

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](#))
- 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 passible 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	Publication : Laboratoire d'essais
Adresse	Paris : Conservatoire national des arts et métiers, 193.-195.
Nombre de volumes	125
Cote	CNAM-BIB P 1329-B et P 1329-C
Sujet(s)	Conservatoire national des arts et métiers (France) Génie industriel -- 20e siècle
Note	La collection comporte des lacunes : n°24; n°58; n°63; n°67; n°76-n°77
Notice complète	https://www.sudoc.abes.fr/cbs//DB=2.1/SET=17/TTL=3/REL?PPN=261820893&RELTYPE=NT
Permalien	https://cnum.cnam.fr/redir?P1329-B_P1329-C
LISTE DES VOLUMES	
	N°25 (1936)
	N°26 (1937)
	N°27 (1937)
	N°28 (1937)
	N°29 (1938)
	N°30 (1939)
	N°31 (1936)
	N°32 (1938)
	N°33 (1938)
	N°34 (1938)
	N°35 (1938)
	N°36 (1938)
	N°37 (1938)
	N°38 (1938)
	N°39 (1938)
	N°40 (1939)
	N°41 (1939)
	N°42 (1939)
	N°43 (1939)
	N°44 (1939)
	N°45 (1938)
	N°46 (1940)
	N°47 (1940)
	N°48 (1940)
	N°49 (1940)
	N°50 (1940)
	N°51 (1941)
	N°52 (1941)
	N°53 (1941)
	N°54 (1941)
	N°55 (1942)
	N°56 (1942)
	N°57 (1942)
	N°59 (1942)

	N°60 (1941)
	N°61 (1942)
	N°62 (1943)
	N°64 (1943)
	N°65 (1943)
	N°66 (1943)
	N°68 (1943)
	N°69 (1943)
	N°70 (1943)
	N°71 (1943)
	N°72 (1944)
	N°73 (1943)
	N°74 (1944)
	N°75 (1944)
VOLUME TÉLÉCHARGÉ	N°78 (1944)
	N°79 (1944)
	N°80 (1944)
	N°81 (1944)
	N°82 (1944)
	N°83 (1944)
	N°84 (1944)
	N°85 (1944)
	N°86 (1945)
	N°87 (1945)
	N°88 (1945)
	N°89 (1945)
	N°90 (1945)
	N°91 (1945)
	N°92 (1945)
	N°93 (1945)
	N°94 (1945)
	N°95 (1946)
	N°96 (1946)
	N°97 (1946)
	N°98 (1944)
	N°99 (1945)
	N°100 (1945)
	N°101 (1946)
	N°102 (1946)
	N°103 (1946)
	N°104 (1946)
	N°105 (1946)
	N°106 (1946)
	N°107 (1947)
	N°108 (1947)
	N°109 (1947)
	N°110 et 111 (1947)
	N° 112 (1947)
	N° 113 (1947)
	N° 114 (1947)
	N° 115 (1947)
	N° 116 (1947)
	N° 117 (1947)
	N° 118 (1948)
	N° 119 (1948)
	N° 120 (1948)
	N° 121 (1948)
	N° 122 (1947)

	N° 123 (1948)
	N° 124 (1948)
	N° 125 (1948)
	N° 126 (1948)
	N° 127 (1948)
	N° 128 (1948)
	N° 129 (1948)
	N° 130 (1949)
	N° 131 (1949)
	N° 132 (1949)
	N° 133 (1948)
	N° 134 (1949)
	N° 135 (1948)
	N° 136 (1949)
	N° 137 (1950)
	N° 138 (1950)
	N° 139 (1950)
	N° 140 (1950)
	N° 141 (1950)
	N° 142 (1948)
	N° 143 (1950)
	N° 144 (1950)
	N° 145 (1951)
	N° 146 (1951)
	N° 147 (1951)
	N° 148 (1951)
	N° 149 (1951)
	N° 150 (1951)
	N° 151 (1951)
	N° 152 (1951)
	N° 153 (1952)
	N° 154 (1952)
	N° 155 (1952)

