P charge, $\frac{e}{l}$ rapport de l'allongement e à la longueur de mesure l , A et B , deux coefficients dépendant du métal (A est le module d'élasticité). La courbe donnée par cette équation est de forme parabolique.

Unwin donne par contre la formule suivante :

$$P_1 = P \frac{l}{l + \lambda}$$

P_1 étant la charge produisant un allongement b sur une longueur de mesure l . Les courbes résultant de cette formule seraient des hyperboles.

Quelle que soit la formule qu'on adopte, elle ne s'applique à peu près que jusqu'au maximum de la courbe et même cesse d'être vraie pour un allongement qui souvent diffère assez de l'allongement à la charge maximum et cela d'autant plus que le métal est plus doux. En outre les auteurs de ces formules ne les avaient établies que pour le cas de barreaux sans entailles.

Or, comme on l'a déjà dit, quels que soient le métal, la forme et la profondeur de l'entaille pour ce métal les portions de diagrammes entre la limite élastique et la charge maximum sont les mêmes. Si l'on prend la peine de les porter

l'une sur l'autre on constate qu'elles coïncident à peu de chose près. *On a donc affaire à une fraction de la courbe du barreau sans entaille qui est d'autant plus courte que la section à fond d'entaille est plus faible*; le moment où cette portion de courbe passe par le maximum dépend de la nature du métal pour des entailles de même genre, et pour un même métal dépend de la forme de l'entaille.

Si l'on examine maintenant le point maximum et si l'on a suivi de près l'allure des déformations du barreau portant une incision, on constate que *pour tous les barreaux de quelque métal qu'ils soient*, le maximum correspond au moment où la région entaillée commence à criquer.

Dans le cas des métaux ductiles (acier doux, fer) la première crique se déclare dans le fond de l'entaille en partant de son axe, elle n'atteint les bords qu'un peu après. Le point maximum des courbes de barreau entaillé correspond donc au moment de la rupture du métal, rupture qui se poursuit dans la région entaillée (nous ne disons pas dans le plan de l'entaille) jusqu'à ce que la séparation des deux parties de l'éprouvette se produise.

Après cette charge maximum, qui a comme équivalent la charge de rupture réelle des barreaux sans entailles, c'est à-dire qui correspond au point final des courbes de traction de ces barreaux, la courbe redescend plus ou moins et la longueur de cette partie descendante dépend du métal, de la forme et de la profondeur de l'entaille. C'est cette portion descendante de la courbe qui, à notre avis, a la plus grande importance dans ces essais, elle est due uniquement à la déformation, à la déchirure si l'on peut dire, croissante de la région entaillée et qualifierait le métal à notre point de vue.

Cette portion de courbe n'existe pas pour les aciers durs et mi-durs. Mais pour les aciers doux et la plupart des fers que nous avons essayés, elle existe, ce qui signifie que quelle que soit la profondeur de l'entaille, il est impossible de rompre ces métaux par traction sans les déformer. On voit qu'il n'est pas facile de réaliser les idées de Barba, c'est-à-dire de faire passer la rupture entre les joints des grains des métaux. Ceux-ci conservent leur individualité jusqu'au bout. Et l'on voudra bien remarquer que même lorsque les courbes sont situées en dessous de la limite apparente d'élasticité, on a des courbes à maximum dans les métaux ductiles. Il y a lieu de remarquer aussi que ces chutes de courbes se font à peu près parallèlement l'une à l'autre.

Examen des charges maxima et des strictions. — Si l'on rapporte les charges maxima à l'unité de section initiale de la partie entaillée, on constate que les nombres obtenus vont en croissant avec l'entaillement et d'autant plus que le métal est plus doux. C'est un fait déjà connu, Martens et Barba, Kirkaldy et bien d'autres auteurs l'ont mis en évidence surtout pour les métaux ductiles, mais nous n'avons pas vu que cette loi ait été établie pour des aciers extradurs.

Or, nos essais ont prouvé, comme on pourra le voir par l'examen des tableaux de chiffres et des courbes que si, pour les aciers doux et les fers l'accroissement de la charge maximum unitaire est de 30 %, parfois au-dessus, cette

charge reste *à peu près* constante pour les aciers durs pour une même forme d'entaille, mais varie d'un mode d'entaille à l'autre. Elle est même souvent plus faible pour les aciers durs que la charge maximum des barreaux non entaillés.

L'on pourra constater que les charges maxima unitaires sont reliées aux sections à fond d'entailles par des courbes représentatives qui sont des lignes droites. Ces lignes sont d'autant plus inclinées sur l'axe des sections que le métal est plus doux. On peut donc dire que les charges maxima varient à peu près d'une façon inverse aux sections à fond d'entailles.

Bien entendu les charges maxima rapportées à l'unité de section de la partie du barreau hors de l'entaille suivent une loi inverse.

Il est curieux de chercher à quel moment les courbes des charges maxima rejoignent celles des limites apparentes d'élasticité, c'est ce point de rencontre des deux courbes qui indique le moment où le barreau cesse de se déformer en dehors de la région entaillée, c'est-à-dire qu'il est important de chercher la section restante à fond d'entaille pour laquelle on est sûr que la partie lisse des barrettes n'a pas dépassé sa limite élastique alors que la rupture a lieu dans l'entaille.

Or on trouve, en faisant cet examen que cette section est :

Pour les fers, 160 mm² ;

Pour l'acier extra-doux, DR, 160 mm² environ ;

Id. A, 160 id.

Pour l'acier doux, DJ, 150 mm² ;

Pour l'acier mi-dur, C, 185 mm² ;

Pour l'acier dur, T, à peu près 185 mm² ;

Pour l'acier extra-dur, I, à peu près 200 mm².

Nous disons à peu près car ces sections varient avec l'entaille ; en outre dans les courbes de l'acier A on a enregistré les premiers points d'inflexion des diagrammes de traction comme limites d'élasticité, et non pas les points correspondant aux paliers de ces diagrammes d'où hésitation. Comme on le voit pour obtenir les mêmes résultats c'est-à-dire *ne provoquer la déformation que dans la région de l'entaille* il faudrait diminuer la profondeur de cette entaille au fur et à mesure que la dureté des métaux augmenterait ; à cette condition seulement on met les métaux divers dans les mêmes conditions d'expérimentation sinon on ne sait plus à quoi répondent les résultats de l'essai qui englobent en plus de la déformation de l'entaille celle de la partie non entaillée dans une proportion qui varie avec toutes espèces de conditions.

Déjà on peut s'apercevoir par là que l'essai de ces barrettes entaillées n'est pas un essai simple.

Si l'on considère maintenant l'influence de la forme de l'entaille, sur les résultats on remarque que :

1^o *Dans les métaux ductiles* plus l'entaille est aiguë plus la charge maximum rapportée à l'unité de la section à fond d'incision est grande, ainsi les entailles

au tour réalisent les charges les plus élevées, celles au foret au contraire donnent les plus faibles charges ;

2^o Pour ces métaux, les deux entailles à la scie et à la fraise aiguë, si peu amies (en France du moins) donnent des chiffres très rapprochés ;

3^o Il n'en est plus de même s'il s'agit d'aciérs durs, il arrive la plupart du temps que c'est l'entaille au foret qui donne les charges maxima les plus grandes. Ce fait paradoxal tient évidemment à ce que, avec cette entaille on n'a pas les effets de flexion qui amènent les ruptures prématuées comme dans les barreaux entaillés sur leurs côtés ; ainsi la barrette inférieure de la figure 17 de la planche 15 montre par le groupement compact des lignes d'Hartmann, d'un côté de l'entaille aiguë, alors qu'il en existe moins de l'autre côté, que le barreau a fléchi avant de rompre, de sorte que pour les aciers durs le mode d'entaillement à recommander serait celui du trou fait à la perceuse et placé dans l'axe du barreau de traction. Il importe de remarquer d'ailleurs dès maintenant que ce mode d'entaillement donne des charges maxima unitaires très concordantes depuis le trou de 2 mm. de diamètre, jusqu'à celui de 12 mm. et cela quelle que soit la nature du métal envisagé et cette charge maxima est très rapprochée de la charge maxima du barreau non entaillé. On peut donc dire que dans une tôle portant des trous forés de divers diamètres la résistance maximum est indépendante du diamètre du trou, en supposant que la loi ici indiquée s'applique à des trous de plus grand diamètre que ceux qui ont été employés dans nos essais.

Le calcul des strictions avec des barreaux carrés comme ceux que nous avons employés n'est pas aussi facile, ni aussi exact qu'avec des barreaux tournés, la raison en est que les côtés du carré à la cassure au lieu de rester droits s'incurvent (figure 5) et la surface à mesurer est difficile à évaluer.

La chose devient en core plus délicate quand on veut faire cette mesure non pas sur un barreau ordinaire non entaillé, mais sur un barreau qui a reçu une incision, on constate, surtout avec les métaux ductiles qu'il y a souvent impossibilité à raccorder les deux tronçons séparés, à cause des lèvres bénates qui existent, la cassure ne se produisant pas pour ces barreaux à la fois sur une très grande partie de la section comme dans les barreaux ordinaires.

Il suffit de se reporter aux figures des planches 5 à 8 où nous avons dessiné des formes de cassures de l'acier extra-doux de provenance A pour se rendre compte de l'exactitude de ce que nous venons de dire. La rupture des barrettes de cette nature commence lors du maximum de la courbe de traction et se termine par la séparation des deux tronçons en donnant naissance à des biseaux, à des arrachements et en prenant les formes et les aspects des cassures que nous décrirons plus loin, mais où se révèle l'allongement successif des parties de l'entaille. On trouve d'ailleurs la même difficulté dans la mesure des angles des barreaux fléchis. Que fallait-il mesurer pour déterminer la striction ? Était-ce la section irrégulière des aspérités finales des cassures, ou bien la section

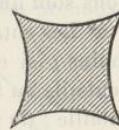


Fig. 5.

qu'avait l'entaille au moment où la première déchirure s'est produite ? C'est à cette dernière manière de voir que nous nous sommes arrêté.

A ce moment en effet la section à fond d'entaille est nette encore. C'est donc la cote A que nous avons déterminée (voir figure 6) qui, multipliée par l'épaisseur du barreau en *ab*, nous a donné la section que nous

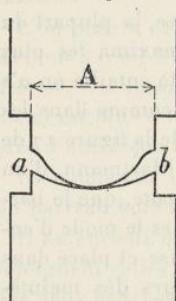


Fig. 6.

appelons de striction. Cette section correspond au moment du maximum de la courbe, il est impossible d'ailleurs d'assimiler ce maximum des courbes de barreaux entaillés avec celui du barreau non entaillé, le premier correspondant à une rupture réelle du métal n'aurait son équivalent que dans le point final des courbes des barreaux sans entailles ; en effet, pour les barreaux incisés au moment où le maximum a lieu le métal a épuisé dans certaines couches de l'incision sa faculté d'allongement alors que dans le barreau sans entailles le métal possède encore au moment du maximum une ductilité très grande puisque dans certaines parties de la striction on a pu évaluer, dans le cas des métaux doux, des allongements de 80 %.

La difficulté de la mesure est bien moins grande avec les aciers durs qui se rompent sans biseaux en général, avec des strictions faibles. Bref, en établissant ces strictions $\left(\frac{S - s}{s} \right)$ on constate que :

1^o Pour un même mode d'entailage la striction diminue à mesure que la profondeur de l'entaille augmente sauf pour l'entaille au foret où elle augmente, les chiffres de nos tableaux ne sont pas très nets à ce sujet, mais leurs oscillations sont dues, comme nous venons de le dire, à la difficulté de la mesure ;

2^o Les entailles aiguës diminuent davantage la striction que celles qui le sont moins ; ici encore c'est l'entaille au tour qui abaisse le plus la striction, et l'entaille au foret qui rapproche le plus cette striction de celle du barreau sans entaille ; de plus c'est pour ce genre d'incision que les chiffres de la striction sont le plus concordants ; l'augmentation de la striction avec cette entaille est faible et peut s'expliquer facilement, si l'on réfléchit que les variations de la section des parties métalliques situées de part et d'autre du trou deviennent de moins en moins grandes quand les trous augmentent de diamètre, par suite le métal peut de mieux en mieux s'allonger, ce qui n'est pas le cas avec les autres sortes d'incisions.

Somme toute, les strictions, pour une même entaille, ne subissent pas de variations bien grandes et il est peut-être possible d'admettre que le métal se contracte de la même quantité quelle que soit la profondeur de l'incision, pour commencer à se rompre, mais ce n'est là qu'une hypothèse qui aurait besoin d'être vérifiée avec soin.

Nous avons cherché comment variaient la charge maximum des barreaux entaillés rapportée l'unité de la section de striction établie comme il est dit ci-dessus. On peut reconnaître que cette charge maximum augmente avec la profon-

deur de l'entaille les accroissements sont d'ailleurs faibles dans la plupart des cas ; cette charge unitaire est même très près d'être constante dans le cas des fers ; les accroissements sont surtout marqués dans l'entailage au foret et en comparant ces charges avec la charge réelle de rupture par mm^2 de la section de rupture du barreau non entaillé on constate qu'elles lui sont généralement inférieures mais s'acheminent vers elle quand la section à fond d'entaille diminue de plus en plus. De sorte qu'il serait peut-être possible en ne laissant qu'un ou deux millimètres de métal à fond d'incision, d'obtenir une charge unitaire maximum égale à la charge réelle du rupture unitaire du barreau sans entaille.

De ces faits il résulte que si l'on fait abstraction des conventions qui régissent les essais de traction c'est-à-dire si l'on apprécie le métal non pas par l'obtention de la charge maximum rapportée à la *section initiale* du barreau, mais par la détermination de la charge unitaire qui a réellement fait rompre ce barreau, l'entailage **diminue** cette résistance *unitaire*. Tout ce que nous venons de dire justifie cette conclusion. Mais il y a lieu de ne pas oublier que ce serait aller trop vite que de conclure ainsi car la rupture des barreaux entaillés ne ressemble pas à celle des barreaux non entaillés, l'examen des cassures nous l'apprendra.

Examen de l'allongement avant et après le maximum des courbes. — Les courbes enregistrent, avant leur maximum, deux allongements, celui de la région incisée et celui de la partie de la barrette en dehors de cette région. Ce n'est que pour un entailage assez grand qui fait passer la courbe tout entière au-dessous de la limite apparente d'élasticité, qu'on peut avoir l'allongement de la partie entaillée seule.

Il serait facile de connaître pour une éprouvette la part qui revient à l'incision et celle qui revient à la partie non entaillée du barreau. En effet prenons (figure 7), la courbe mère du barreau sans entaille et cherchons sur cette courbe l'allongement qui correspond à la charge P_1 maximum du barreau entaillé, ce sera $OQ_2 = a$; alors que sur la courbe dérivée cet allongement est $O'Q_1 = b$; la différence $b - a$ représente la part d'allongement qui revient à l'entaille seule pour le barreau entaillé ; on peut raisonner de même pour tous les barreaux.

C'est un travail que nous n'avons pas fait car il faudrait supposer, pour pouvoir opérer ainsi, que toutes les parties lisses des barreaux auraient donné rigoureusement le même diagramme de traction ; s'il y a des écarts, ce mode de mesure en tient compte et les fait passer au compte de l'entaille, ce qui rend les résultats erronés.

En conséquence on ne peut, en toute rigueur, savoir au moyen des dia-

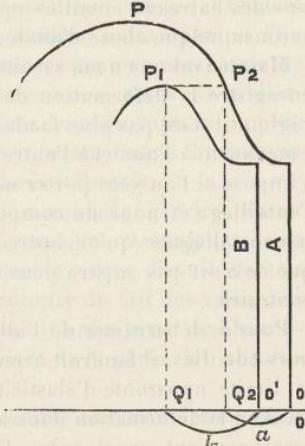


Fig. 7.

grammes, de combien la région entaillée s'est allongée avant le maximum des courbes, à moins de faire la mesure directe sur les barreaux.

L'allongement des courbes après le maximum appartient bien en entier à la région entaillée. Or on a déjà fait ressortir que ces chutes ce courbe se faisaient à peu près parallèlement, cela nous paraît signifier que dans un même métal quelle que soit la profondeur de l'entaille la rupture ou la déchirure brusque ou lente se fait d'après les mêmes processus. Là encore le métal conserve son individualité et l'altération qu'on a cherché à lui faire subir en l'incisant, ne saurait lui l'enlever. Naturellement ces allongements après le maximum décroissent assez rapidement à mesure que la section restante à fond d'entaille diminue. Il n'était pas très commode d'ailleurs de faire l'enregistrement de cette dernière partie des courbes les charges baissant très rapidement.

Pour les métaux durs cette fin de courbes n'existe pas, ces métaux se rompent dès qu'ils commencent à se fissurer dans l'entaille c'est-à-dire au maximum de la courbe, cela ne veut pas dire qu'ils ne se sont pas strictionnés un peu, mais cette striction a disparu dans l'ensemble de l'allongement inscrit dans la courbe.

Examen du travail de déformation. — Nous avons eu l'occasion de le dire, la mesure du travail a paru jusqu'à présent être le grand critérium des essais de barreaux entaillés. Or, d'après ce que nous venons de voir il n'est plus doux que cette mesure soit affectée plus que toute autre par des influences diverses. En effet le travail dépend des efforts développés et des déformations que ces efforts produisent, et nous avons vu que chacun de ces facteurs dépend de l'entaille, de sa profondeur, du métal, etc.

C'est pourquoi on a trouvé en utilisant les diverses méthodes qui s'appuyaient sur la mesure du travail, d'assez grandes différences dans les résultats pour un même métal envisagé. Nous raisonnons ainsi, bien que les méthodes d'essais des barreaux entaillés opèrent surtout par flexion, parce que nous tournerons quelque chose d'analogique pour les essais de ce genre.

Maintenant que nous savons que dans la traction d'une barrette entaillée on enregistre la déformation de la région entaillée et de la partie hors de cette région, il n'est pas plus facile que pour l'allongement de trouver ce qui revient exactement à l'une et à l'autre de ces parties ; c'est pourtant une séparation qui s'impose si l'on veut porter une appréciation précise sur les qualités du métal à l'entaillement et nous ne comprenons pas qu'on n'y ait pas songé plus tôt. On pourra alléguer qu'on opère toujours avec la même entaille, mais on a vu que ce n'est pas mettre pour cela les métaux dans les mêmes conditions, au contraire.

Pour se débarrasser de l'allongement et du travail de la partie des barrettes hors entailles, il faudrait arriver à réaliser des diagrammes situés en dessous de la limite apparente d'élasticité de la barre pleine. Alors seulement on aurait localisé la déformation dans la région voulue, alors seulement les résultats des essais seraient concluants. Et malgré cela, comme on le verra plus loin, pour les métaux doux, on n'arriverait pas à ne déformer le métal que dans le plan de l'entaille.

Nous avons réuni dans les tableaux les résultats des travaux calculés par planimétrage des diagrammes. Nous avons divisé ces travaux en deux parties :

- 1^o Travaux avant le maximum ;
- 2^o Travaux après le maximum.

Les premiers qui sont fournis surtout par la partie lisse des barrettes décroissent évidemment quand l'entaillage augmente.

Il en est de même des seconds qui sont fournis par la région entaillée, mais ce qui frappe le plus, c'est la décroissance rapide de ces deux travaux pour une variation de profondeur des entailles relativement faible ; si l'on se reporte aux mêmes travaux des barrettes sans entailles, on est surpris de l'abaissement considérable du travail de déformation que produit par exemple une entaille qui diminue la section de 10 % ; ce phénomène est d'autant plus marqué que l'acier est plus dur ; ainsi, tandis qu'une entaille à la scie de 1^{mm} de chaque côté des barreaux d'acier doux diminue le travail total de rupture de 50 % environ, il le diminue de 500 à 600 % dans l'acier dur. C'est pour nous la preuve que les métaux ne peuvent être traités avec la même rigueur d'entaillage indifféremment (voir les courbes des planches).

Prenons maintenant toute la série des métaux et examinons le travail de rupture à dépenser pour rompre des barreaux sans entailles de ces métaux, on constatera que ces travaux diffèrent très peu l'un de l'autre et varient entre 350 et 450 kilogrammètres pour les barreaux que nous avons étudiés. Il n'est pas moins intéressant de remarquer que le travail avant le maximum est à peu près le même que celui après ce maximum, il en est à peu près de même des allongements. L'entaillage apporte donc une perturbation profonde à la manière dont les choses se passent, elle fait d'un métal qui a une certaine ductilité un métal qui n'en possède plus aucune et élimine les produits durs au profit des produits plus doux. Ainsi l'acier à 55 k. du Creusot qui est un excellent acier pour essieux devrait être remplacé par un produit extra-doux, si l'on s'en tenait aux résultats des barreaux entaillés, alors que par son essai de traction ordinaire, cet acier se déclèle comme un acier ayant assez de malléabilité, en même temps que possédant une résistance vive de rupture la plus grande. C'est à des anomalies de ce genre que nous attribuons le malaise apporté aux esprits réfléchis par ces nouvelles méthodes d'essais.

Quoiqu'il en soit, faisons encore ressortir que si l'on voulait juger des métaux par ce moyen, il faudrait au moins les inciser différemment et toujours assez profondément. Si on ne le fait pas, on encourt encore le risque d'avoir de très grands écarts dans les travaux mesurés pour la rupture du fait des variations les plus faibles dans l'exécution des entailles et vouloir enfin juger de l'homogénéité des métaux par ces essais c'est se porter garant de la perfection absolue des entailles.

Toutes ces considérations mises à part, si l'on examine comment les entailles influent sur les travaux, on constate que :

en ce qui concerne le travail avant le maximum, ce sont les entailles aiguës qui en général, donnent les nombres les plus élevés, pour une même profondeur

d'entaille ; l'entaille au tour prédomine à ce point de vue. On peut aisément s'expliquer le fait par les charges maxima plus élevées que cette entaille provoque ; en ce qui concerne le travail après le maximum, il en est de même et pour les mêmes raisons. Ce travail n'existe plus pour les aciers mi-durs et durs.

Distribution des déformations dans les barrettes entaillées ou non, essayées par traction

Les diagrammes de traction nous ont permis de tirer toutes les conclusions qui précèdent, mais ils sont insuffisants par eux-mêmes pour nous renseigner sur la nature exacte des déformations des barrettes. Comment ces déformations se produisent-elles, se distribuent-elles, commencent-elles rigoureusement ? voilà ce qu'il nous a paru utile d'envisager et c'est en suivant les barrettes des yeux qu'on a pu faire les constatations suivantes.

Pour nous guider, nous n'avons eu qu'à nous conformer aux procédés employés dans un but analogue par un savant expérimentateur le colonel Hartmann, qui est bien, quoi qu'on en dise, celui qui a le mieux étudié, expliqué les phénomènes d'écoulement dans les métaux. Hartmann a prouvé que les déformations subies par les métaux laissent apparaître sur leurs surfaces visibles des figures qui sont les traces de leurs mouvements moléculaires intérieurs. C'était le cas pour nous d'appliquer cette méthode d'investigation à notre étude. Pour cela nous avons, comme l'indique Hartmann, poli les faces des barrettes à examiner sur deux côtés contigus ; notre poli n'a jamais atteint un degré bien élevé, mais a toujours été suffisant, appliqué d'ailleurs à plus de 80 éprouvettes, il nous a coûté beaucoup de travail.

Les barrettes ainsi préparées ont été tractionnées ou fléchies. Nos essais ont été exécutés surtout avec des barrettes dont la section à fond d'incision était de 220 mm^2 . Examinons ce qui se passe avec l'acier extra-dur d'Impy qui a donné lieu aux phénomènes les plus caractéristiques. Comme ces phénomènes se reproduisent en totalité ou en partie pour tous les autres métaux, ce que nous dirons pour cet acier pourra être répété pour tous les autres et également pour les fers.

Déformation des barreaux non entaillés. — Si l'on suit avec une lampe qui projette ses rayons sur les faces polies de ces barreaux, ce qui se passe sur ces faces, on constate qu'à un moment donné il se déclare brusquement une ligne transversale qui naît en général près d'un des coins d'amarrage, cette ligne est immédiatement suivie de beaucoup d'autres qui se croisent, s'enchevêtrent et ont donné lieu à cette exclamations de la part d'un de nos ouvriers « Monsieur, on dirait de la paille brisée ». Nous avons constaté que la direction de ces lignes était souvent perpendiculaire à l'axe de traction, puis tendait à s'obliquer de plus en plus sur cette direction sur cet axe. Cette première constatation est conforme à celle que M. Frémont a fait tout récemment, la deuxième corrobore les remarques du colonel Hartmann.

L'apparition soudaine puis grandissante de ces lignes coïncide exactement avec le palier des courbes de traction, c'est à la production par à coups de ces lignes qu'il faut attribuer les zig-zags de la courbe à cette limite apparente d'élasticité.

Ces à-coups sont d'autant plus brusques que le métal est plus doux parce que dans l'acier doux par exemple, les lignes ont une largeur deux à trois fois plus grande que dans l'acier extra-dur (voir figures 16 et 17 de la planche 15).

Recuits ou trempés, ces métaux n'offrent plus de lignes aussi nettes ; ainsi il nous a été difficile de les constater dans l'acier doux après trempe, c'est ce qui explique pourquoi les courbes de traction de cet acier après ce traitement n'ont plus de palier. Cependant elles existent, sont visibles mais sont plus fines et plus fugaces. Il est permis de conclure avec Hartmann que ces spectres ne sont si nettement visibles dans certains aciers que parce que la surface de ces aciers est plus écroutée que leur masse intérieure et se plisse par le fait des mouvements moléculaires intérieurs qui existent dans les aciers recuits ou trempés mais ne se déclinent plus aussi bien sur les faces extérieures des barrettes de ces aciers. Ces lignes disparaissent peu à peu à mesure que l'effort de traction augmente et il arrive un moment où les surfaces des barreaux redeviennent lisses, il en est ainsi de la rupture.

Déformation des barreaux entaillés. — Les mêmes observations effectuées sur des barreaux entaillés amènent aux constatations suivantes :

a. *Entailles à la scie et à la fraise.* — La première ligne qui se déclare apparaît toujours dans le plan même de l'entaille c'est-à-dire rejoint les deux fonds d'entaille, on a affaire à la ligne AB.

L'apparition de cette ligne AB (figure 8) est suivie d'ailleurs presque immédiatement de celle de deux ou trois autres lignes parallèles à elle et de quatre

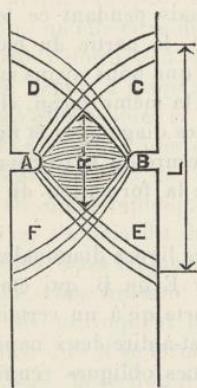


Fig. 8.

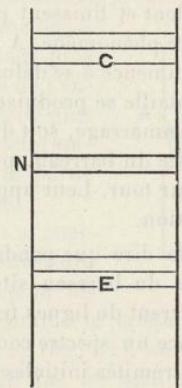


Fig. 8.

groupes de lignes inclinées sur l'axe AC, AE, BD, BF, qui partent des fonds des entailles et sillonnant la surface du barreau viennent se couper sur l'axe en formant un certain angle voisin de 90° .

Il en est ainsi pour tous les métaux expérimentés. Ces lignes obliques vont toujours par deux, trois ou quatre; elles sont plus ou moins fines, plus ou moins serrées suivant la nature du métal. Elles sont très vagues et très fugaces dans le cas des métaux recuits ou trempés et des fers.

Ces lignes viennent rejoindre la face du barreau qui leur est perpendiculaire aux points E, F, C, D et l'on constate sur cette deuxième face deux ou trois lignes parallèles entre elles correspondant aux aboutissements respectifs des trois lignes précédentes. Cela nous paraît prouver que la répartition de la déformation dans l'intérieur du barreau est la même que sur sa surface.

Les régions du barreau situées entre l'entaille NN et les lignes E restent d'abord brillantes et sans déformation. Si l'on a soin d'arrêter la traction juste au moment où ces groupes de lignes paraissent on peut faire l'importante constatation suivante :

Les distances L et R caractérisant les intersections des lignes avec le barreau ou des lignes entre elles sont à peu près constantes, quelle que soit la nature du métal, pour une même profondeur d'entaille, bien entendu. De sorte que l'allure de la déformation ne dépend pas du tout du métal mais de l'entaille. A ce point de vue l'entaille aiguë à la fraise donne les mêmes résultats que l'entaille à la scie.

Il faut remarquer d'ailleurs que l'extrémité des lignes diagonales n'atteint pas toujours la face opposée des barrettes, on pourra en juger par le barreau entaillé à la fraise de la figure 17 de la planche 15 qui s'est rompu sans que ces lignes aient touché d'un côté cette face.

Si l'on continue la traction, on remarque que les lignes parallèles à AB et la ligne AB elle-même disparaissent, puis les lignes diagonales progressent et augmentent en nombre de part et d'autre de l'entaille; sans aller très loin, elles s'arrêtent, s'étalement et finissent par disparaître, mais pendant ce temps il se produit un autre phénomène. A un moment donné, la partie du barreau loin de l'entaille commence à se déformer; les lignes que nous avons vues dans le barreau sans entaille se produisent exactement de la même façon, elles partent soit des coins d'amarrage, soit du groupe des lignes diagonales et finissent par couvrir la surface du barreau, puis au fur et à mesure de la traction elles disparaissent à leur tour. Leur apparition provoque la formation du palier des courbes de traction.

Il convient de dire que pendant le temps où les lignes diagonales augmentent, les parties du barreau situées entre NN et E ou B, qui étaient lisses d'abord, se couvrent de lignes transversales de sorte qu'à un certain moment on a sur cette face un spectre comme ci-contre, c'est-à-dire deux nappes correspondant aux extrémités initiales des grandes lignes obliques réunies par un enchevêtrement de lignes obliques ordinaires qui montrent que le métal vient de dépasser sa limite élastique dans ces régions (figure 9).

Mais le fait le plus important de ces phénomènes est le suivant: *La première ligne AB apparaît pour des charges qui, rapportées à l'unité de la section à*

fond d'entaille, sont exactement les mêmes que la limite d'élasticité des barreaux sans entailles.

Nous avons vérifié le fait pour tous nos métaux, de sorte que le métal conserve là encore sa personnalité, si l'on peut dire, et si les diagrammes de traction ne mettent pas ce fait suffisamment bien en évidence, c'est parce que on a affaire à des déformations tellement faibles qu'elles passent inaperçues au milieu des irrégularités des courbes, cependant elles deviennent assez notables pour les barreaux fortement incisés, et c'est à elles qu'il faut attribuer le fléchissement des courbes avant la limite apparente d'élasticité de la partie lisse des barrettes.

Les lignes diagonales partant des coins de l'entaille ont d'autre part la même obliquité que les lignes obliques dans la partie lisse, c'est-à-dire elles font avec l'axe du barreau un angle qui est très voisin de 45° , de sorte que ces lignes se coupent entre elles suivant un angle de 90° et isolent entre elles une portion de la barrette qui paraît subir le maximum de déformation. Il en est d'ailleurs ainsi jusqu'à la rupture, comme on pourra en juger par la région avoisinant l'entaille dans la barrette inférieure de la figure 16, planche 15.

Il faut signaler aussi que les trois ou quatre lignes qui naissent dans les angles des entailles ne partent pas uniquement de ces angles, elle sont plutôt issues de la région avoisinant la ligne du fond de l'entaille et la cause paraît tenir, à notre avis, à ce que les sections $a'b', a''b''$ voisines de la section ab (fig. 10), en différant peu, subissent leur déformation première à peu près en même temps qu'elle et se déforment de la même façon qu'elle ; cette déformation se propagera d'autant plus rapidement depuis a jusqu'à A que les pentes de l'entaille seront plus rapides et les limites d'élasticité plus élevées. On a affaire à une espèce d'onde de déformation qui jaillit du fond de l'entaille et gagne la partie lisse plus ou moins rapidement suivant le métal.

Comme on l'a déjà dit, les lignes obliques n'atteignent d'ailleurs pas toujours l'extrémité de l'ouverture de l'entaille, elles finissent souvent avant et pour les métaux doux provoquent une déformation comme le croquis ci-contre l'indique, c'est-à-dire il se forme une striction en $\alpha\beta$ (fig. 11), au-dessus de l'entaille qui laisse la section AB bien plus grande que les sections contiguës, et parce que dans cette région la déformation a été bien moindre qu'au-dessus, la matière y a donc subi une sollicitation moindre. Le phénomène est comme on le voit, des plus complexes. On retrouvera les mêmes faits à propos des essais de flexion.

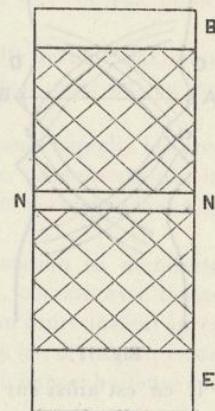


Fig. 9.

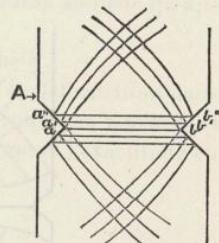


Fig. 10.

Enfin la déformation ultime du métal aboutit à la séparation de ses parties et dans ce cas on a affaire à des formes de cassures qui font l'objet du paragraphe ci-dessous.

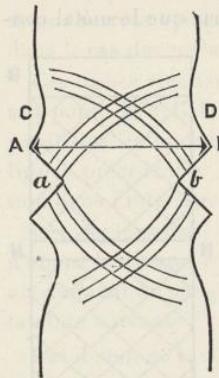


Fig. 11.

b) *Entailles au tour*. — Des phénomènes analogues aux précédents se produisent avec les barreaux entaillés au tour ; on constate que brusquement il naît quatre petites lignes se coupant en a et b , qui sont suivies peu après par d'autres lignes se coupant au-dessus d'elles en $a'b'$, $a''b''$, et enfin un peu plus tard les lignes de la partie lisse du barreau qui se raccordent aux précédentes paraissent à leur tour ; les premières petites lignes a , b , disparaissent assez tôt et il ne reste, un peu avant que les lignes de la partie lisse se produisent, que les grandes lignes se coupant en a'' , b'' qui sont en général par groupes de deux et qui paraissent aboutir aux angles AB de l'entaille.

Il en est ainsi sur les quatre faces des barrettes et c'est avec cette entaille qu'on réalise le mieux l'uniformité dans la répartition de la déformation autour de l'entaille ; la chose s'explique d'elle-même (figure 12).

La distance $a''b''$ entre les intersections des lignes des angles est la même

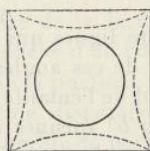


Fig. 12.

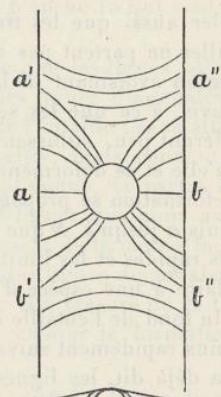


Fig. 13.

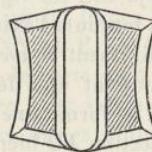


Fig. 14.

pour tous les métaux et est égale à la distance correspondante que nous avons vue dans les entailles à la scie et à la fraise. Ces lignes obliques sont les lignes

ordinaires du barreau non entaillé et si dans le mode d'entaillage au tour on n'a pu voir les lignes parallèles à l'entaille, c'est parce qu'il n'est pas facile de polir les surfaces de cette entaille, mais ces lignes n'en doivent pas moins exister.

La déformation commençant près de l'axe, c'est là qu'elle devient maximum et il arrive que les côtés rectilignes des bords de l'entaille s'incurvent en ces points comme l'indique le croquis ci dessus.

Pour cette entaille aussi, si l'on rapporte la charge pour laquelle les premières lignes apparaissent à la section à fond d'entaille, on constate que la charge unitaire obtenue est la même que la charge par mm^2 correspondant à la limite apparente d'élasticité de la partie lisse du barreau.

c) *Entailles au foret*. — Avec cette incision, la déformation se manifeste pour la première fois dans le plan de la section minimum, comme avec toutes les autres, mais elle marche ensuite très vite, de sorte qu'un court instant après on n'a plus que les lignes partant du trou et aboutissant en a'', b'', a', b' ; entre ces quatre points toute la région est déformée et forme une nappe huileuse sur le fond brillant de la barrette (figure 13).

Là encore les distances $a'b'$, $a''b''$ sont les mêmes ou à peu près pour tous les métaux et correspondent assez bien aux distances $a''b''$ des précédents entaillages. Les lignes transversales ordinaires ne paraissent qu'un peu après que les quatre grandes accolades se sont établies et fixées comme les accolades analogues des autres modes d'entaillages; elles se raccordent assez bien avec elles mais sans jamais venir atteindre le trou, on pourra en juger par l'examen de la troisième barrette de la figure 17, en partant du bas (planche 15), qui représente ce qui se passe pour tous les métaux. De sorte que, même rompue, l'éprouvette affecte la forme de la figure 14, vue par bout, et nous démontre que suivant l'axe de l'entaille et du barreau le métal a été moins sollicité qu'ailleurs.

Voir les dessins des barreaux forés d'acier doux, planche 7.

Somme toute pour réaliser une répartition uniforme de la déformation dans les essais de traction, on voit qu'il faudrait prendre des éprouvettes tournées et les inciser au tour. Ce serait d'ailleurs la simplicité même et l'exactitude en même temps.

FORMES DES CASSURES DES BARREAUX DE TRACTION INCISÉS OU NON

Ainsi que nous l'avons dit plus haut, les lignes disparaissent bien avant la rupture dans le cas des aciers doux ou mi-durs, il n'en est plus de même pour l'acier dur où la rupture se produit avec sur la surface des barrettes les spectres encore existants, surtout quand l'entaille est un peu profonde. Nous avons représenté dans les figures de la planche 9 l'aspect des lignes dans le cas de

l'acier extra-dur d'Impy naturel, qui est le plus caractéristique à ce point de vue. On a pris deux à trois sections différentes à fond d'entaille pour bien montrer comment la répartition des lignes varie quand cette section varie.

Les planches 5 à 8 représentent les formes des cassures et leurs dimensions dans le cas de l'acier extra-doux d'Assailly qui, lui, est le plus caractéristique pour montrer les déformations extrêmes subies autour des entailles ; ces deux métaux nous paraissent former les deux échelons extrêmes de l'échelle des métaux étudiés, les déformations de rupture de tous les autres se rapprochent plus ou moins de celles examinées dans leurs cas.

Cassures des barreaux non incisés

L'étude de ces cassures a déjà été faite par beaucoup d'auteurs parmi lesquels nous citerons Martens qui, dans son *Handbuch der Materialienkunde*, en donne une planche très intéressante.

Nous n'y insisterons pas trop. La cassure dans les barrettes lisses se produit après que le métal s'est contracté à son maximum en une de ses sections et d'une manière générale, pour les métaux du genre des aciers, elle se compose d'une surface plane ab et d'une surface conique $AaBb$, plus ou moins entière suivant la qualité du métal étudié (fig. 15). Que les barreaux soient ronds, méplats ou carrés, on a des cassures analogues.

Nous n'avons d'ailleurs pas trouvé autre chose avec nos barrettes sans entailles. On sait que Hartmann, Lüders et tous ceux qui se sont occupés de l'étude

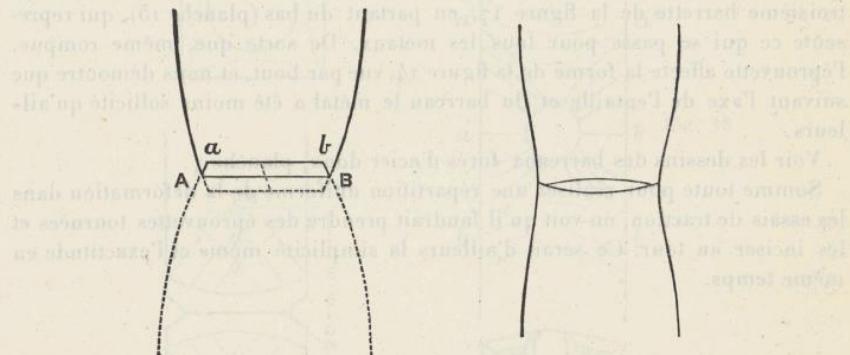


Fig. 15.

Fig. 16.

des figures d'écoulement ont montré que la pente de la surface conique sur l'axe du barreau est celle montrée par les lignes superficielles décrites ci-dessus, ce qui est une preuve que la répartition des déformations internes dans le métal est analogue à celle perçue à sa surface.