NOTICE DU VOLUME TÉLÉCHARGÉ	
Auteur(s) volume	Laboratoire d'essais mécaniques physiques chimiques et de machines du Conservatoire national des Arts et Métiers
Titre	Publication : Laboratoire d'essais
Volume	N°78 (1944)
Adresse	Paris : Conservatoire national des arts et métiers, 1944
Collation	1 vol. (8 p.) : ill. ; 27 cm
Nombre de vues	12
Cote	CNAM-BIB P 1329-C (1)
Sujet(s)	Conservatoire national des arts et métiers (France) Génie industriel -- 20e siècle
Thématique(s)	Histoire du Cnam
Typologie	Revue
Langue	Anglais Français
Date de mise en ligne	10/04/2025
Date de génération du PDF	07/02/2026
Recherche plein texte	Disponible
Notice complète	https://www.sudoc.fr/039014541
Permalien	https://cnum.cnam.fr/redir?P1329-C.1

...

8. Ru 107 P 1329 - C

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
LABORATOIRE D'ESSAIS



BULLETIN
DU
LABORATOIRE D'ESSAIS

1944 - N° 1



PUBLICATION N° 78

(Voir le sommaire au verso)

SOMMAIRE

G. A. BOUTRY. — Présentation	page 1
A. GUINIER & J. P. BERTHELIN. — Sur la fragilité des matières plastiques thermodurcissables	» 3
NOTES & INFORMATIONS. — Les étalons français d'intensité lumineuse	» 8

BULLETIN DU **LABORATOIRE D'ESSAIS**

DU CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS & MÉTIERS

PRÉSENTATION...

— Conserver inaltérés, améliorer nos étalons nationaux de mesure.
— Se livrer à l'étude des méthodes de mesures scientifiques et industrielles, les perfectionner, en imaginer de nouvelles.

— Aider l'industrie en exécutant les mesures, les vérifications demandées par quiconque, dans les domaines où il est réellement nécessaire de compléter sur ce point les initiatives corporatives et les initiatives privées.

— Assurer le contrôle des produits finis ou des matières premières, dans la mesure où ce contrôle doit présenter un caractère national.

Ces quatre idées directrices sont celles qui présidèrent à la naissance et à l'évolution du LABORATOIRE D'ESSAIS du Conservatoire National des Arts et Métiers, laboratoire normal de France.

Ce qu'est devenu aujourd'hui ce Laboratoire qui débutait en 1901 avec le concours de neuf employés serait difficile à décrire avec précision dans le cadre restreint d'un éditorial. On nous permettra d'en borner l'aperçu squelettique aux termes mêmes qui furent utilisés, l'an passé, pour une présentation analogue :

« Le LABORATOIRE D'ESSAIS comprend sept Sections :

« L'activité de la Section de Métrologie va sans dire : elle détient nos étalons et nos instruments de mesure précise des longueurs, des masses, des pressions, des températures, des intensités lumineuses. La balance la plus sensible, le plus grand banc photométrique d'Europe y sont en fonctionnement.

« Dans la Section de Physique générale sont rassemblées des disciplines fort diverses : un laboratoire d'acoustique appliquée doté d'une excellente salle reverberante de 300 m³; un laboratoire de thermique seul outillé en France pour la mesure correcte des conductibilités calorifiques dans les cas les plus variés; un service d'optique et de photométrie fonctionnant en collaboration ordonnée avec l'Institut d'Optique théorique et instrumentale; un laboratoire de radiographie avec un outillage très développé et très souple (il comprend le générateur le plus puissant et le plus constant de France en même temps que les sources de rayons X les plus fines). Ses membres sont aujourd'hui surmenés par l'abondance des travaux qu'on leur demande.

« Ce dernier service empêche sur les attributions de la Section de Métallurgie, elle-même pourvue de la seule installation publique d'analyse spectrale quantitative existant chez nous et de tout ce qu'il faut pour préparer et traiter thermiquement et mécaniquement, jusqu'à 2500° et 500 tonnes, des lingots de métaux purs et d'alliages d'un volume atteignant 2 litres; je ne parle que pour mémoire des quelques 4.000 éprouvettes, câbles et produits métallurgiques variés qu'elle essaye annuellement.

« La Section des Matériaux divers applique des méthodes de travail et des machines analogues à l'étude des matériaux de construction, à la normalisation desquels elle apporte une collaboration active; elle s'intéresse aussi à bien d'autres produits, au premier rang desquels nous placerons les matières plastiques, sur la structure et les propriétés desquelles le LABORATOIRE D'ESSAIS conduit actuellement des études de grand avenir.

« C'est essentiellement aux puissances et à leur transmission que s'intéresse la Section de Mécanique : on devine que son activité, loin de se borner à l'étude des caractéristiques des moteurs et des appareils utilisant l'énergie mécanique (pompes, compresseurs...) s'étend aussi — et de plus en plus — à l'étude des problèmes de transmissions et de frottements, plus obscurs, mais industriellement aussi importants.

« Avec tout cela collabore la Section de Chimie, entièrement vouée à l'analyse sous toutes ses formes, envahie par des travaux d'une extraordinaire diversité, collaborant de toutes ses forces à la recherche actuelle de produits de remplacement.

« Enfin, un Atelier dont les précisionnistes se consacrent à l'exécution des instruments de mesure et des machines d'essais imaginés par le Laboratoire. Cet atelier a « sorti » cette année cinq machines prototypes pour l'essai des matières plastiques, un spectrophotomètre enregistreur dont il est, avec juste raison, assez fier, de nombreux dispositifs nouveaux utilisés un peu partout dans le Laboratoire.

« En tout, cent soixante personnes, des moyens de travail excellents, des bâtiments insuffisants desquels le Laboratoire déborde périodiquement et qu'il quittera bientôt pour une nouvelle demeure. Chaque année moyenne, quatre-vingt mille lettres reçues, six mille procès-verbaux ou rapports envoyés, cent cinquante séances préparant des normalisations auxquelles doivent assister nos membres. Ajoutez à cela un million et demi de thermomètres médicaux à vérifier et quelques autres gentilles (organisme consultatif, le LABORATOIRE D'ESSAIS est aussi chargé des vérifications légales obligatoires) : vous voyez que, pour employer le langage industriel, il s'agit d'une « grosse maison » qui vit, évolue et se développe. Assourdie par le secret professionnel, cette existence attachante, ses difficultés et ses joies, ses labours et ses succès sont mal connus de beaucoup : le LABORATOIRE D'ESSAIS s'est interdit toute publicité même déguisée, et son silence n'est rompu que par les publications de ses membres qui gardent toujours un caractère strictement scientifique ou technique. »

Ces derniers mots font toucher du doigt une difficulté rencontrée par le Laboratoire dès qu'il a cherché à faire connaître les travaux de ses membres : l'expérience a montré que nos publications, dispersées dans des revues scientifiques nombreuses, atteignaient irrégulièrement et mal ceux-là mêmes qui auraient le plus d'intérêt à les connaître;

Eprouvette P.21 lisse.