On sait également que, dans les barreaux lisses, la rupture commence vers l'axe du barreau, chose facile à constater par le baillement des barrettes plates, vers leur axe (fig. 16). C'est ce que Barba a pu expliquer d'ailleurs par l'aug-

mentation de la tension dans ces parties, augmentation provoquée par les compressions latérales provenant de la forme incurvée de la partie strictionnée, qui s'ajoutent aux tensions de traction.

On constate d'ailleurs des phénomènes absolument analogues dans le cas de la flexion.

Notons cependant que la rupture des barreaux lisses de traction paraît se faire, *en général*, presque instantanément et porter sur une grande partie de la section à la fois, c'est ce qui donnerait naissance aux fonds plats des cassures, les surfaces coniques se seraient produites un peu après les précédentes.

Cassures des barreaux incisés

a) *Incisions à la scie et à la fraise.* — En suivant attentivement la marche des déformations dans les barreaux d'acier doux, on constate que l'entaille des barreaux sciés ou fraisés s'ouvre peu à peu. A un moment donné, il se produit une légère fissure n'intéressant pas toute la longueur de l'entaille, qui est suivie d'autres petites ; ces petites fissures ne tardent pas à se rejoindre et à donner naissance à un sillon assez profond. C'est lors de l'apparition de ce sillon que la courbe de traction passe par son maximum. Bientôt après les bords de l'entaille sont atteints et se fendent. Les fentes ne sont presque jamais normales à l'axe de l'éprouvette, dans les aciers doux ou mi-durs elles sont obliques, comme les figures des planches 5 à 8 l'indiquent, et leur obliquité nous paraît être celle des grandes lignes obliques dont nous avons parlé à propos de la distribution des déformations dans la région de l'entaille. Ces lignes correspondent donc à des surfaces de faiblesse dans lesquelles la rupture s'amorce.

Signalons d'ailleurs que, comme pour les barreaux sans entailles, c'est du centre de l'entaille que partent les premières petites cripes ; on aperçoit un bâillement plus marqué en ces points, comme les croquis des figures précédentes l'indiquent.

La rupture commencée quelquefois suivant les quatre lignes diagonales issues de l'entaille (voir figures de la planche 6, pour entailles à la fraise) ne se poursuit d'ailleurs que très rarement jusqu'au point d'intersection de ces lignes ; c'est ce qui devrait rigoureusement arriver avec un métal idéalement homogène, on devrait avoir dans ce cas irréalisable, comme rupture, trois fragments de la barrette : A, B et C ; mais on ne peut s'attendre à des résultats aussi réguliers. En réalité, l'îlot B (fig. 17) reste attaché soit avec la partie A, soit avec la partie C, et d'ailleurs la fente ne suit pas seulement les lignes obliques des angles de l'entaille. Nous avons déjà fait remarquer qu'il existe aussi d'autres lignes dans le voisinage de l'entaille, ces lignes sont à peu près parallèles entre elles et sont normales à l'axe de l'éprouvette, c'est tantôt l'une, tantôt

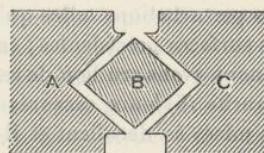


Fig. 17.

l'autre que la fente de rupture suit pour aboutir finalement à la séparation des deux parties de la barrette. C'est pourquoi on a affaire à des profils de cassure si variés dans ces barreaux incisés. La cassure tend à prendre une direction d'autant plus perpendiculaire à l'axe que la section à fond d'entaille est plus petite.

Si l'on examine les cassures en les regardant non plus de profil mais de face on est frappé tout d'abord de leur irrégularité. Mais cette irrégularité n'est qu'apparente.

D'une manière générale on peut constater immédiatement au-dessous des fonds d'incision, des parties nerveuses, quelquefois ayant l'aspect feuilletté, formant deux triangles qui sont opposés par leur pointe et tendant à venir en contact l'un avec l'autre, figure 18, près de l'axe du barreau. L'importance de ces triangles augmente quand la section à fond d'entaille décroît. Latéralement on

peut constater deux autres triangles curvilignes soit en relief soit en creux sur les premiers qui ont une surface assez plane. Les triangles C et D ont une pente sur l'axe qui est celle des grandes lignes obliques des angles d'entailles. C'est tout le long des premiers triangles A et B que se produisent les premières déchirures du métal, de sorte que la rupture progresse vers l'axe en partant des fonds d'entaille pour ainsi dire sous forme d'une onde courbe qui s'arrête plus ou moins près de l'axe suivant la profondeur de l'incision, la nature du métal, etc.

La surface E et les triangles C et D sont les parties qui se sont séparées les dernières et il arrive que les conditions sont telles quell'ensemble céde brusquement, mettant en évidence dans les parties C D ou E, une texture grenue qui ne paraît pas avoir subi toute la déformation dont elle est susceptible.

Les cassures représentées par la mauvaise photographie de la figure 8 de la planche 16 justifient ce que nous venons de dire ; il en est de même des croquis des planches 5 et 6.

Les fers n'offrent pas ces phénomènes d'une façon aussi nette, troublés qu'ils sont en eux, par le manque d'isotropie de ces métaux ; leurs lignes de mises réparties d'une façon quelconque, leur constitution interne variable apportent des perturbations telles qu'on ne peut reconnaître qu'avec certaines difficultés les surfaces précédentes ; cela ne témoigne pas d'ailleurs en défaveur de ces fers et nous avons cru bon de reproduire photographiquement (voir fig. 1, 2, 3 de la planche 16) leurs cassures très curieuses. On constatera en effet, avec elles que les mises se décollent et il est peut-être possible de supposer que chaque mise s'étant comportée comme une barrette propre s'est strictionnée pour son propre compte et s'est décollée par suite de la mise voisine.

En ce qui concerne l'acier dur on a affaire presque toujours à des cassures planes, c'est-à-dire, presque perpendiculaires à l'axe des barrettes, mais tout ce qu'on a constaté pour les métaux doux se présente ici d'une façon rudimentaire.

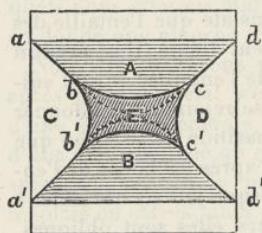


Fig. 18.

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

On a encore de petits triangles A, B, C, D (fig. 19), nerveux quand l'entaille n'est pas trop profonde encadrant une surface grenue. Vues de profil les cassures laissent voir leur tendance à s'amorcer sur les angles suivant l'oblique des lignes

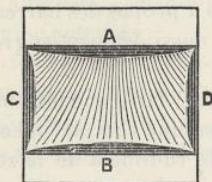


Fig. 19.

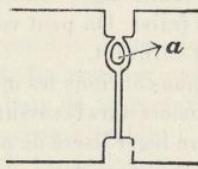


Fig. 20.

principales et donnent lieu quelquefois à la production d'un petit flot de métal compris entre 2 lignes qui n'ont pas été suivies assez loin, la rupture s'étant effectuée suivant les lignes perpendiculaires à l'axe (fig. 20).

Pour l'acier extra-dur les triangles C et D sont absents la plupart du temps et A et B sont très ténus. Mais l'on peut dire encore que la rupture a eu lieu en partant des fonds d'incisions, on voit généralement sur la surface grenue de la cassure des rayons très nets et trop souvent issus seulement d'une seule entaille, ce qui prouve, à notre avis, que la rupture s'est produite par flexion.

On remarque aussi ces rayons dans les cassures d'acier dur tractionnés sans entaille ; ces rayons partent en règle générale d'un point noirâtre situé près d'une arête qui paraît avoir été le point de départ de la rupture (fig. 21).

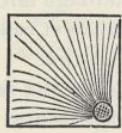


Fig. 21.

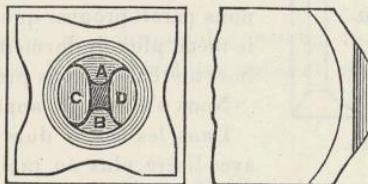


Fig. 22.

B. Incisions au tour. -- Les planches 8 et 9 représentent les formes et aspects des cassures des aciers extra-doux et extra-durs, on verra sur les photographies de la planche 16, ce qui est relatif à ces 2 métaux et à l'acier mi-dur C.

Pour l'acier extra-doux on peut remarquer que l'entaille, ronde primitivement, se déforme et devient plus ou moins carrée : la première fissure qui s'amorce se déclare généralement sur tout le pourtour de l'incision elle s'avance par cercles concentriques dans la direction de l'axe de sorte qu'on a une couronne circulaire plus ou moins large formant des gradins très fins qui ont une obliquité, comme celle des lignes obliques des barrettes incisées à la scie ou à la fraise.

La zone circulaire s'arrête et comprend intérieurement les 4 triangles A, B, C, D (fig. 22) cités plus haut, mais plus ou moins prononcés et quelquefois n'existant qu'à l'état de trace.

Suivant la régularité du métal, le centrage de l'éprouvette dans la machine, l'un ou l'autre de ces triangles l'emporte et l'on a généralement à l'intérieur du cercle délimité par la zone circulaire des lignes obliques parallèles, tout à fait similaires des feuillettages contatés dans A ou B à propos des barreaux incisés à la scie ou à la fraise. On peut voir quelquefois aussi des parties grenues quand l'entaillage est suffisant.

Pour le fer nous aurions les mêmes restrictions à faire que plus haut.

Quant aux aciers durs la cassure est grenue presque complètement avec toutefois pourtant un léger liséré de nerf qui serait le rudiment de la zone nerveuse très marquée des aciers doux.

C. Entailles au foret. — Les croquis de la planche 7 représentent ce qui se passe pour cette entaille, ainsi que les photographies de la planche 16. Ce qu'il y a de plus remarquable c'est que au point où l'éprouvette est cassée, le trou, qui s'est ovalisé, a comme largeur la dimension du diamètre initial. Le métal se déchire donc dès que le trou commence à augmenter de largeur transversalement.

La crique part du trou et va rejoindre la surface lisse du barreau en suivant, soit l'obliquité des lignes d'Hartmann, soit l'une des lignes de la section minimum de l'entaille.

Nous signalerons que parallèlement à l'entaille le barreau ne se contracte pas au droit de l'extrémité du trou c'est à-dire suivant la cote a (fig. 23). Les surfaces de cassure sont nerveuses même dans les métaux un peu durs où, pour les autres incisions elles montreraient peu ou prou de grain. Ce qui nous paraît prouver que ce mode d'entaillage fait déformer le métal plus uniformément que les autres et ce qui corroborer nos conclusions précédentes à son sujet.

Nous n'avons pas appliquée cette entaille aux fers.

Dans les aciers durs elle donne des cassures grenues, avec liséré plus ou moins prononcé de nerf cotoyant le trou et rayons grenus issus de cette légère zone nerveuse.

En résumé, on pourrait vraisemblablement en faisant des incisions assez prononcées, obtenir même avec les métaux très doux des cassures soit complètement, soit fractionnellement grenues, et la texture mixte dénote une irrégularité assez grande dans la répartition des tensions au droit de l'incision.

Quelles conclusions pratiques est-il possible de tirer de la quantité assez considérable de constatations que nous venons de faire à propos de ces essais de traction ? voilà ce qu'il importe d'établir.

Ces conclusions sont les suivantes :

1^o Pour un même genre d'entaille, si l'on entaille au hasard les barrettes de métaux divers on ne peut avoir la prétention de comparer ces métaux car pour mettre ces métaux dans des conditions uniformes il faut les inciser d'autant plus qu'ils sont plus doux. *Un essai préalable compliqué seul permet de dire quelle profondeur d'entaille il faut adopter dans chaque cas* ;

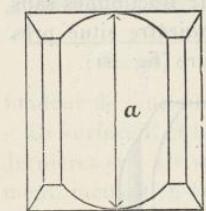


Fig. 23.

2^o Si l'on ne tient pas compte de cette restriction on tractionne un ensemble métallique constitué par deux parties, celle qui ne contient pas l'entaille et celle qui la contient. L'allongement et le travail total qu'on mesure alors comprennent la part afférente à chaque partie et l'on ne peut savoir ce qui revient au juste à la région entaillée ;

3^o Toutes les entailles donnent lieu à des courbes de traction semblables mais influent plus ou moins sur le moment où les courbes passent par leur maximum par suite apportent, dans les résultats de la mesure des travaux totaux et des allongements totaux, des variations considérables ;

4^o La plus faible variation dans l'exécution de l'entaille cause une variation énorme dans les résultats de l'essai et cela d'autant plus que le métal est plus dur. D'où désavantage pour ce mode d'expérimentation des métaux.

Dans les métaux doux la déformation amenant la rupture dans l'entaille porte sur un volume de métal beaucoup plus grand que dans les métaux durs. Ainsi, si l'on prend l'entaille à la fraise aiguë, c'est tout l'ilot ABCD qui a subi la déformation pour l'acier doux tandis que pour l'acier dur c'est simplement une petite bande métallique très mince rejoignant les 2 entailles qui subit la déformation maximum.

Il n'est pas surprenant que les travaux en kilogrammètres trouvés dans le premier cas soient beaucoup plus élevés que dans le deuxième, mais rapportés à l'unité de volume du métal intéressé dans chaque cas les choses changent et, bien que nous ne l'ayons pas vérifié, il est vraisemblable que le travail par unité de volume serait le même que celui donné par la courbe de traction du barreau non entaillé du même métal.

On peut s'expliquer par la figure 24 pourquoi les métaux durs rompent pour de faibles travaux dépensés, les déformations naissent comme on le

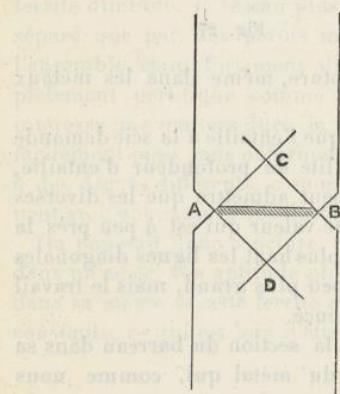


Fig. 24.

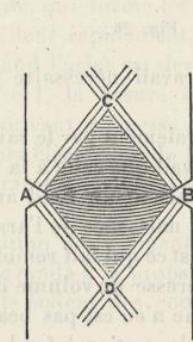


Fig. 25.

sait dans le plan de l'entaille puis se succèdent sous forme d'ondes plus ou moins parallèles et curvilignes jusqu'à la rencontre des 4 grandes lignes

diagonales. Pour les métaux durs cette déformation ne s'étend que très peu loin de la ligne génératrice AB, tandis que pour les métaux doux elle atteint rapidement les grandes lignes et les déborde même pour gagner la partie lisse du barreau et lui faire dépasser sa limite d'élasticité (fig. 25).

Ce raisonnement permet de bien se rendre compte d'ailleurs de la cause à laquelle il faut attribuer les variations très rapides du travail de rupture pour des variations de sections à fond d'entaille même faibles. Appelons en effet a la distance entre les 2 fonds d'entailles; on voit de suite, puisque les droites AC, BC; AD, BD se coupent suivant des angles droits que le volume du barreau limité par les plans AC, BC, AD, BD est (fig. 26) :

$$V = \frac{a^2}{2} b$$

b épaisseur du barreau.

Ce volume varie donc comme le carré de la distance séparant les 2 entailles. C'est ce qui explique que la plus faible variation dans l'entaille ait une si grande

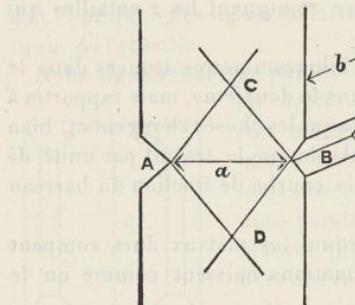


Fig. 26.

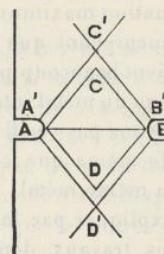


Fig. 27.

influence sur le travail nécessaire pour la rupture, même dans les métaux doux.

On s'explique également par le raisonnement que l'entaille à la scie demande un peu plus de travail que celle à la fraise, à égalité de profondeur d'entaille, parce que la scie faisant un fond arrondi, on peut admettre que les diverses sections jusqu'à la naissance de l'arrondi ont une valeur qui est à peu près la même (fig. 27), c'est ce qui fait remonter un peu plus haut les lignes diagonales A'B'C'D' et celaintérresse un volume de métal un peu plus grand, mais le travail par unité de volume n'en est pas beaucoup influencé.

Si l'on appelle s la section à fond d'entaille S la section du barreau dans sa partie lisse, E la limite apparente d'élasticité du métal qui, comme nous l'avons vu, est la même dans et hors l'entaille, R la résistance réelle de rupture par mm^2 du métal, qui ne diffère pas beaucoup dans et hors l'entaille, on peut dire que la déformation, le travail, la charge mesurés ne s'appliqueront uniquement à la région entaillée qu'autant que la limite d'élasticité ne sera

pas atteinte dans la partie lisse du barreau, même quand l'éprouvette se sera rompue dans l'entaille. Cela exige qu'on ait la relation :

$$sR \leq SE$$

ou :

$$\frac{s}{S} \leq \frac{E}{R}$$

Or, comme on pourra le voir dans nos tableaux de chiffres, pour les aciers, R varie de 100 k. à 120 k. environ, mais E varie de 25 à 50 k., il est facile de comprendre que la relation entre les sections qui dépend du rapport de E et de R peut varier de $1/4$ à $1/2$.

C'est bien un résultat conforme à ce que nous avons déjà mis en évidence par nos résultats expérimentaux et cela nous ramène à la mesure de E et de R, facteurs de l'essai ordinaire de traction, tant dénigré actuellement.

Nous arrêterons là nos constatations relatives à l'essai de traction, il nous resterait à chercher *pourquoi* les métaux se comportent comme nous l'avons décrit. C'est dans leur structure congénitale que nous en trouverions la raison. Quand on examine sur les micrographies de la planche 15, la répartition des éléments constituants on ne peut manquer de s'expliquer que les ruptures des barrettes entaillées se fassent avec des déchirures profondes dans le cas des aciers doux, elles ont en effet à s'exercer sur une masse plastique considérable constituée par la ferrite pour rejoindre les particules de perlite disséminées dans cette masse ; il est probable que la fissure de rupture passe tantôt à travers la matière des grains, tantôt suit les joints de ces grains. Nous n'avons pas eu le temps de vérifier comment les choses se passaient.

Au fur et à mesure que la teneur en carbone de l'acier augmente le réseau de ferrite diminue, le réseau plus dur de perlite qui forme les noyaux n'est plus séparé que par des parois minces qui cèdent rapidement, la malléabilité de l'ensemble étant fortement diminuée. Quand l'acier est devenu presque complètement perlitique comme les aciers T et I, la fissure initiale de rupture intéresse une matière dure (la perlite) qui suivant sa finesse cède plus ou moins facilement mais sans déformation. Les aciers électriques de Froges, perlitiques à des degrés différents, comme les photographies 7, 8, 9 l'indiquent, se rompent avec une cassure absolument plane.

On pourrait donc conclure, de la répartition des éléments ferrite et perlite dans un acier, son aptitude plus ou moins grande à la propagation des fissures dans sa masse si cette ferrite et cette perlite étaient des constituants toujours constants, ce qui est loin d'être la vérité.

ESSAIS DE FLEXION LENTE

Nous devons déclarer au début de ces essais que la machine qui nous a servi à les exécuter n'avait pas la précision de la machine qui a été employée pour les essais de traction. Comme on l'a dit quand on l'a décrite, cette machine agencée pour le tracé commode des diagrammes utilise la mesure hydraulique pour les efforts et comme ces efforts sont transmis à un piston pénétrant dans un cylindre sur lequel est branché le manomètre enregistreur, par une garniture à cuir embouti il existe de ce fait des frottements qui viennent en déduction de ces efforts de sorte que tous nos chiffres d'efforts de nos tableaux sont trop faibles, il en est de même des travaux en kilogrammètres. Malheureusement il n'a pas été possible de faire tous nos essais à la même machine, pressé que nous étions d'aboutir, les 2 machines ont fonctionné souvent ensemble, en effet.

La machine à balance est d'une précision très grande nous avons répété avec elle des essais de flexion sur quelques mêmes barreaux que ceux essayés à l'autre machine avec les mêmes appuis et le même couteau de flexion et nous avons pu reconnaître par ce tarage que la machine qui a servi à nos essais de flexion accusait des erreurs de 800 kilos dans les charges, cette erreur se maintient constante depuis les faibles charges jusqu'aux charges les plus élevées atteintes dans nos essais de flexion.

Il faut donc augmenter de 800 kilos tous nos chiffres d'efforts trouvés avec la machine erronée ; les travaux doivent également être augmentés d'une quantité facile à trouver quand on connaît les flèches, qui elles sont bien exactes.

Moyennant cette restriction nos essais sont valables d'un bout à l'autre, on verra cependant qu'il fallait s'assurer de l'exactitude des machines pour trouver la transition entre les flexions lentes et les flexions vives et nous avions déjà exécuté tous nos essais lents et nos calculs quand la vérification rigoureuse de la machine de flexion a été faite mais faute de temps nous n'avons pu retrouver nos chiffres.

Les barreaux à fléchir étaient montés dans un appareil de réversion constitué par deux étriers A et B attachés l'un à l'appareil de mesure des efforts l'autre au piston tracteur de la machine. Le couteau de flexion C bien guidé appliquait les barreaux D entaillés ou non sur une pièce d'appui E soutenue par une cale de réglage qui mettait l'axe de la pièce d'appui dans le plan du couteau. Tout ce dispositif s'est bien comporté et n'a donné lieu à aucune anomalie. On verra qu'il est capital de placer le couteau exactement dans le plan de la section entaillée. Le couteau avait 10 mm. d'épaisseur et portait à son extrémité un arrondi de 2 mm. 5 de rayon ; les bords des appuis étaient un peu ronds (fig. 28).

Nous avons fait des essais avec 2 distances d'appuis l'une de 80 mm., l'autre de 100 mm., sur les mêmes genres de barrettes.

Les seules entailles que nous avons expérimentées sont celles à la scie de 1 mm. d'épaisseur et à la fraise aiguë de 60°.

Nos essais ont été divisés comme suit :

1^o Flexion de barreaux sans incisions mais dont l'épaisseur allait en décroissant depuis 18 mm. jusqu'à 13 mm. par millimètre. C'est à-dire avec les épaisseurs de 18, 17, 16, 15, 14, et 13 mm.

Cette diminution d'épaisseur a été obtenue par le rabotage des barreaux primitifs. Il en a été ainsi pour la pupart des aciers. Nous n'avions pas assez de fers pour opérer de même, on les a rabotés seulement de 2, 4 et 8 mm.

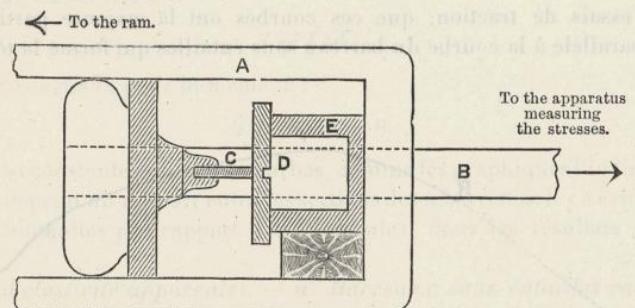


Fig. 28.

2^o Flexion de barreaux entaillés d'un seul côté, à la scie avec profondeur d'entailles croissant depuis 1 mm. jusqu'à 7 mm.

Pour les fers on a fait simplement les entailles de 2, 4 et 8 mm. de profondeur ;

3^o Flexion de barreaux incisés d'un seul côté à la fraise aiguë de 60° avec profondeur d'entailles croissant depuis 1 mm., jusqu'à 7 mm. Rien pour les fers.

Enfin les aciers ont été essayés non seulement naturels mais aussi après avoir subi les mêmes traitements thermiques que pour les essais de traction.

Examen des courbes de flexion

Forme générale des courbes. — D'une manière générale les courbes de flexion ressemblent beaucoup à celles de traction. Si l'on a affaire à des barettes sans entailles on peut y distinguer, comme dans les courbes de traction ; la limite apparente d'élasticité, la charge maximum, la charge réelle de rupture. Nous esquissons dans le croquis (fig. 29) ci-après l'allure générale de ces courbes dans le cas d'un acier ayant une certaine malléabilité, le point E correspond à la limite apparente d'élasticité, P à la charge maximum, R à la rupture réelle ; dans le cas des aciers très doux ce point R n'existe pas le métal pouvant plier à bloc, la courbe de flexion va rejoindre l'axe des abscisses avec une pente plus ou moins grande. Par contre pour les aciers durs le point R coïncide

cide plus ou moins avec le point P qui est l'analogue du point maximum des courbes de traction ; à partir de ce moment la barrette fléchie ne paraît plus se déformer qu'en un point comme c'est le cas pour le barreau de traction quand il commence à strictionner. P marquerait donc la striction du barreau de flexion.

Tous ces faits sont bien connus, les courbes des planches 10 à 14 relatives aux barreaux sans entailles, les confirment d'une manière convaincante.

Si l'on examine maintenant dans tous les tableaux de courbes de flexion l'allure générale des courbes des barrettes entaillées, on constate, comme dans les essais de traction, que ces courbes ont la majeure partie de leur étendue parallèle à la courbe du barreau sans entailles qui forme la tête de leur

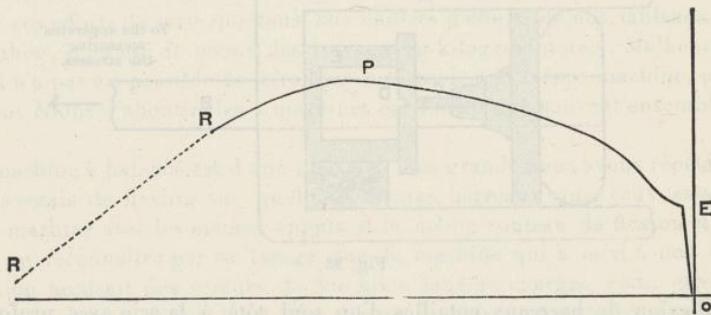


Fig. 29.

groupe. Ces courbes, elles aussi, ont un maximum qui diminue à mesure que l'entaille augmente, elles ont une limite élastique qui diminue également avec l'entaille croissant. Mais, dans les aciers doux, elles offrent de plus un point singulier que nous avons marqué R , R' , R'' sur des courbes schématiques de la

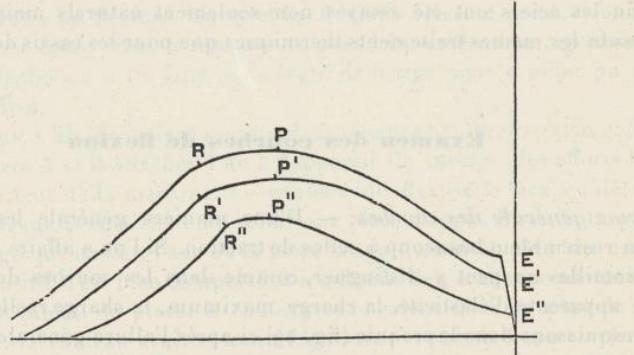


Fig. 30.

figure 30 ci-contre et qui n'existe pas sur la courbe mère des barrettes sans entailles du même métal. Nous verrons à quoi correspond ce point.

Si enfin on regarde comment se comportent les courbes des barrettes non

entailles mais rabotées et telles que leur épaisseur soit la même que l'épaisseur décroissante à fond d'entaille des barreaux incisés on remarque que les courbes des barrettes non incisées sont elles-mêmes toutes situées en dessous de la courbe mère et lui sont parallèles d'un bout à l'autre.

On pourrait donc représenter la relation qui réunit les efforts et les flèches successives par une formule identique à un facteur constant près. En effet si les efforts sont représentés par y et les flèches par x , on a pour une première courbe, pour un certain x :

$$y = f(x)$$

pour la 2^{me} courbe et pour le même x :

$$y' = f(x) - n$$

$y - y' = n$ = constante entre les 2 courbes, comme les graphiques l'indiquent; le facteur n dépend du rapport entre les sections des 2 barrettes. Il y a évidemment pas mal d'anomalies pas rapport à ces formules, dans les résultats réels des essais.

Limites d'élasticité apparentes. — *a. Barreaux sans entailles rabotés.* — Il était intéressant de voir si les limites apparentes d'élasticité de ces barrettes suivent les lois de la flexion enseignées dans la résistance des matériaux c'est-à-dire de s'assurer si les charges totales correspondant à ces limites varient comme le carré de la hauteur du barreau fléchi. En parcourant les chiffres des tableaux après rectifications on peut constater qu'il en est à peu près ainsi, il y a des anomalies fréquentes dues à une foule de causes (irrégularité dans les métaux, petites erreurs d'expérience, etc.), enfin il ne faut pas oublier que la formule de la résistance des matériaux, dont il ne faut pas mettre en doute l'exactitude, s'applique surtout jusqu'à la limite de proportionnalité des déformations et non pas jusqu'à la limite apparente d'élasticité. Or ces deux limites P et E (fig. 31) peuvent être quelquefois assez éloignées l'une de l'autre pour justifier les écarts de nos résultats.

On peut donc admettre *grossièrement* que les limites apparentes pour un même métal et une même distance d'appuis varient comme le carré des hauteurs des barrettes.

Quand la distance des appuis passe de 80 mm. à 100 mm. la limite apparente diminue à peu près proportionnellement à l'augmentation de portée, mais il n'y a pas lieu de s'étonner des énormes écarts qu'on trouve à ce point de vue, on peut commettre des erreurs assez fortes dans la mesure seule de E .

Nous signalerons que pour les fers et les aciers doux cette limite est suivie, en général, d'un palier plus ou moins prononcé et qui est analogue au palier des courbes de traction.

b. — Barreaux entaillés. — Comparées à celles des barreaux rabotés de même épaisseur, les limites des barrettes entaillées leur sont supérieures d'une

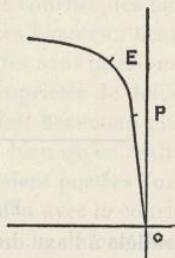


Fig. 31.

manière générale, ce qui veut dire que l'entaille retarde en apparence le moment où le métal commence à se déformer, mais en réalité il n'en est rien, les lignes d'Hartmann paraissent dans le fond de l'entaille à peu près pour des charges semblables que le barreau soit entaillé ou non, on verra comment plus loin. Mais on peut admettre doré et déjà que le métal jouit de la même limite d'élasticité à égalité d'épaisseur de barrette sous le couteau, que la barrette soit entaillée ou non. C'est une constatation analogue à celle que nous avons faite dans l'essai de traction, elle ne ressort pas très nettement des diagrammes qui ont été tracés avec une échelle des efforts malheureusement un peu petite, mais nous croyons pouvoir avancer qu'elle existe. Les chiffres de nos tableaux indiquent des limites supérieures en général, mais le mode de répartition de la déformation dans les barrettes non entaillées diffère nettement de celui des barrettes entaillées, les déformations globales enregistrées dans ce dernier cas s'accusent d'une façon plus lente que dans le premier, autour de la limite élastique, d'où erreur possible dans l'appréciation des courbures en ces points. En un mot le coude des courbes de flexion des barreaux incisés serait plus brusque que celui des barrettes sans entaille, les premières manifesteraient la limite d'élasticité apparente en E' , les secondes en E , le reste des courbes étant le même (fig. 32).

De là il résulte que, comme dans les barreaux non entaillés les limites d'élasticité des barreaux incisés suivent à peu près les lois de la résistance des matériaux.

Examen des courbes entre la limite apparente d'élasticité et le maximum. — Chaque nature de métal avec ses qualités propres donne naissance à une courbe qui peut, en quelque sorte, le dépeindre, courbe aplatie généralement, qui dans presque tous les aciers se maintient pendant plus ou moins longtemps, *presque*

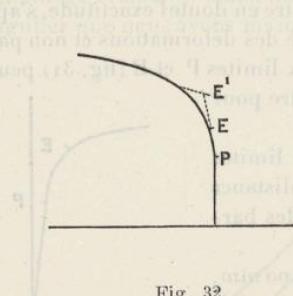


Fig. 32.

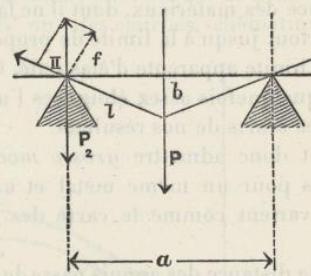


Fig. 33.

parallèle à l'axe des abscisses. Néanmoins dans toutes les courbes on peut constater un maximum, souvent difficile à placer évidemment mais qui n'en existe pas moins. On peut admettre qu'au moment où ce maximum se produit la déformation qui, jusqu'alors, avait porté sur une grande longueur de la barrette se localise dans la région la plus tendue qui se comporte exactement comme la région où la striction commence dans les barrettes tractionnées.

Ce parallélisme des courbes à l'axe des abscisses n'est pas moins curieux pour cela, il peut amener à des conclusions intéressantes : Appelons a (fig. 33), la

distance de l'axe d'un appui à l'autre, supposons le barreau sans épaisseur, appelons P l'effort qui fléchit le barreau, b la flèche prise par ce barreau à un moment donné sous l'effort P , sur chaque appui on a un effort $\frac{P}{2}$ qui peut se décomposer en un effort de glissement π et un effort fléchissant f ; il est facile de voir que :

$$f = \frac{Pa}{\sqrt{b^2 + \frac{a^2}{4}}} = \frac{Pa}{2l}$$

si l représente la longueur qu'a le barreau entre le point d'impact du couteau et l'appui de gauche ; d'où :

$$fl = \frac{Pa}{2}$$

Or, comme on l'a vu P est à peu près constant, a aussi, donc $fl = \text{constante}$. Ce qui signifie que le vrai moment fléchissant d'un barreau de flexion reste constant pendant tout le cours de la flexion.

L'étude des chiffres correspondant aux efforts maxima des barrettes entaillées nous prouve, malgré des anomalies fréquentes, que les efforts maxima sont presque toujours plus faibles dans les barreaux entaillés que dans les barrettes sans entailles ayant une épaisseur égale à l'épaisseur à fond d'incision. Bien entendu, eu égard à la difficulté de placer ces maxima aisément dans ces derniers barreaux à cause de la forme aplatie des courbes, il peut y avoir des exceptions fréquentes à la règle que nous venons de poser, nous croyons cependant qu'elle existe.

On aurait dans ce fait une analogie assez grande avec les constatations faites à propos des maxima des courbes de traction.

Mais surtout ce qui frappe le plus c'est que les maxima des courbes des barreaux entaillés se produisent *toujours* pour des flexions de ces barreaux beaucoup plus faibles que les flexions correspondantes des barrettes sans incisions ; l'entaille ne permet donc pas au métal de développer ses propriétés de déformation d'une façon suffisante ; et la diminution de flexion se fait beaucoup plus sentir avec une entaille aiguë qu'avec une entaille à la scie, bien qu'en réalité les portions de courbes afférentes à chaque entaille si elles étaient portées l'une sur l'autre coïncideraient bien et coïncideraient également bien avec la courbe mère du barreau sans incision correspondant. De sorte que la déformation qu'on mesure n'est pas, là non plus, attribuable à la déformation au droit de l'entaille, on peut conclure que la région du barreau hors l'entaille y participe pour la majeure partie. Qu'est-ce qui revient à chacune de ces parties ? il est difficile de le dire.

Le maximum des courbes de barreaux entaillés n'a pas du tout la même signification que celui des barreaux lisses. Pour ces derniers, ce maximum, comme on l'a déjà dit, correspond au commencement de la striction, qui, dans

les aciers doux et dans les aciers durs est suivi d'une chute assez lente de la courbe ; on ne constate rien d'autre sur le barreau qu'une augmentation continue de la contraction au droit du point d'impôt du couteau. Au contraire, dans le cas des barreaux entaillés, on peut constater, comme cela a été fait avant nous par M. de Fréminville que lors de la production du maximum, il

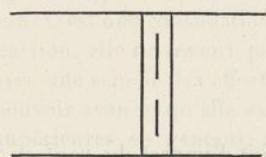


Fig. 34.

se déclare dans le fond des entailles la première fente ou crique du métal (fig. 34). Cette fente n'est pas continue tout le long de l'entaille, elle règne surtout vers le milieu et rejoint un peu après d'autres petites criques qui ne sont pas toujours dans le même plan qu'elle-même. Ce phénomène est surtout marqué dans l'acier doux et dans les fers avec entailles

à la scie. On distingue nettement que le fond de l'entaille s'est allongé et s'est fissuré après avoir épousé vraisemblablement sa faculté d'allongement.

D'une manière générale pour les aciers durs, aussitôt cette première fente déclarée, la rupture suit immédiatement.

Examen des courbes après leur maximum

Les barrettes *sans entailles* ont après leur maximum une courbe à courbure sans anomalie qui se termine soit par la rencontre avec l'axe des flèches pour l'acier doux, soit par la rupture brusque pour l'acier mi-dur et dur. Nous n'avons pas pu réussir pour tous les aciers durs à faire l'enregistrement de la déformation lors de la rupture la plume de l'enregistreur était trop fréquemment rejetée en arrière par la percussion, cependant il a été possible, par hasard, d'avoir ces fins de courbes pour quelques barreaux, on les verra dans

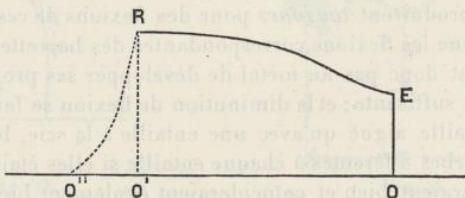


Fig. 35.

les planches 13 et 14 pour les aciers durs de Tamaris et d'Imphy. On remarquera que ces chutes de courbe ne se font pas, comme on pourrait le supposer, suivant une ligne droite parallèle à la droite de la période d'élasticité, c'est-à-dire suivant la ligne Ro' , mais suivant la ligne Ro'' ; il semblerait par suite que pour amener le métal à se rompre depuis le commencement de la rupture jusqu'à la fin, il faut dépenser du travail, travail qui est donné par la surface $Ro''o'$; c'est en effet une conclusion assez logique (fig. 35).

On retrouve d'ailleurs ce fait pour les barreaux *avec entailles* mais il se passe autre chose surtout pour les aciers doux.

Nous avons vu plus haut que le point maximum P des courbes de barreaux entaillés correspond au moment où la première petite fissure paraît dans le fond de l'entaille. Suivant la douceur du métal et la profondeur de l'entaille, on peut constater que cette fissure commençant vers l'axe met un certain temps à atteindre les extrémités A et B de l'incision (figure 36), pendant ce temps, la fente se poursuit en intéressant des bandes métalliques de moins en moins longues transversalement et la partie déchirée du métal a la forme représentée par le cro-

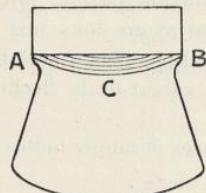


Fig. 36.

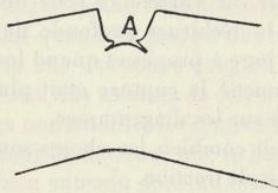


Fig. 37.

quis ci-contre lorsque la fonte atteint les extrémités A et B de l'incision. A ce moment, on voit surgir une ou deux fissures latérales assez brusques dans les arêtes A et B (fig. 37) et c'est ce moment de la déformation qui est représenté par le point R, R', R'', des courbes de la figure 30.

La distance qui sépare les points P et R est d'autant plus grande que le métal est plus doux et l'entaille moins profonde.

Après ce point R, et suivant la nature du métal et l'entaille on a affaire à une portion de courbe surbaissée qui descend constamment en même temps que le métal se déchire sur toute la section du barreau et suivant des directions et des formes que nous verrons ci-après. Finalement les deux tronçons de l'éprouvette se séparent si le métal est assez dur ou restent attachés par une bande s'il est très doux.

Répétons de nouveau que pour un métal dur entaillé, en général, les points P, et R coïncident et que pour un métal doux, P et R sont d'autant plus rapprochés que l'entaille est plus profonde, l'incision plus aiguë et la distance des appuis plus petite.

Examen des flèches

Nous avons appelé flèche à la charge maximum celle qui correspond au point P des courbes ; cette flèche au sujet de laquelle on peut commettre d'assez grandes erreurs, surtout dans le cas des aciers déformables, diminue quand l'épaisseur des barreaux diminue (cas des barreaux lisses) est plus faible dans les barreaux entaillés que dans les barreaux lisses de même épaisseur, augmente

quand la distance des appuis augmente ; enfin pour un même métal, une même distance d'appuis, et à profondeur d'entailles égales, est d'autant plus petite que l'entaille est plus aiguë. Il y a évidemment des anomalies dans nos tableaux, mais le nombre d'éprouvettes essayé à dessein dans chaque cas est assez grand pour qu'on puisse voir la loi suivant laquelle les flèches varient avec les divers facteurs du problème.

Nous avons appelé « flèche de rupture » celle qui correspond à la rupture réelle dans le cas des aciers durs ou mi-durs, et celle qui correspond au point R des barreaux d'acier doux ; après cette flèche il est certain que le barreau a pu encore se déformer et donner lieu à une flèche ultime mais il nous était difficile de savoir où s'arrêterait cette flèche, ces aciers pouvant parfois plier à bloc malgré la déchirure profonde dans l'entaille, aussi avons-nous mis où nous l'avons jugé à propos et quand les points R n'étaient pas nets que la flèche qui aurait amené la rupture était plus grande que la valeur de la flèche extrême mesurée sur les diagrammes.

On voit combien les choses sont plus compliquées et moins nettes que dans les essais de traction.

D'ailleurs ce genre d'essais offre le flanc à maintes critiques, dont les suivantes nous semblent préremptoires :

1^o Le plus faible déplacement du couteau hors du plan de la section d'entaille apporte une perturbation profonde à la production du maximum et à la forme de la chute de la courbe après ce maximum, nous avons pu en juger à deux ou trois reprises en plaçant par inadvertance le couteau un peu hors de l'entaille.

2^o La forme des courbes, la hauteur du maximum sont influencées par le frottement considérable des barreaux sur leurs appuis. Ce frottement qui varie avec la dureté du métal, est tel dans les aciers doux que le métal est arraché et forme des échelons (fig. 38). Ces échelons empêchent la flexion de se produire normalement et provoquent une surélévation des courbes qui sont plus ou

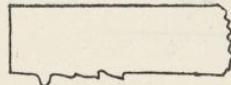


Fig. 38.

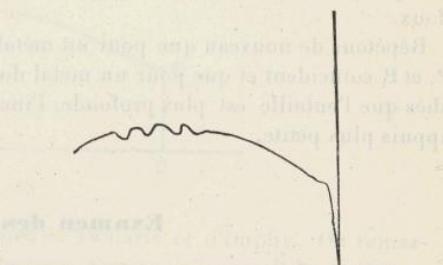


Fig. 39.

moins remplies de zigzags. Chaque zigzag correspond à la production, puis au glissement en arrière d'un échelon arraché (fig. 39). Ces phénomènes sont

moins marqués dans les aciers durs, mais ils se produisent indifféremment sur les barrettes entaillées et les barrettes lisses.

On peut juger par ces effets de la confiance qu'il faut accorder à un tel mode opératoire pour apprécier nettement un métal.

Contractions des barrettes. — Nous avons cherché quelle était la largeur des barrettes rompues ou non dans leur partie la plus contractée, les résultats obtenus font l'objet d'une colonne de nos tableaux ; ils montrent que la contraction, pour les barreaux lisses et pour un angle de pliage à peu près le même est d'autant plus faible que le barreau a moins d'épaisseur. Pour les barrettes entaillées il en est de même, c'est-à-dire qu'il faut moins de contraction transversale à fond d'entaille, pour amener la première fissure latérale, quand l'entaille est profonde que si elle l'est peu, mais les écarts sont faibles quand on passe d'une entaille à la fraise à une entaille à la scie surtout dans le cas des aciers doux où les contractions de rupture des barrettes entaillées sont très voisines de celles des barrettes non entaillées. Enfin pour les barreaux non entaillés les contractions sont à peu près les mêmes, pour une même épaisseur de barreau, que le barreau ait été fléchi sur une portée de 80 ou 100 mm., bien entendu pour un même métal. Il semble que pour ces métaux il faille un quantité de déformation donnée pour provoquer la rupture.

Examen des travaux de déformation

Affectés qu'ils sont par les variations de tous genres qui s'appliquent aux efforts et aux flèches, dans les divers métaux et les différents genres d'entaillement, les travaux dépensés, grand critérium des promoteurs de ces essais de flexion, ne peuvent avoir par eux-mêmes qu'une valeur assez vague de renseignement. Il est vrai que les nouvelles méthodes ne déterminent ces travaux que dans le cas des flexions par choc, mais nous verrons ce qui peut être conclu à ce sujet.

Travail jusqu'au maximum des courbes des barrettes incisées. — On peut admettre, après ce que nous avons vu que ce travail comprend le travail de déformation de la région entaillée et d'une portion de barrette lisse qui s'arrête plus ou moins loin de l'entaille. On ne peut guère admettre que cette deuxième région n'existe pas que si les sections à fond d'entaille sont telles que la charge maximum de la courbe soit inférieure à la limite élastique de la courbe du barreau lisse ayant 330 mm² de section ; alors seulement on pourra dire que le travail dépensé l'a été uniquement pour déformer et rompre le métal au droit de l'entaille ; en d'autres termes il faut entailler suffisamment les barrettes pour que la déformation n'atteigne pas la partie lisse du barreau. On a vu qu'il en était de même dans le cas des aciers essayés à la traction, on pourrait poser, si R représente la charge maximum totale que peut supporter le métal dans l'entaille, E la limite totale de la partie lisse que dans ce cas R doit être $\leq E$. Cette relation peut n'être pas remplie pour des rapports de section qui restent les mêmes

quels que soient les métaux. Si les formules de la résistance des matériaux s'appliquaient à la flexion poussée jusqu'à la rupture, on pourrait, comme on l'a fait, pour la traction estimer approximativement pour quelle section d'entaille avec un certain métal on a la certitude de ne pas déformer la partie lisse du barreau ; nous ne nous sommes pas attardé à l'étude de cette question, ce genre d'essais de flexion n'ayant pas, pour les causes déjà citées, l'exactitude qui convient à une mesure de quelque valeur.

Travail après le maximum. — Ce travail est très faible dans le cas des aciers durs, puisque le maximum coïncide avec la charge de rupture la plupart du temps, mais il n'est pas nul, il suffit de se reporter à ce que nous avons dit page 48 au sujet du travail dépensé pendant la rupture. Toutefois faisons une restriction, ne faut-il pas admettre qu'en réalité ce travail n'existe pas ? Nous n'avons pas en effet la certitude absolue que l'aiguille du manomètre enregistreur n'ait pas eu une inertie qui l'ait empêchée de suivre les variations de tension réelles supportées par le barreau en cours de rupture, on verra, à propos des essais au choc, ce qu'il faut conclure à ce sujet.

Quoi qu'il en soit ce travail, faible dans les aciers durs, existe bien nettement dans les aciers mi-durs et doux et appartient bien nettement à l'entaille. Là encore, comme dans la traction, les chutes des courbes et les travaux relatifs sont les éléments les plus importants, à considérer si l'on veut savoir comment se comporte le métal dans l'entaille. Or, comme on l'a dit, on ne peut pour les aciers doux arriver à la rupture complète, comment alors définir exactement ce qu'il importe seul de connaître ?

Distribution des déformations dans les barreaux de flexion entaillés ou non entaillés

Si l'on se sert de barreaux polis sur deux faces contiguës et qu'on suive l'apparition, puis le déplacement des lignes d'Hartmann, on peut faire les constatations suivantes :

Cas des barreaux non entaillés. — Prenons encore l'acier extra-dur d'Imphy, le plus caractéristique de tous nos métaux ; ce que nous dirons pour lui s'applique d'ailleurs aux autres. Au moment où la courbe de flexion (figure 40) passe par sa limite d'élasticité, on voit naître sous le couteau de flexion et sur la face opposée deux systèmes de lignes qu'Hartmann a parfaitement et complètement décrites et qui se coupent en faisant partout un angle constant (voir la troisième éprouvette, en partant du haut, de la figure 17, planche 15, pour l'acier dur et de la figure 16, planche 15, pour l'acier doux).

Ces deux groupes de lignes parfaitement symétriques ne se rejoignent pas tout d'abord, ils gagnent rapidement de part et d'autre du plan de flexion, laissant une région médiane dans le plan médian du barreau sans lignes, qui pourrait être appelée la couche neutre. Puis les lignes s'effacent, la couche

neutre se déforme à son tour et si l'on poursuit la flexion avec l'acier dur d'Imphy jusqu'à rupture, on constate que de part et d'autre de cette cassure on

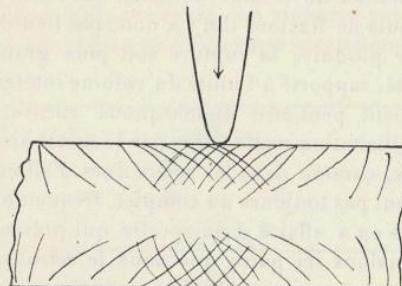


Fig. 40.

a deux régions déformées comme les figures des barreaux sans entailles de la planche 15 le représentent, c'est-à-dire on a deux accolades ABC et A'B'C' telles que d'une manière générale les distances Ao, A'o', CP, C'P' sont à peu près égales. Mais généralement Ao est plus grand que CP, il reste dans les angles de ces accolades un « bouquet » de lignes plus ou moins serrées (figure 41).

Au fur et à mesure que l'acier diminue de dureté les régions déformées pour produire la rupture augmentent d'importance, mais ce qui est remarquable c'est de constater que pour une même nature de métal, *quelle que soit l'épais-*

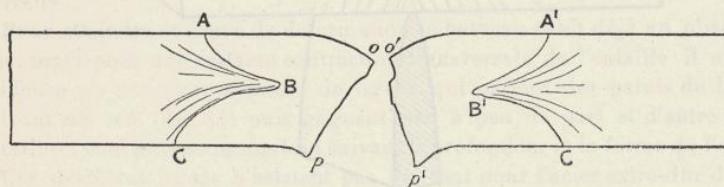


Fig. 41.

seur du barreau, on ait une déformation qui s'étende sur une même longueur, en d'autres termes la déformation de rupture (ou dans le cas d'un métal qui ne rompt pas la déformation pour une même flèche) intéresse un volume de métal qui est proportionnel à l'épaisseur du barreau, cela ne signifie pas, bien entendu, que les sollicitations moléculaires soient rigoureusement les mêmes dans ces régions déformées ; en effet, on peut remarquer que plus la barrette est épaisse plus les déformations sont accentuées dans ces régions qui ont cependant des limites situées à peu près aux mêmes distances du plan de flexion.

Quand la distance des appuis passe de 80 à 100 mm., la longueur des accolades de déformation augmente rapidement. Ainsi, prenons le cas de l'acier d'Imphy ; pour la distance de 80 mm. entre appuis, les accolades finissaient à

20 mm. environ du plan du couteau : pour la distance de 100 mm., elles se terminent à 34 mm. On trouve pour l'acier de Tamaris 28 mm. et 35 mm. De sorte que la déformation intéresse un volume de métal qui varie avec le métal même et la distance des appuis de flexion, il n'y a donc pas lieu d'être surpris que le travail nécessaire pour produire la rupture soit plus grand, avec une portée plus grande ; en réalité, rapporté à l'unité du volume intéressé par la déformation, il serait plus petit peut-être. Remarquons encore que cela ne nous apprend rien sur la sollicitation réelle subie par le métal au droit de sa cassure.

Dans les aciers doux, comme dans les aciers durs d'ailleurs, les deux systèmes de lignes n'existent pas toujours au complet, fréquemment c'est l'un d'eux qui prédomine et alors on a affaire à un spectre qui présente l'aspect ci-contre (fig. 42) que nous signalons ici parce que nous le retrouverons dans les barrettes entaillées ; il faut noter que sur la face opposée au couteau apparaissent des lignes parallèles qui correspondent assez bien à l'extrémité des lignes obli-

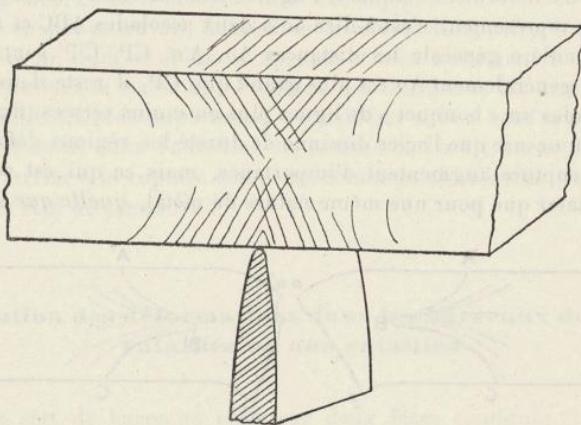


Fig. 42.

ques de la face contiguë que nous venons de décrire, ce qui laisse supposer qu'ici aussi la distribution des déformations à l'intérieur du métal est semblable à celle constatée sur sa surface.

Les métaux recuits et trempés donnent naissance à des spectres analogues, mais moins marqués et plus fugaces ; il en est de même pour les fers.

Cas des barreaux entaillés. — Si l'on regarde ce qui se passe pour les barreaux entaillés, on peut constater les faits suivants :

La première apparition des lignes se fait immédiatement sous le couteau et ces lignes ont absolument l'apparence des lignes conjuguées des barreaux non entaillés ; on les verra dans les barrettes supérieures de la photographie 17, planche 15, elles ont persisté car la rupture de ces barreaux d'acier extra-dur a été très brusque.

Un court instant après l'apparition de ce groupe et plus ou moins vite suivant

le degré d'entaillage du barreau, on voit naître dans le fond de l'entaille deux systèmes de lignes symétriques par rapport au plan de flexion qui font avec ce plan un angle égal. Ces deux groupes B et C (fig. 43) se composent en général de deux à quatre lignes qui, au début, ne viennent pas rejoindre le groupe A inférieur et laissent une région non déformée correspondant à la même région

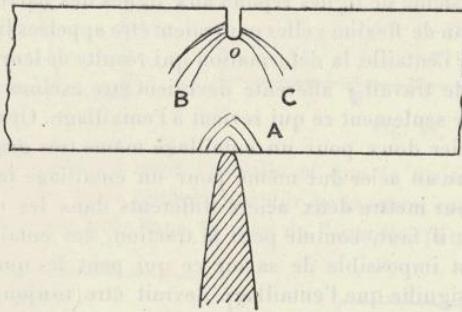


Fig. 43.

des barreaux lisses, mais qui peu à peu grandissent, remontent les pentes de l'entaille, viennent rencontrer le groupe A qui lui-même s'est étendu, puis disparaissent en délimitant une région BoC (fig. 44) triangulaire où il n'y a plus de lignes et dont l'aspect est celui d'une tache d'huile sur le fond brillant de la barrette.

Pour atteindre ce degré de déformation le barreau subit déjà un pliage marqué, mais pour une certaine contraction transversale de l'entaille il arrive en évidence un troisième système de lignes qui partent des parois de l'entaille suivant ab , $a'b'$ (fig. 44) puis gagnent peu à peu de part et d'autre de cette entaille et vont plus ou moins loin suivant la profondeur et la forme de l'entaille.

Ces dernières lignes n'existent pas du tout pour l'acier extra-dur d'Imphy, par exemple, elles sont légèrement apparues pour les aciers mi-durs de Tamaris et du Creusot, enfin sont très nettes dans les métaux doux. Dans ces derniers, d'ailleurs, elles disparaissent à leur tour et il ne reste plus sur la surface d'un barreau de ces aciers, après déchirure de l'entaille, que deux accolades dépolies comme le croquis ci-contre l'indique. Nous retombons pour ces métaux dans le cas des barreaux sans entailles.

Les secondes comme les troisièmes lignes ne sont, à notre avis, pas autre chose que les lignes d'Hartmann des barreaux lisses ; nous avons vu leurs congénères dans les essais de traction, ainsi les lignes oB , oC correspondent aux lignes obliques des angles d'entailles des barreaux tractionnés, il ne peut y avoir sujet d'étonnement à ce point de vue et si ces lignes s'arrêtent au début en plein cœur du métal c'est que la zone tendue est contiguë à une zone comprimée issue de l'action du couteau. Le point d'aboutissement de ces lignes est donc par lui-même très caractéristique. Si maintenant ces lignes se prolongent



ultérieurement jusqu'à la rencontre de la face opposée du barreau, c'est que l'entaille, en s'ouvrant, découvre un métal nouveau qui, à son tour, se tend et permet aux lignes de se prolonger plus loin.

C'est d'ailleurs un phénomène que M. Mesnager a bien mis en évidence à propos de barreaux de verre entaillés et qu'il a qualifié en disant que l'entaille des barreaux de flexion faisait rompre le métal par traction.

Le troisième système de lignes répond aux lignes des barreaux non entaillés situées hors du plan de flexion ; elles pourraient être appelées lignes de la région non influencée par l'entaille, la déformation qui résulte de leur production, ainsi que la fraction de travail y afférente devraient être exclues des évaluations si l'on voulait établir seulement ce qui revient à l'entailage. Or ces lignes se produisent pour l'acier doux pour un entaillage même très grand, alors qu'elles n'existent pas pour un acier dur même pour un entaillage faible, cela signifie d'une part que pour mettre deux aciers différents dans les mêmes conditions d'expérimentation il faut, comme pour la traction, les entailler très différemment, sinon il est impossible de savoir ce qui peut les qualifier nettement ; d'autre part cela signifie que l'entailage devrait être toujours assez prononcé pour que la déformation n'atteignît pas les sections hors du triangle BoC de la figure 46.

Supposons qu'il en soit ainsi, comme les côtés de ce triangle font avec l'axe un angle de 45° environ vers l'entaille, on voit que si a est la hauteur restante du barreau à fond d'entaille, le volume de métal intéressé est proportionnel à a^2 . On s'explique que le travail décroisse rapidement pour de faibles variations dans l'entailage.

Mais le raisonnement ne s'applique qu'à une entaille aiguë, si l'entaille est ronde la ligne de démarcation de la déformation remonte de o en o'' (fig. 44),

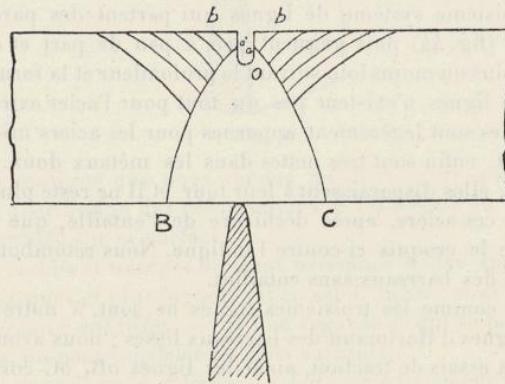


Fig. 44.

pour la même valeur de a , et le volume intéressé du métal augmente ; il ne peut donc pas être surprenant de trouver un travail de rupture plus grand dans

ce cas, quoique en réalité rapporté à l'unité du volume déformé ce travail puisse être le même que dans le cas de l'entaille aiguë.

Signalons enfin que les lignes $o'B'$, $o''C'$ s'arrêtent dans leur progression

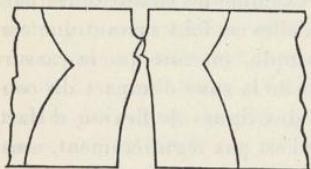


Fig. 45.

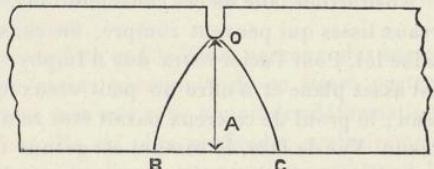


Fig. 46.

dès que la rupture commence dans l'entaille et que le troisième système de lignes en fait de même, mais pour l'acier dur la cassure, comme on le verra plus bas, se faisant à peu près dans le plan de l'entaille, paraît mettre en évi-

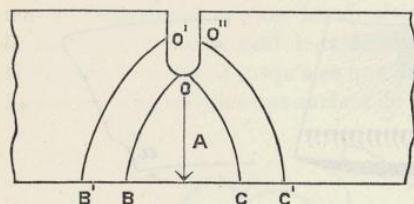


Fig. 47.

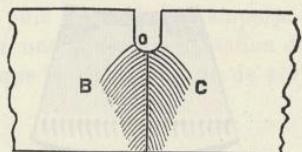


Fig. 48.

dence toute une série de petites lignes fines parallèles aux lignes BoC et qui ne naîtront que pendant la rupture (fig. 48).

Cassures des barreaux fléchis entaillés ou non

De même que dans les essais de traction, la forme et la genèse des cassures ne sont pas quelconques.

Cas des barreaux non entaillés. — Tout le monde connaît comment rompent les barreaux fléchis lisses quand on a affaire à des métaux qui peuvent rompre. Quant aux autres on ne peut pousser leur pliage assez loin, même en l'amenant à bloc pour rompre le métal en un point ; il n'est pas indifférent de faire remarquer, ce qu'on sait déjà, que plus le barreau est épais plus le métal est sollicité dans le pliage, pour un même angle des barrettes ; il est donc possible d'imaginer un barreau assez épais par rapport à sa largeur pour qu'on arrive à le faire rompre. C'est un essai que nous n'avons pas tenté, il est vrai, mais qui paraît logique. Ainsi, au lieu de découper des barreaux à section carrée, il suffirait peut-être de les découper méplats et de les plier sur le petit côté pour obtenir une rupture ; tout est une question de dimensions, comme pour

les barreaux entaillés d'ailleurs, et les conclusions peuvent varier considérablement suivant le *modus faciendi* sans que les qualités du métal y soient pour rien.

Abstraction faite de ces considérations, si l'on examine les cassures des barreaux lisses qui peuvent rompre, on constate qu'elles se font suivant une certaine loi. Pour l'acier extra-dur d'Impy, par exemple, on voit que la cassure est assez plane et n'offre un petit creux que près de la zone d'impact du couteau ; le profil de ce creux paraît être celui d'une des lignes de flexion d'Hartmann. Vue de face, la cassure est grenue mais ne l'est pas régulièrement, ainsi près de la partie la plus contractée le grain est très serré, un mince liseré nerveux cotoie cette arête (fig. 49) et généralement dans un angle, mais quelquefois aussi vers l'axe, on trouve une tache noire (fig. 50) d'où partent des rayons parcourant la surface grenue de la cassure et s'arrêtant au creux précédent (fig. 50) c'est de ce point noir qu'est partie la cassure, on retrouve ce point dans tous les aciers, mais il grandit quand la dureté diminue ; ainsi pour l'acier de

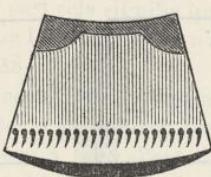


Fig. 49.

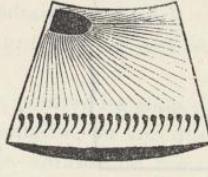


Fig. 50.

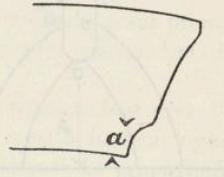


Fig. 51.

Tamaris on a de véritables zones nerveuses d'où partent les rayons grenus ; il en est de même pour l'acier du Creusot (fig. 50) dans lequel la bande nerveuse est devenue très large ; le grain est plus gros dans le milieu des barrettes et de nouveau il est fin près du point d'application du couteau.

Dans le petit creux transversal dont il est question ci-dessus, la cassure est conchoïdale avec des crêtes nettement et régulièrement formées, c'est immédiatement au-dessus que se trouve la région de la cassure où le grain est le plus gros et cette région comprenant une bande de 2 à 3 mm. de largeur varie de position par rapport au point d'impact du couteau avec l'épaisseur du barreau.

Ainsi, dans l'acier extra-dur, elle varie de 6 mm à 3 mm. pour des barreaux variant de 18 mm. à 13 mm. Cette couche qui a subi une moindre déformation serait la couche neutre de la théorie qui serait descendue beaucoup. M. Considère a déjà décrit ces faits d'ailleurs.

Les fers de bonne qualité se comportent comme les aciers doux, c'est-à-dire ne se rompent pas, mais ceux qui sont médiocres se brisent suivant des cassures assez planes affectant une distribution de la déformation analogue à celle des aciers durs.

Cas des barreaux entaillés. — Pour ces barreaux, les choses sont tout autres.

Les aciers durs rompent avec des cassures sèches grenues qui, vues de profil

ne sont pas rigoureusement droites, mais suivent la direction approximative d'une des lignes d'Hartmann émanant du fond de l'entaille, le fait est assez net pour les entailles à la scie, il l'est moins pour l'entaille à la fraise qui donne en général des cassures rectilignes surtout si l'acier est exceptionnellement dur comme l'acier électrique de Frogues.

On peut constater sur la cassure vue de face que le liseré nerveux des cassures de barreaux lisses existe plus ou moins prononcé ; de ce liseré partent encore des rayons grenus qui s'arrêtent vers une zone à moindre déformation, qui est d'autant moins nette que l'entaille est plus profonde ; contrairement aux constatations faites pour les barreaux lisses, cette zone paraît être à la même distance du point d'application du couteau, quelle que soit la profondeur de l'entaille et sa forme. Cette hauteur ne nous a pas semblé varier non plus avec la nature du métal.

Les aciers doux offrent, de *profil*, une déchirure en apparence très irrégulière mais qui, en réalité, ne l'est pas du tout. Presque toutes les cassures partent de l'entaille en suivant les directions des lignes d'Hartmann, très souvent la déchirure se fait suivant deux de ces lignes et puis l'une d'elles l'emporte et la cassure se poursuit jusqu'à ce que de nouveau une nouvelle orientation des lignes vienne présenter une surface de faiblesse que la déchirure suit, de sorte

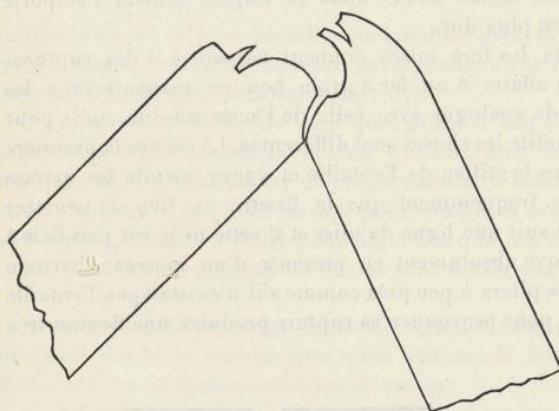


Fig. 52.

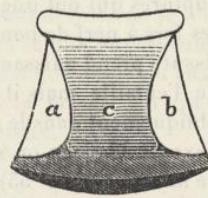


Fig. 53.

qu'on a, comme la figure 52 ci-contre le représente, des ruptures par échelons suivant deux orientations connues qui prévalent l'une ou l'autre au hasard.

Vues de face les cassures des aciers doux ont l'aspect ci-contre, (fig. 53) c'est-à-dire montrent deux triangles latéraux curvilignes et gauches avec aspect de métal ayant subi un glissement, un trapèze curviligne médian *c* qui offre à sa partie près de l'entaille une série de déchirures parallèles feuillettées très curieuses, dans son milieu un nerf court, et en bas un nerf fin serré ; quelquefois le nerf grossier du haut de ce trapèze montre des déchirures non pas parallèles mais s'obliquant sur l'axe du barreau qui se raccordent assez mal avec les feuillette-

tages parallèles à l'entaille, enfin, au bas de la cassure on trouve une zone grenue en général mais qui n'existe plus pour les aciers doux trempés où elle est remplacée par une zone nerveuse, toute la cassure est à nerf dans ce cas.

Ce qu'il y a de plus particulièrement intéressant dans l'étude de ces cassures, c'est que, pour ces aciers, la cote α de la partie contractée du barreau (fig. 54) ne varie que très peu (13 à 15 mm. pour l'acier DR naturel, 14 à 15 mm. pour le même acier trempé), il n'en est pas de même de la cote β , car pour celle-ci l'accroissement est plus rapide que pour α (8 à 16 mm. pour DR naturel, 8 à 12 mm. pour DR trempé).

En somme la rupture dans ces aciers doux commence vers le milieu de l'entaille, gagne en profondeur en même temps qu'en largeur en formant une espèce de triangle comme celui des barrettes de traction, les fentes intéressent à un moment donné les côtés de l'entaille qui cèdent à leur tour suivant l'obliquité des triangles a, b . La déchirure se poursuit jusqu'à la sphère d'influence du couteau de flexion qui contient les sollicitations de compression, la ligne de démarcation serait donnée par le bord de la zone grenue d ; l'épaisseur de cette zone diminue d'ailleurs un peu quand la section à fond d'entaille diminue, le genre d'entailage ne paraît avoir d'efficacité sur elle.

On peut retrouver dans les aciers durs le rudiment des quatre zones que nous venons de décrire pour les aciers doux, mais le trapèze central l'emporte d'autant plus que l'acier est plus dur.

Contrairement aux aciers, les fers misés donnent naissance à des ruptures irrégulières. Quand on a affaire à un fer à grain bon ou mauvais on a des ruptures qui ont une grande analogie avec celle de l'acier mi-dur, mais pour les fers à nerf de bonne qualité les choses sont différentes. Là encore la première fissure prend naissance dans le milieu de l'entaille et gagne ensuite les arrêtes de l'entaille mais il arrive fréquemment que la fissure au lieu de pénétrer obliquement dans le métal suit une ligne de mise et si cette mise est parallèle à l'axe du barreau on se trouve absolument en présence d'un nouveau barreau de hauteur A (fig. 55) qui se pliera à peu près comme s'il n'existe pas d'entaille au-dessus de lui, il faudra pour provoquer sa rupture produire une flexion très

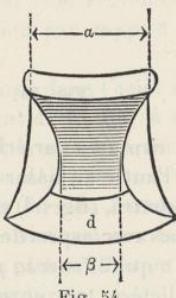


Fig. 54.

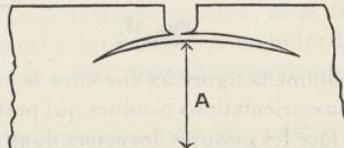


Fig. 55.

accusée et encore n'arrive-t-on pas parfois à déchirer cette couche nouvelle du métal mise à jour incidemment. La photographie 4 de la planche 16 montre

quelques cas de ce genre, les barreaux de fers n°s 8 et 10 ont pu être pliés à bloc avec des entailles de 4 et 8 mm. de profondeur. Ce cas ne s'est jamais présenté avec les aciers. Les autres bons fers participent plus ou moins de ce mode de déformation suivant l'orientation de leurs lignes de mises par rapport aux faces du barreau fléchi. On obtient des cassures en échelons très saillants comme la figure 56 ci-contre l'indique. La forme des courbes de flexion en est

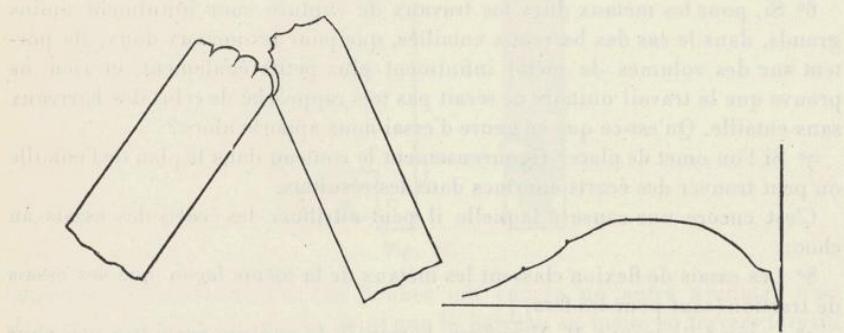


Fig. 56.

Fig. 57.

impressionnée ; elle se présente quelquefois avec des petits ressauts dans sa partie tombante, chaque ressaut correspondant à la rupture d'une mise qui a subi sa déformation maximum (fig. 57).

Il est même possible de dire que, grâce à son organisation interne le fer jouit au point de vue de la flexion sur barreaux entaillés d'une supériorité marquée sur les aciers doux de même nuance, il serait plus déformable qu'eux et exigerait un plus grand travail, pour rompre si toutefois la mesure du travail est ce qu'il faut prendre pour juger des qualités des métaux.

Au point de vue traction les choses sont renversées.

De nouveau, il faut nous demander quelles conclusions pratiques peuvent découler des constatations que nous venons de faire à propos des essais de flexion. Ces conclusions sont les suivantes :

1^o Il faut, pour pouvoir traiter uniformément les métaux et ne mettre en évidence que leur capacité de déformation dans l'entaille, que cette entaille varie de profondeur quand le métal varie, quand la distance des appuis change, quand la forme de l'entaille ne reste pas toujours la même ;

2^o La section restante à fond d'entaille répondant à cette condition doit varier dans un rapport qui dépend de la limite d'élasticité du métal hors entaille et de la charge de rupture réelle dans l'entaille ;

3^o Si l'on ne tient pas compte de cette loi on a des résultats qui comprennent une part revenant à la région entaillée, une autre part à une région qui n'a rien à voir avec l'entaille ;

4^o Quel que soit le mode d'entailage les courbes enregistrées sont de la

même famille l'entaille suivant sa forme et sa profondeur les laisse développer plus ou moins longuement mais n'en modifie pas l'allure particulière ;

5^o Une faible erreur dans l'entailage amène des variations considérables dans les résultats de la mesure des flèches, des travaux dépensés

On doit, à notre avis, attribuer à des erreurs de ce genre les variations énormes que les essais au choc de barreaux entaillés mettent en évidence pour un même métal.

6^o Si, pour les métaux durs les travaux de rupture sont infiniment moins grands, dans le cas des barreaux entaillés, que pour les métaux doux, ils portent sur des volumes de métal infiniment plus petits également, et rien ne prouve que le travail unitaire ne serait pas très rapproché de celui des barreaux sans entaille. Qu'est-ce que ce genre d'essai nous apporte alors ?

7^o Si l'on omet de placer rigoureusement le couteau dans le plan de l'entaille on peut trouver des écarts énormes dans les résultats.

C'est encore une cause à laquelle il peut attribuer les écarts des essais au choc ;

8^o Les essais de flexion classent les métaux de la même façon que les essais de traction (sauf pour les fers) ;

9^o Comme l'a trouvé M. Mesnager, le travail de rupture varie très peu pour une même profondeur d'entaille quand la distance des appuis augmente. On peut expliquer la chose par le fait que les efforts décroissent dans ce cas mais les flèches augmentant, il y a compensation.

ESSAIS AU CHOC

Flexion vive

Notre travail eût été bien plus complet s'il nous avait été possible de rechercher, sur les mêmes métaux, les mêmes barreaux entaillés ou non de la même façon, par traction et par flexion vives, comment les choses se passent. Mais limité par le temps nous avons dû restreindre ces recherches, que nous espérons poursuivre bientôt et nous nous sommes contenté de faire des essais de flexion par choc dans les conditions qu'on trouvera ci-après.

Appareil employé et méthode de mesure

L'appareil de choc que nous avons utilisé est un mouton ordinaire constitué par un poids de 10 kilos, tombant en chute libre de hauteurs que nous avons fait varier, sur les barrettes à essayer placées sur deux appuis robustes fixés à une chabotte en fonte pesant 1.000 kilos.

Le poids de choc avait une forme particulière, la figure 58 ci-contre l'indique ; la panne *a*, qui avait rigoureusement le même rayon d'arête que celui du couteau qui nous avait servi aux essais de flexion lente, était enfermée entre deux jambes, *b* et *c* et de cette façon quand la barrette était complètement rompue le poids tombait sur la chabotte surses deux jambes et la panne du mouton était

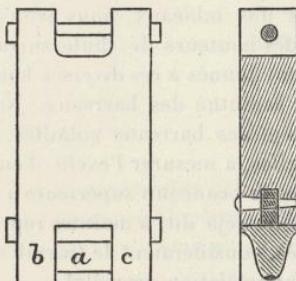


Fig. 58.

considérablement ménagée. Ces jambes ont encore un autre avantage c'est d'empêcher jusqu'à un certain point que le barreau se mette en travers lors du rebondissement.

Les barreaux *m* étaient placés sur deux appuis *n* et pour éviter qu'ils ne soient projetés au hasard par les réactions, ils étaient placés entre deux cornières *p*

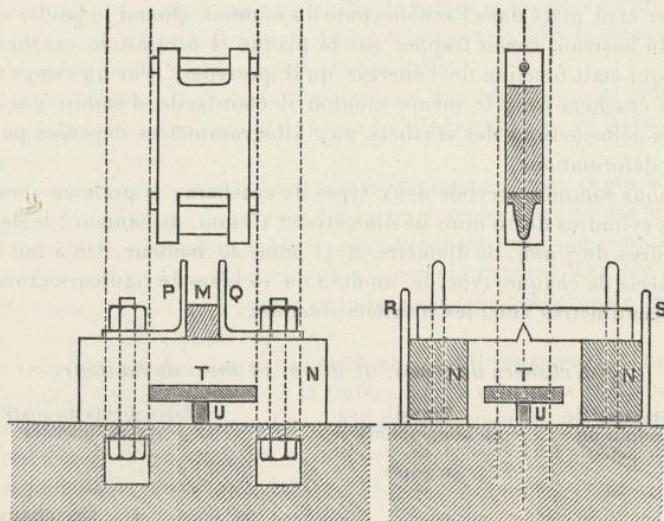


Fig. 59.

et *q* disposées à chacune de leur extrémités et serrées dans les appuis *n*. (fig. 59).

En outre, des équerres *v* et *s* empêchaient que les barreaux ne fussent lancés

horizontalement hors des appuis. Ces précautions paraissent puériles, elles sont très importantes en réalité car elles nous ont permis de voir un peu clair dans les effets des chocs répétés sur la même barrette. Grâce à ces petits dispositifs les barrettes restent à peu près à leur place et les résultats des essais sont assez concluants.

Comme on le verra dans nos tableaux, nous avons choqué les barrettes en faisant tomber le mouton des hauteurs de chute suivantes : 1 m., 2 m., 4 m. ; les coups étant uniformément donnés à ces diverses hauteurs jusqu'à la rupture complète ou le pliage très accentué des barreaux. Nos essais ayant porté sur des barreaux sans entailles et des barreaux entaillés, il nous a fallu songer, dans le cas des métaux fragiles, à mesurer l'excès d'énergie du poids lorsque ce poids avait une force vive de beaucoup supérieure à celle nécessaire à la rupture des barrettes. Nous avons déjà dit, à maintes reprises, que les auteurs des essais sur barreaux entaillés, considéraient le travail exact de rupture comme le grand critérium pour l'appréciation du métal.

Ces auteurs ont imaginé des dispositifs variés pour mesurer le travail résiduel du poids, celui qui cadrait le mieux avec notre mouton aurait été le ressort plus ou moins aplati par le coup du poids après rupture du barreau ; mais notre installation n'étant pas encore complètement achevée nous avons adopté la vieille méthode des crushers pour mesurer l'énergie résiduelle du poids.

Pour cela on a placé un petit crusher *u* (cylindre en cuivre électrolytique) entre les appuis et on l'a recouvert d'une plaque *t* épaisse en acier dur (fig. 59). Le crusher était placé dans l'axe de chute du mouton. Quand le poids, après la rupture du barreau, venait frapper sur la plaque il écrasait le crusher d'une quantité qui était fonction de l'énergie qu'il possédait. Par un tarage préalable de ces crushers avec le même mouton il était facile d'établir une courbe reliant les déformations des crushers aux kilogrammètres dépensés pour produire ces déformations.

Nous nous sommes servi de deux types de crushers ; le premier comprenait des petits cylindres de 10 mm. de diamètre et 15 mm. de hauteur ; le deuxième des cylindres de 7 mm. de diamètre et 11 mm. de hauteur. On a fait tomber sur une série de chaque type, le mouton de 10 kilos de hauteurs croissant de 50 en 50 centimètres Voici les résultats obtenus :

1^o Crushers de 7 mm. de diam. 11 mm. de hauteur.

Hauteur de chute du poids	Travail en kilogrammètres de ce poids	Affaissements du crusher en millimètres	
—	—	—	—
0 m. 50	5 kilogram.	3 mm. 1	On changeait
1 m. »	10 id.	4 mm. 9	de crusher
1 m. 50	15 id.	6 mm. 3	pour chaque
2 m. »	20 id.	7 mm. 1	hauteur
			de chute

2^o Crushers de 10 mm. de diamètre, 15 mm. de hauteur.