Photographies instantanées,

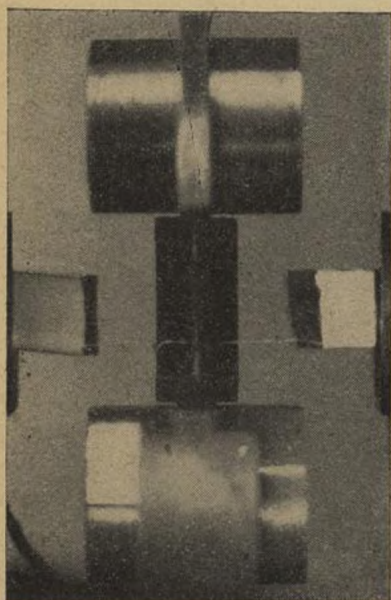
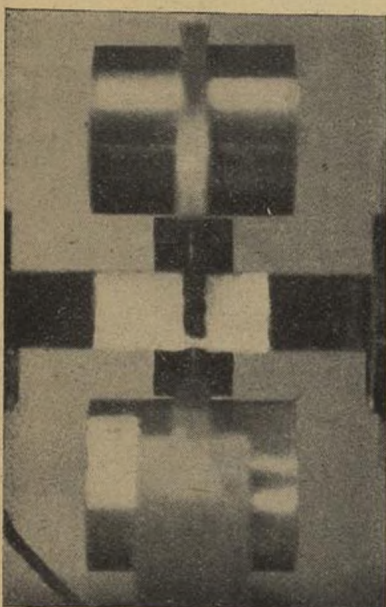
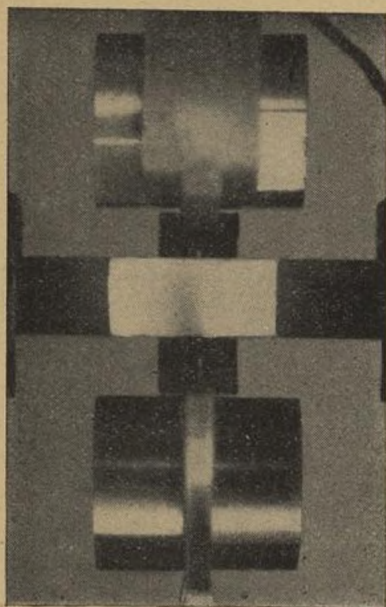


Schéma de la position de l'éprouvette restituée d'après la photographie ci-contre.

Fig. 1. — Avance de la panne : nulle.

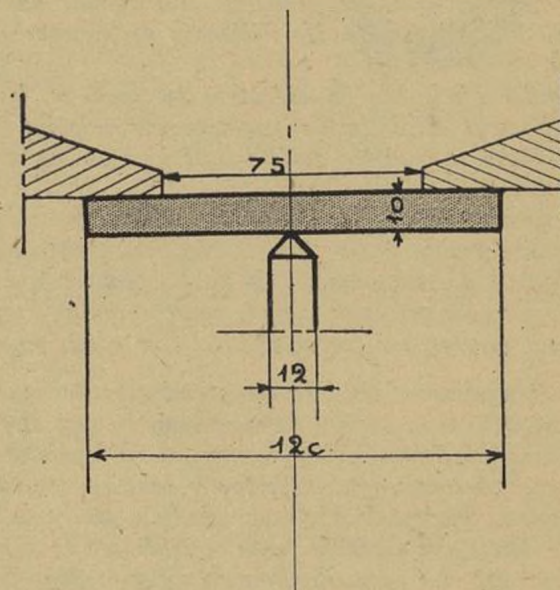


Fig. 2. — Avance de la panne : 3 mm.
(le trait blanc entre les fragments de l'éprouvette est dû à un filet de peinture blanche).

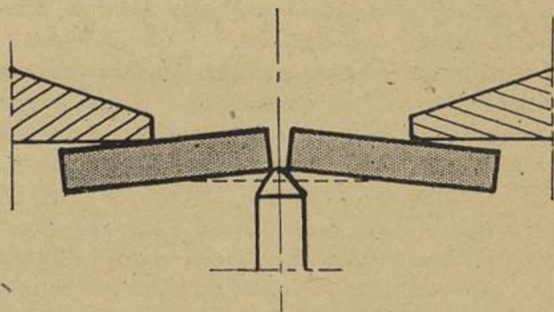
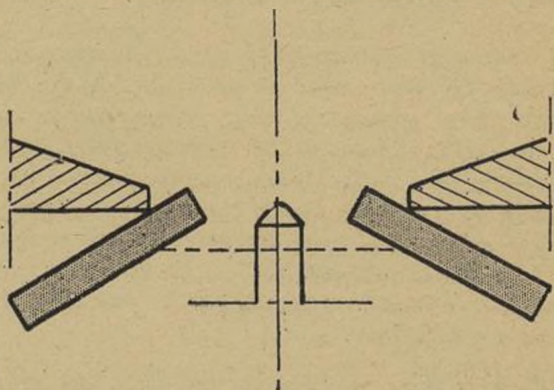