Hauteur de chute du poids	Travail	Affaissements du crusher
0 m. 50	5 kilogram.	2 mm. 3
1 m. »	10 id.	3 mm. 55
1 m. 50	15 id.	4 mm. 65
2 m. »	20 id.	5 mm. 55
2 m. 50	25 id.	6 mm. 20
3 m. »	30 id.	6 mm. 90

même observation
que
ci-dessus

La mesure de l'affaissement de ces petits cylindres peut donc servir assez bien à celle du travail. Nous avons essayé d'opérer en plaçant deux crushers sous la plaque t mais nous avons trouvé qu'il était plus régulier de n'en employer qu'un et tous nos petits cylindres se sont bien écrasés en conservant leurs surfaces de compression bien parallèles. Pour les métaux doux qui rompent difficilement même entaillés, comme il faut un assez grand nombre de coups pour opérer leur rupture, l'erreur relative est petite et le dernier coup serait-il même de beaucoup trop fort qu'on ferait une erreur assez faible en le comptant comme juste suffisant. Nous ne nous sommes pas servi de crushers dans ce cas ; de même pour les aciers durs non entaillés choqués avec hauteurs de chute d'un mètre.

Après chaque coup de mouton, dans n'importe quel essai, nous avons porté le barreau plié ou rompu sur une feuille de papier et avons, avec un crayon très fin, tracé son contour ; cela nous a donné le moyen de faire la mesure exacte de la flèche prise par le barreau après chaque coup.

Les flèches que nous avons indiquées dans nos tableaux sont presque toutes rapportées à des travaux variant de 40 en 40 kilogrammètres de façon à avoir des essais bien comparatifs.

Les travaux que nous indiquons comme travaux réels de rupture dans le cas des aciers durs lisses et dans le cas des aciers doux ou durs ou des fers entaillés, sont obtenus en additionnant les travaux dépensés coup par coup et en défaillant le travail en excès du coup qui a amené la rupture. On verra plus loin que les travaux ainsi évalués sont grands, nous les appellerons « travaux apparents de déformation ou de rupture ».

Les entailles à la scie que nous avons seules utilisées parce que nous n'avions pas le temps d'examiner celles à la fraise, ont été exécutées exactement comme celles des barreaux de flexion lente. Elles ont eu pour les aciers, 1 mm. de profondeur et pour les fers 2 mm. et cela dans le but de comparer les résultats de ces essais au choc à ceux des essais de flexion lente.

EXAMEN DES RÉSULTATS DES ESSAIS DE CHOC

Barreaux sans entailles*(Voir les tableaux y afférents).*

Pour un esprit superficiel il paraîtrait résulter immédiatement de l'examen des résultats relatifs à ces barreaux que :

Pour un même nombre de kilogrammètres dépensés, quelle que soit la nature du métal, la déformation est beaucoup plus grande, quand on dépense ce travail en donnant des coups de 4 mètres que des coups de 1 mètre.

Nous ne mettons pas en évidence quelque chose de nouveau en énonçant cette conclusion, mais nous croyons devoir dire de suite qu'elle est erronée ou fortement contestable. En effet lors de la mesure du travail dans le cas des barreaux fléchis lentement nous avions à notre disposition un diagramme fourni par la machine qui nous permettait de trouver pour une flèche quelconque prise par les barreaux, le travail *exact* dépensé pour la production de cette flèche. Si nous regardons d'un peu près maintenant ce qui se passe dans un choc d'un poids sur le barreau, on constate que le travail que nous avons inscrit comme travail utilisé par le barreau pour prendre la flèche correspondante c'est l'énergie potentielle du poids au moment où ce poids va rencontrer l'éprouvette. Les choses diffèrent sensiblement de celles du cas précédent. En effet cette énergie sert à déformer le barreau, à comprimer élastiquement les appuis, la panne du mouton et le corps de ce mouton, la chabotte et le sol sur lequel cette chabotte est placée. Cette énergie s'annule à un moment donné, c'est ce moment que marque la flèche que prend le barreau ; mais ce barreau, ces appuis, cette chabotte, etc., réagissent parce qu'ils sont doués d'élasticité et c'est à eux qu'il faut attribuer le rebondissement du mouton, après le choc ; or ce rebondissement dû à la détente de toutes ces pièces agissant élastiquement confère au poids une élévation qui correspond à une restitution de travail. En conséquence ce n'est pas l'énergie potentielle du mouton au commencement de l'impact qu'il faut prendre comme mesure du travail réel dépensé pour produire les flèches constatées, mais ce travail diminué de celui nécessaire à provoquer la déformation élastique de tous les supports du barreau et du barreau lui-même, et qui pourrait être mesuré approximativement par la hauteur où remonte le mouton, comme l'a fait M. Leblant pour ses essais de barreaux entaillés, si ces appuis restituait exactement le travail qu'ils reçoivent et s'il n'y avait pas de frottement. On pourra alléguer que le mouton en retombant à nouveau restitue ce travail de rebondissement, mais le deuxième rebondissement est encore dû à lui, finalement le mouton ne rebondit plus parce qu'il y a des pertes. On pourrait même avoir une idée du bon fonctionnement d'un mouton en le faisant frapper sur un métal

indéformable et en comptant le nombre de coups de rebondissement jusqu'à ce que le choc fut complètement éteint.

Reportons-nous à la courbe de flexion d'un barreau fléchi lentement et supposons que, au lieu de poursuivre la flexion très loin, nous nous soyons arrêté au point A, puis que nous ayons supprimé l'effort sur le barreau, l'expérience nous apprend que l'aiguille de notre enregistreur reviendra au zéro, non pas en suivant la verticale AB' correspondant à la flèche prise par le barreau sous charge, mais suivant la ligne oblique AB, parallèle, à peu près, à la portion de la courbe oE en dessous de la limite d'élasticité (figure 59). Ainsi pour une flèche permanente OB = a , le barreau a restitué un travail qui serait représenté par l'aire du triangle ABE'. Arrêtée au point M, la flexion permanente serait oN et le travail restitué MNN' (fig. 59).

Nous avons vu que pour les métaux ferreux, un peu après qu'on a dépassé la

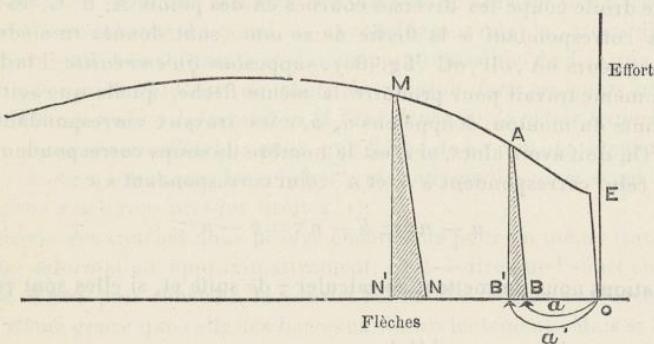


Fig. 59.

limite d'élasticité la courbe est à peu près parallèle aux abscisses, c'est-à-dire, l'effort varie très peu ; cela revient à admettre que MN' diffère très peu de AB' et que le travail restitué dans chaque détente est à peu près le même.

Si les choses se passent à peu près de la même façon dans le choc, on doit pouvoir constater que le mouton rebondit à la même hauteur approximativement, quelle que soit la flèche prise par le barreau ; c'est une constatation que nous avons faite, en effet, qui confirme l'exactitude de notre raisonnement.

On conçoit alors que quand on donne des petits coups de 1 mètre qui produisent de petites flèches permanentes, c'est-à-dire ne correspondent qu'à une faible fraction du diagramme de flexion, il faille dépenser plus de travail pour obtenir la même déformation totale qu'avec les coups de 4 mètres ; en effet, pour ces petits coups comme pour les gros, le barreau et les appuis restituent le même travail après chaque coup ; de sorte que si ce travail restitué est τ et si T est le même nombre de kilogrammètres *appareils* dépensés, on a bien en apparence n coups pour les coups de 4 mètres, $2n$ pour les coups de 2 mètres,

$4n$ pour ceux de 1 mètre, mais en réalité le travail réel correspondant aux déformations constatées dans chaque cas est :

$$n \times 40 \text{ kilogr.} - n\tau ; 2n \times 20 - 2n\tau ; 4n \times 10 - 4n\tau$$

c'est-à-dire :

$$n(40 - \tau) ; 2n(20 - \tau) ; 4n(10 - \tau).$$

Comme on le voit, ces travaux *réels* peuvent ne pas être du tout égaux, ils ne le seraient que si $\tau = 0$, c'est-à-dire pour un corps parfaitement *mou*.

Mais il est facile d'évaluer cette quantité τ ; examinons, en effet, les courbes de la dernière planche reliant les flèches successives aux travaux apparents dépensés pour produire ces flèches, menons par le point des abscisses correspondant à la flèche de 20 mm., par exemple, une droite parallèle aux ordonnées, cette droite coupe les diverses courbes en des points A, B, C, les travaux apparents correspondant à la flèche de 20 mm. sont donnés immédiatement par les longueurs oA' , oB' , oC' (fig. 60); supposons qu'en réalité il faille exactement le même travail pour produire la même flèche, quelle que soit la hauteur de chute du mouton, et appelons a , b , c les travaux correspondant à oA' , oB' , oC' . On doit avoir alors, si n est le nombre de coups correspondant au travail a , n' celui correspondant à b , et n'' celui correspondant à c :

$$a - n\tau = b - n'\tau = c - n''\tau.$$

Ces relations nous permettent de calculer τ de suite et, si elles sont remplies,

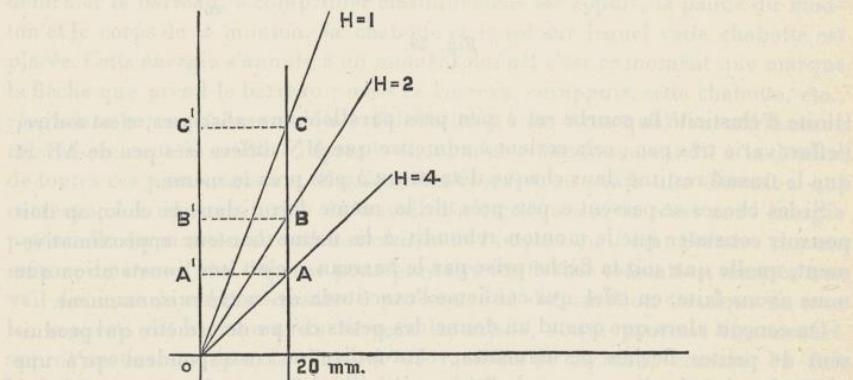


Fig. 60.

cela prouve que notre hypothèse de la constance du travail réel pour produire la même déformation est exacte, voici les résultats obtenus avec la flèche de 20 mm. (fig. 60):

Travaux apparents

	Coups de 4 mètres	Coups de 2 mètres	Coups de 1 mètre	τ
Imphy naturel . . .	160 kgmètres	200	280	6 kgm. 7 et 5 kgm.
Tamaris — . . .	144	170	260	5 kgm. 2 et 5 kgm. 3
Creusot — . . .	194 ?	180	200	2 kgm. (erroné)
DR — . . .	75	88	100	4,3 et 3,1
Fer n° 1 — . . .	77	84	100	2,3 et 2,8.

en nous servant des deux équations :

$$a - n\tau = b - n'\tau \text{ et } a - n\tau = c - n''\tau$$

on trouve pour τ les valeurs inscrites dans la dernière colonne. Etant donné les erreurs possibles dans les mesures des flèches successives des barreaux, les variations d'homogénéité du métal, nous considérons que la concordance des valeurs pour τ est très suffisante et il nous paraît possible de dire que :

Quelle que soit la hauteur de chute du mouton dans ses coups successifs, pour produire la même déformation il faut dépenser le même travail.

Ce que nous venons d'établir pour une flèche de 20 mm. se répéterait pour une autre flèche quelconque, les courbes, grâce auxquelles nous avons fait cette mesure, étant des lignes presque droites (1).

Cette forme des courbes nous prouve encore que pour un même travail on a une même déformation approximativement, c'est-à-dire que l'effort correspondant reste à peu près constant, la courbe reliant les efforts aux flèches serait donc du même genre que celle des barreaux fléchis lentement. Mais si l'on examine la chose d'un peu plus près on constate qu'en réalité ces deux courbes sont très près de coïncider, on peut, en effet, en admettant la constance des déformations pour un même travail dépensé par coup, trouver l'effort en divisant le travail réel par la flèche obtenue, on obtient pour les divers métaux :

Imphy naturel	effort = 6.800 kilos environ
Tamaris —	effort = 6.200 —
Creusot —	chiffre incertain
Acier doux DR	effort = 3.000 kilos environ
Fer n° 1	effort = 3.700 —

On ne peut prétendre que ces nombres soient les mêmes que ceux de la flexion lente qui, comme nous l'avons dit, ont eux-mêmes à subir une correction, mais ils s'en rapprochent extrêmement et cela nous autorise à présenter que si l'on avait exécuté la flexion vive d'une seule fois on aurait en réalité trouvé

(1) On voit de suite que, au moyen d'un seul essai au choc sur barreau fléchi, on pourrait déterminer les efforts de flexion moyens du barreau, il suffirait de donner des coups successifs de hauteurs différentes, de relever les variations de flèches correspondantes et, pour une même variation, de poser l'équation de l'égalité des travaux ci-dessus, on en déduirait τ et l'effort moyen.

une courbe quasi-identique à celle de la flexion lente ; nous croyons cependant que les efforts à développer dans les cas du choc sont un peu supérieurs à ceux de la flexion lente parce qu'ils ont à compenser l'accélération des masses.

Les écarts dans nos résultats sont attribuables à ce que, malgré les précautions prises, on n'a pas à chaque coup rigoureusement placé le couteau du mouton dans le même plan que pour les coups précédents, on intéresse de cette façon une zone métallique plus grande que dans le cas de la flexion lente où le couteau ne se déplace pas, d'où les écarts assez marqués parfois, mais cela ne peut empêcher que les grands traits de la loi générale que nous avons posée plus haut apparaissent avec assez de netteté. Nous serons d'ailleurs en mesure sous peu de rechercher avec un outillage de choc perfectionné si cette loi se confirme pour tous les genres de sollicitation (traction, compression, flexion, etc).

Barreaux entaillés

Pour voir un peu clair dans l'action successive des coups de mouton sur les barreaux de ce genre il faut examiner d'abord les aciers doux qui subissent d'assez grandes déformations avant d'être rompus. On peut constater là encore que, *d'une manière générale les flexions sont d'autant plus grandes pour le même travail apparent dépensé que les coups sont plus violents*; mais le calcul de la valeur τ du raisonnement ci-dessus ramène la question à sa vraie signification ; cette valeur τ est à peu près constante, tant que la déformation n'a pas fait ouvrir l'entaille d'une façon marquée, et τ est un peu inférieure à la valeur correspondante trouvée dans le cas des barreaux lisses, ce qui revient à dire que jusqu'à ce moment la courbe reliant les efforts aux flèches est du même genre que celles que nous avons trouvées pour les barreaux fléchis lentement. Après l'ouverture notable de l'entaille, les choses vont un peu autrement, les écarts croissent en passant des hauteurs de chute de 4 à 1 mètre ; si l'on se reporte aux fins de courbe du diagramme de flexion lente, il est facile de comprendre qu'il doive en être ainsi.

Si l'on comparait les travaux dépensés pour une certaine déformation à ceux dépensés pour la même déformation par flexion lente et si l'on défalquait les travaux τ (variables avec les chutes de courbes) de ces travaux apparents, il est très vraisemblable qu'on trouverait des résultats très rapprochés. Mais la chose n'a qu'un intérêt très relatif ; nous nous contentons de faire ressortir ici que le processus des déformations est absolument le même pour les barreaux entaillés fléchis lentement ou par choc et nous renverrons le lecteur aux arguments que nous avons développés à propos de ces essais de barreaux entaillés sollicités lentement.

L'allure des déformations, le genre des cassures des barreaux choqués sont presque identiquement les mêmes que ceux des barreaux fléchis lentement, avec toutefois cette remarque que la zone grenue des barreaux d'acier doux entaillés est un peu plus grande quand les coups sont donnés à 1 mètre qu'à 4 mètres.

Les aciers durs ont donné comme travaux de rupture des chiffres qui, s'ils ne sont pas les mêmes sont très voisins les uns des autres et sont très voisins des chiffres des barreaux fléchis lentement, cependant en comparant ces chiffres on constate que les travaux obtenus par choc sont tous supérieurs à ceux par flexion lente. Mais ce n'est qu'une apparence, rappelons-nous, en effet, que les courbes de flexion de ces aciers ont la forme ci-contre, c'est-à-dire elles s'arrêtent brusquement, en A, point correspondant à la rupture du barreau entaillé ; mais au lieu de tomber en B la plume de l'enregistreur trace une courbe AC qui dénote que pour l'ouverture de l'entaille pendant la séparation des tronçons il a fallu encore dépenser le travail représenté par l'aire du triangle ABC. (fig. 61). Or dans nos calculs nous n'avions pas tenu compte de ce travail, qui doit s'ajouter à celui inscrit dans nos colonnes ; si nous ne l'avons pas fait c'est que nous ne sommes pas parvenu à faire l'enregistrement de cette deuxième partie des courbes avec toute la netteté désirable pour une mesure ; nous avons mis dans nos colonnes que le travail après le maximum était probablement égal à zéro, mais que la chose était douteuse. Nous devons dire ici que la chose est certaine, ce travail existe et ce sont les essais au choc qui nous l'ont montré. Ainsi pour le barreau d'Imphy il faut compter 5 kilogrammètres pour ce travail ; pour celui de Tamaris, 4 kilogrammètres à 5 kilogrammètres. On arrive alors à trouver pour les travaux de rupture des nombres très rapprochés qu'il s'agisse de la flexion vive, ou de la flexion lente.

De sorte que les essais de barreaux entaillés fléchis par choc sont tout à fait les mêmes que ceux des mêmes barreaux fléchis lentement. C'est une conclusion analogue à celle trouvée pour les barreaux sans entailles.

Le professeur Hatt de l'Université de Purdue nous a fait connaître qu'il était arrivé aux mêmes conclusions dans l'exécution d'essais de traction par choc. Nous n'avons pu le vérifier encore mais nous y songeons.

Projet d'un appareil de choc

Mais il était désirable de pouvoir, comme pour les essais lents, disposer pour les calculs des essais, d'une courbe qui donnât la relation immédiate entre les efforts développés et les flèches prises pendant le choc, sans supputations et déductions du genre de celles ci-dessus, qui d'ailleurs suffisent amplement à la majorité des essais ; il était désirable de pouvoir rompre à sa fantaisie un barreau entaillé ou non et d'avoir une trace durable du phénomène. Nous avons soumis, il y a un an et demi, la question à M. Amsler-Laffon, l'excellent constructeur de Schaffhouse (Suisse) et sollicité par nous, il est arrivé à créer un dispositif qui peut être très précieux dans l'étude du choc.

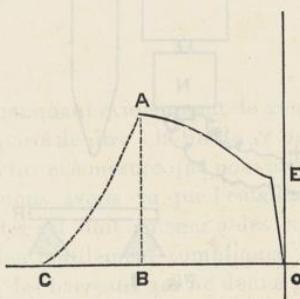


Fig. 61.

Ce dispositif avait d'ailleurs été employé par le professeur Hatt dont il est question ci-dessus, pour des essais de traction par choc, M. Amsler l'ignorait ; d'ailleurs c'est un dispositif congénère de celui employé par le général Morin pour étudier les lois de la chute des corps.

Un poids P tombe devant un tambour M mû par un moteur électrique à

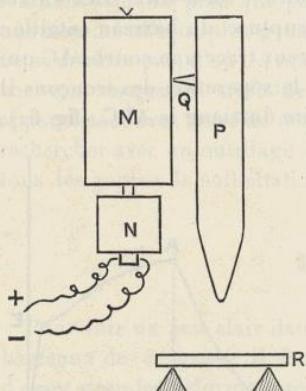


Fig. 62.

vitesse constante et connue, le poids P porte un crayon Q qui décrit le mouvement du poids P, or ce mouvement est modifié par la résistance du barreau choqué, on a ainsi sur le tambour M une courbe qui affecte la forme ci-dessous (figure 63) et qui réunit les flèches avec les temps (puisque le tambour tourne à vitesse constante).

Il est facile connaissant les espaces (flèches) en fonction des temps de trouver les vitesses et les accélérations ; or les vitesses successives ont leur carré qui est proportionnel à l'énergie potentielle du mouton et les accélérations sont proportionnelles aux efforts développés sur le mouton par suite sur le barreau. On peut résoudre de cette façon tout le problème du

choc, grâce à deux dérivations de la courbe obtenue. C'est un dispositif qui peut être utilisé pour tous les genres de sollicitations (traction, flexion sur deux appuis ou avec encastrement, compression, etc.)

Mais l'installation est un peu coûteuse et nous avons imaginé une disposition plus simple qui pourra s'appliquer à tous les moutons actuellement existants

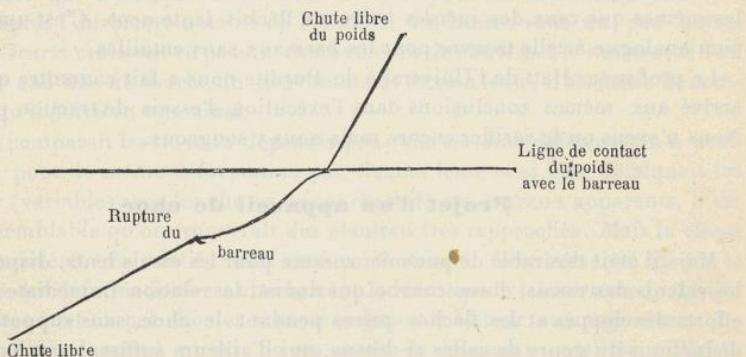


Fig. 63.

dans l'industrie ; nous ne pouvons en parler plus amplement ici, cette disposition est en étude de construction dans l'atelier d'une fabrique et fera l'objet d'un brevet ultérieur si elle réussit. Avec elle nous aborderons l'étude du choc

dans ses formes les plus variées et si l'Institut du fer et de l'acier nous en juge digne nous lui présenterons les résultats de nos recherches qui compléteront, mieux que nous avons pu le faire, ceux du présent mémoire.

CONCLUSIONS

Que ressort-il de plus frappant de ces essais manquant évidemment de généralité quoique très nombreux ? voilà ce qu'il importe de dire à la fin de ce premier travail. Nous avons tiré des conclusions au fur et à mesure que nous avons examiné les diverses formes de sollicitations ; nous avons vu que l'entaillage des barreaux doit être fait suivant certaines règles s'il doit amener à des conclusions qui aient quelque valeur et que c'est bien inutilement compliquer les essais que de procéder à ce mode de préparation des barreaux qui ne donne pas d'autre renseignement que l'essai des barreaux non entaillés. Ces essais si mystérieux, en apparence, ne contredisent pas du tout les anciens essais de flexion et de traction des barreaux lisses, la grande question est de savoir, là comme ailleurs, interpréter les résultats qu'on trouve. Pour qui se contente dans un essai de traction de mesurer la charge maximum et l'allongement pour cent, il n'est pas difficile de prédire des surprises, dans l'appréciation de son métal. La mesure de l'élasticité, celle de l'allongement avant et après striction ont une valeur qui est au moins égale sinon supérieure à celle de ces deux facteurs.

Que les essais de barreaux entaillés exagèrent les écarts de propriétés qu'on trouve entre les métaux par les vieilles méthodes, cela s'explique assez par ce que nous avons vu, mais admettre *a priori* que les nouveaux essais sont ceux qui font le mieux connaître la vérité c'est aller un peu vite en besogne. On n'emploie pas les métaux avec des fentes, des trous répartis au petit bonheur, on est évité même soigneusement.

A notre avis, les essais de barrettes incisées avec les entailles les plus différentes peuvent être assimilés à des essais qui pourraient être exécutés sur des pièces de formes variées d'un même métal ; on apprécie bien la façon dont se comporte la pièce dans chaque cas mais cela ne donne pas de critérium aussi net, au sujet des propriétés intrinsèques du métal, que le ferait un essai sur un barreau de forme simple comme celle des barreaux lisses.

Le seul avantage, à nos yeux, des barreaux entaillés est de permettre, dans le cas de la flexion, de rompre *à peu près* les métaux extra-doux, à la condition que l'entaillage soit suffisant, bien entendu ; mais est-il bien nécessaire de

rompre ces barreaux ? et ne pourrait-on pas y parvenir sans entaille, par exemple, comme on l'a dit, en faisant des barreaux méplats et en les pliant sur le petit côté. Tout se ramène à une quantité de déformation suffisante pour amener la rupture.

En tous cas il y a un procédé très simple pour rompre ces barreaux, c'est de les tractionner ; on éviterait au moins les erreurs grossières que tant d'auteurs ont commises avec leurs barreaux de flexion et avec des machines d'essais dont bien entendu ils n'auraient jamais suspecté la perfection tant ils les regardaient avec des yeux paternels.

Enfin la conclusion la plus importante de ces essais c'est que les actions lentes ont les mêmes conséquences que les actions vives sur les métaux (tout au moins sur ceux que nous avons étudiés) et la coalition qui s'est formée pour renverser les essais de traction nous paraît s'être beaucoup risquée.

Cette conclusion de la similitude des effets dus aux actions lentes et brusques paraîtra paradoxale à certains ingénieurs habitués à croire qu'il y a un abîme entre ces deux genres de sollicitations, l'analyse complète des phénomènes les amènera facilement, croyons-nous, à se convaincre qu'il ne faut pas juger sur les apparences et si nous posons cette dernière conclusion de ce trop long travail c'est en toute conviction, après avoir été éclairé non par des hypothèses, des raisonnements qui peuvent toujours avoir un aspect solide, mais par des résultats expérimentaux.

S'il fallait une confirmation aux principes exposés dans la précédente étude, on la trouverait dans un récent mémoire de M. Roussel, le distingué directeur du Laboratoire de l'Etat belge à Malines, et que la *Revue de Métallurgie* d'août 1904 a publié. M. Roussel a écrasé des bandages soit par pression lente s'exerçant à l'extrémité d'un même diamètre, soit par choc d'un mouton de 2.000 kilos tombant de 3 m. 30 de hauteur. Dans le premier comme dans le second mode opératoire, il a relevé les flèches successives prises par le bandage et a donné d'intéressantes courbes représentatives des essais. C'est sur ses courbes et d'après ses tableaux que nous avons trouvé une justification frappante de nos raisonnements. Si l'on prend par exemple la série des bandages de locomotive et de tenders, et si l'on retranche du nombre de kilogrammètres apparents dépensés dans chaque coup de mouton le nombre de kilogrammètres restitués par les bandages, la chabotte et les pertes de tous genres, on peut en divisant les travaux réels dépensés, ainsi calculés, par les déformations des bandages elles-mêmes, trouver la série des efforts moyens dus à chaque coup de mouton. On ne peut, comme on l'a dit, trouver les travaux secondaires à retrancher dans chaque cas, qu'en opérant avec deux ou plusieurs hauteurs de chute du mouton ; les résultats de M. Roussel, établis dans un tout autre but, ne nous ont pas permis de faire des calculs exacts, mais en admettant que les bandages et leurs supports restituissent chaque fois un même travail (ce qui est erroné, ce travail croissant toujours quand les charges croissent), on arrive, en évaluant ce travail au double du travail élastique du point final des courbes de M. Roussel, à trouver des efforts moyens qui se rapprochent beaucoup de ceux des essais lents ; il n'y a pas lieu de s'étonner qu'il y ait quelques écarts, étant donné le mode d'établissement de ces conclusions.

Et nous dirons, avec M. Roussel, et avec bien d'autres : « Les épreuves statiques correspondent aux épreuves dynamiques. »

D'autre part, les essais de Rotter cités par Martens dans son *Traité des Essais des Matériaux*, viennent encore apporter aux idées que nous émettons l'appui de leur ancienneté et de leur autorité.

A quoi bon des essais au choc, encore une fois, et surtout des essais sur barreaux entaillés ? les anomalies constatées avec ces genres d'essais n'auraient-elles pas pu être expliquées autrement qu'avec des airs de mystère et sans voir là de nouvelles propriétés des métaux.

TABLE I. — ESSAIS DE TRACTION DE BARREAUX

Prestation des charilles	Section à fond d'entaille	Limites apparentes de la corde	Charge maximum de la corde		Allongement		Travail total pour la rupture	Remarques		
			Mon. 1000 m ³	K _{kg} 45,600	K _{kg} 47,4	K _{kg} 26,100	Mon. 1000 kg	Mon. 1000 kg		
Pas d'entaille										
1	295	15,600	53.0	147.3	23.000	79.0	7.0	3.5	3.5	71.5
2	360	17,600 ¹	67.8	153.3	18.000	72.0	5.5	4.3	3.0	3.0
3	320	15,200	69.2	146.1	20.000	69.0	4.5	0.6	0.6	10.0
4	185	13,700	65.0	15.0	12.000	74.0	2.0	0.0	0.0	0.0
4	147	12,300	85.0	38.0	12.000	85.0	1.8	0.0	0.0	0.0
Entailles à la scie de 4 mm.										
1	295	17,300 ²	59.5	153.0	19.200	65.0	0.88	0	0	0.5
2	320	15,200	55.0	145.0	18.000	65.0	0.88	0	0	0.5
3	220	13,700	55.0	145.0	15.000	55.0	0.88	0	0	0.5
4	185	11,200	64.3	36.0	11.000	64.0	3.90	0	0	0.0
4	147	10,300	70.4	31.0	10.000	70.0	4.1	0	0	0.0
Entailles à la fraise aigle de 60°										
1	295	17,300 ²	59.5	153.0	19.200	65.0	0.88	0	0	0.5
2	320	15,200	55.0	145.0	18.000	65.0	0.88	0	0	0.5
3	220	13,700	55.0	145.0	15.000	55.0	0.88	0	0	0.5
4	185	11,200	64.3	36.0	11.000	64.0	3.90	0	0	0.0
4	147	10,300	70.4	31.0	10.000	70.0	4.1	0	0	0.0
Entailles au tour.										
Dia. 2	295	15,200	151.7	44.6	22.700	69.0	0.5	3.1	3.1	2.5
1.6	226	14,300	66.0	44.5	2	14.000	66.0	0.44	0.2	0.2
1.6	204	14,000	68.8	44.5	14.000	69.0	0.44	0.2	0.2	0.2
1.6	176	13,700	72.8	44.5	13.000	70.0	0.44	0.2	0.2	0.2
1.6	153	13,100	85.5	39.0	13.000	85.5	0.53	0.2	0.2	0.2
Entailles au foret.										
Dia. 2	295	15,200	151.7	44.6	22.700	69.0	0.5	3.1	3.1	2.5
3.4	260	17,000 ³	66.0	47.0	22.700	70.0	0.5	3.1	3.1	2.5
3.4	240	15,200	68.8	47.0	22.700	70.0	0.5	3.1	3.1	2.5
6.7	220	15,200	74.0	47.0	17.800	84.0	0.54	0.5	0.5	0.5
8.9	185	14,000	74.0	47.0	15.000	75.0	0.54	0.5	0.5	0.5
9.4	165	12,600	76.0	52.0	12.000	75.0	0.62	0.5	0.5	0.5
10.2	147	11,000	70.0	58.8	10.000	75.0	0.61	0.5	0.5	0.5
14.0	140	7,900	72.0	33.4	7,000	75.0	0.33	0.2	0.2	0.2

DANS LE GAS DES MÉTAUX FERREUX

TABLE II. — ESSAIS DE TRACTION DE BARREAUX ENTAILLÉS
Métal naturel (ce métal avait été reçut à l'usine).

DANS LE CAS DES MÉTAUX FERREUX 79

ou NON (Acier dur. = Provenance *l'amari*) (marque 1).

TABLE III. — ESSAIS DE TRACTION DE BARREAUX ENTAILLÉS

TABLE III. — ESSAIS DE TRACTION DE BARREAUX ENTAILLÉS

DANS LE CAS DES MÉTAUX FERREUX

OU NON (*Acier mi-dur. — Provenance Creusot*) (marqué C).

TABLE IV. — ESSAIS A LA TRACTION DE BARREAUX ENTAILLÉS OU NON (Acié doux. — Provenance DJ, Denain et Anzin).

82

Métal naturel, brut de laminage.

Profondeur des entailles	Section à fond d'entaille												Section à fond d'entaille												Remarques	
	Limite apparente d'élast. de la courbe			Charge maximum de la courbe			Allongement			Travail dépendé			Charge réelle de rupture													
	totale	par min ² de la section à fond d'entaille	par min ² de la section hors entaille	totale	par min ² de la section à fond d'entaille	par min ² de la section hors entaille	totale	par min ² de la charge maximum	0/0	total	0/0 jusqu'à la charge maximum	total	totale	par min ² de la section de striction	S	S	S	S	S	S	S	S	S			
Pas d'entaille.																										
Mm.	Mm ²	Kg.	Kg.	Kg.	Kg.	Kg.	Kg.	Kg.	Kg.	0/0	Mm.	Mm.	Kgm.	Kgm.	Kgm.	Kg.	Kg.	Kg.	Kg.	Kg.	Kg.	Kg.	Kg.	Kg.		
0	295	8.050	»	24 4	12.700	»	38 5	19 0	23 8	16 0	35 0	220 0	192 0	412 0	0 72	8.700	108 0									
Entailles à la scie de 1 mm.																										
1	295	8.400	27 5	24 5	12.400	42 9	37 6	14 5	18 2	4 2	18 7	161 0	50 0	211 0	0 43	10.400	74 2									
2	260	7.900	30 4	23 9	11.900	45 8	36 4	10 5	13 4	3 5	14 0	109 0	40 5	149 5	0 33	10.300	70 8									
3	220	8.200	37 3	24 8	10.300	46 9	34 3	5 0	6 2	1 5	6 5	47 0	44 8	61 8	0 39	9.500	77 0									
4	185	8.400	43 8	24 5	9.450	51 0	28 6	5 0	6 2	1 5	6 5	42 0	13 8	55 8	0 45	8.800	93 0									
5	147	8.300	56 5	25 2	8.400	67 4	25 5	4 5	5 6	4 1	5 6	35 0	8 3	43 3	0 39	7.900	94 5									
Entailles à la fraise aigue de 60°.																										
1	295	8.400	28 5	25 5	12.550	39 2	38 0	15 0	18 7	3 5	18 5	167 0	43 0	210 0	0 37	11.300	68 2									
2	260	8.000	30 8	24 3	11.600	40 7	35 2	9 0	11 3	2 0	11 0	91 0	22 7	143 7	0 39	10.400	76 5									
3	220	8.400	38 2	25 5	10.500	47 8	32 0	7 5	9 4	4 6	17 4	69 0	16 3	85 3	0 33	9.500	74 0									
4	185	8.400	42 3	25 5	9.300	50 3	28 2	4 5	5 6	4 2	10 4	39 0	11 0	50 0	0 33	8.700	77 5									
5	147	7.700	52 5	23 4	7.850	53 5	23 8	0 5	0 6	0 5	4 0	3 9	3 9	7 8	0 32	7.400	78 5									
Entailles au tour.																										
Diam.																										
17	226	7.900	35 0	24 0	11.650	51 8	35 5	9 0	11 2	3 5	12 5	91 0	37 0	128 0	0 32	9.250	76 0									
16	201	7.700	38 2	23 4	10.700	53 3	32 5	8 0	10 0	4 3	9 5	73 0	15 7	88 7	0 25	10.200	72 5									
15	176	8.400	47 7	23 5	10.000	57 0	30 3	5 5	6 9	4 3	7 0	51 0	14 0	65 0	0 25	8.500	75 0									
14	153	8.400	53 4	24 5	9.300	60 8	28 3	4 5	5 6	4 0	5 5	39 0	9 10	48 0	0 21	9.000	74 5									
Entailles au foret.																										
Diam.	2	295	8.200	27 8	24 8	12.600	42 8	38 3	15 0	18 8	2 5	17 5	149 0	30 5	179 5	0 44	11.600	77 0								
3	276	8.000	29 0	24 3	12.100	43 9	36 7	12 0	15 0	2 0	14 0	135 0	24 0	159 0	0 45	11.600	81 0									
4	260	8.500	32 7	23 7	11.400	43 8	34 5	10 5	13 4	2 0	12 5	103 0	22 3	123 0	0 45	10.900	80 5									
5	240	8.500	33 5	25 7	10.700	44 6	32 5	6 7	8 4	2 0	8 7	64 0	20 8	84 8	0 50	10.100	88 5									
6	220	8.550	39 0	25 9	10.000	45 5	30 3	7 0	8 7	4 0	8 0	62 5	9 8	72 3	0 47	9.700	86 0									
7	204	8.500	44 8	25 7	9.300	45 5	28 2	6 0	7 5	4 2	7 2	53 5	10 9	64 4	0 47	8.900	87 0									
8	185	8.400	43 5	23 5	8.400	45 5	25 5	3 5	4 4	0 7	4 2	26 0	5 8	31 8	0 47	8.100	86 0									
9	165	7.000	42 5	21 8	7.000	42 5	21 2	3 5	4 4	1 3	5 0	22 5	10 2	32 7	0 54	6.600	92 5									
10	147	6.700	43 5	20 3	6.700	45 5	20 4	3 0	3 7	1 0	4 0	17 0	6 6	23 6	0 54	6.500	100 0									
12	110	5.400	46 5	45 5	5.400	46 5	45 5	2 0	2 5	1 2	3 2	9 0	5 5	44 5	0 46	4.400	85 0									

TABLE IV (suite). — ESSAIS A LA TRACTION DE BARREAUX ENTAILLÉS OU NON
(Acier doux. — Provenance DJ, Denain et Anzin).

Métal trempé au rouge cerise clair dans l'eau ordinaire à 20°.

Profondeur des entailles	Charge maximum de la courbe												Allongement				Travail dépensé				Remarques	
	Section à fond d'entaille			total			par moins de la section à fond d'entaille			total			par moins de la section à fond d'entaille			total			Stric-			
																			$S-s$	S		
Pas d'entaille.																						
Mm.	Mm.	Kg.	Kg.	Kg.	Kg.	Kg.	Kg.	Kg.	Kg.	0/0	Mm.	Mm.	Kgm.	Kgm.	Kgm.	Kgm.	Kg.	Kg.				
0	330	10,600	»	32 2	16,600	»	50 3	10 7	13 4		9 0	19 7	161 0	138 0	299 0	0 74	41,700	123 0				
Entailles à la scie de 1 mm.																						
1	295	11,000	37 4	33 4	16,000	54 2	48 5	6 0	7 5	?	?	88 0	?	?	?	?	11,200	»				
2	260	10,800	41 5	32 7	14,200	54 7	43 0	0 5	4 4	4 0	4 5	46 0	44 0	60 0	0 48	14,100	64 5					
3	220	9,800	44 5	29 7	13,300	60 5	40 4	3 5	4 4	2 7	6 2	41 0	35 0	76 0	0 42	11,900	106 0					
4	185	»	»	»	13,400	72 5	40 6	»	»	»	»	très faible	»	»	»	»						
5	147	9,800	67 0	29 7	10,500	71 5	31 8	4 0	4 5	4 7	2 7	40 2	17 6	27 8	0 46	10,200	85 0					
Entailles à la fraise aigüe de 60°.																						
1	295	11,000	37 4	33 4	14,400	48 8	43 7	12 0	45 0	5 5	17 5	158 0	75 0	233 0	0 44	14,500	88 0					
2	260	11,000	42 3	33 4	13,400	55 8	40 6	6 5	8 1	3 0	9 5	80 0	38 0	418 0	0 50	10,400	103 0					
3	220	10,700	48 5	32 5	12,300	56 0	37 4	5 0	6 2	2 5	7 5	57 0	28 5	85 5	0 57	10,700	107 0					
4	185	10,600	57 3	52 2	11,100	60 0	33 7	4 0	5 0	1 2	5 2	40 5	13 0	53 5	0 35	10,400	93 0					
5	147	9,500	64 8	28 8	9,500	64 8	28 8	2 0	4 0	2 0	4 5	22 3	20 0	42 3	»	8,900	»					
Entailles au tour.																						
Diam.																						
17	226	9,800	43 3	29 7	14,200	63 0	43 1	6 0	7 5	5 0	11 0	74 0	68 0	142 0	0 37	12,000	99 0					
16	201	9,900	49 2	30 0	13,500	67 5	41 0	5 0	6 2	2 7	5 0	60 0	»	60 0	0 27	13,500	92 0					
15	176	9,800	55 7	29 7	12,800	72 7	38 8	4 5	5 6	2 0	6 5	51 0	24 5	73 5	»	11,800	73 0					
14	133	9,800	64 0	29 7	11,800	77 2	35 7	3 0	3 7	1 0	4 0	32 7	41 5	44 2	0 41	11,300	87 0					
Entailles au foret.																						
Diam.																						
2	295	10,800	36 6	32 7	13,900	47 2	42 2	10 0	12 5	3 0	43 0	128 0	44 0	169 0	0 55	12,600	100 0					
3	296	10,700	38 9	32 4	13,200	47 8	40 0	8 5	10 6	1 5	40 0	103 0	19 7	122 7	0 49	12,700	94 0					
4	260	10,700	41 3	32 4	12,500	48 2	38 0	6 5	8 1	3 0	9 5	75 0	37 0	112 0	0 50	11,400	97 0					
5	240	10,800	45 0	32 7	12,000	50 0	36 5	5 0	6 2	1 5	6 5	57 5	47 6	75 1	0 49	11,100	97 0					
6	220	10,500	47 8	31 8	11,000	50 0	33 5	5 5	6 9	1 5	7 0	59 0	46 0	75 0	0 45	10,400	92 0					
7	204	7,500	36 8	22 7	9,850	48 3	30 0	3 5	4 4	1 7	5 2	32 0	16 0	48 0	0 48	9,000	92 0					
8	185	9,000	48 5	27 3	9,300	50 3	28 3	1 5	1 8	1 5	3 0	43 7	13 6	27 3	0 45	8,800	92 0					
9	165	8,300	50 3	25 2	8,700	52 8	26 4	1 0	1 2	1 5	2 5	8 5	12 5	21 0	0 48	7,900	101 0					
10	147	7,400	48 3	21 5	7,400	50 5	24 5	2 0	2 4	3 0	5 0	44 5	21 0	35 5	0 50	6,300	100 0					
12	110	5,700	52 0	17 3	6,500	59 0	19 7	2 5	3 4	2 5	5 0	41 5	17 0	28 0	0 44	5,500	105 0					

On a trempé ces barreaux en faisant 2 fourrees, la trompe n'a pas été effectuée rigoureusement aux mêmes températures dans un cas comme dans l'autre d'où les écarts plus grands dans ces résultats que dans ceux du métal naturel.

TABLE V. — ESSAIS DE TRACTION DE BARREAUX ENTAILLÉS OU NON
(Acier extra-doux. — Provenance DR, Denain et Anzin).

Métal naturel, brut de laminage.

Profondeur des entailles	Section à fond d'entaille	Limites apparentes d'élast. de la courbure			Charge maximum de la courbure			Allongement			Travail en kilogrammètres			Charge réelle de rupture			Stric- tion $S-s$ S	Remarques		
		totale			totale			totale			totale			totale						
		par mm ² de la section à fond d'entaille	par mm ² de la section hors entaille	par mm ² de la section hors entaille	par mm ² de la section à fond d'entaille	par mm ² de la section hors entaille	par mm ² de la section hors entaille	par mm ² de la section à fond d'entaille	par mm ² de la section hors entaille	par mm ² de la section hors entaille	par mm ² de la section à fond d'entaille	par mm ² de la section hors entaille	par mm ² de la section hors entaille	par mm ² de la section à fond d'entaille	par mm ² de la section hors entaille	par mm ² de la section hors entaille				
Pas d'entaille.																				
Mm.	Mm ²	Kg.	Kg.	Kg.	Kg.	Kg.	Kg.	Kg.	Kg.	Kg.	Mm.	Mm.	Kgm.	Kgm.	Kgm.	Kgm.	Kg.	Kg.		
0	330	7.500	22 7	11.300	»	35 8	20 0	25 0	18 0	38 0	210 0	205 0	415 0	0 75	8.400	100 0				
Entailles à la scie de 4 mm.																				
1	295	7.600	25 7	23 0	11.400	35 4	34 3	18 0	22 5	7 5	25 5	190 0	83 0	273 0	0 47	8.500	66 0			
2	260	7.300	28 6	22 1	10.900	42 0	33 0	12 0	15 0	3 5	45 5	125 0	36 5	161 5	0 41	8.800	71 0			
3	220	7.200	32 7	21 9	10.500	47 8	31 9	10 5	13 1	2 5	13 0	98 0	24 5	122 5	0 36	8.800	73 0			
4	185	7.600	41 4	23 0	9.000	48 7	27 3	5 5	6 9	3 0	8 5	44 5	25 5	70 0	0 44	8.100	89 0			
5	147	7.600	52 0	23 0	7.800	53 2	23 7	6 0?	7 5?	1 5	7 5	41 0	11 4	32 4	0 37	7.400	84 0			
Entailles à la fraise aiguë de 60°.																				
1	295	7.900	27 0	24 0	11.600	39 5	35 2	15 0	18 8	6 0	21 0	156 0	67 0	223 0	0 45	9.100	69 5			
2	260	7.500	28 8	22 7	11.000	42 5	33 3	9 5	11 9	5 5	45 0	90 0	58 0	148 0	0 42	8.900	72 5			
3	220	7.100	32 3	21 5	10.100	45 0	30 5	8 0	10 0	2 7	10 7	70 0	23 0	93 0	0 37	8.800	73 5			
4	185	7.300	39 5	22 1	9.000	48 5	27 3	7 0	8 7	2 0	9 0	56 0	17 0	73 0	0 39	8.100	89 0			
5	147	7.600	51 7	23 0	7.600	51 5	23 0	4 2	5 2	1 0	5 2	24 3	7 4	31 7	0 33	7.200	77 5			
Entailles au tour.																				
Diam.																				
17	226	7.400	32 7	22 1	11.100	48 5	33 4	11 5	14 4	5 0	16 5	109 0	53 5	162 5	0 46	8.400	90 5			
16	201	7.200	35 7	21 9	10.700	53 3	32 5	9 5	11 9	3 5	13 0	65 0	34 0	99 0	0 29	8.400	75 0			
15	176	7.500	42 6	22 7	10.400	59 2	31 5	5 0	6 2	2 0	7 0	45 0	20 5	65 5	0 25	9.800	79 0			
14	133	7.500	49 4	22 7	10.400	66 0	30 7	7 0	8 7	3 5	10 5	62 5	34 0	96 5	0 14	8.000	77 0			
Entailles au foret.																				
Diam.																				
2	295	7.800	25 5	23 7	11.700	39 7	35 5	16 5	20 6	2 0	18 5	173 0	24 0	197 0	0 50	10.900	78 5			
3	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»			
4	260	7.700	29 6	23 3	10.700	44 2	32 5	9 5	11 9	2 0	11 5	95 0	20 5	113 5	0 46	10.100	76 5			
5	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»			
6	220	7.500	34 0	22 7	9.300	42 3	28 2	7 0	8 7	6 7	9 0	58 0	18 0	76 0	0 58	8.900	101 0			
7	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»			
8	185	7.300	39 5	22 1	7.300	39 5	22 4	4 7	5 9	2 0	6 7	28 0	14 0	42 0	0 59	6.900	98 8			
9	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»			
10	147	6.200	42 2	18 8	6.200	42 0	18 8	4 5	5 6	1 2	5 7	22 5	7 5	30 0	0 63	5.800	117 0			
12	110	4.750	42 3	14 4	4.750	42 3	14 4	5 0	6 25	2 0	7 0	45 5	9 0	24 5	0 67	4.400	122 0			

DANS LE CAS DES MÉTAUX FERREUX

TABLE V (suite). — ESSAIS DE TRACTION DE BARREAUX ENTAILLÉS OU NON
(Acier extra-doux. — Provenance DR, Denain et Anzin).

Métal trempé au rouge cerise clair dans l'eau à 20°.

Profondeur à fond d'entaille	Section à fond d'entaille	Limite apparente d'élast. de la courbe				Charge maximum de la courbe				Allongement				Travail en kilogrammètres				Charge réelle de rupture		Remarques		
		total		par min ² de la section à fond d'entaille		par min ² de la section hors entaille		total		par min ² de la section à fond d'entaille		par min ² de la section hors entaille		total		jusqu'au maximum de la courbe		après le maximum de la courbe				
		Mm.	Mm ²	Kg.	Kg.	Kg.	Kg.	0/0	Mm.	Mm.	Kgm.	Kgm.	Kgm.	Kgm.	total	par min ² de section	de stric-	S—s	total	par min ² de section		
Pas d'entaille.																						
Mm.	Mm ²	Kg.	Kg.	Kg.	Kg.	Kg.	Kg.	0/0	Mm.	Mm.	Kgm.	Kgm.	Kgm.	Kgm.	total							
0	330	10,300	»	31 3	15,400	»	46 7	15 0	48 8	15 0	212 0	213 0	425 0	0 72	10,200	112 5						
Entailles à la scie de 1 mm.																						
1	295	10,300	35 0	34 3	14,700	50 0	45 5	41 0	13 8	5 5	16 5	142 0	75 0	247 0	0 49	10,100	98 0					
2	260	9,900	38 0	30 0	14,600	56 2	44 3	7 5	9 4	3 5	11 0	102 0	49 0	151 0	0 38	12,600	90 5					
3	220	10,400	46 0	30 6	14,600	52 8	35 2	5 0	6 2	3 2	8 2	55 0	31 0	86 0	0 45	9,900	97 0					
4	185	10,000	54 5	30 3	10,600	37 5	32 2	4 0	5 0	3 0	7 0	40 0	30 5	70 5	0 44	9,800	98 0					
5	147	9,700	56 4	29 5	9,700	56 4	29 5	4 5	5 6	2 0	6 5	39 0	48 0	57 0	0 31	8,900	96 0					
Entailles à la fraise aiguë de 60°.																						
1	295	10,200	34 6	31 0	15,200	51 6	46 4	41 0	13 8	4 7	15 7	154 0	69 0	223 0	0 36	12,700	80 5					
2	260	10,400	40 0	31 3	14,300	55 0	43 4	6 5	8 4	2 5	9 0	84 0	34 0	418 0	0 30	12,400	78 8					
3	220	10,000	45 5	30 3	13,000	39 2	39 5	4 0	5 0	2 0	6 0	48 5	25 0	73 5	0 30	11,800	84 0					
4	185	9,700	52 2	29 4	11,200	60 8	34 0	3 2	4 0	1 0	4 2	33 5	10 5	44 0	0 34	10,100	85 0					
5	147	9,400	63 0	28 5	9,850	67 4	29 8	4 5	1 8	0 8	2 3	14 4	7 7	22 4	0 24	9,500	88 0					
Entailles au tour.																						
Diam.	226	10,400	46 0	31 5	13,600	60 2	44 3	8 5	10 6	5 0	13 5	105 0	65 0	170 0	0 56	10,100	120 0					
16	204	10,000	49 5	30 3	12,100	60 3	36 7	9 0	11 2	3 2	12 2	98 0	37 5	133 5	0 34	11,400	92 0					
15	176	9,400	55 7	28 5	11,400	65 0	34 6	4 5	5 6	3 5	8 0	48 0	38 0	86 0	0 35	9,800	101 0					
14	153	10,100	66 1	30 6	10,900	71 3	33 4	5 0	6 2	2 5	7 5	50 0	26 0	76 0	0 20	9,800	89 0					
Entailles au foret.																						
Diam.	295	9,850	33 4	29 8	15,000	51 0	45 5	10 0	12 5	3 5	51 5	187 5	13 5	136 0	0 46	13,600	95 0					
3	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	
4	260	9,800	37 7	29 7	14,300	53 0	43 4	7 0	8 7	2 0	28 0	117 0	9 0	89 0	0 46	13,600	102 0					
5	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	
6	220	9,800	44 5	29 8	11,700	53 2	35 6	4 0	5 0	1 8	21 0	64 5	5 8	43 5	0 49	11,100	104 0					
7	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	
8	185	9,600	52 0	29 2	9,600	52 0	29 2	2 0	2 5	1 0	9 2	27 6	3 0	48 6	0 48	8,850	102 0					
9	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	
10	147	9,400	62 0	27 5	9,100	62 0	27 5	3 0	3 7	»	»	25 2	3 0	25 2	0 46	9,000	115 0					
12	110	8,500	59 2	19 7	6,500	59 2	19 7	4 0	4 2	»	»	6 3	4 0	6 3	0 49	6,500	116 0					

TABLE VI. — ESSAIS DE TRACTION DE BARREAU ENTAILLÉS OU NON
(Acier extra-doux. — Provenance Assailly).

Métal naturel, brut de lamination.

Profondeur des entailles		Section à fond d'entaille		Limites apparentes d'élast. de la courbe		Charge maximum de la courbe		Allongement		Travail en kilogrammètres		Charge réelle de rupture		Stric-		Remarques		
		totale	par min ² de la section à fond d'entaille	par min ² de la section hors entaille	totale	par min ² de la section à fond d'entaille	par min ² de la section hors entaille	total jusqu'au maximum de la courbe	0/0 jusqu'au maximum de la courbe	après le maximum de la courbe	total	jusqu'au maximum de la courbe	après le maximum de la courbe	total	S-s	S	totale	par min ² de la section de striction
Pas d'entaille.																		
Mm.	Mm ²	Kg.	Kg.	Kg.	Kg.	Kg.	Kg.	0/0	Mm.	Mm.	Kgm.	Kgm.	Kgm.					
4	330	8.000	27 0	24 3	11.600	39 5	35 2	14 0	18 2	5 0	19 0	130 0	39 0	169 0	0 51	9.000	63 0	
Entailles à la scie de 4 mm.																		
1	295	8.000	27 0	24 3	11.600	39 5	35 2	14 0	18 2	5 0	19 0	130 0	39 0	169 0	0 45	8.800	60 5	
2	260	8.000	30 8	24 3	11.000	42 3	33 4	9 0	11 7	4 0	13 0	89 0	32 5	121 5	0 41	7.900	61 0	
3	220	7.900	36 0	24 2	9.900	45 0	30 0	6 0	7 8	2 5	8 5	58 0	22 5	80 3	0 41	7.900	60 5	
4	185	8.000	43 4	24 3	8.400	44 8	25 5	5 0	6 5	2 5	7 5	33 0	17 5	50 5	0 33	7.400	60 0	
5	147	6.400	43 5	15 7	7.400	50 0	22 5	4 5	4 9	1 5	3 0	14 0	4 0	18 0	0 46	6.900	87 5	
Entailles à la fraise aiguë de 60°.																		
1	295	7.900	26 7	24 0	11.600	39 4	35 2	17 0	21 2	4 0	21 0	175 0	45 0	220 0	0 41	9.600	54 9	
2	260	8.050	31 0	24 4	10.900	42 0	33 0	10 5	13 1	3 0	13 5	93 0	31 5	124 5	0 41	9.000	62 5	
3	220	8.000	36 5	24 2	10.000	45 5	30 4	7 0	8 8	2 7	9 7	64 5	23 0	89 5	0 41	7.900	60 8	
4	185	7.800	42 2	23 6	8.900	48 1	27 0	6 0	7 5	2 5	8 5	48 0	21 3	69 3	0 39	7.600	68 0	
5	147	»	»	»	7.700	52 5	28 4	3 0	3 7	1 7	4 7	21 3	12 5	33 8	0 36	6.800	72 5	
Entailles au tour.																		
Diam.																		
17	226	8.200	36 2	24 9	41.000	48 6	33 9	44 5	44 4	5 0	16 5	110 0	48 0	158 0	0 41	8.600	65 2	
16	201	8.200	40 7	24 9	40.500	52 1	31 8	40 0	12 5	3 5	13 5	94 0	34 5	128 5	0 37	8.500	67 5	
15	176	8.300	47 3	25 2	9.900	56 0	30 0	7 5	9 4	3 0	10 5	66 5	26 5	93 0	0 31	7.400	66 6	
14	153	8.300	54 2	25 2	9.200	60 0	27 9	5 5	6 8	2 5	8 0	47 0	21 0	68 0	0 27	7.400	68 0	
Entailles au foret.																		
Diam.																		
2	295	8.300	28 2	25 2	11.500	39 4	34 9	17 3	21 9	3 5	21 0	150 0	29 5	179 5	0 57	9.200	72 5	
3	276	8.300	29 7	25 2	10.900	39 5	33 4	9 0	11 2	3 3	12 0	105 0	20 8	143 8	0 59	8.800	77 8	
4	260	8.200	31 5	24 9	10.500	40 4	31 8	8 5	10 0	2 0	10 5	70 0	25 5	95 5	0 52	8.300	67 0	
5	240	8.400	35 0	25 5	10.300	43 0	31 3	7 0	8 75	4 2	8 2	50 5	48 0	68 5	0 54	7.800	70 4	
6	220	8.300	37 7	25 2	9.200	42 0	27 9	5 0	6 25	2 2	7 2	42 0	19 6	61 6	0 55	7.600	77 7	
7	204	7.900	38 8	24 0	8.400	40 6	25 5	5 0	6 25	2 0	7 0	20 5	45 8	36 3	0 57	7.600	86 5	
8	185	7.600	41 0	23 0	7.700	41 5	23 3	3 0	3 75	2 0	5 0	11 0	44 6	25 6	0 60	6.800	92 0	
9	165	6.500	39 5	19 7	6.900	41 7	20 9	2 0	2 5	2 0	4 0	13 2	41 8	26 0	0 58	5.300	81 0	
10	147	6.200	42 2	18 8	6.200	42 2	18 8	1 2	1 5	1 5	4 7	7 4	8 8	46 2	0 62	5.000	89 5	
12	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	

Pour tous les barreaux la longueur de mesure n'a été que de 77 mm.

Longueur de mesure = 80 mm.

TABLE VI (suite). — ESSAIS DE TRACTION DE BARREAUX ENTAILLÉS OU NON
(Acié extra-doux. — Provenance Assailly).

Métal trempé au rouge cerise clair dans l'eau à 20°.

Profondeur des entailles	Limites apparentes d'élast. de la courbe												Charge maximum de la courbe			Allongement			Travail en kilogrammètres			Charge réelle de rupture			Remarques
	Section à fond d'entaille			total			par min ² de la section à fond d'entaille			total			total			total			jusqu'au maximum de la courbe			total			
	total	par min ² de la section hors entaille	par min ² de la section hors entaille	total	par min ² de la section hors entaille	par min ² de la section hors entaille	total	par min ² de la section hors entaille	par min ² de la section hors entaille	total	0/0 jusqu'au maximum de la courbe	0/0 jusqu'au maximum de la courbe	total	après le maximum de la courbe	après le maximum de la courbe	total	Stric-tion S—s	S	total	pour min ² de section de striction					
Pas d'entaille.																									
Entailles à la scie de 1 mm.																									
1	295	9.600	32 5	29 4	14.500	49 4	44 0	11 5	14 9	3 5	15 0	453 0	55 0	208 0	»	11.600	»	?	?	?	9.400	46 5			
2	260	9.800	37 6	29 7	13.600	52 3	44 3	5 5	7 4	3 0	8 5	71 0	43 5	144 5	0 25	9.400	46 5								
3	220	10.300	47 0	31 4	12.700	57 8	38 5	5 0	6 5	2 7	7 7	55 0	35 0	90 0	0 54	10.300	72 0								
4	185	8.700	47 0	26 4	11.400	59 5	33 6	3 2	4 45	2 2	5 4	36 0	22 0	58 0	0 34	10.400	83 0								
5	147	8.500	58 0	25 7	9.200	62 5	27 9	1 0	4 3	1 0	2 0	6 0	10 0	16 0	0 34	9.400	94 0								
Entailles à la fraise aigue de 60°.																									
1	295	9.700	32 9	29 4	14.800	50 0	44 9	10 5	13 1	5 0	15 5	140 0	70 0	210 0	0 49	11.800	78 8								
2	260	9.600	37 0	29 4	13.700	52 7	44 6	6 7	8 4	3 5	10 2	82 0	50 0	132 0	0 46	11.050	79 0								
3	220	9.750	44 4	29 5	12.800	58 2	38 8	5 0	6 2	3 5	8 5	61 0	44 0	105 0	0 35	10.600	70 0								
4	185	8.500	46 0	25 8	11.200	60 4	34 0	4 0	5 0	2 0	6 0	42 0	21 2	63 2	0 33	9.800	79 5								
5	147	8.000	54 5	24 2	9.300	63 3	28 2	2 0	2 5	2 0	4 0	18 0	18 0	36 0	0 42	8.400	100 5								
Entailles au tour.																									
Diam.	17	226	9.500	42 0	28 8	13.700	60 8	41 0	7 5	9 4	3 2	10 7	92 0	41 5	134 0	0 36	11.600	81 2							
	16	204	9.900	49 1	30 0	13.000	64 5	49 5	5 5	6 8	2 7	8 2	60 0	33 0	93 0	0 32	10.800	79 9							
	15	176	9.700	55 1	29 4	12.400	68 8	36 7	5 0	6 2	3 0	8 0	56 2	34 0	90 2	0 22	10.600	78 0							
	14	153	10.200	67 0	31 0	11.800	77 2	35 7	3 5	4 3	4 5	5 0	29 0	17 0	56 0	0 26	10.600	94 0							
Entailles au foret.																									
Diam.	2	295	9.500	32 2	28 7	14.000	47 5	42 5	9 5	11 9	2 5	12 0	425 0	34 0	159 0	»	11.800	»							
	3	276	9.700	35 1	29 4	14.200	51 4	43 0	7 5	9 4	2 5	10 0	94 0	33 5	127 5	0 57	12.500	105 0							
	4	260	9.800	37 7	29 8	12.500	48 0	38 0	5 0	6 2	3 0	8 0	62 0	34 5	96 5	0 52	10.600	102 0							
	5	240	9.800	40 8	29 8	11.700	49 0	35 5	3 5	4 4	2 4	5 9	43 6	27 0	70 0	0 58	10.500	104 0							
	6	220	9.700	44 0	29 5	11.600	52 7	35 2	3 0	3 7	2 5	5 5	33 8	27 5	60 8	0 63	10.400	127 0							
	7	204	9.400	46 0	28 6	10.800	53 0	32 8	2 5	3 1	2 2	4 7	25 0	23 0	48 0	0 64	9.700	131 0							
	8	185	7.600	41 0	23 0	9.200	50 0	27 9	3 5	4 4	1 8	5 3	29 5	16 2	45 7	0 66	8.650	137 5							
	9	165	7.400	45 0	22 4	8.700	52 5	26 4	2 0	2 5	1 5	3 5	16 2	12 6	28 8	0 63	8.100	133 0							
	10	147	6.500	44 4	19 7	7.800	54 0	23 6	1 5	1 9	2 0	3 5	11 2	15 0	26 2	0 50	7.200	113 0							
	12	110	5.000	45 5	45 4	5.900	53 7	17 9	1 7	2 2	1 0	2 7	»	»	»	»	»	»							

Longueur de mesure = 77 mm.

Longueur de mesure = 80 mm.

Rompu hors entaille.

TABLE VII. — ESSAIS COMPARATIFS DE TRACTION DE BARREAU ENTAILLÉS OU NON

(11 qualités de fer fabriqués par M. G. Chehet à Athis-Mons).

3 qualités d'acier électriques de Froges.

La longueur de mesure pour l'allongement a été de 80 mm. pour toutes les éprouvettes de fer et d'acier.

N ^o des fers	Profondeur des entailles et écart	Section à fond d'entaille	Limite apparente d'élast. de la courbe				Charge maximum de la courbe				Allongement				Travail en kilogrammètres				Charge réelle de rupture							
			total		par min ² de la section		à fond d'entaille		total		par min ² de la section		à fond d'entaille		total		jusqu'au maximum de la courbe		après le maximum de la courbe		total		Stric-	s		
			Mm.	Mm ²	Kg.	Kg.	Mm.	Kg.	Mm.	Mm ²	Kg.	Kg.	Mm.	Kg.	Mm.	Kg.	Mm.	Kg.	Mm.	Kg.	Mm.	Kg.	S—s	s		
4	Scie	Tour	0	330	7,600	»	24 4	41,400	»	34 6	18 5	10 0	28 5	192 0	412 0	304 0	0 50	10,200	66 2							
			1	295	7,200	24 4	21 8	10,800	36 6	32 7	41 5	4 25	12 75	108 0	13 2	121 2	0 28	10,300	48 7							
			2	260	7,400	28 3	22 4	10,100	38 9	30 7	8 5	0 7	9 2	75 0	7 0	82 0	0 27	9,800	51 8							
			4	185	7,400	40 0	22 4	7,400	40 0	22 4	2 0	0 7	2 7	12 4	5 4	17 5	0 16	7,300	46 7							
	Tour	D=16	201	7,500	37 3	22 7	8,800	43 9	25 7	5 5	» 2	5 5	42 5	0 0	42 5	0 12	8,800	50 0								
			44	453	7,200	47 2	21 8	7,260	47 2	21 8	4 5	0 5	2 0	9 2	3 6	12 8	0 02	7,400	45 8							
			0	330	8,700	»	26 4	12,200	»	37 7	7 0	4 25	8 25	75 5	14 6	90 1	0 20	11,900	45 5							
			1	295	8,700	29 5	26 4	11,700	39 7	38 5	8 7	1 0	9 7	90 0	11 6	101 6	0 21	11,500	49 5							
4	Scie	Tour	2	260	8,650	33 3	26 3	10,000	38 5	30 3	3 5	1 0	4 5	31 5	9 8	41 3	0 16	9,600	44 4							
			4	185	7,300	39 5	22 2	7,300	39 5	22 2	1 0	»	1 0	6 4	»	6 4	0 23	7,300	48 7							
			16	201	8,400	44 7	25 5	8,900	44 3	27 0	3 0	0 5	3 5	26 0	4 5	30 5	0 02	8,800	44 5							
			44	453	7,600	49 7	23 0	7,600	49 7	23 0	1 5	»	1 5	10 0	»	10 0	0 015	7,500	50 0							
	Tour	Scie	0	330	7,700	»	23 4	11,650	»	35 4	18 0	42 0	30 0	190 0	134 0	324 0	0 51	10,000	66 0							
			1	295	7,600	25 7	23 0	10,400	35 3	31 5	7 5	2 5	10 0	70 0	24 0	94 0	0 30	8,900	43 5							
			2	260	7,700	29 6	23 4	10,100	39 0	31 6	7 0	1 5	8 5	64 0	14 7	78 7	0 26	9,500	49 2							
			4	185	7,300	36 7	22 2	7,300	39 5	22 2	1 0	0 5	1 5	7 5	3 5	40 5	0 24	7,250	51 9							
4	Tour	Scie	16	201	7,800	38 8	23 6	8,600	42 8	26 0	3 0	1 25	4 25	24 5	10 4	34 9	0 02	7,800	40 0							
			14	453	6,800	44 5	20 6	6,700	43 8	20 3	0 7	0 5	1 2	4 6	3 3	7 9	0 01	6,500	43 5							
			0	330	7,900	»	24 0	14,800	»	35 8	17 0	10 0	27 0	180 0	116 0	296 0	0 43	10,900	38 0							
			1	295	7,600	25 8	23 0	14,100	37 7	33 7	9 0	2 75	11 75	84 5	3 0	84 5	0 30	10,400	49 5							
	Tour	Scie	2	260	8,000	30 8	24 3	10,100	38 8	31 6	5 0	1 5	6 5	58 6	14 6	58 6	0 27	9,350	49 5							
			4	185	7,700	41 6	23 4	7,800	42 2	23 6	1 5	1 5	3 0	22 4	11 5	22 4	0 21	7,000	47 4							
			16	201	8,000	39 7	24 3	8,500	42 2	25 7	3 0	0 7	3 7	28 9	5 7	28 9	0 44	7,700	43 8							
			44	453	6,800	44 5	20 6	6,800	44 5	20 6	2 0	1 25	3 25	21 3	8 3	21 3	0 04	6,400	44 0							
5	Scie	Tour	0	330	8,400	»	25 5	12,400	»	37 6	19 5	14 0	33 5	216 0	166 0	382 0	0 56	10,000	69 5							
			1	295	8,200	27 8	24 8	11,700	39 7	35 5	12 0	4 0	16 0	124 0	43 5	167 5	0 37	9,300	47 5							
			2	260	8,400	32 3	25 5	11,000	42 4	33 3	8 0	2 7	10 7	77 0	28 0	405 0	0 33	9,700	56 0							
			4	185	8,500	46 0	25 7	8,950	48 4	27 4	4 2	2 0	6 2	34 3	17 4	31 9	0 45	8,400	53 5							
	Tour	Scie	16	201	7,900	39 3	24 0	9,300	46 2	28 2	4 5	2 2	6 7	39 0	18 4	37 4	0 42	7,400	42 0							
			14	453	7,700	50 5	23 4	7,700	50 5	23 3	2 0	1 5	3 5	13 2	10 9	24 4	0 04	6,800	44 4							
			0	330	8,200	»	24 8	12,100	»	36 7	17 0	13 0	30 0	186 0	148 0	334 0	0 62	9,600	78 0							
			1	295	8,200	27 8	24 8	11,500	39 0	35 0	11 5	5 5	17 0	116 0	60 0	476 0	0 59	9,100	68 0							
6	Scie	Tour	2	260	8,100	31 2	24 5	11,000	42 3	33 3	9 0	4 0	13 0	68 0	42 0	410 0	0 47	9,400	68 2							
			4	185	8,000	43 3	24 3	9,000	48 7	27 3	4 7	1 25	5 95	38 0	11 7	49 9	0 30	8,500	65 5							
			16	201	8,300	44 3	25 2	10,000	49 6	30 3	5 0	2 0	7 0	45 5	19 2	64 7	0 25	9,200	53 5							
			44	453	8,300	54 2	25 2	8,300	54 2	25 2	2 5	1 3	4 0	49 2	43 2	31 4	0 02	8,000	51 5							

EFFETS DES SOLlicitations LEVées EN VIVES

DANS LE CAS DES MÉTALLURGIES PERTURBÉES

96

TABLE VII (suite). — ESSAIS COMPARATIFS DE TRACTION DE BARREAUX ENTAILLÉS OU NON

(11 qualités de fer fabriqués par M. G. Chehet à Athis-Mons).

3 qualités d'acières électriques de Frogues.

Tous les barreaux entaillés l'ont été à la scie ou au tour il n'y a pas d'éprouvettes entaillées à la fraise ou au foret.

N ^o des fers	Profondeur des entailles et gare	Charge maximum de la courbe										Allongement			Travail en kilogrammètres			Remarques				
		Section à fond d'entaille		Limité apparente d'élast. de la courbe		Charge maximum de la courbe		Allongement		Travail en kilogrammètres		Charge réelle de rupture			Charge réelle de rupture							
		totale	par min ² de la section à fond d'entaille	totale	par min ² de la section à fond d'entaille	totale	par min ² de la section hors entaille	totale	par min ² de la section de la courbe	totale	Stric- tion S—S s	totale	par min ² de section de la courbe	totale	par min ² de section de la courbe	totale	par min ² de section de la courbe					
7		Mm.	Mm ²	Kg.	Kg.	Kg.	Kg.	Mm.	Mm.	Kgm.	Kgm.		Kg.	Kg.								
		0	330	7.900	»	24 0	11.900	»	36 2	47 5	11 0	28 5	194 0	130 0	324 0	0 40	10.800	55 0				
		4	295	7.900	26 8	24 0	10.500	35 7	31 8	7 5	1 0	8 5	70 5	10 3	80 8	0 25	10.200	46 0				
		2	260	7.700	29 6	23 4	9.900	38 4	30 0	4 0	0 7	4 7	35 2	6 8	42 0	0 48	9.700	46 0				
		4	185	7.200	39 0	21 8	7.200	39 0	21 8	4 5	»	1 5	10 5	»	10 5	0 19	7.200	47 5				
	7	Tour Scie		201	7.700	28 4	23 4	8.300	41 2	25 2	3 5	1 0	4 5	26 3	8 8	35 1	0 25	8.150	41 5			
		D=16	153	5.000	33 6	15 4	7.000	45 7	21 2	»	»	»	»	»	»	0 01	7.000	46 0				
		D=14	153	5.000	33 6	15 4	7.000	45 7	21 2	»	»	»	»	»	»	0 01	7.000	46 0				
8				0	330	7.700	»	23 3	11.400	»	34 6	20 5	12 0	32 5	216 0	132 0	348 0	0 58	9.600	70 0		
				4	295	7.700	26 2	23 3	10.500	35 6	31 8	10 0	3 0	13 0	91 0	28 0	119 0	0 34	8.100	41 8		
				2	260	7.400	28 5	22 4	9.800	37 7	29 7	7 0	2 0	9 0	60 0	48 0	78 0	0 31	8.200	45 8		
				4	185	8.200	44 2	27 8	8.100	43 7	24 5	4 5	1 5	6 0	32 3	14 7	44 0	0 19	7.500	50 0		
				16	201	7.400	36 7	22 4	8.800	43 7	26 7	4 5	0 5	5 0	36 7	4 3	41 0	0 12	8.600	49 0		
				14	153	6.800	44 4	20 6	6.800	44 5	20 6	0 5	0 5	4 0	3 4	3 3	6 7	0 07	6.400	45 0		
9				0	330	9.050	»	27 4	13.050	»	39 6	45 5	2 0	17 5	184 0	26 0	207 0	0 32	12.900	58 2		
				4	295	9.100	30 9	27 6	11.300	38 4	34 3	4 5	»	4 5	45 5	»	45 5	0 42	11.300	43 5		
				2	260	8.800	33 9	26 7	10.100	39 0	30 6	4 0	1 0	4 0	37 5	47 5	10 0	0 14	9.800	44 0		
				4	185	7.300	39 5	22 4	7.300	39 5	22 2	»	»	»	»	infrà à 1 kgm.	0 15	7.300	47 0			
				16	201	8.600	42 7	26 2	8.600	42 7	26 1	»	»	»	—	—	»	8.600	42 6			
				14	153	7.500	49 0	22 7	7.500	49 0	22 7	»	»	»	—	—	»	7.500	49 0			
10				0	330	8.100	»	24 5	12.300	»	37 3	19 0	12 5	31 5	210 0	147 0	357 0	0 56	10.100	68 5		
				4	295	7.900	26 8	24 0	11.500	39 0	35 0	42 0	2 7 5	14 7	123 0	31 0	154 0	0 38	10.250	56 2		
				2	260	7.800	30 0	23 6	10.800	41 6	32 7	7 0	1 2 5	8 2	68 0	43 0	81 0	0 24	10.300	52 7		
				4	185	7.900	42 6	24 0	7.900	42 6	24 0	3 0	1 5	4 5	21 5	13 8	35 3	0 26	7.800	57 0		
				16	201	8.400	41 7	25 5	9.300	46 2	28 2	4 5	1 0	5 5	38 5	9 2	47 7	0 12	9.100	54 8		
				14	153	7.100	46 4	21 5	7.100	46 2	21 3	2 0	2 0	4 0	13 0	13 8	26 8	0 13	6.800	54 5		
11				0	330	8.300	»	26 7	13.950	»	42 3	16 5	9 0	25 5	205 0	122 0	327 0	0 41	12.400	63 7		
				4	295	7.800	26 4	23 6	12.050	40 9	36 7	7 5	2 5	10 0	79 0	28 5	107 5	0 29	10.850	51 8		
				2	260	8.200	31 5	24 8	11.150	42 9	34 2	5 7	1 5	7 2	73 0	16 0	89 0	0 21	10.150	50 0		
				4	185	8.400	45 4	25 5	9.750	52 8	29 6	3 2	0 5	3 7	28 2	4 8	33 0	0 12	9.700	60 0		
				16	201	8.300	41 2	25 2	10.450	52 0	34 7	3 3	0 5	4 0	31 0	5 2	36 2	0 12	10.400	59 4		
				14	153	8.400	85 0	25 5	8.350	54 7	25 2	2 0	0 5	2 5	13 8	4 2	18 0	0 04	8.250	54 0		
				Aciers électriques de Frogues naturels.																		
				329	0—	132	4.900	»	37 2	10.250	»	78 1	10 5	4 5	15 0	91 0	45 0	136 0	0 20	9.800	94 0	
				268	0—	132	6.300	»	47 8	10.900	»	82 6	10 0	8 0	18 0	90 0	80 0	170 0	0 28	10.100	106 0	
				313	0—	132	6.000	»	45 5	14.300	»	86 0	11 5	4 0	15 5	103 0	44 0	147 0	0 21	10.700	103 0	
				Barreaux naturels tournés non entaillés. Longueur de mesure = 145 mm.																		

TABLE VIII. — ESSAIS DE FLEXION SUR DEUX APPUS DE

Métal naturel, brut de laminage.