Fig. 3. — Avance de la panne : 12 mm.



dans beaucoup de cas, nos notes et nos mémoires étaient imprimés tardivement, la nature même des problèmes qu'ils traitent nous ayant fait hésiter sur le choix du périodique le plus indiqué pour leur insertion. Enfin, de multiples informations utiles relatives à la réalisation de nouveaux montages, à la création de méthodes et d'appareils nouveaux, à des perfectionnements simples mais utiles, restaient inédits, parce que leur importance unitaire paraissait trop faible pour mériter une publication isolée. En résumé, le soin avec lequel nous avons borné nos publications, leur éparpillement, aboutissaient à entourer l'activité d'un grand service public d'une discrétion à coup sûr exagérée.

Il est curieux de noter qu'en d'autres pays des Laboratoires Nationaux, frères du nôtre, se sont heurtés, eux aussi, à des problèmes analogues lorsqu'ils ont voulu assurer la diffusion de leurs travaux. Ils ont tous, avec de faibles variantes, adopté la même solution, qui consiste à réserver la publication de leurs travaux à un périodique unique.

Il n'est pas bon de transférer sans précautions dans une nation des usages reçus par une autre. Les circonstances où nous vivons aujourd'hui méritent bien aussi quelque examen et quelque prudence : ces deux raisons nous ont conseillé d'adopter d'abord une solution moins catégorique. Sans abandonner le principe de la publication isolée de certains travaux — parfois très étendus — d'un caractère scientifique marqué, nous avons pensé qu'il serait utile de tracer, dans un bulletin paraissant à intervalles réguliers, un tableau aussi complet que possible de la vie du Laboratoire, sous tous ceux de ses aspects susceptibles d'intéresser et d'aider les techniciens de la Physique Industrielle, au sens large du terme. De grandes revues françaises et étrangères, si elles veulent bien les accueillir avec la bienveillance dont elles firent toujours preuve à notre égard, continueront à insérer nos mémoires. Mais on devrait toujours trouver, dans le bulletin projeté, un écho précis, clair et suffisamment complet de ces œuvres dispersées.

La décision prise, bien peu d'hésitation restait permise sur le choix des moyens : la Revue « MESURES » n'a-t-elle pas imprimé sur sa couverture quatre mots qui résument notre programme de travail ? Nous connaissions dès leur début et nous suivions avec sympathie les efforts déployés par sa rédaction pour assurer en France la publication d'une documentation large et complète des techniques métrologiques ; nous lui avons proposé un modeste concours et nous avons eu la joie de nous voir accueillis dès l'abord avec la plus large hospitalité par MM. MILINAIRE, Directeur général, et VIVIÉ, Rédacteur en chef. C'est dans ces circonstances favorables et dont nous leur sommes reconnaissants que naît aujourd'hui le premier fascicule du Bulletin du LABORATOIRE D'ESSAIS, partie intégrante de « MESURES ». Nous espérons qu'il aura le bonheur d'intéresser suffisamment ses lecteurs pour que ceux-ci nous fassent fréquemment part de leurs suggestions et de leurs critiques. Nous voudrions aussi qu'il ait une influence utile en attirant vers la Physique appliquée des attentions et des énergies nouvelles. La réalisation d'un instrument de mesure vraiment adapté à son usage, la définition d'une grandeur, simple dans sa théorie, souvent fuyante et délicate dans la pratique, sont des œuvres difficiles, belles et utiles à l'égal des travaux théoriques les plus passionnants. De nombreux travaux métrologiques ont aujourd'hui une importance nationale que trop peu de chercheurs soupçonnent chez nous. Leur réussite est pour tant l'une des conditions nécessaires de notre relèvement économique futur. C'est le désir d'y contribuer de toutes nos forces que nous voudrions faire sentir dans chacune des pages que nous publierons ici.

G.-A. BOUTRY.