Préparation des échantillons	Second détailler	Charge maximale	Poids de charge	Poids de charge	Distance de l'appui	Remarques	Barreaux non entaillés, rabotés.					
							Min.	Mm ³	Kg.	Min.	Kg.	Max.
Barreaux entaillés à la scie de 4 mm.												
1	310	2.830	5.700	3.5			45.0			45.0		
2	295	3.300	3.950	4.0			3.6			3.6		
3	276	2.300	5.400	4.6	0		*			*		
4	260	2.050	5.300	4.5	5.250	22.5	69.0	43.5	144.5	2.0	0	
5	276	4.440	3.050	45.5	3.700	27.5	33.5	48.0	104.5			
6	280	4.380	3.470	44.5	3.380	23.5	42.0	30.5	72.5			
7	294	940	1.440	4.0	2.450	34.0	44.0	43.0	77.0			
Barreaux entaillés à la fraise aigüe de 60°.												
1	310	2.835	3.700	4.5			4.7			4.7		
2	295	2.620	3.000	0.5			4.4			4.4		
3	276	2.050	2.650	0.5			4.2			4.2		
4	260	4.930	2.500	0.7			4.5			4.5		
5	240	4.620	4.880	0.7			4.2			4.2		
6	280	4.440	4.700	0.9			4.4			4.4		
7	294	4.150	4.250	0.6			0.7			0.7		

Préparation des échantillons	Second détailler	Charge maximale	Poids de charge	Poids de charge	Distance de l'appui	Remarques	Barreaux non entaillés, rabotés.					
							Min.	Mm ³	Kg.	Min.	Kg.	Max.
Barreaux entaillés à la scie de 4 mm.												
1	310	2.700	6.500	46.5	6.400	29.5	100.0	65.0	165.0	0		
2	310	2.300	5.400	46.0	5.400	23.5	80.0	44.0	120.0			
3	295	2.050	5.300	44.5	5.250	22.5	69.0	43.5	144.5			
4	276	4.440	3.050	45.5	3.700	27.5	33.5	48.0	104.5			
5	280	4.380	3.470	44.5	3.380	23.5	42.0	30.5	72.5			
6	294	940	1.440	4.0	2.450	34.0	44.0	43.0	77.0			
Barreaux entaillés à la scie de 8 mm.												
1	310	2.830	5.700	3.5			45.0			45.0		
2	295	3.300	3.950	4.0			3.6			3.6		
3	276	2.300	5.400	46.0	5.400	23.5	80.0	44.0	120.0	*		
4	260	2.050	5.300	44.5	5.250	22.5	69.0	43.5	144.5	0		
5	276	4.440	3.050	45.5	3.700	27.5	33.5	48.0	104.5			
6	280	4.380	3.470	44.5	3.380	23.5	42.0	30.5	72.5			
7	294	940	1.440	4.0	2.450	34.0	44.0	43.0	77.0			
Barreaux entaillés à la fraise aigüe de 60°.												
1	310	2.835	3.700	4.5			4.7			4.7		
2	295	2.620	3.000	0.5			4.4			4.4		
3	276	2.050	2.650	0.5			4.2			4.2		
4	260	4.930	2.500	0.7			4.5			4.5		
5	240	4.620	4.880	0.7			4.2			4.2		
6	280	4.440	4.700	0.9			4.4			4.4		
7	294	4.150	4.250	0.6			0.7			0.7		

Préparation des échantillons	Second détailler	Charge maximale	Poids de charge	Poids de charge	Distance de l'appui	Remarques	Barreaux non entaillés, rabotés.					
							Min.	Mm ³	Kg.	Min.	Kg.	Max.
Barreaux entaillés à la scie de 4 mm.												
1	310	2.700	6.500	46.5	6.400	29.5	100.0	65.0	165.0	0		
2	310	2.300	5.400	46.0	5.400	23.5	80.0	44.0	120.0			
3	295	2.050	5.300	44.5	5.250	22.5	69.0	43.5	144.5			
4	276	4.440	3.050	45.5	3.700	27.5	33.5	48.0	104.5			
5	280	4.380	3.470	44.5	3.380	23.5	42.0	30.5	72.5			
6	294	940	1.440	4.0	2.450	34.0	44.0	43.0	77.0			
Barreaux entaillés à la scie de 8 mm.												
1	310	2.830	5.700	3.5			45.0			45.0		
2	295	3.300	3.950	4.0			3.6			3.6		
3	276	2.300	5.400	46.0	5.400	23.5	80.0	44.0	120.0	*		
4	260	2.050	5.300	44.5	5.250	22.5	69.0	43.5	144.5	0		
5	276	4.440	3.050	45.5	3.700	27.5	33.5	48.0	104.5			
6	280	4.380	3.470	44.5	3.380	23.5	42.0	30.5	72.5			
7	294	940	1.440	4.0	2.450	34.0	44.0	43.0	77.0			
Barreaux entaillés à la fraise aigüe de 60°.												
1	310	2.835	3.700	4.5			4.7			4.7		
2	295	2.620	3.000	0.5			4.4			4.4		
3	276	2.050	2.650	0.5			4.2			4.2		
4	260	4.930	2.500	0.7			4.5			4.5		
5	240	4.620	4.880	0.7			4.2			4.2		
6	280	4.440	4.700	0.9			4.4			4.4		
7	294	4.150	4.250	0.6			0.7			0.7		

Préparation des échantillons	Second détailler	Charge maximale	Poids de charge	Poids de charge	Distance de l'appui	Remarques	Barreaux non entaillés, rabotés.					
							Min.	Mm ³	Kg.	Min.	Kg.	Max.
Barreaux entaillés à la scie de 4 mm.												
1	310	2.700	6.500	46.5	6.400	29.5	100.0	65.0	165.0	0		
2	310	2.300	5.400	46.0	5.400	23.5	80.0	44.0	120.0			
3	295	2.050	5.300	44.5	5.250	22.5	69.0	43.5	144.5	*		
4	276	4.440	3.050	45.5	3.700	27.5	33.5	48.0	104.5	0		
5	280	4.380	3.470	44.5	3.380	23.5	42.0	30.5	72.5			
6	294	940	1.440	4.0	2.450	34.0	44.0	43.0	77.0			
Barreaux entaillés à la scie de 8 mm.												
1	310	2.830	5.700	3.5			45.0			45.0		
2	295	3.300	3.950	4.0			3.6			3.6		
3	276	2.300	5.400	46.0	5.400	23.5	80.0	44.0	120.0	*		
4	260	2.050	5.300	44.5	5.250	22.5	69.0	43.5	144.5	0		
5	276	4.440	3.050	45.5	3.700	27.5	33.5	48.0	104.5			
6	280	4.380	3.470	44.5	3.380	23.5	42.0	30.5	72.5			
7	294	940	1.440	4.0	2.450	34.0	44.0	43.0	77.0			
Barreaux entaillés à la fraise aigüe de 60°.												
1	310	2.835	3.700	4.5			4.7			4.7		

TABLE VIII (*suite*) — ESSAIS DE FLEXION SUR DEUX APPUIS DE

LE VIII (suite) — ESSAIS DE FLEXION SUR DEUX APPUIS DE

DISTANCE DES									
Prestation		des meilleures		à la fraise		des meilleures		à la fraise	
Chocs	élastiques	à la fraise	élastiques	à la fraise	élastiques	à la fraise	élastiques	à la fraise	élastiques
Barreaux non entaillés, rebatés.									
Min.	Max.	Kg.	Kg.	Kg.	Kg.	Kg.	Kg.	Kg.	Kg.
0	330	2.330	5.600	38.5	5.600	31.0	1.660	3.8	171.8
4	340	4.740	4.750	31.0	4.750	34.0	1.640	3.8	164.0
9	295	1.740	4.800	43.0	4.800	54.5	1.720	29.7	201.7
3	276	4.000	3.250	29.5	3.250	40.5	83.0	34.5	117.5
4	260	840	2.750	26.5	2.750	38.5	61.5	34.5	93.0
5	240	730	2.370	28.0	2.370	28.0	46.0	38.0	99.0
Barreaux entaillés à la scie.									
4	340	2.130	3.250	3.5	3.250	3.5	9.4	9.4	9.4
2	295	2.750	2.950	0.7	2.950	0.7	2.0	2.0	2.0
3	276	4.500	2.750	2.0	2.750	2.0	4.2	4.2	4.2
5	240	1.060	4.370	4.0	4.370	4.0	1.9	1.9	1.9
6	220	750	4.310	4.5	4.310	4.5	1.2	1.2	1.2
7	204	1.060	4.560	4.0	4.560	4.0	4.5	4.5	4.5
Barreaux entaillés à la fraise aiguë de 60°.									
1	310	2.620	2.730	0.5	2.730	0.5	3.5	3.5	3.5
2	295	2.000	2.600	0.7	2.600	0.7	3.2	3.2	3.2
3	276	1.940	2.050	0.5	2.050	0.5	3.6	3.6	3.6
4	260	4.380	4.680	1.0	4.680	1.0	2.9	2.9	2.9
5	240	4.250	4.370	0.7	4.370	0.7	2.9	2.9	2.9
6	220	750	4.120	4.0	4.120	4.0	4.95	4.95	4.95
7	204	940	4.060	0.7	4.060	0.7	2.2	2.2	2.2

BARREAU ENTAILLÉS OU NON (*Acier extra-dur. — Provencal Imphy*).

BARREAU ENTAILLÉS OU NON (*Acier extra-dur. — Provencal Imphy*).

Aperçu = 400 mm.										Aperçu = 400 mm.									
Poutrelles des deux extrémités					Barreaux non entaillés, rabotés.					Barreaux entaillés à la scie de 4 mm.					Barreaux entaillés à la fraise aigre de 60°.				
Section	Charge maximum	Charge de triture	Charge de triture	Charge de triture	Min.	Min.	Kg.	Mm.	Kg.	Min.	Kg.	Mm.	Kg.	Min.	Kg.	Mm.	Kg.	Min.	Kg.
Seconde	330	4.400	4.300	460	0	330	4.380	2.950	4.35	400	0	330	4.370	4.600	280	404	0	330	4.370
Troisième	4	310	4.370	4.600	280	295	4.180	4.200	290	404	0	295	4.180	4.200	290	390	0	295	4.180
Quatrième	2	276	4.180	4.200	290	3	276	4.180	3.800	250	0	276	4.180	3.800	250	76	0	276	4.180
Cinquième	4	260	810	2.750	340	5	240	430	2.200	390	0	240	4.000	4.500	50	68	0	240	4.000
Sixième	7	204	810	4.060	30	7	204	810	4.060	30	0	204	810	4.060	30	68	0	204	810
Septième	4	310	4.380	3.700	55	4	295	4.380	2.950	64	0	295	4.380	2.950	64	44	8	295	4.380
Octième	2	276	4.180	2.250	35	3	276	4.180	2.250	40	0	276	4.180	2.250	40	28	0	276	4.180
Ninième	4	260	4.000	4.650	50	5	240	4.000	4.500	50	0	240	4.000	4.500	50	20	0	240	4.000
Dixième	6	220	875	4.450	50	6	220	875	4.450	50	0	220	875	4.450	50	12	0	220	875
Onzième	7	204	810	4.060	30	7	204	810	4.060	30	0	204	810	4.060	30	15	0	204	810
Seizième	4	310	4.080	2.450	25	2	295	2.130	2.250	0.5	0	295	4.080	2.450	25	8	8	295	4.080
Seizième	2	276	4.180	4.820	40	3	276	4.180	4.500	35	0	276	4.180	4.500	35	16	6	276	4.180
Seizième	4	260	870	4.500	40	5	240	1.220	4.300	40	0	240	1.220	4.300	40	44	4	240	1.220
Seizième	6	220	870	4.060	40	6	220	870	4.060	40	0	220	870	4.060	40	44	4	220	870
Seizième	7	204	870	870	30	7	204	870	870	30	0	204	870	870	30	9	9	204	870
Seizième	4	310	4.080	2.450	25	2	295	2.130	2.250	0.5	0	295	4.080	2.450	25	8	8	295	4.080
Seizième	2	276	4.180	4.820	40	3	276	4.180	4.500	35	0	276	4.180	4.500	35	16	6	276	4.180
Seizième	4	260	870	4.500	40	5	240	1.220	4.300	40	0	240	1.220	4.300	40	44	4	240	1.220
Seizième	6	220	870	4.060	40	6	220	870	4.060	40	0	220	870	4.060	40	44	4	220	870
Seizième	7	204	870	870	30	7	204	870	870	30	0	204	870	870	30	9	9	204	870
Seizième	4	310	4.080	2.450	25	2	295	2.130	2.250	0.5	0	295	4.080	2.450	25	8	8	295	4.080
Seizième	2	276	4.180	4.820	40	3	276	4.180	4.500	35	0	276	4.180	4.500	35	16	6	276	4.180
Seizième	4	260	870	4.500	40	5	240	1.220	4.300	40	0	240	1.220	4.300	40	44	4	240	1.220
Seizième	6	220	870	4.060	40	6	220	870	4.060	40	0	220	870	4.060	40	44	4	220	870
Seizième	7	204	870	870	30	7	204	870	870	30	0	204	870	870	30	9	9	204	870
Seizième	4	310	4.080	2.450	25	2	295	2.130	2.250	0.5	0	295	4.080	2.450	25	8	8	295	4.080
Seizième	2	276	4.180	4.820	40	3	276	4.180	4.500	35	0	276	4.180	4.500	35	16	6	276	4.180
Seizième	4	260	870	4.500	40	5	240	1.220	4.300	40	0	240	1.220	4.300	40	44	4	240	1.220
Seizième	6	220	870	4.060	40	6	220	870	4.060	40	0	220	870	4.060	40	44	4	220	870
Seizième	7	204	870	870	30	7	204	870	870	30	0	204	870	870	30	9	9	204	870

TABLE IX. — ÉSSAIS DE FLEXION SUR DEUX APPUIS DE

Métal naturel (l'usine l'avait reçus).

Mm.	Mm ²	Barreaux non entaillés, rabotés.						Remarques
		Charge maximum	Charge de rupture	Charge de la première entaille	Charge de la deuxième entaille	Charge de la troisième entaille	Charge de la quatrième entaille	
1	310	2.870	4.300	4.0	4.70	4.70	4.70	
2	295	4.500	3.050	5.2	45.6	45.6	45.6	
3	276	4.750	2.750	2.0	4.3	4.3	4.3	
4	260	4.430	2.320	2.0	3.6	3.6	3.6	
5	240	4.120	2.320	4.0	7.2	7.2	7.2	
6	220	4.060	4.620	2.0	2.7	2.7	2.7	
7	204	4.060	4.440	4.5	4.8	4.8	4.8	

Barreaux entaillés à la scie de 4 mm.

Mm.	Mm ²	Barreaux entaillés à la scie de 4 mm.						Remarques
		Charge maximum	Charge de la première entaille	Charge de la deuxième entaille	Charge de la troisième entaille	Charge de la quatrième entaille	Charge de la cinquième entaille	
1	310	2.870	4.300	4.0	4.70	4.70	4.70	
2	295	4.500	3.050	5.2	45.6	45.6	45.6	
3	276	4.750	2.750	2.0	4.3	4.3	4.3	
4	260	4.430	2.320	2.0	3.6	3.6	3.6	
5	240	4.120	2.320	4.0	7.2	7.2	7.2	
6	220	4.060	4.620	2.0	2.7	2.7	2.7	
7	204	4.060	4.440	4.5	4.8	4.8	4.8	

Barreaux entaillés à la fraise aigüe de 60°.

Mm.	Mm ²	Barreaux entaillés à la fraise aigüe de 60°.						Remarques
		Charge maximum	Charge de la première entaille	Charge de la deuxième entaille	Charge de la troisième entaille	Charge de la quatrième entaille	Charge de la cinquième entaille	
1	310	4.740	3.620	3.0	8.2	8.2	8.2	
2	295	4.880	2.760	2.0	4.6	4.6	4.6	
3	276	4.880	2.370	1.0	2.4	2.4	2.4	
4	260	4.410	4.080	1.0	1.4	1.4	1.4	
5	240	4.440	4.020	0.5	0.7	0.7	0.7	
6	220	4.000	4.340	1.0	1.1	1.1	1.1	
7	204	630	4.120	4.0	0.9	0.9	0.9	

BARREAUX ENTAILLÉS OU NON (Acié dur). — Provence Tamaris.

Métal reçus au rouge cerise clair et refroidi lentement dans le four.

Mm.	Mm ²	Barreaux non entaillés, rabotés.						Remarques
		Charge de la première entaille	Charge de la deuxième entaille	Charge de la troisième entaille	Charge de la quatrième entaille	Charge de la cinquième entaille	Charge de la sixième entaille	
0	330	5.800	45.5	5.400	31.5	79.0	90.0	
1	310	4.740	5.200	47.5	3.500	47.0	72.0	
2	295	4.740	4.400	17.5	3.640	33.0	67.0	
3	276	4.250	3.530	16.0	3.130	28.0	46.5	
4	260	4.130	2.870	19.0	2.000	45.0	62.5	
5	240	810	2.350	18.0	1.440	35.0	36.5	

Mm.	Mm ²	Barreaux non entaillés, rabotés.						Remarques
		Charge de la première entaille	Charge de la deuxième entaille	Charge de la troisième entaille	Charge de la quatrième entaille	Charge de la cinquième entaille	Charge de la sixième entaille	
0	330	5.800	45.5	5.400	31.5	79.0	90.0	
1	310	4.740	5.200	47.5	3.500	47.0	72.0	
2	295	4.740	4.400	17.5	3.640	33.0	67.0	
3	276	4.250	3.530	16.0	3.130	28.0	46.5	
4	260	4.130	2.870	19.0	2.000	45.0	62.5	
5	240	810	2.350	18.0	1.440	35.0	36.5	

Mm.	Mm ²	Barreaux entaillés, rabotés.						Remarques
		Charge de la première entaille	Charge de la deuxième entaille	Charge de la troisième entaille	Charge de la quatrième entaille	Charge de la cinquième entaille	Charge de la sixième entaille	
0	330	5.800	45.5	5.400	31.5	79.0	90.0	
1	310	4.740	5.200	47.5	3.500	47.0	72.0	
2	295	4.740	4.400	17.5	3.640	33.0	67.0	
3	276	4.250	3.530	16.0	3.130	28.0	46.5	
4	260	4.130	2.870	19.0	2.000	45.0	62.5	
5	240	810	2.350	18.0	1.440	35.0	36.5	

TABLE IX (suite). — ESSAIS DE FLEXION SUR DEUX APPUIS DE

BARREAUX ENTAILLES OU NON (*Acier dur. — Provence Tamaris*).

405

Distance des									
Secteur des		Secteur de		Secteur de		Secteur de		Secteur de	
des	des	des	des	des	des	des	des	des	des
Barreaux non entaillés, rabotés.									
Min.	Max.	Kg.	Kg.	Min.	Kg.	Min.	Kg.	Min.	Kg.
0	330	4.500	4.800	34.0	5.700	46.0	4.922	73.5	4.935
4	310	4.300	3.950	26.5	3.750	39.5	96.0	48.5	444.5
2	295	4.600	3.370	30.0	3.750	34.0	93.0	4.22	97.2
3	276	940	2.430	26.0	3.220	46.5	47.0	58.5	404.5
4	260	570	2.050	23.0	4.820	49.0	40.0	56.0	304.0
5	240	440	1.800	28.0	4.800	49.0	43.0	35.0	178.0
7	204	490	4.000	2.3	—	—	—	—	—
Barreaux entaillés à la scie.									
4	310	4.340	3.250	4.7	—	—	44.7	44.7	44.7
2	293	4.500	3.200	6.0	—	—	45.3	45.3	45.3
3	276	4.310	2.620	5.0	—	—	45.0	45.0	45.0
4	260	4.000	1.870	3.5	—	—	25.0	25.0	25.0
5	240	4.250	4.800	2.0	—	—	3.4	3.4	3.4
6	220	563	4.310	2.5	—	—	2.4	2.4	2.4
7	204	490	4.000	2.3	—	—	1.8	1.8	1.8
Barreaux entaillés à la scie aiguë.									
1	310	4.190	2.700	4.0	—	—	7.7	7.7	7.7
2	293	4.000	1.600	2.0	—	—	9.7	9.7	9.7
3	276	4.250	4.650	4.5	—	—	1.3	1.3	1.3
4	260	4.000	4.440	4.5	—	—	1.2	1.2	1.2
5	240	685	4.440	2.5	—	—	2.6	2.6	2.6
6	220	560	635	4.0	—	—	0.6	0.6	0.6
7	204	375	635	4.0	—	—	0.5	0.5	0.5

405

TABLE X. — ESSAIS DE
MATERIALS NATURELS, TOUTE DE L'AMINAGE

BARREAUX ENTAILLÉS OU NON (Acié mi-dur. — Provence Creusot).

TABLE X (suite). — ÉSSAIS DE FLEXION SUR DEUX APPUS DE BARREAUX ENTAILLÉS OU NON (AciER mi-DUR. — Provence Creusot).
Métal naturel, brut de l'usinage.

Barreaux non entaillés, rabotés.											
Barreaux entaillés à la scie de 4 mm.											
Barreaux entaillés à la fraise aiguë de 60°.											
Mm.	Mm.	Kg.	Mm.	Kg.	Mm.	Kg.	Mm.	Kg.	Mm.	Kg.	Mm.
0	330	1.620	3.870	32	0	3.420	49	5.110	65	0	165
4	310	1.440	3.630	35	0	2.430	>68	0	107	0	100
2	295	1.420	2.700	21	5	1.440	>62	0	69	0	85
3	276	1.300	2.200	19	5	1.420	>59	0	31	0	67
4	260	1.000	2.200	19	5	1.420	>59	0	67	0	45
5	240	625	1.750	18	5	1.400	>56	5	26	5	54
6	220	440	1.250	4	5	1.400	>56	5	20	0	45
7	204	280	1.050	4	5	1.400	>56	5	17	0	18
Barreaux non entaillés, rabotés.											
4	310	1.440	3.000	8	0	—	49	4	76	5	166
2	295	1.450	2.750	7	0	—	45	8	16	5	165
3	276	850	2.250	6	5	—	42	0	16	5	167
4	260	810	1.820	5	5	—	8	8	17	0	167
5	240	500	1.440	5	0	—	7	3	17	0	166
6	220	440	1.250	4	5	—	4	5	18	5	172
7	204	280	1.050	4	5	—	4	4	17	0	170
Barreaux entaillés à la scie de 4 mm.											
4	310	1.410	3.000	9	0	—	49	4	19	4	162
2	295	1.420	2.350	3	2	—	5	9	16	8	172
3	276	1.000	1.750	2	5	—	3	5	17	0	174
4	260	625	1.440	2	5	—	2	6	17	0	175
5	240	500	1.250	3	0	—	2	5	17	0	174
6	220	440	810	4	5	—	0	9	17	5	178
7	204	400	680	2	0	—	4	0	17	5	178
Barreaux entaillés à la scie de 4 mm.											
4	310	1.410	3.000	9	0	—	49	4	19	4	162
2	295	1.420	2.350	3	2	—	5	9	16	8	172
3	276	1.000	1.750	2	5	—	3	5	17	0	174
4	260	625	1.440	2	5	—	2	6	17	0	175
5	240	500	1.250	3	0	—	2	5	17	0	174
6	220	440	810	4	5	—	0	9	17	5	178
7	204	400	680	2	0	—	4	0	17	5	178
Barreaux entaillés à la scie de 4 mm.											
4	310	1.410	3.000	9	0	—	49	4	19	4	162
2	295	1.420	2.350	3	2	—	5	9	16	8	172
3	276	1.000	1.750	2	5	—	3	5	17	0	174
4	260	625	1.440	2	5	—	2	6	17	0	175
5	240	500	1.250	3	0	—	2	5	17	0	174
6	220	440	810	4	5	—	0	9	17	5	178
7	204	400	680	2	0	—	4	0	17	5	178
Barreaux entaillés à la scie de 4 mm.											
4	310	1.410	3.000	9	0	—	49	4	19	4	162
2	295	1.420	2.350	3	2	—	5	9	16	8	172
3	276	1.000	1.750	2	5	—	3	5	17	0	174
4	260	625	1.440	2	5	—	2	6	17	0	175
5	240	500	1.250	3	0	—	2	5	17	0	174
6	220	440	810	4	5	—	0	9	17	5	178
7	204	400	680	2	0	—	4	0	17	5	178
Barreaux entaillés à la scie de 4 mm.											
4	310	1.410	3.000	9	0	—	49	4	19	4	162
2	295	1.420	2.350	3	2	—	5	9	16	8	172
3	276	1.000	1.750	2	5	—	3	5	17	0	174
4	260	625	1.440	2	5	—	2	6	17	0	175
5	240	500	1.250	3	0	—	2	5	17	0	174
6	220	440	810	4	5	—	0	9	17	5	178
7	204	400	680	2	0	—	4	0	17	5	178
Barreaux entaillés à la scie de 4 mm.											
4	310	1.410	3.000	9	0	—	49	4	19	4	162
2	295	1.420	2.350	3	2	—	5	9	16	8	172
3	276	1.000	1.750	2	5	—	3	5	17	0	174
4	260	625	1.440	2	5	—	2	6	17	0	175
5	240	500	1.250	3	0	—	2	5	17	0	174
6	220	440	810	4	5	—	0	9	17	5	178
7	204	400	680	2	0	—	4	0	17	5	178
Barreaux entaillés à la scie de 4 mm.											
4	310	1.410	3.000	9	0	—	49	4	19	4	162
2	295	1.420	2.350	3	2	—	5	9	16	8	172
3	276	1.000	1.750	2	5	—	3	5	17	0	174
4	260	625	1.440	2	5	—	2	6	17	0	175
5	240	500	1.250	3	0	—	2	5	17	0	174
6	220	440	810	4	5	—	0	9	17	5	178
7	204	400	680	2	0	—	4	0	17	5	178
Barreaux entaillés à la scie de 4 mm.											
4	310	1.410	3.000	9	0	—	49	4	19	4	162
2	295	1.420	2.350	3	2	—	5	9	16	8	172
3	276	1.000	1.750	2	5	—	3	5	17	0	174
4	260	625	1.440	2	5	—	2	6	17	0	175
5	240	500	1.250	3	0	—	2	5	17	0	174
6	220	440	810	4	5	—	0	9	17	5	178
7	204	400	680	2	0	—	4	0	17	5	178
Barreaux entaillés à la scie de 4 mm.											
4	310	1.410	3.000	9	0	—	49	4	19	4	162
2	295	1.420	2.350	3	2	—	5	9	16	8	172
3	276	1.000	1.750	2	5	—	3	5	17	0	174
4	260	625	1.440	2	5	—	2	6	17	0	175
5	240	500	1.250	3	0	—	2	5	17	0	174
6	220	440	810	4	5	—	0	9	17	5	178
7	204	400	680	2	0	—	4	0	17	5	178
Barreaux entaillés à la scie de 4 mm.											
4	310	1.410	3.000	9	0	—	49	4	19	4	162
2	295	1.420	2.350	3	2	—	5	9	16	8	172
3	276	1.000	1.750	2	5	—	3	5	17	0	174
4	260	625	1.440	2	5	—	2	6	17	0	175
5	240	500	1.250	3	0	—	2	5	17	0	174
6	220	440	810	4	5	—	0	9	17	5	178
7	204	400	680	2	0	—	4	0	17	5	178
Barreaux entaillés à la scie de 4 mm.											
4	310	1.410	3.000	9	0	—	49	4	19	4	162
2	295	1.420	2.350	3	2	—	5	9	16	8	172
3	276	1.000	1.750	2	5	—	3	5	17	0	174
4	260	625	1.440	2	5	—	2	6	17	0	175
5	240	500	1.250	3	0	—	2	5	17	0	174
6	220	440	810	4	5	—	0	9	17	5	178
7	204	400	680	2	0	—	4	0	17	5	178
Barreaux entaillés à la scie de 4 mm.											
4	310	1.410	3.000	9	0	—	49	4	19	4	162
2	295	1.420	2.350	3	2	—	5	9	16	8	172
3	276	1.000	1.750	2	5	—	3	5	17	0	174
4	260	625	1.440	2	5	—	2	6	17	0	175
5	240	500	1.250	3	0	—	2	5	17	0	174
6	220	440	810	4	5	—	0	9	17</		

TABLE XI. — ÉSSAIS DE FLEXION SUR DEUX APPUIS DE BARREAUX ENTAILLÉS

Metal naturel, bout de laminage.

Secteur des entailles	Section	Lame	Épaisseur	Charge maximum	Charge de rupture	Barreaux entaillés à la scie de 4 mm.	DISTANCE DES							
							Travail	Spécimen	Maximum	Spécimen				
Barreaux non entaillés, rabotés.														
4	340	4.030	2.630	14	0.1.280	35	24	0	>46	5	>70	5		
2	295	4.000	2.380	10	0.5.1.750	27	5	21	0	>35	0	>56	0	
3	276	930	2.250	8	0.5.1.340	28	5	16	4	>36	0	>52	4	
4	260	810	2.070	8	0.4.1.420	32	0	12	0	>36	0	>50	0	
5	240	500	1.740	7	0.5.1.250	32	0	12	0	>32	0	>49	0	
6	220	430	1.250	7	0.5.1.030	26	0	7	6	>24	0	>28	6	
7	204	300	1.420	7	0.4.1.000	24	0	5	9	>18	0	>23	9	
Barreaux entaillés à la fraise aiguë de 60°.														
4	310	880	2.350	17	0.1.620	39	0	35	0	>43	0	>80	0	
2	295	670	2.200	40	0.1.300	30	0	16	0	>37	0	>53	0	
3	276	625	1.940	9	0.1.310	28	5	13	2	>34	5	>44	7	
4	260	375	1.560	8	0.1.230	24	0	9	2	>22	0	>31	8	
5	240	350	1.310	8	0.1.130	24	0	8	0	>19	0	>27	0	
6	220	330	1.310	7	0.1.000	23	0	7	5	>17	8	>25	147	
7	204	300	1.000	6	0	300	37	2	4	5	>23	9	>27	5

(1) Les angles de pliage, dont on a voulu faire une mesure, ne nous paraissent pas mériter la même confiance que les reches ; il est d'ailleurs très difficile, avec des aciers rompus, avec déchirure,

(2) Voir le texte pour l'explication des signes > de certaines colonnes.

OU NON (Acer-doux. — Provence Denain et Anzin) (marqué DR).

Metal trempé à l'eau au rouge cendre clair.

Secteur des entailles	Section	Lame	Épaisseur	Charge maximum	Charge de rupture	Barreaux entaillés à la scie de 4 mm.	APPEL = 80 min.				Barreaux entaillés à la scie de 1 mm.	
							Travail	Spécimen	Maximum	Spécimen		
Barreaux non entaillés, rabotés.												
0	330	4.030	3.250	32	0	>58	0	20	>67	5	>137.5	
1	310	4.030	3.000	34	0	>51	0	>436	33	13	0	
2	295	875	2.250	20	0	>52	0	>37	0	>39	0	
3	276	750	1.936	17	5	>46	0	>28	0	>76	0	
4	260	500	1.340	19	5	>47	5	>25	>34	0	>56	5
5	240	480	1.310	17	0	>40	0	>17	0	>26	0	
7	204	300	1.420	7	0	>14	0	>43	0	>72	0	
Barreaux entaillés à la scie de 1 mm.												
4	310	880	2.350	17	0.1.620	39	0	35	0	>43	0	
2	295	670	2.200	40	0.1.300	30	0	16	0	>37	0	
3	276	625	1.940	9	0.1.310	28	5	13	2	>34	5	
4	260	375	1.560	8	0.1.230	24	0	9	2	>22	0	
5	240	350	1.310	8	0.1.130	24	0	8	0	>19	0	
6	220	330	1.310	7	0.1.000	23	0	7	5	>17	8	
7	204	300	1.000	6	0	300	37	2	4	5	>23	9
Barreaux entaillés à la fraise aiguë de 60°.												
4	310	880	2.350	17	0.1.620	39	0	35	0	>43	0	
2	295	670	2.200	40	0.1.300	30	0	16	0	>37	0	
3	276	625	1.940	9	0.1.310	28	5	13	2	>34	5	
4	260	375	1.560	8	0.1.230	24	0	9	2	>22	0	
5	240	350	1.310	8	0.1.130	24	0	8	0	>19	0	
6	220	330	1.310	7	0.1.000	23	0	7	5	>17	8	
7	204	300	1.000	6	0	300	37	2	4	5	>23	9
Barreaux entaillés à la scie à la lame fine.												
4	310	880	2.350	17	0.1.620	39	0	35	0	>43	0	
2	295	670	2.200	40	0.1.300	30	0	16	0	>37	0	
3	276	625	1.940	9	0.1.310	28	5	13	2	>34	5	
4	260	375	1.560	8	0.1.230	24	0	9	2	>22	0	
5	240	350	1.310	8	0.1.130	24	0	8	0	>19	0	
6	220	330	1.310	7	0.1.000	23	0	7	5	>17	8	
7	204	300	1.000	6	0	300	37	2	4	5	>23	9
Barreaux entaillés à la scie à la lame fine.												
4	310	880	2.350	17	0.1.620	39	0	35	0	>43	0	
2	295	670	2.200	40	0.1.300	30	0	16	0	>37	0	
3	276	625	1.940	9	0.1.310	28	5	13	2	>34	5	
4	260	375	1.560	8	0.1.230	24	0	9	2	>22	0	
5	240	350	1.310	8	0.1.130	24	0	8	0	>19	0	
6	220	330	1.310	7	0.1.000	23	0	7	5	>17	8	
7	204	300	1.000	6	0	300	37	2	4	5	>23	9

(1) Les angles de pliage, dont on a voulu faire une mesure, ne nous paraissent pas mériter la même confiance que les reches ; il est d'ailleurs très difficile, avec des aciers rompus, avec déchirure,

(2) Voir le texte pour l'explication des signes > de certaines colonnes.

Metal trempé à l'eau au rouge cendre clair.

Secteur des entailles	Section	Lame	Épaisseur	Charge maximum	Charge de rupture	Barreaux entaillés à la scie à la fraise aiguë de 60°.	APPEL = 80 min.				Barreaux entaillés à la lame fine.	
							Travail	Spécimen	Maximum	Spécimen		
Barreaux non entaillés, rabotés.												
0	330	4.030	3.250	32	0	>58	0	20	>67	5	>137.5	
1	310	4.030	3.000	34	0	>51	0	>436	33	13	0	
2	295	875	2.250	20	0	>52	0	>37	0	>39	0	
3	276	750	1.936	17	5	>46	0	>28	0	>76	0	
4	260	500	1.740	7	0	>47	5	>34	5	>49	0	
5	240	480	1.310	17	0	>40	0	>26	0	>43	0	
7	204	300	1.420	7	0	>14	0	>43	0	>72	0	
Barreaux entaillés à la scie à la fraise aiguë de 60°.												
4	310	880	2.350	17	0.1.620	39	0	35	0	>43	0	
2	295	670	2.200	40	0.1.300	30	0	16	0	>37	0	
3	276	625	1.940	9	0.1.310	28	5	13	2	>34	5	
4	260	375	1.560	8	0.1.230	24	0	9	2	>22	0	
5	240	350	1.310	8	0.1.130	24	0	8	0	>19	0	
6	220	330	1.310	7	0.1.000	23	0	7	5	>17	8	
7	204	300	1.000	6	0	300	37	2	4	5	>23	9
Barreaux entaillés à la lame fine.												
4	310	880	2.350	17	0.1.620	39	0	35	0	>43	0	
2	295	670	2.200	40	0.1.300	30	0	16	0	>37	0	
3	276	625	1.940	9	0.1.310	28	5	13	2	>34	5	
4	260	375	1.560	8	0.1.230	24	0	9	2	>22	0	
5	240	350	1.310	8	0.1.130	24	0	8	0	>19	0	
6	220	330	1.310	7	0.1.000	23	0	7	5	>17	8	
7	204	300	1.000	6	0	300	37	2	4	5	>23	9

(1) Les angles de pliage, dont on a voulu faire une mesure, ne nous paraissent pas mériter la même confiance que les reches ; il est d'ailleurs très difficile, avec des aciers rompus, avec déchirure,

(2) Voir le texte pour l'explication des signes > de certaines colonnes.

EXÉCUTIONS DÉCRETÉES ET ARRÊTÉS

DISTANCE DES											
L'effet de la charge sur les barreaux											
L'effet de la charge sur les barreaux											
L'effet de la charge sur les barreaux											
Section	Longueur de l'entretoise	Section	Longueur de l'entretoise	Section	Longueur de l'entretoise	Section	Longueur de l'entretoise	Section	Longueur de l'entretoise	Section	Longueur de l'entretoise
à fond entaillé	des plus longues	à fond entaillé	des plus longues	à fond entaillé	des plus longues	à fond entaillé	des plus longues	à fond entaillé	des plus longues	à fond entaillé	des plus longues
Mm ²	Kg.	Mm ²	Kg.	Mm ²	Kg.	Mm ²	Kg.	Mm ²	Kg.	Mm ²	Kg.
0 330	940	2 800	39 0	>560	60 0	>65 0	>65 0	>144	60 0	143 0	0
4 340	810	2 450	34 0	>560	57 0	>54 0	>144	65 0	143 0	0	*
2 295	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
3 276	625	1 440	23 0	>510	27 0	>33 0	>34 0	74 0	14 5	35 0	*
4 260	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
5 240	560	940	19 0	>470	14 2	>24 0	>36 5	75 0	145 0	0	*
7 204	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Barreaux non entaillés, à la scie de 4 mm.											
4	310	940	2 450	28 5	4 250	57 5	53 0	>54 0	>107	35 0	14 4
2	295	625	1 440	48 5	4 250	36 0	30 5	>29 0	>59 5	85 0	44 0
3	276	625	1 440	9 0	940	20 0	10 8	>24 5	>35 3	100 0	15 0
4	260	310	4 050	8 5	810	35 5	8 7	>27 5	>36 4	107 0	15 0
5	240	310	4 050	9 5	9	44 5	6 0	>26 5	>32 5	90 0	14 4
6	220	300	810	42 0	7	44 5	7 7	>40 0	>87 9	2 0	*
7	204	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Barreaux entaillés à la fraise aigüe.											
4	340	780	2 280	25 0	4 370	50 0	47 5	>45 0	92 0	0	*
2	295	780	1 870	47 0	9	32 5	47 5	>45 0	72 5	0	*
3	276	500	4 050	40 5	4 490	24 0	44 0	>29 0	40 0	0	*
4	260	500	4 440	8 5	4 030	23 5	9 7	>27 0	37 2	0	*
5	240	375	4 070	9 0	870	45 5	7 4	>45 0	22 4	0	*
6	220	375	930	9 0	870	24 0	6 3	>43 0	19 3	0	*
7	204	350	690	9 0	?	16 5	4 7	>40 2	14 9	0	*

(1) Les angles de phage, dont on a voulu faire une mesure, ne nous paraissent pas mériter la approcher les houts et de savoir quel angle il fait de certaines colonnes. Ceci s'applique surtout aux aciers

même valeur que les flèches ; il est d'ailleurs très difficile, avec des actes rompus avec déchirure, d'en donner.

TABLE XII. — ESSAIS DE FLEXION SUR DEUX APPUS DE BARREAUX

Métal naturel, brut de laminage.

Barreaux non entaillés, rabotés.												Barreaux non entaillés, rabotés.																				
Appuis = 80 mm.												Appuis = 100 mm.																				
Barreaux entaillés à la scie de 1 mm.												Barreaux entaillés à la fraise aiguë de 60°.																				
Mn.	Mn. ²	Kg.	Kg.	Mn.	Kg.	Kg.	Mn.	Kg.	Mn.	Kg.	Mn.	Mn.	Mn.	Kg.	Mn.	Kg.	Mn.	Kg.	Mn.	Mn.	Mn.	Mn.	Mn.									
0	330	1.320	3.000	24	0	72	0	>380	0	>380	0	0	330	2.000	4.400	26	0	72	0	>197	*	12	5	24	5							
4	310	1.260	2.860	35	0	79	0	>85	0	>64	0	37 ^a	13	0	23	5	276	0	>125	>162	44 ^a	13	0	23	5							
3	276	1.010	1.920	22	5	79	0	>85	0	>106	0	40	13	5	23	5	276	1.020	2.680	24	0	>75	>124	45	13	0	23	0				
5	240	740	4.340	35	0	74	0	>40	0	>106	0	40	13	5	23	5	240	960	1.920	30	0	>49	>84	50	13	7	22	5				
7	204	360	710	9	0	79	0	>43	0	>43	0	77	6	43	13	7	22	0	204	370	4.080	22	9	49	0	>36	0	>54	0			
Barreaux entaillés à la scie de 1 mm.												Barreaux entaillés à la scie de 1 mm.												Appuis = 80 mm.								
Barreaux entaillés à la scie de 1 mm.												Barreaux entaillés à la scie de 1 mm.												Appuis = 100 mm.								
4	310	1.420	3.000	24	0	*	*	60	0	>412	>472	0	*	13	5	24	9	310	1.910	3.930	13	0	2.500	32	0	>42	0	>75	>117			
3	276	1.160	2.410	10	0	1.200	>37	0	27	5	>84	0	>141	5	14	5	20	0	276	1.000	3.200	8	0	2.460	47	0	>19	0	>34	5		
5	240	746	1.800	14	5	1.200	>48	0	19	0	>67	0	>86	0	14	0	19	5	240	960	2.200	7	0	4.660	13	0	>42	0	>24	0		
7	204	360	1.200	40	0	720	>45	0	6	0	>44	0	>50	0	15	0	20	0	204	480	790	7	0	4.460	14	0	*	*	*	*		
Barreaux entaillés à la scie de 60°.												Barreaux entaillés à la scie de 60°.												Appuis = 80 mm.								
4	310	1.440	2.800	17	0	*	*	>35	0	43	5	>76	0	>119	0	*	14	0	32	0	310	1.960	3.750	9	0	2.200	27	0	31	0	>26	0
3	276	1.080	2.200	9	5	1.080	>80	0	48	5	>50	0	>68	5	16	0	24	0	276	1.200	3.000	4	2	1.600	41	0	20	0	>27	0		
5	240	800	1.400	9	0	1.080	>75	0	11	7	>44	0	>52	7	16	0	30	0	240	1.100	2.400	4	2	1.680	9	4	16	0	>26	0		
7	204	660	1.200	9	0	>300	0	67	0	6	5	>30	0	>36	5	16	0	19	0	204	4.000	4.600	3	2	1.280	4	5	9	4	>10	0	
Barreaux entaillés à la scie de 60°.												Barreaux entaillés à la scie de 60°.												Appuis = 100 mm.								
0	330	1.420	2.820	38	0	400	0	>84	0	>184	0	*	*	330	1.600	3.420	39	0	420	0	>100	>220	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
4	310	1.000	2.200	23	5	49	0	>79	0	>128	0	58	14	0	23	0	310	1.030	2.600	31	0	88	0	>14	0	>136	63	13	0	23	0	
3	276	700	1.180	39	5	30	0	>60	0	>90	0	48	13	5	22	5	276	780	2.180	31	0	54	0	*	*	65	14	0	22	0		
5	240	380	1.080	37	5	19	0	>36	0	>55	0	50	14	5	24	0	240	300	4.000	40	7	34	0	*	*	75	14	0	24	0		
7	204	280	340	48	0	37	0	45	0	>9	2	64	14	5	30	0	204	204	9	360	30	0	19	0	*	*	80	14	5	20	5	
Barreaux entaillés, rabotés.												Barreaux entaillés, rabotés.												Appuis = 80 mm.								
0	330	1.420	2.820	38	0	400	0	>84	0	>184	0	*	*	330	1.600	3.420	39	0	420	0	>100	>220	*	*	*	*	*	*	*	*		
4	310	1.000	2.200	23	5	49	0	>79	0	>128	0	58	14	0	23	0	310	1.030	2.600	31	0	88	0	>14	0	>136	63	13	0	23	0	
3	276	700	1.180	39	5	30	0	>60	0	>90	0	48	13	5	22	5	276	780	2.180	31	0	54	0	*	*	65	14	0	22	0		
5	240	380	1.080	37	5	19	0	>36	0	>55	0	50	14	5	24	0	240	300	4.000	40	7	34	0	*	*	75	14	0	24	0		
7	204	280	340	48	0	37	0	45	0	>9	2	64	14	5	30	0	204	204	9	360	30	0	19	0	*	*	80	14	5	20	5	

TABLE XIII. — Essais comparatifs de flexion sur deux appuis de barreaux

DISTANCE DES																
ENTAILLES à la base d'entailles																
ENTAILLES à la base d'entailles																
Min.	Max.	Kg.	Kg.	Min.	Kg.	Min.	Kg.	Min.	Kg.	Min.	Kg.					
0	330	680	2.500	20	0	>925	42	3	>850	0	>1275	12	8	44°		
2	295	570	1.810	9	5	>925	30	5	>975	13	0	46				
4	260	480	1.330	24	0	>925	26	0	>760	13	8	43				
8	180	300	9	0	>925	31	5	15	0	50						
16	120	240	9	0	>925	32	0	37	0	>380	0	74	0			
32	295	4.310	1.810	3	5	>230	0	>36	0	>445	0	64				
64	260	810	4.330	2	5	>275	0	>37	0	>1235	0	74	0			
128	180	650	9	0	>270	32	0	>32	0	>42	0	60				
256	1.440	2.700	9	0	2.620	44	5	13	0	240	0	62				
512	2.255	4.310	1.440	6	0	4.400	41	0	6	0	83	0	62			
1024	2.860	500	815	9	0	750	18	0	19	0	60	7	0			
2048	3.200	3.200	20	0	2.320	>610	0	54	5	145	0	>1095	13	0		
4096	0	320	1.480	3	0	2.320	>610	0	54	5	145	0	>1095	13	0	
8192	2	295	1.440	2.370	20	0	1.620	>660	0	43	0	91	0	44		
16384	4	280	4.000	4.750	25	0	4.310	>700	0	38	5	73	0	44		
32768	8	180	500	750	27	0	690	>650	0	38	5	73	0	44		
65536	0	320	1.480	3.200	20	0	2.320	>610	0	54	5	145	0	>1095	13	0
131072	2	295	1.430	2.370	14	5	0	>550	0	21	0	850	0	>1060	0	39
262144	4	260	810	1.820	9	0	0	>620	0	15	8	63	0	>768	0	38
524288	8	180	600	810	6	0	0	>620	0	2	0	>120	0	>80	0	38

DANS LE CAS DES METAUX FERRUX
ENTAILLES OU NON (11 qualités de fer fabriqués par M. Chehet à Athies-Mons).

ENTAILLES à la base d'entailles																
ENTAILLES à la base d'entailles																
ENTAILLES à la base d'entailles																
Min.	Max.	Kg.	Kg.	Min.	Kg.	Min.	Kg.	Min.	Kg.	Min.	Kg.					
0	330	680	2.500	20	0	>925	42	3	>850	0	>1275	12	8	44°		
2	295	570	1.810	9	5	>925	30	5	>975	13	0	46				
4	260	480	1.330	24	0	>925	26	0	>760	13	8	43				
8	180	300	9	0	>925	31	5	15	0	50						
16	120	240	9	0	>925	32	0	37	0	>380	0	74	0			
32	295	4.310	1.810	3	5	>230	0	>36	0	>445	0	64				
64	260	810	4.330	2	5	>275	0	>37	0	>1235	0	74	0			
128	180	650	9	0	>270	32	0	>32	0	>42	0	60				
256	1.440	2.700	9	0	2.620	44	5	13	0	240	0	62				
512	2.255	4.310	1.440	6	0	4.400	41	0	6	0	83	0	62			
1024	2.860	500	815	9	0	750	18	0	19	0	60	7	0			
2048	3.200	3.200	20	0	2.320	>610	0	54	5	145	0	>1095	13	0		
4096	0	320	1.480	3	0	2.320	>610	0	54	5	145	0	>1095	13	0	
8192	2	295	1.440	2.370	20	0	1.620	>660	0	43	0	91	0	44		
16384	4	280	4.000	4.750	25	0	4.310	>700	0	38	5	73	0	44		
32768	8	180	500	750	27	0	690	>650	0	38	5	73	0	44		
65536	0	320	1.480	3.200	20	0	2.320	>610	0	54	5	145	0	>1095	13	0
131072	2	295	1.430	2.370	14	5	0	>550	0	21	0	850	0	>1060	0	39
262144	4	260	810	1.820	9	0	0	>620	0	15	8	63	0	>768	0	38
524288	8	180	600	810	6	0	0	>620	0	2	0	>120	0	>80	0	38

ENTAILLES à la base d'entailles																
ENTAILLES à la base d'entailles																
ENTAILLES à la base d'entailles																
Min.	Max.	Kg.	Kg.	Min.	Kg.	Min.	Kg.	Min.	Kg.	Min.	Kg.					
0	330	680	2.500	20	0	>925	42	3	>850	0	>1275	12	8	44°		
2	295	570	1.810	9	5	>925	30	5	>975	13	0	46				
4	260	480	1.330	24	0	>925	26	0	>760	13	8	43				
8	180	300	9	0	>925	31	5	15	0	50						
16	120	240	9	0	>925	32	0	37	0	>380	0	74	0			
32	295	4.310	1.810	3	5	>230	0	>36	0	>445	0	64				
64	260	810	4.330	2	5	>275	0	>37	0	>1235	0	74	0			
128	180	650	9	0	>270	32	0	>32	0	>42	0	60				
256	1.440	2.700	9	0	2.620	44	5	13	0	240	0	62				
512	2.255	4.310	1.440	6	0	4.400	41	0	6	0	83	0	62			
1024	2.860	500	815	9	0	750	18	0	19	0	60	7	0			
2048	3.200	3.200	20	0	2.320	>610	0	54	5	145	0	>1095	13	0		
4096	0	320	1.480	3	0	2.320	>610	0	54	5	145	0	>1095	13	0	
8192	2	295	1.440	2.370	20	0	1.620	>660	0	43	0	91	0	44		
16384	4	280	4.000	4.750	25	0	4.310	>700	0	38	5	73	0	44		
32768	8	180	500	750	27	0	690	>650	0	38	5	73	0	44		
65536	0	320	1.480	3.200	20	0	2.320	>610	0	54	5	145	0	>1095	13	0
131072	2	295	1.430	2.370	14	5	0	>550	0	21	0	850	0	>1060	0	39
262144	4	260	810	1.820	9	0	0	>620	0	15	8	63	0	>768	0	38
524288	8	180	600	810	6	0	0	>620	0	2	0	>120	0	>80	0	38

ENTAILLES à la base d'entailles														
ENTAILLES à la base d'entailles														
ENTAILLES à la base d'entailles														
Min.	Max.	Kg.	Kg.	Min.	Kg.	Min.	Kg.	Min.	Kg.	Min.	Kg.			
0	330	680	2.500	20	0	>925	42	3	>850	0	>1275	12	8	44°
2	295	570	1.810	9	5	>925	30	5	>975	13	0	46		
4	260	480	1.330	24	0	>925	26	0	>760	13	8	43		
8	180	300	9	0	>925	31	5	15	0	50				
16	120	240	9	0	>925	32	0	37	0	>380	0	74	0	
32	295	4.310	1.810	3	5	>230	0	>36	0	>445	0	64		
64	260	810	4.330	2	5	>275	0	>37	0	>1235	0	74	0	
128	180	650	9	0	>270	32	0	>32	0	>42	0	60		
256	1.440	2.700	9	0	2.620	44	5	13	0	240	0	62		
512	2.255	4.310	1.440	6	0	4.400	41	0	6	0	83	0	62	
1024	2.860</													

TABLE XIII (suite). — Essais comparatifs de flexion sur deux appuis											
DE BARREAU ENTALLÉS OU NON (Fers d'Athis-Mons de M. Chehet).											
N° 7	Travail en kilogrammes										
	Mm.	Mm.	Kg.	Mm.	Mm.	Kg.	Mm.	Kg.	Mm.	Kg.	Mm.
Avec une charge de 80 mm.											
Avec une charge de 160 mm.											
Avec une charge de 240 mm.											
Avec une charge de 320 mm.											
Avec une charge de 400 mm.											
Avec une charge de 480 mm.											
Avec une charge de 560 mm.											
Avec une charge de 640 mm.											
Avec une charge de 720 mm.											
Avec une charge de 800 mm.											
Avec une charge de 880 mm.											
Avec une charge de 960 mm.											
Avec une charge de 1 040 mm.											
Avec une charge de 1 120 mm.											
Avec une charge de 1 200 mm.											
Avec une charge de 1 280 mm.											
Avec une charge de 1 360 mm.											
Avec une charge de 1 440 mm.											
Avec une charge de 1 520 mm.											
Avec une charge de 1 600 mm.											
Avec une charge de 1 680 mm.											
Avec une charge de 1 760 mm.											
Avec une charge de 1 840 mm.											
Avec une charge de 1 920 mm.											
Avec une charge de 2 000 mm.											
Avec une charge de 2 080 mm.											
Avec une charge de 2 160 mm.											
Avec une charge de 2 240 mm.											
Avec une charge de 2 320 mm.											
Avec une charge de 2 400 mm.											
Avec une charge de 2 480 mm.											
Avec une charge de 2 560 mm.											
Avec une charge de 2 640 mm.											
Avec une charge de 2 720 mm.											
Avec une charge de 2 800 mm.											
Avec une charge de 2 880 mm.											
Avec une charge de 2 960 mm.											
Avec une charge de 3 040 mm.											
Avec une charge de 3 120 mm.											
Avec une charge de 3 200 mm.											
Avec une charge de 3 280 mm.											
Avec une charge de 3 360 mm.											
Avec une charge de 3 440 mm.											
Avec une charge de 3 520 mm.											
Avec une charge de 3 600 mm.											
Avec une charge de 3 680 mm.											
Avec une charge de 3 760 mm.											
Avec une charge de 3 840 mm.											
Avec une charge de 3 920 mm.											
Avec une charge de 4 000 mm.											
Avec une charge de 4 080 mm.											
Avec une charge de 4 160 mm.											
Avec une charge de 4 240 mm.											
Avec une charge de 4 320 mm.											
Avec une charge de 4 400 mm.											
Avec une charge de 4 480 mm.											
Avec une charge de 4 560 mm.											
Avec une charge de 4 640 mm.											
Avec une charge de 4 720 mm.											
Avec une charge de 4 800 mm.											
Avec une charge de 4 880 mm.											
Avec une charge de 4 960 mm.											
Avec une charge de 5 040 mm.											
Avec une charge de 5 120 mm.											
Avec une charge de 5 200 mm.											
Avec une charge de 5 280 mm.											
Avec une charge de 5 360 mm.											
Avec une charge de 5 440 mm.											
Avec une charge de 5 520 mm.											
Avec une charge de 5 600 mm.											
Avec une charge de 5 680 mm.											
Avec une charge de 5 760 mm.											
Avec une charge de 5 840 mm.											
Avec une charge de 5 920 mm.											
Avec une charge de 6 000 mm.											
Avec une charge de 6 080 mm.											
Avec une charge de 6 160 mm.											
Avec une charge de 6 240 mm.											
Avec une charge de 6 320 mm.											
Avec une charge de 6 400 mm.											
Avec une charge de 6 480 mm.											
Avec une charge de 6 560 mm.											
Avec une charge de 6 640 mm.											
Avec une charge de 6 720 mm.											
Avec une charge de 6 800 mm.											
Avec une charge de 6 880 mm.											
Avec une charge											

TABLE XIV. — ESSAIS DE CHOC DE BARREAUX ENTAILLÉS OU NON DE MÉTAUX DIVERS.

Nombre de kilogrammes.	Fer n° 1			Fer n° 2			Fer n° 3			Fer n° 4			Fer n° 5			Fer n° 6			Fer n° 7			Remarques
	Haut. de chute	mètres	4 2 1	Haut. de chute	mètres	4 2 1	Haut. de chute	mètres	4 2 1	Haut. de chute	mètres	4 2 1	Haut. de chute	mètres	4 2 1	Haut. de chute	mètres	4 2 1	Haut. de chute	mètres	4 2 1	
POIDS DU MOUTON = 10 kilogr. — DISTANCE DES APPUIS = 100 mm.																						
Barreaux sans entailles. — Flèches successives en millimètres.																						
20—	Mm.	Mm.	Mm.																			
40—	12 0	11 0	11 5	11 0	11 0	11 5	12 0	11 5	11 0	11 0	10 5	11 0	12 0	12 5	11 0	11 0	12 5	11 5	11 0	11 5	12 0	12 0
60—	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
80—	25 0	25 0	23 5	24 0	23 0	23 0	24 5	24 0	23 5	28 0	23 0	21 5	24 5	24 0	24 0	23 5	24 0	23 0	24 0	23 5	25 0	24 0
100—	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
120—	41 0	40 0	38 0	38 0	36 0	35 0	40 0	38 0	38 0	37 0	36 0	34 0	40 0	38 0	38 0	37 0	38 0	34 0	37 0	37 0	42 5	40 0
140—	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
160—	60 0	58 0	54 0	53 0	51 0	49 0	58 0	53 0	53 0	53 5	53 0	46 0	61 0	56 0	54 0	54 0	53 0	51 0	60 0	54 0	62 0	55 0
180—	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
200—	71 0	84 0	73 0	79 0	74 0	65 0	86 0	74 0	73 0	75 0	74 0	63 0	84 0	79 0	72 0	78 0	73 0	68 0	83 0	76 0	68 0	78 0
220—	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
240—	»	»	»	90 0	89 0	102	93 0	»	88 0	»	»	»	»	86 0	96 0	»	96 0	»	94 0	97 0	»	»
260—	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
280—	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
300—	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
320—	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
340—	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
360—	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
380—	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
400—	non rompus	non rompus	non rompus	non rompus	non rompus	non rompus	non rompus	non rompus	non rompus	non rompus	non rompus	non rompus	non rompus	non rompus	non rompus	non rompus	non rompus	non rompus	non rompus	non rompus	non rompus	non rompus

Nombre de kilogrammes.	Fer n° 9			Fer n° 10			Fer n° 11			Acier extra-doux Assaill			Acier électrique Couléé 329			Acier électrique Couléé 268			Acier électrique Couléé 313			Remarques	
	Haut. de chute	mètres	4 2 1	Haut. de chute	mètres	4 2 1	Haut. de chute	mètres	4 2 1	Haut. de chute	mètres	4 2 1	Haut. de chute	mètres	4 2 1	Haut. de chute	mètres	4 2 1	Haut. de chute	mètres	4 2 1		
POIDS DU MOUTON = 10 kilogr. — DISTANCE DES APPUIS = 100 mm.																							
Barreaux sans entailles. — Flèches successives de 1 mm.																							
20—	Mm.	Mm.	Mm.	Mm.	Mm.	Mm.	Mm.	Mm.	Mm.	Mm.	Mm.	Mm.	Mm.	Mm.	Mm.	Mm.	Mm.	Mm.	Mm.	Mm.	Mm.		
40—	3 5	10 5	10 0	11 0	11 5	11 0	10 0	10 0	10 0	14 5	10 0	8 5	4 0	5 0	4 0	5 5	4 0	4 0	5 0	5 0	4 0		
60—	rom.	»	18 0	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	
80—	»	21 5	rom.	23 0	23 0	20 0	20 0	20 0	19 0	24 0	18 0	16 0	8 5	9 5	5 5	8 5	8 5	6 0	9 5	9 5	6 5		
100—	»	»	»	32 5	36 5	37 5	34 0	32 5	31 0	29 5	32 0	27 5	23 0	13 0	10 0	7 5	14 5	12 0	8 0	16 5	9 0		
120—	»	»	rom.	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	rom.	rom.	»	»	»	rom.	»	»		
140—	»	»	»	52 5	53 0	47 0	45 5	45 0	40 0	44 5	37 0	30 0	0	»	8 5	19 0	16 0	10 0	»	»	»	»	
160—	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	rom.	»	»	»	»	»	»	»	»	
180—	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	26 0	48 0	»	»	»	»	»	»	»	
200—	»	»	»	75 0	72 5	64 0	63 0	60 0	52 0	63 0	48 0	38 0	0	»	»	»	»	»	»	»	»	»	
220—	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	rom.	»	»	»	»	»	»	»	»	
240—	»	»	»	91 0	90 0	83 0	90 0	0	70 5	65 5	45 5	45	0	»	»	»	»	»	»	»	»	»	
260—	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	
280—	»	»	»	»	»	93 0	»	»	»	»	»	55 0	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	
300—	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	
320—	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	
340—	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	
360—	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	
380—	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	
400—	rompus	non rompus	non rompus	non rompus	non rompus	non rompus	non rompus	non rompus	non rompus	non rompus	non rompus	non rompus	non rompus	non rompus	non rompus	non rompus	non rompus	non rompus	non rompus	non rompus	non rompus	non rompus	

OBSERVATIONS. — Les travaux dépendus ont été déterminés en se servant de crushers qui recevaient l'excès de puissance du mouton après la rupture complète des barreaux. — Ces crushers ont été surtout employés pour les hauteurs de chute de 4 mètres ; pour les hauteurs de 2 et 1 mètre l'erreur dans la mesure du travail étant moins grande on ne s'est servi des crushers que pour les fers fragiles tels que 1, 2, 7, 9 et 11. D'ailleurs les ruptures n'étaient pas franches dans la plupart des fers. Bien entendu tous les travaux indiqués ci-dessus sont des travaux apparents. On remarquera l'irrégularité de ces résultats.

TABLE XIV (*suite*). — ESSAIS DE CHOC DE BARREAUX ENTAILLÉS OU NON DE MÉTAUX DIVERS.

Nombre de kilogrammètres	Fer n° 1		Fer n° 2		Fer n° 3		Fer n° 4		Fer n° 5		Fer n° 6		Fer n° 7		Fer n° 8		Remarques						
	Haut de chute	mètres																					
4	2	1	4	2	1	1	2	4	4	2	1	4	2	1	1	2	4	4	2	1	4	2	1

POIDS DU MOUTON = 10 kilogr. — DISTANCE DES APPUIS = 100 mm

Barreaux entaillés à la scie sur une profondeur de 2 mm. — Flèches successives en millimètres.

POIDS DU MOUTON = 10 kilogr. — DISTANCE DES APPUIS = 100 mm.

Barreaux entaillés à la scie sur une profondeur de 2 mm. — Flèches successives.

OBSERVATIONS. — Même observation que dans la première partie du tableau.

TABLE XV. — ESSAIS DE FLEXION PAR CHOC DE BARREAUX ENTAILLÉS OU NON.

Nombre de kilogrammètres	Acier extra-dur — Imphy						Acier dur — Tamaris						Acier mi-dur — Creusot						Remarques	
	naturel			recuit			naturel			recuit			naturel			recuit				
	Haut. en mètres			Haut. en mètres			Haut. en mètres			Haut. en mètres			Haut. en mètres			Haut. en mètres				
POIDS DU MOUTON = 10 kilogr. — DISTANCE DES APPUIS = 100 mm.																				
Flèches successives prises par les barreaux lisses choqués pour les nombres de kilogrammètres de la première colonne.																				
20 —	"	"	"	"	"	"	7 0	6 0	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"		
40 —	5 5	5 0	4 0	"	6 0	"	6 5	5 0	"	7 8	7 5	5 0	"	8 0	"	"	"	"		
60 —	"	"	"	"	"	"	10 5	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"		
80 —	11 0	9 0	7 5	"	11 5	"	12 0	9 5	"	11 5	"	14 0	13 0	9 5	"	14 5	"	"		
100 —	"	"	"	"	"	"	"	15 0	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"		
120 —	15 0	12 5	10 5	"	15 5	"	17 0	"	11 5	"	16 5	"	20 0	19 0	12 5	"	22 5	"		
140 —	"	"	"	"	"	"	"	19 0	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"		
160 —	19 5	16 5	13 5	"	20 0	"	21 5	"	14 0	"	21 2	"	26 5	24 0	16 0	"	27 0	"		
180 —	"	"	"	"	"	"	"	23 5	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"		
200 —	24 0	20 0	15 5	"	23 5	"	28 0	"	16 5	"	26 5	"	32 5	31 0	19 5	"	31 5	"		
220 —	"	"	"	"	"	"	"	27 0	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"		
240 —	27 5	24 0	17 0	"	28 0	"	28 5	"	19 0	"	32 5	"	40 0	38 0	22 5	"	44 0	"		
260 —	"	"	"	"	"	"	"	romp.	33 0	"	"	"	"	"	"	"	"	"		
280 —	30 5	27 0	20 0	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"		
300 —	romp.	"	"	"	"	"	"	36 0	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"		
320 —	"	31 0	21 5	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"		
340 —	"	"	"	"	"	"	"	40 0	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"		
360 —	"	35 0	25 0	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"		
380 —	"	"	non r.	"	"	"	"	40 5	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"		
400 —	"	36 0	"	"	"	"	"	"	romp.	"	"	"	"	"	"	"	"	"		
420 —	"	romp.	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"		
440 —	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"		
460 —	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"		
480 —	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"		
500 —	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"		

Nombre de kilogrammètres	Acier doux — Denain et Anzin						Acier doux — Assaily						Acier Denain et Anzin						Remarques	
	naturel			trempé			naturel			trempé			naturel			trempé				
	Haut. en mètres			Haut. en mètres			Haut. en mètres			Haut. en mètres			Haut. en mètres			Haut. en mètres				
POIDS DU MOUTON = 10 kilogr. — DISTANCE DES APPUIS = 100 mm.																				
Flèches successives prises par les barreaux lisses choqués pour les nombres de kilogrammètres de la première colonne.																				
20 —	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"		
40 —	10 0	11 0	8 0	"	7 5	"	11 5	10 0	8 5	"	7 0	"	"	"	"	"	"	"		
60 —	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"		
80 —	18 5	20 0	14 0	"	13 0	"	21 0	18 0	16 0	"	12 5	"	"	"	"	"	"	"		
100 —	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"		
120 —	27 0	29 5	24 0	"	20 5	"	32 0	27 5	23 0	"	17 5	"	"	"	"	"	"	"		
140 —	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"		
160 —	36 0	39 5	27 0	"	25 5	"	44 5	37 0	30 0	"	23 0	"	"	"	"	"	"	"		
180 —	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"		
200 —	49 0	46 0	33 5	"	33 0	"	63 0	48 0	38 0	"	28 5	"	"	"	"	"	"	"		
220 —	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"		
240 —	67 5	54 0	40 5	"	38 0	"	70 5	65 5	45 5	"	35 0	"	"	"	"	"	"	"		
260 —	"	"	"	"	"	"	"	non r.	non r.	"	"	"	"	"	"	"	"	"		
280 —	67 0	70 0	49 0	"	51 0	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"		
300 —	"	non r.	non r.	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"		
320 —	"	"	"	"	65 0	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"		
340 —	"	"	"	"	non r.	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"		
360 —	67 0	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"		
380 —	non r.	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"		
400 —	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"		
420 —	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"		
440 —	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"		
460 —	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"		
480 —	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"		
500 —	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"		

TABLE XV (suite). — ESSAIS DE FLEXION PAR CHOC DE BARREAU ENTAILLÉS OU NON.

158

Nombre de kilogrammètres	Acier extra-dur — Imphy				Acier dur — Tamarin				Acier mi-dur — Creusot				Remarques	
	naturel		recuit		naturel		recuit		naturel		recuit			
	Haut. en mètres	Haut. en mètres	Haut. en mètres	Haut. en mètres	Haut. en mètres	Haut. en mètres	Haut. en mètres	Haut. en mètres	Haut. en mètres	Haut. en mètres	Haut. en mètres	Haut. en mètres		
POIDS DU MOUTON = 10 kilogr. — DISTANCE DES APPUIS = 100 mm. Barreaux entaillés de 4 mm. à la scie. — Flèches successives.														
20—	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	
30—	2 0	2 0	2 0	2 0	»	2 0	2 0	2 0	7 0	5 0	»	»	»	
40—	romp.	romp.	romp.	romp.	»	romp.	romp.	romp.	7 0	7 0	romp.	»	»	
50—	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	romp.	»	»	
60—	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	
70—	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	
80—	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	
90—	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	
100—	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	
110—	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	
120—	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	
130—	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	
140—	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	
150—	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	
160—	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	
170—	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	
180—	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	
190—	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	
200—	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	
Trav. de rupt. = 14 kgm.				Trav. de rupt. = 13 kgm.				Trav. de rupt. = 16 kgm.						

EFFETS DES SOLlicitATIONS LENDES ET VIVES

Nombre de kilogrammètres	Acier doux — Denain et Anzin				Acier doux — Assailli				Acier Denain et Anzin				Remarques	
	naturel		trempé		naturel		trempé		naturel		trempé			
	Haut. en mètres	Haut. en mètres	Haut. en mètres	Haut. en mètres	Haut. en mètres	Haut. en mètres	Haut. en mètres	Haut. en mètres	Haut. en mètres	Haut. en mètres	Haut. en mètres	Haut. en mètres		
POIDS DU MOUTON = 10 kilogr. — DISTANCE DES APPUIS = 100 mm. Barreaux entaillés de 4 mm. à la scie. — Flèches successives.														
20—	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	
30—	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	
40—	12 0	12 0	12 0	12 0	»	12 0	13 0	14 0	»	»	12 0	12 0	12 0	
50—	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	
60—	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	
70—	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	
80—	23 0	24 0	23 0	»	»	24 0	27 0	23 0	»	»	26 0	26 0	21 0	
90—	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	
100—	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	
110—	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	
120—	48 0	40 0	37 0	»	»	39 0	43 0	36 0	»	»	42 0	40 0	39 0	
130—	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	
140—	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	
150—	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	
160—	64 0	59 0	53 0	»	»	58 0	64 0	55 0	»	»	62 0	59 0	57 0	
170—	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	
180—	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	
190—	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	
200—	83 0	92 0	78 0	»	»	84 0	88 0	83 0	»	»	87 0	84 0	84 0	
presque rompus				presque rompus				presque rompus						

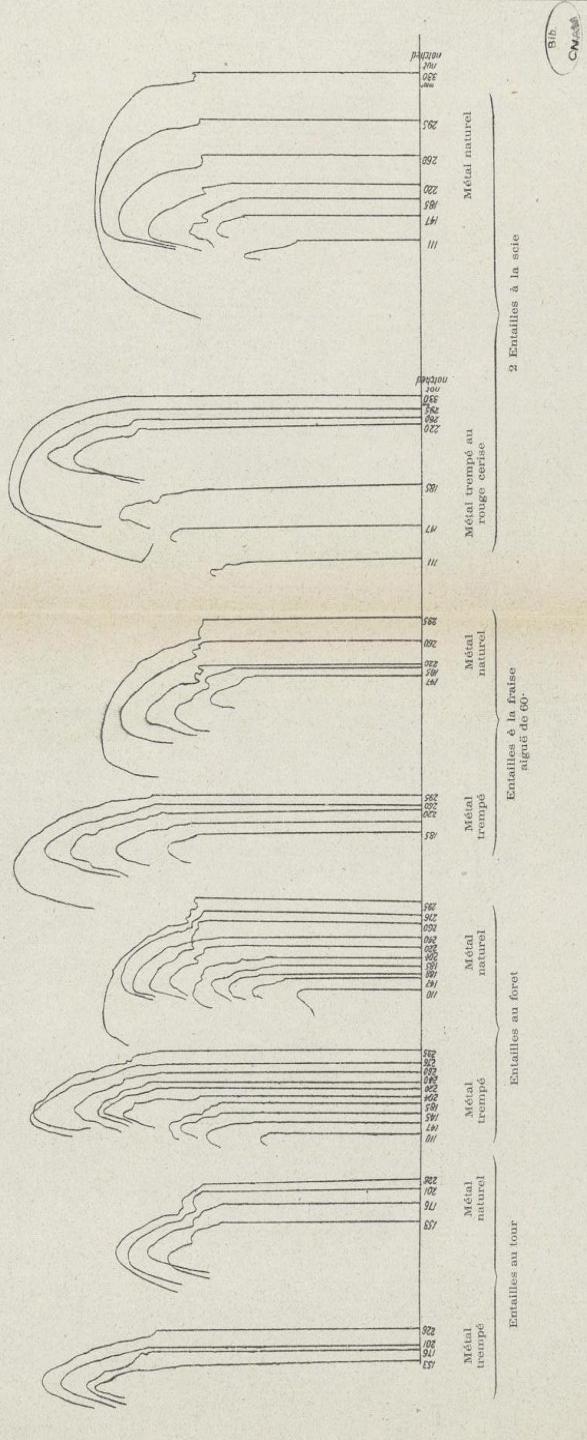
DANS LE CAS DES MÉTAUX FERREUX

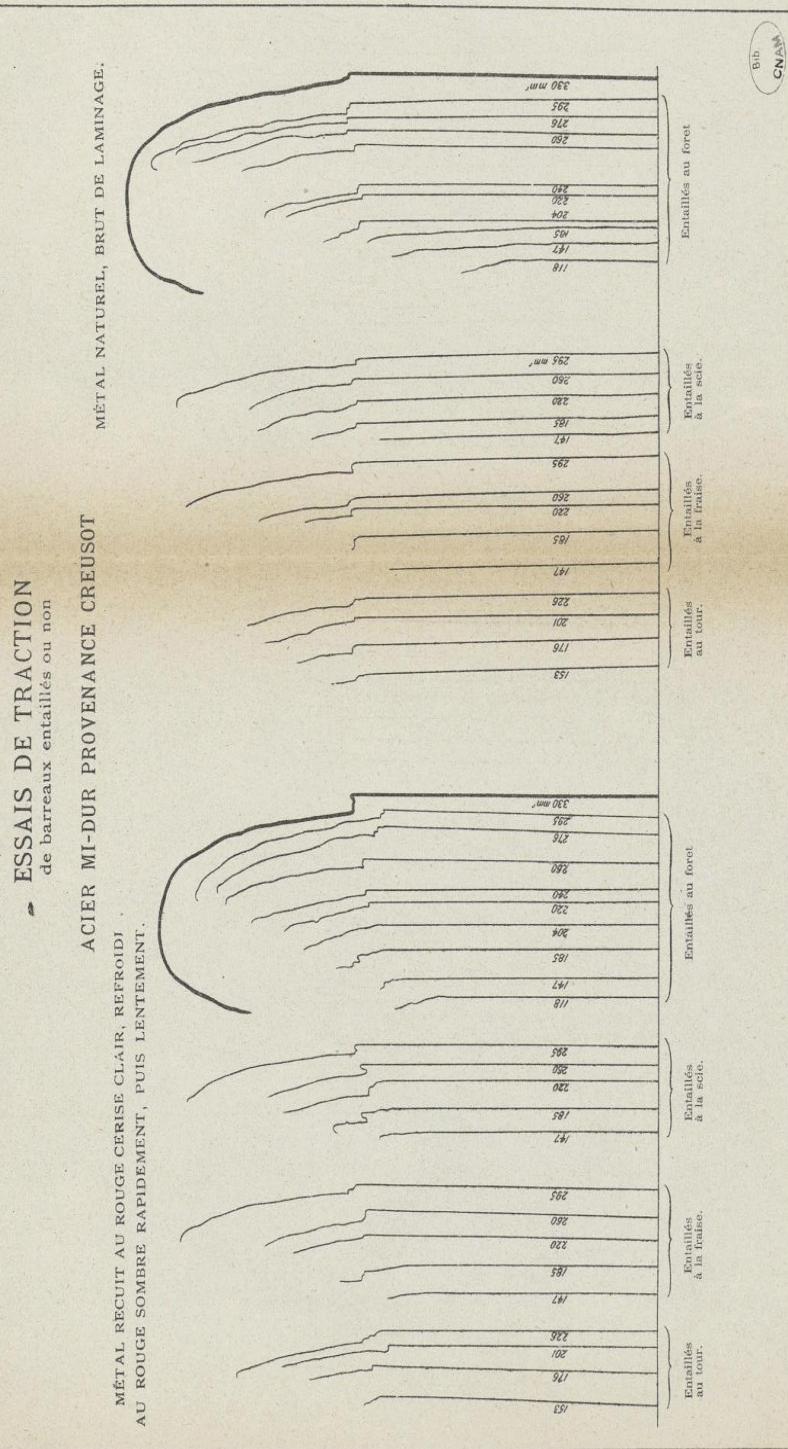
129

ESSAIS DE TRACTION DE BARREAUX ENTAILLÉS OU NON
avec entailles croissantes

ACIER EXTRA-DOUX, PROVENANCE ASSAILLY

N.B. — Pour les barrettes entaillées à la scie, la longueur de mesure n'était que de 77 % tandis que pour toutes les autres, elle a été de 80 %





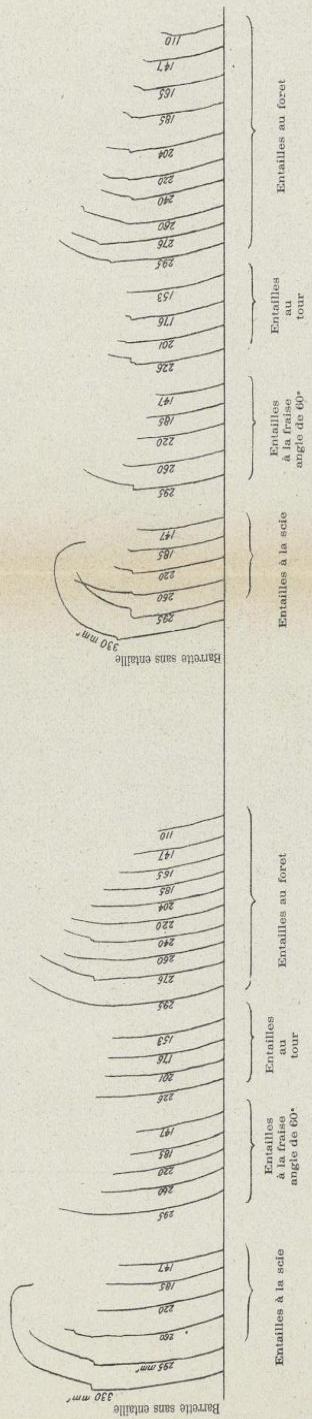
ESSAIS COMPARATIFS DE TRACTION

de barrettes entaillées de diverses façons avec des entailles de dimensions croissantes

ACIER DUR — PROVANCE IMPHY

MÉTAL NATUREL (brut de laminage)

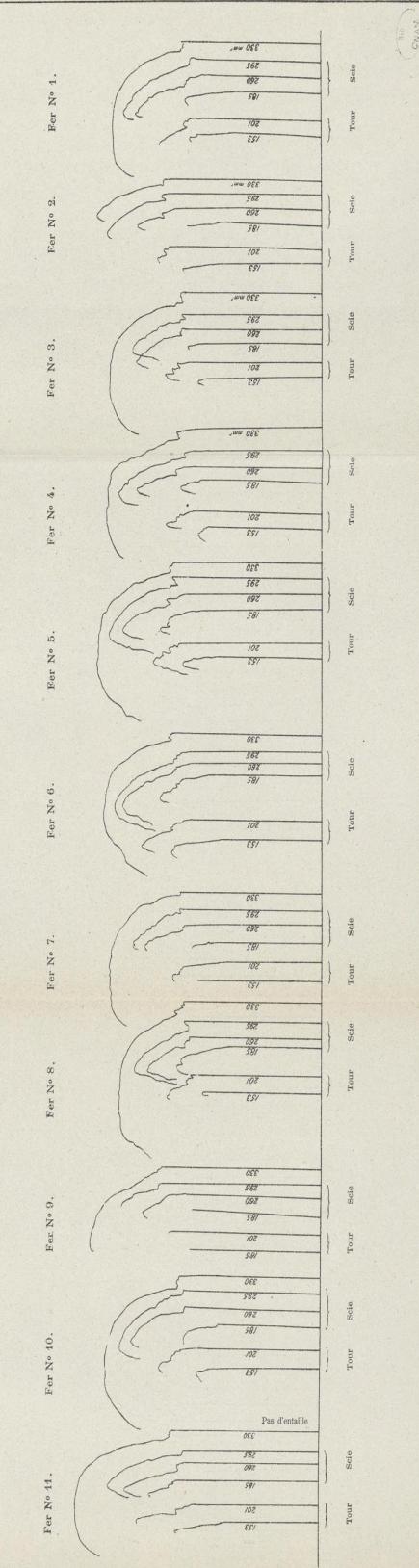
MÉTAL RECUIT AU ROUGE CÉRISE ET REFRIDI LENTEMENT DANS LE FOUR



ESSAIS COMPARATIFS DE TRACTION

de barreaux entaillés ou non entaillés, prélevés dans 11 qualités de fer différentes, fabriquées par Mr G. CHEHET à Athis-Mons.

MÉTAUX NATURELS (brut de laminage)



CH. BERANGER, éditeur, 15, rue des Saintes-Pierres, PARIS

ESSAIS DE TRACTION

Barreaux incisés de 2 côtés à la scie usée de 1 mm d'épaisseur

ACIER EXTRA-DOUX; PROVENANCE ASSAULTY

MÈTAL NATUREL (brut de lamination)

MÉTAL TREMPÉ AU ROUGE CERISE CLAIR

MÉTAL TR



N.-B. — Les parties hachurées sont celles où s'est localisée toute la déformation.

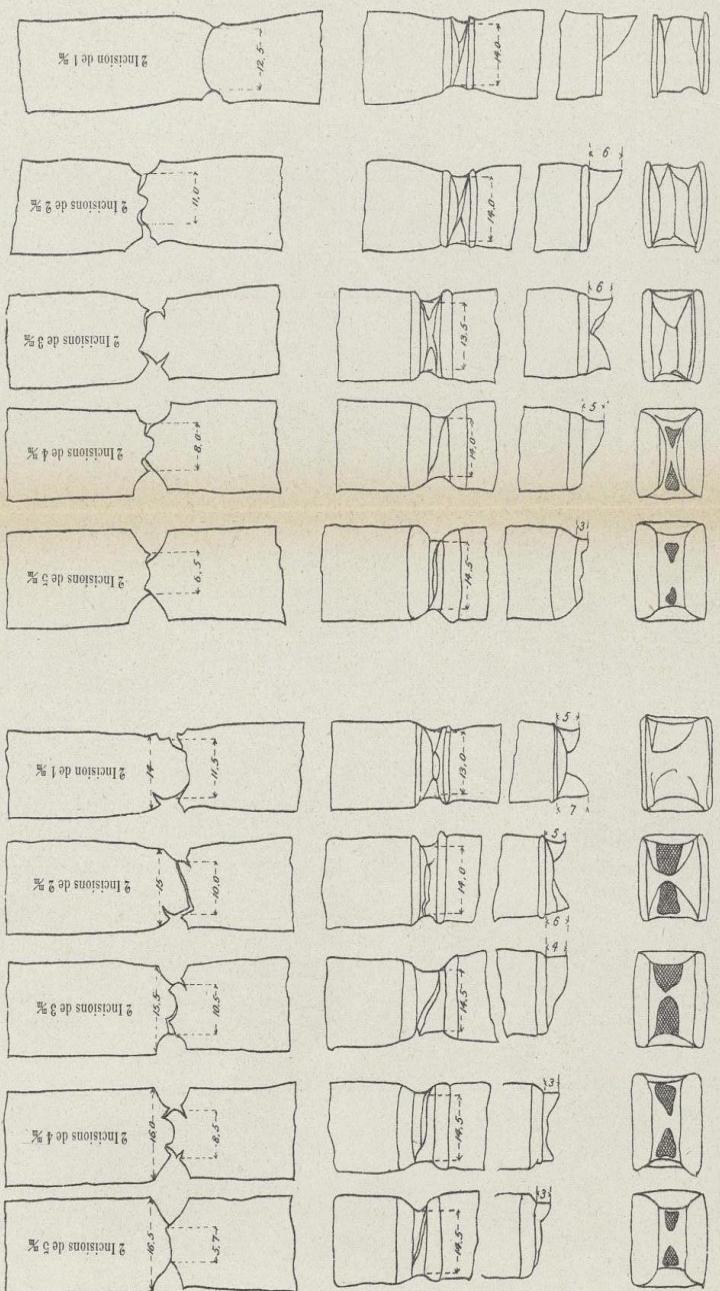
CH. BÉRANGER, ÉDITEUR, 15, RUE DES SAINTS-PÈRES, PARIS.