SUR LA FRAGILITÉ DES MATIÈRES PLASTIQUES THERMODURCISSABLES

Dureté, Fragilité, Résistance aux chocs sont des termes d'usage courant et qui font image. Ils déguisent notre ignorance de phénomènes fort complexes. Le travail qui suit met en évidence les difficultés rencontrées par une tentative de définition et de mesure de la « fragilité » dans un cas particulier de grande importance industrielle.

La fragilité d'un objet moulé en matière plastique est une caractéristique importante du point de vue pratique. Les possibilités de développement de cette industrie dépendent beaucoup de l'augmentation de la résistance de la matière moulée. Toutes les recherches qu'on peut entreprendre dans cette voie supposent au préalable que l'on possède un moyen objectif de caractériser la fragilité d'un objet moulé et de traduire cette caractéristique par un chiffre. La résistance au choc est une des caractéristiques imposées à une matière plastique pour l'obtention de la *Marque de Qualité des matières plastiques*. Le LABORATOIRE D'ESSAIS du Conservatoire National des Arts et métiers étant chargé par la Commission de la Marque de Qualité des opérations de contrôle, nous avons été amenés à étudier la mesure de la « fragilité ».

D'après les normes actuellement en vigueur, le procédé employé pour cette mesure est analogue à celui utilisé pour les métaux. De la résistance au choc d'une éprouvette, on ne peut pas déduire une caractéristique intrinsèque de la matière ; il importe que l'essai soit fait avec un appareil normalisé sur des éprouvettes bien définies : seule, la valeur relative des mesures a une signification.

Le problème dans l'étude des matières plastiques est double : il faut, d'une part, caractériser la valeur d'une poudre à mouler, d'autre part, la valeur de l'objet fini, moulé avec une poudre connue, c'est-à-dire relier les propriétés mécaniques aux conditions de moulage. Dans le premier cas, on moule avec la poudre essayée dans des conditions aussi bien définies que possible un barreau d'essai dont les dimensions, d'après les normes en vigueur, sont de $120 \times 10 \times 15$ mm. Les différentes poudres seront caractérisées par les propriétés de ces barreaux-types. Beaucoup d'objets usuels moulés ont en général des dimensions faibles et en particulier une épaisseur bien inférieure à 10 mm. L'essai de l'objet lui-même devra se faire sur petites éprouvettes : on a choisi des dimensions de 10×15 mm, l'épaisseur de l'éprouvette étant égale à celle de l'objet à condition qu'elle soit comprise entre 1,5 et 4,5 mm. Ce choix de l'éprouvette permet l'étude de la plupart des objets fabriqués industriellement : cependant, certains objets, petits ou sans paroi plane, échappent encore à l'expérimentation.

La résistance au choc des barreaux se mesure avec un mouton-pendule CHARPY, qui est une réduction des mou-

Photographies instantanées.

Eprouvette P.21 entaillée

Schéma de la position de l'éprouvette restituée d'après la photographie ci-contre.

Fig. 4. — Avance de la panne : nulle.

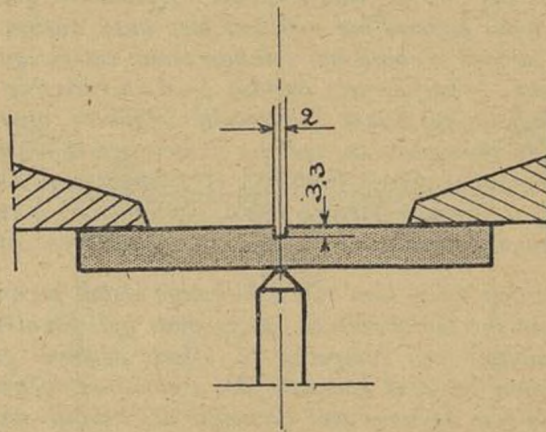


Fig. 5. — Avance de la panne : 3 mm.