Bib CNAME

ESSAIS DE TRACTION

Barreaux, incisés de 2 côtés à la fraise aiguë de 60°

ACIER EXTRA-DOUX, PROVENANCE ASSAILLY



MÉTAL TREMPÉ AU ROUGE CERISE CLAIR

MÉTAL NATUREL (brut de lamination)

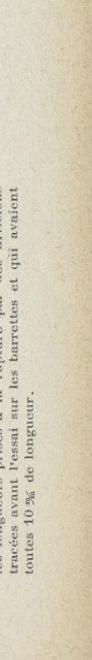
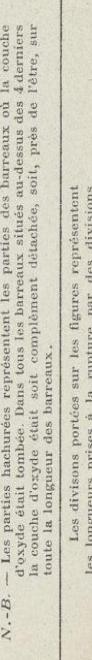
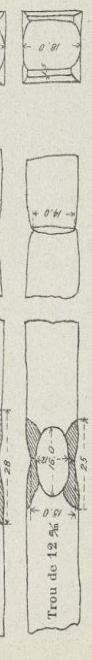
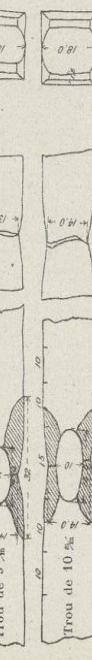
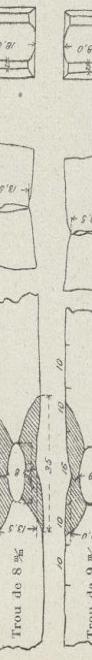
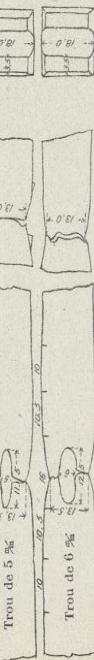
Bib
Cnam

ESSAIS DE TRACTION

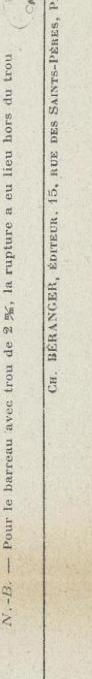
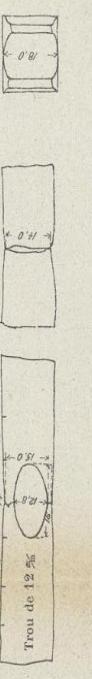
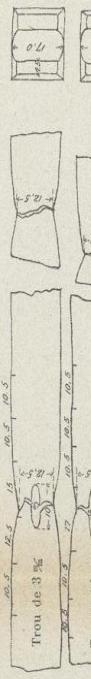
de Barreaux, avec un trou foré dans leur axe

ACIER EXTRA-DOUX, PROVENANCE ASSAILLY

ACIER NATUREL (brut de laminage)



ACIER TREMPÉ AU ROUGE CERISE CLAIR



N.-B. — Pour le barreau avec trou de 2 1/2, la rupture a eu lieu hors du trou.

CH. BERANGER, éditeur, 15, RUE DES SAINTS-PÈRES, PARIS.

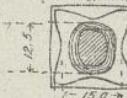
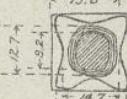
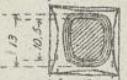
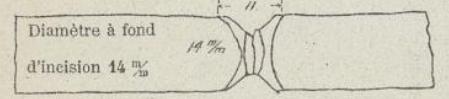
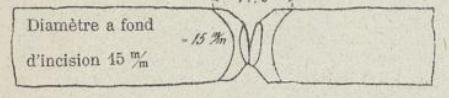
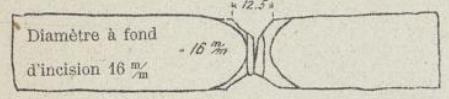
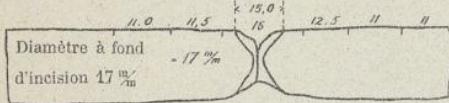
N.-B. — Les parties hachurées représentent les parties des barreaux où la couche d'oxyde était tombée. Dans tous les barreaux situés au-dessus des 4 derniers la couche d'oxyde était soit complètement détachée, soit, près de l'être, sur toute la longueur des barreaux.

Les longueurs portées sur les figures représentent les longueurs prises à la rupture. Par des divisions tracées avant l'essai sur les barrettes et qui avaient toutes 40 % de longueur.

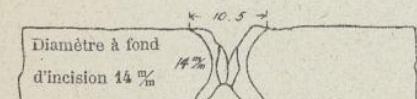
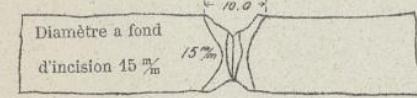
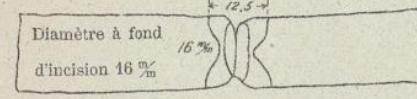
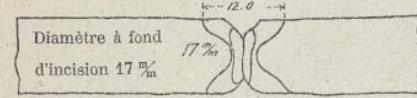
ESSAIS DE TRACTION

Barreaux incisés au tour, outil pointu avec angle de 60°

ACIER EXTRA-DOUX, PROVENANCE ASSAILLY



MÉTAL NATUREL (brut de laminage)



MÉTAL TREMPÉ AU ROUGE CERISE CLAIR

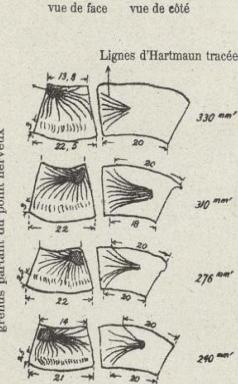
Bib
Cnam

CH. BÉRANGER, ÉDITEUR, 15, RUE DES SAINTS-PÈRES, PARIS.

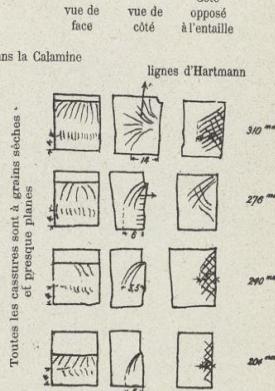
ACIER DUR, PROVENANCE IMPHY (Naturel)

A. — CASSURES DE FLEXION (Distance des appuis = 80 mm)

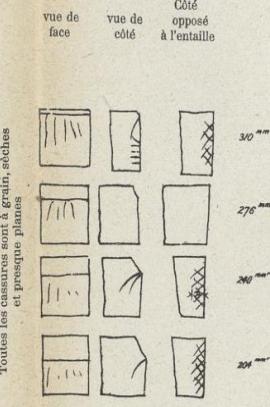
I. — Barreaux sans entailles

Toutes les cassures sont gommées avec rayons
grêlins partant du point nerveux

II. — Barreaux entaillés à la scie

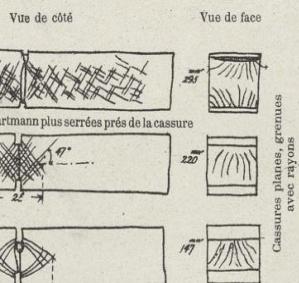


III. — Barreaux entaillés à la fraise aiguë de 60°

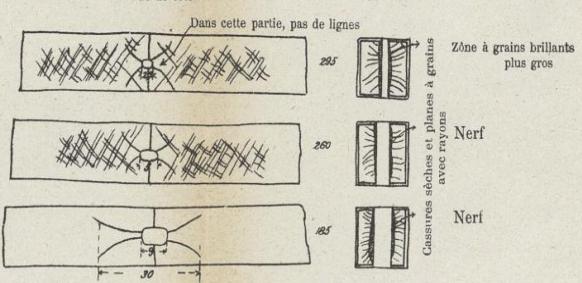


B. — CASSURES DE TRACTION

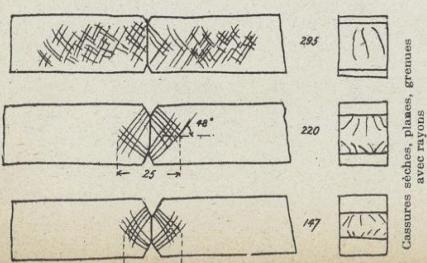
I. — Barreaux entaillés à la scie



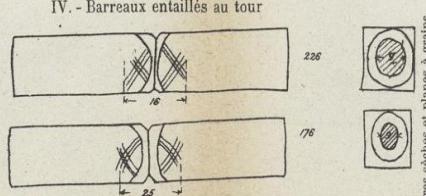
III. — Barreaux percés à la mèche



II. — Barreaux entaillés à la fraise aiguë de 60°

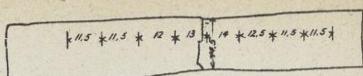


IV. — Barreaux entaillés au tour



Dans cette couronne le grain est plus terne

V. — Barreau sans entaille



ESSAIS DE FLEXION SUR DEUX APPUIS

de barreaux entaillés ou non ; les barreaux entaillés l'ont été à la scie ou à la fraise

ACIER EXTRA-DOUX, PROVENANCE ASSAILLY

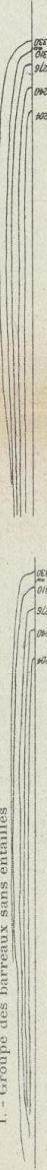
Distance des appuis = 80 $\frac{m}{m}$

MÉTAL NATUREL

Distance des appuis = 100 $\frac{m}{m}$

MÉTAL TREMPÉ AU ROUGE CERISE CLAIR

I. - Groupe des barreaux sans entailles



II. - Groupe des barreaux incisés à la scie de 1 $\frac{m}{m}$



III. - Groupe des barreaux incisés à la fraise aiguë de 60°

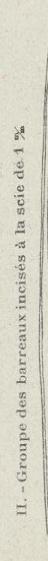


Distance des appuis = 100 $\frac{m}{m}$

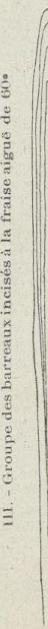
I. - Groupe des barreaux sans entailles



II. - Groupe des barreaux incisés à la scie de 1 $\frac{m}{m}$



III. - Groupe des barreaux incisés à la fraise aiguë de 60°



ESSAIS COMPARATIFS DE FLEXION SUR DEUX APPUIS

de barreaux entaillés ou non, avec des entailles de formes et dimensions variées

MÉTAL NATUREL ACIER EXTRA-DOUX, PROVENANCE DENAIN ET ANZIN MÉTAL TREMPÉ AU ROUGE CERISE CLAIR

Distance des appuis = 80 $\frac{m}{m}$

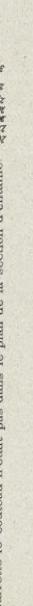
I. - Barreaux sans entailles



II. - Barreaux entaillés à la scie de 1 $\frac{m}{m}$



III. - Barreaux entaillés à la plan de la section d'entaille.



× Pour cette barretoile le couteau n'était pas dans le plan de la section d'entaille.

III. - Barreaux entaillés à la fraise aiguë de 60°



Distance des appuis = 100 $\frac{m}{m}$

I. - Barreaux sans entailles

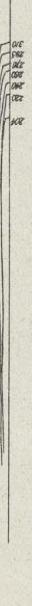


N.B. — Aucun barreau rompu

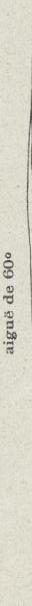
II. - Barreaux entaillés à la scie de 1 $\frac{m}{m}$



III. - Barreaux entaillés à la scie de 1 $\frac{m}{m}$



III. - Barreaux entaillés à la fraise aiguë de 60°



CH. BÉRANGER, ÉDITEUR, 15, RUE DES SAINTS-PÈRES, PARIS

Bib

CNAM

ESSAIS DE FLEXION SUR DEUX APPUIS

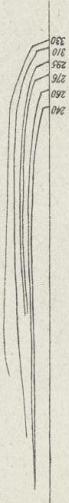
de barreaux entaillés ou non

ACIER MI-DUR, PROVENANCE CREUSOT

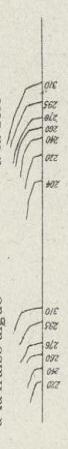
Distance des appuis = 80 mm

MÉTAL NATUREL (brut de laminage)

I. — Barreaux non entaillés, rabotés



III. — Barreaux entaillés à la fraise aiguë

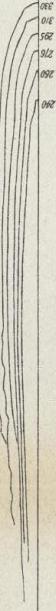


III. — Barreaux entaillés à la fraise aiguë



MÉTAL RECUIT AU ROUGE CERISE CLAIR, REFRIDI RAPIDEMENT JUSQU'AU ROUGE SOMBRE, PUIS LENTEMENT

I. — Barreaux non entaillés, rabotés



III. — Barreaux entaillés à la fraise aiguë



Distance des appuis = 100 mm

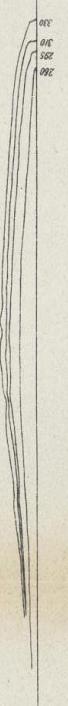
I. — Barreaux non entaillés, rabotés



III. — Barreaux entaillés à la fraise aiguë



I. — Barreaux non entaillés, rabotés



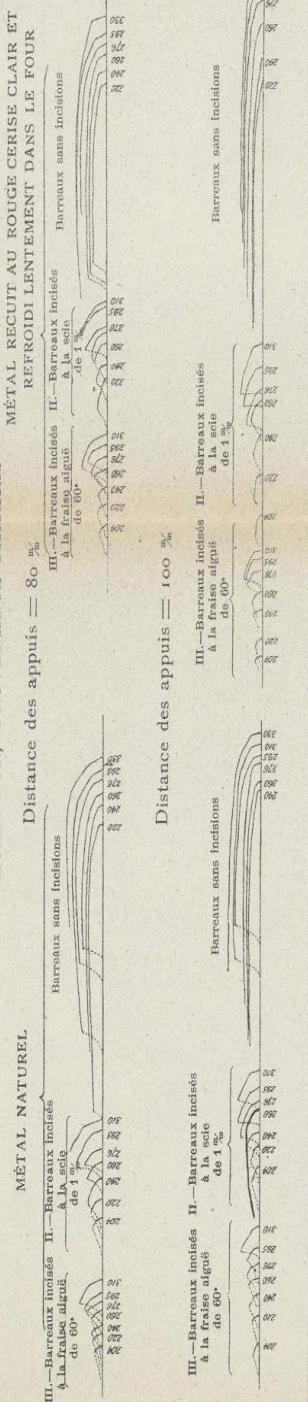
III. — Barreaux entaillés à la fraise aiguë



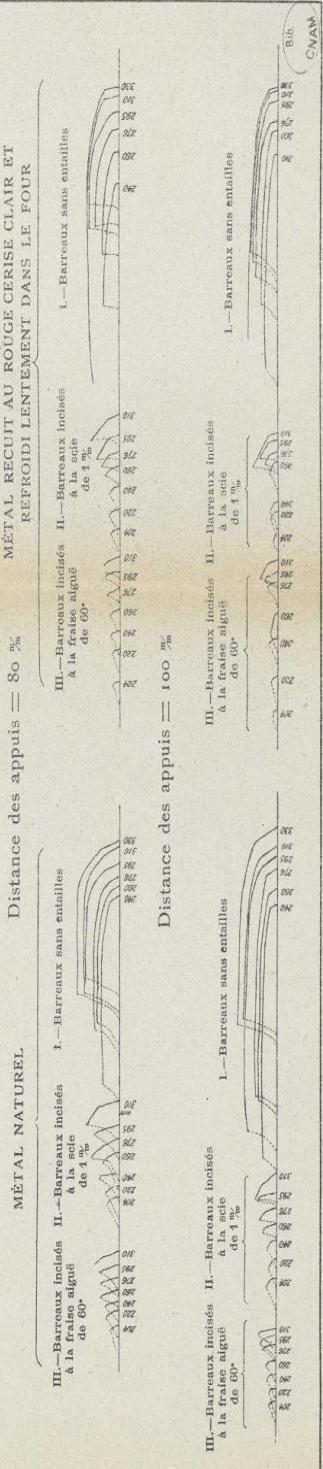
ESSAIS DE FLEXION SUR DEUX APPUIS

de barreaux incisés ou non

ACIER DUR, PROVENANCE TAMARIS



ACIER EXTRA DUR PROVENANCE IMPHY

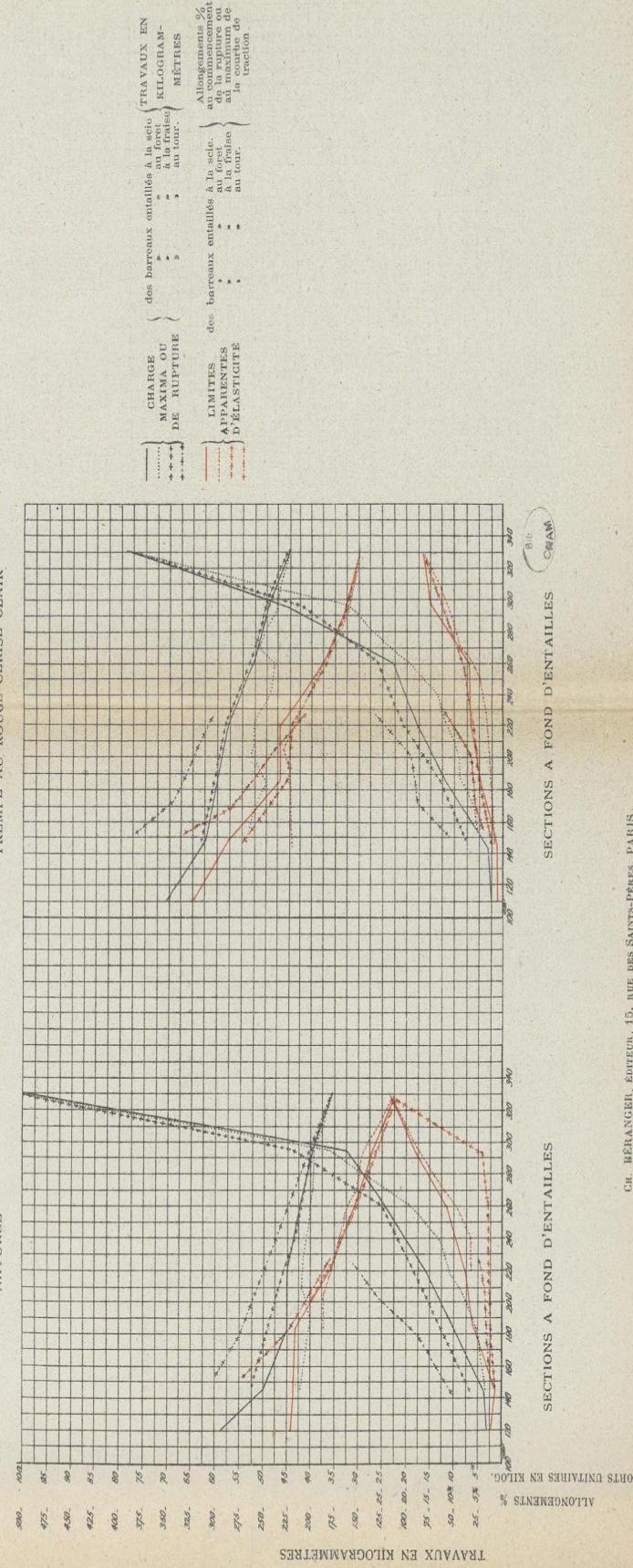


ESSAIS DE TRACTION

Courbes reliant les charges unitaires maxima, les limites unitaires d'élasticité apparente, les allongements % à la rupture et les travaux en kilogrammes aux sections à fond d'entailles.

ACIER EXTRA-DOUX, PROVENCE, ASSAILLY

NATUREL TREMPÉ AU ROUGE CERISE CLAIR

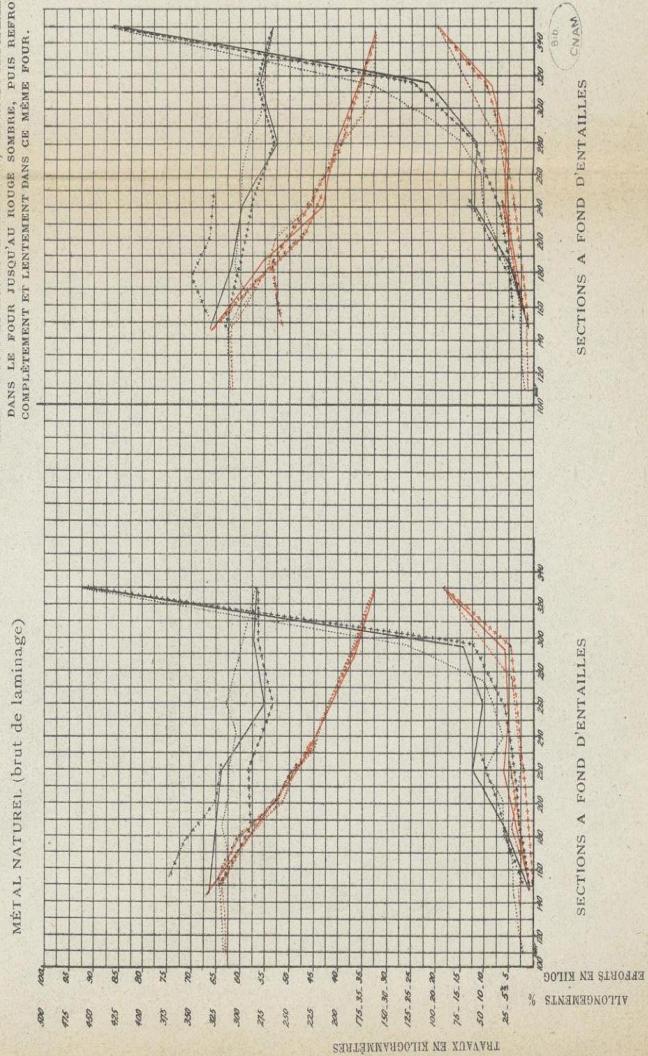


ESSAIS DE TRACTION

Courbes reliant les charges maxima, les limites apparentes d'élasticité, les allongements et les travaux en kilogrammètres aux sections à fond d'entailles.

ACIEB MI-DUB. PROVENANCE CBEUSSOT

MÉTAL RECUIT AU ROUGE CÉRISE CLAIR, REFRIDI RAPIDEMENT DANS LE FOUR JUSQU'AU ROUGE SOMBRE, PUIS REFRIDI COMPLÈTEMENT ET LENTEMENT DANS CE MÊME FOUR.



CL. BÉRANGER, ÉDITEUR, 15, RUE DES SAINTS-PÈRES, PARIS.

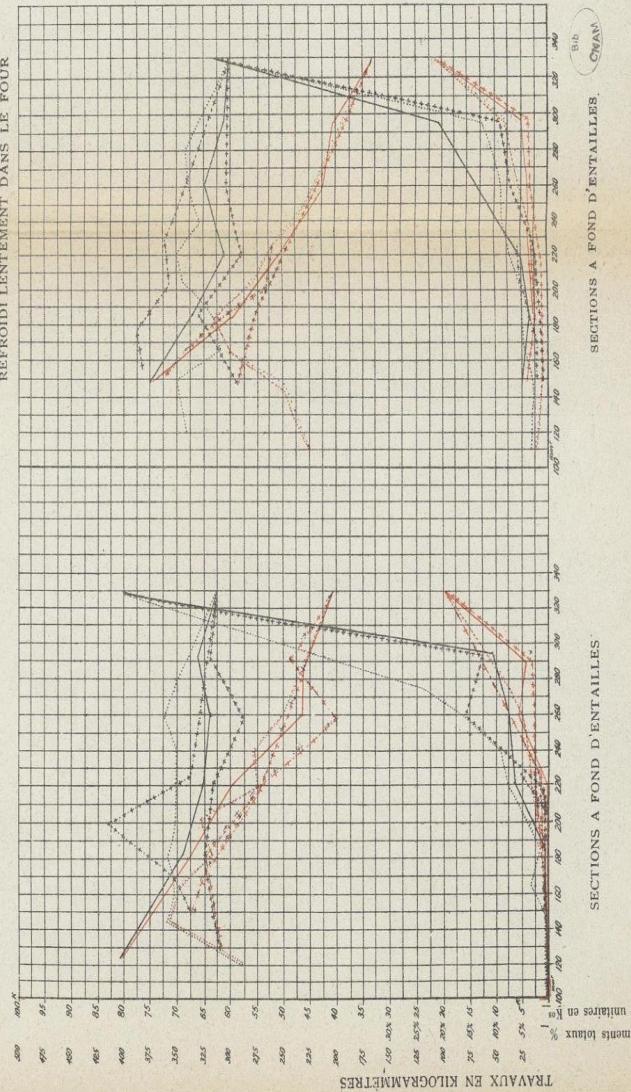
SECTIONS A FOND D'ENTAILLES

ESSAIS DE TRACTION

Courbes reliant les charges maxima, les limites apparentes d'élasticité, les allongements % à la rupture et les travaux en kilogrammètres, aux sections à fond d'entailles.

ACIER DUR, PROVENANCE TAMARIS

MÉTAL RECUIT AU ROUGE CERISE CLAIR ET
REFROIDI LENTEMENT DANS LE FOUR



Ch. BERANGER, ÉDITEUR, 45, RUE DES SAINTS-PÈRES, PARIS

Chargés unitaires en kilogrammes

Bib

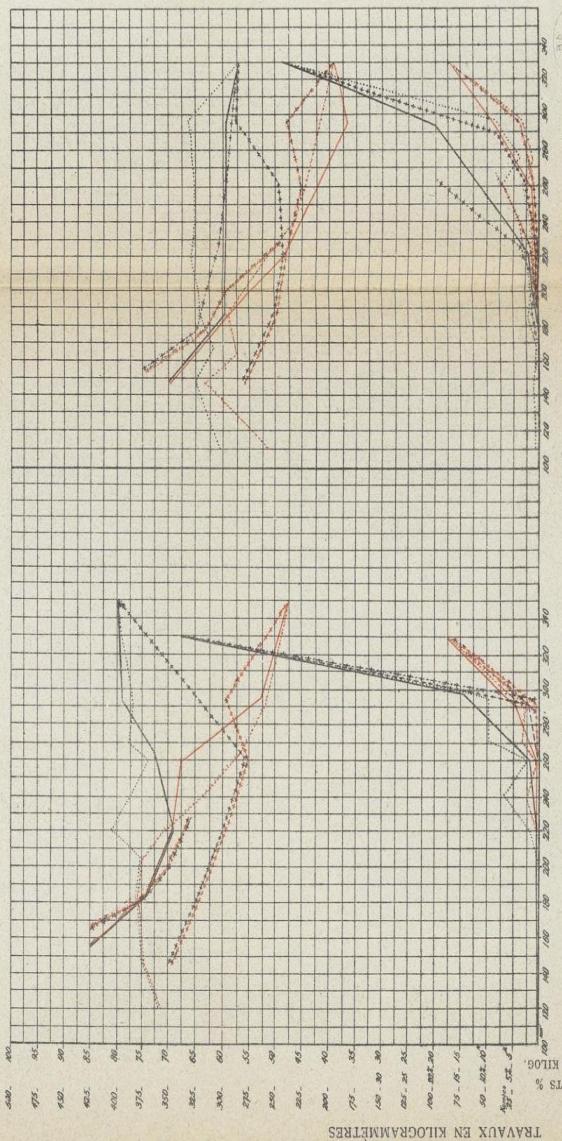
Cnam

ESSAIS DE TRACTION

Courbes reliant les charges maxima unitaires, les limites apparentes d'élasticité unitaires. les allongements % à la rupture et les travaux, aux sections à fond d'entailles.

ACIER EXTRA DUR, PROVENANCE IMPHY

MÉTAL NATUREL (brut de laminage) MÉTAL RECUIT AU ROUGE CÉRISE CLAIR ET REFRIDI LENTEMENT DANS LE FOUR



SECTION A FOND D'ENTAILLES

SECTION A FOND D'ENTAILLES

CH. BERANGER, ÉDITEUR, 15, RUE DES SAINTS-PÈRES, PARIS.

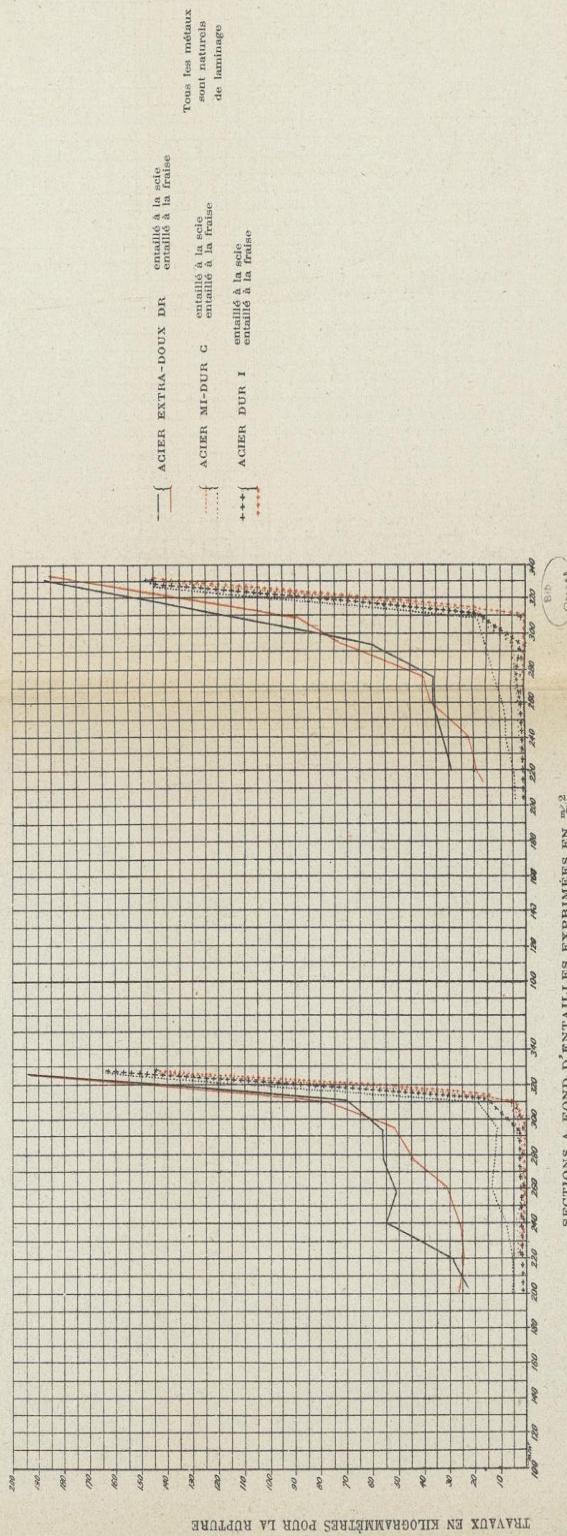
ESSAIS DE FLEXION SUR DEUX APPUIS

de Barreaux entaillés ou non entaillés

COURBES DES TRAVAUX DE RUPTURE, EN FONCTION DES SECTIONS A FOND D'ENTAILLÉS

Distance des appuis = 80 %

Distance des appuis = 100 %



SECTIONS A FOND D'ENTAILLÉS EXPRIMÉES EN %

Ch. BERANGER, éditeur, 15, rue des Saints-Pères, PARIS.

ESSAIS AU CHOC PAR FLEXION SUR 2 APPUIS

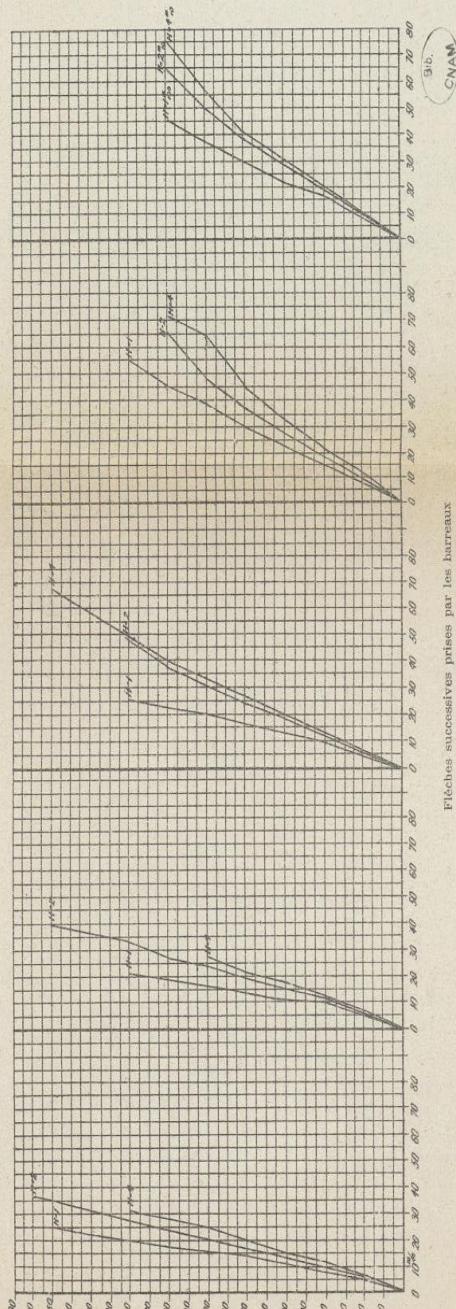
de barreaux non entaillés de divers métaux

Poids du mouton = 10 Kgs — Distance des appuis = 100 mm

LES H INDIQUENT LES HAUTEURS DE CHUTE UNIFORMES DU MOUTON

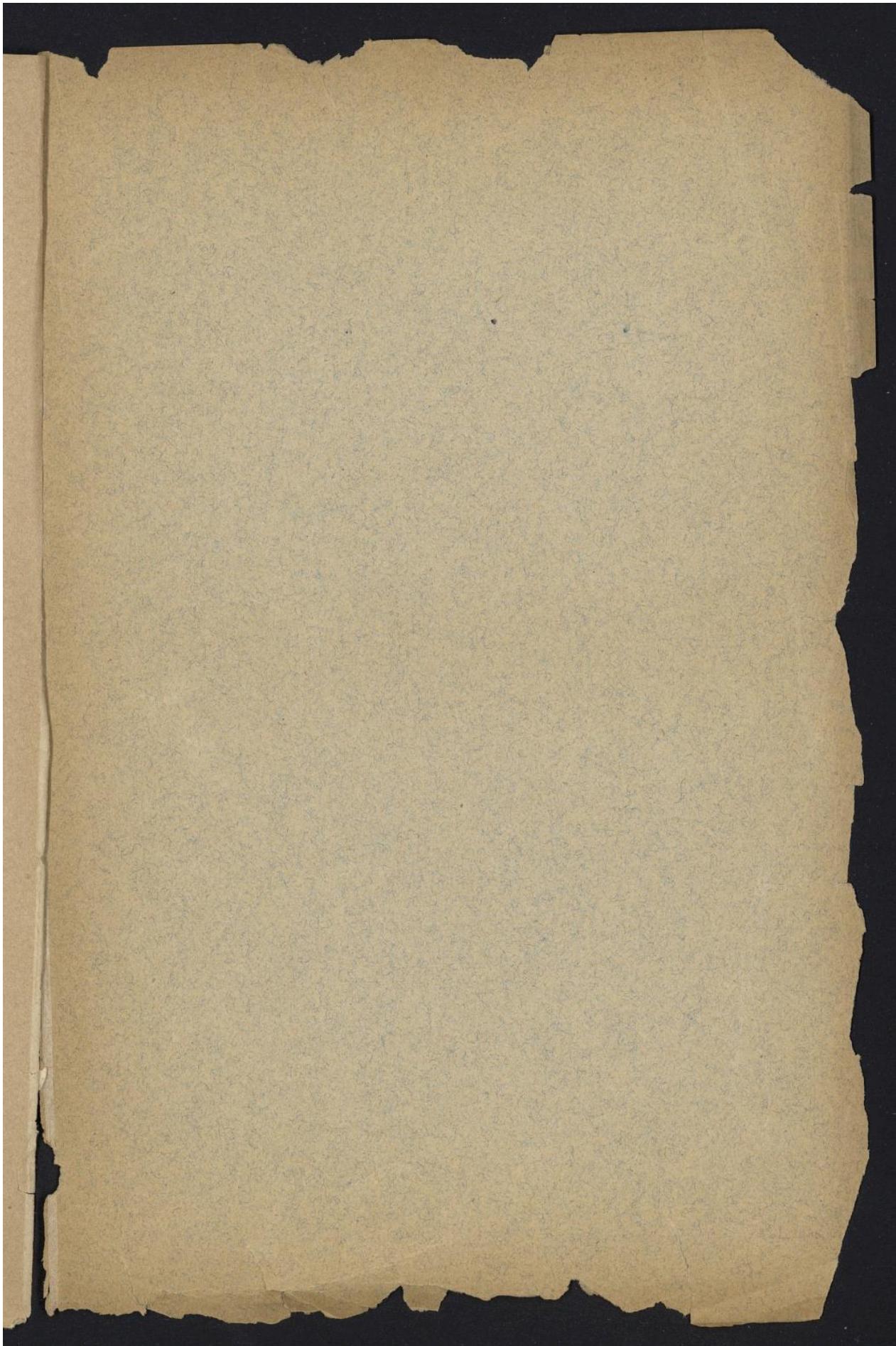
Acier extra-dur - I naturel

NOMBRE DE KILOGRAMMÈTRES BRUTS DÉPENSES

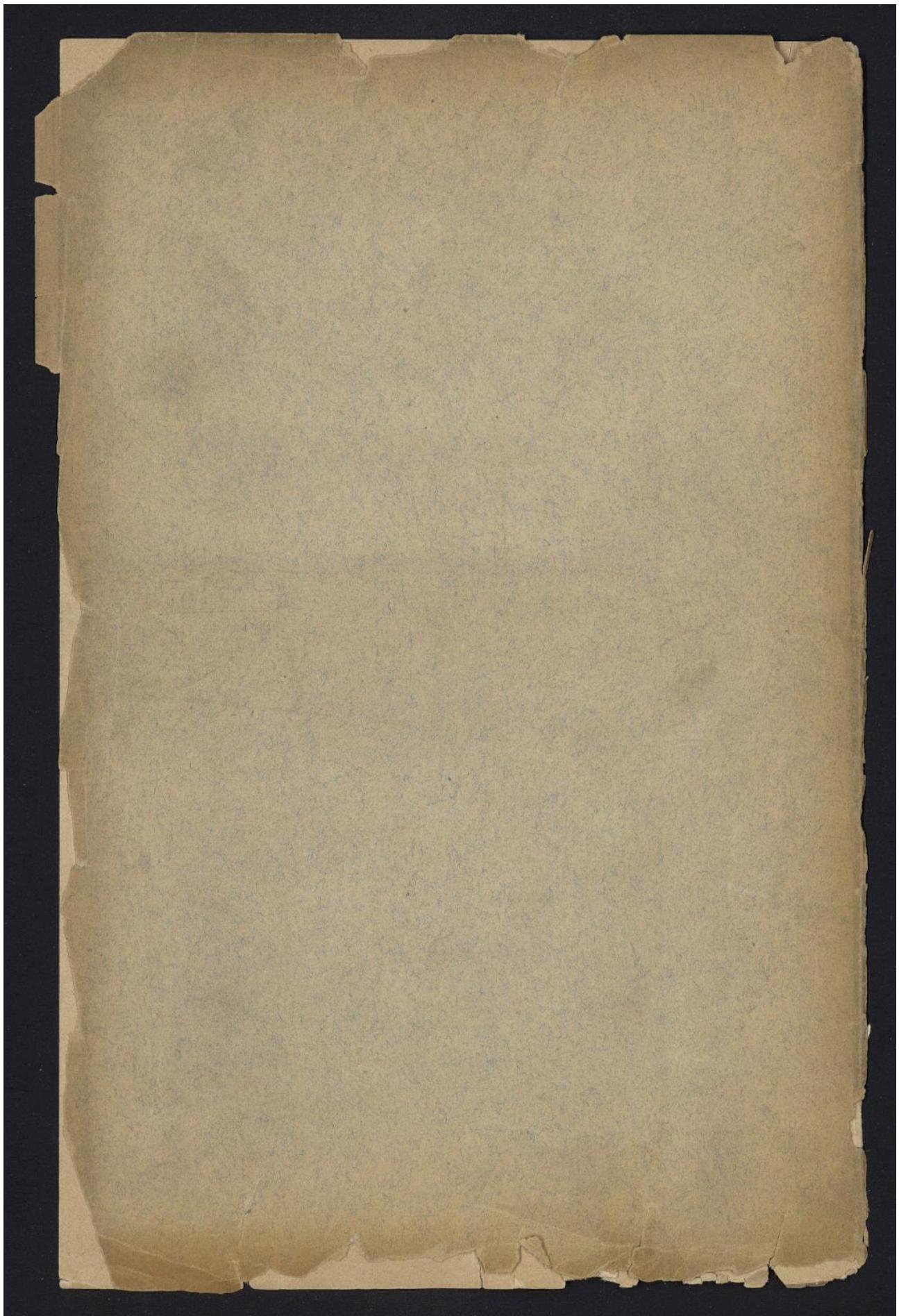


Flèches successives prises par les barreaux

CH. BÉRANGER, ÉDITEUR, 15, RUE DES SAINTS-PRÉS, PARIS



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



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