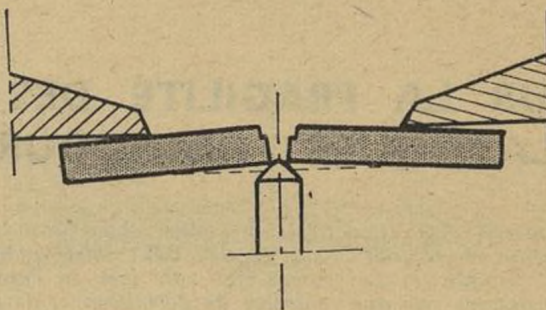
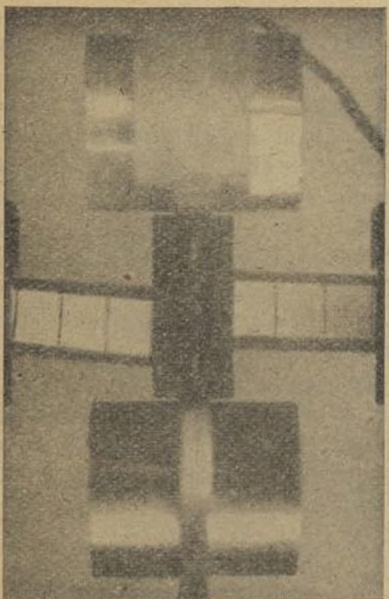
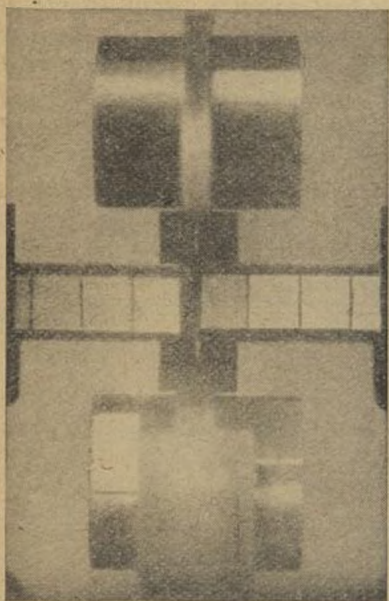
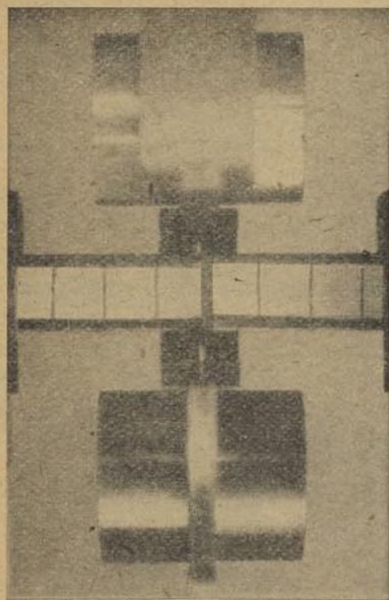
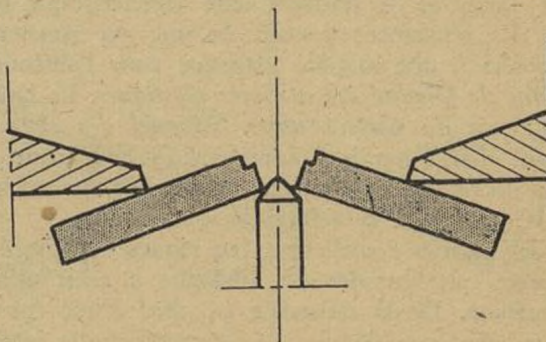


Fig. 6. — Avance de la panne : 12 mm.



tons utilisés pour les essais de résilience des métaux. L'éprouvette, placée contre deux appuis à distance déterminée, est brisée par le passage d'un pendule, qu'on libère à partir d'une hauteur déterminée. D'après la hauteur atteinte par le pendule dans sa remontée, on calcule l'énergie qui a été nécessaire pour briser l'éprouvette.

Les petites éprouvettes de 10×15 mm ne peuvent pas reposer sur deux appuis à cause de leur petite longueur : on les encastre donc à leur partie inférieure; le pendule frappe la partie libre et la cisaille. On mesure de la même façon l'énergie de rupture de l'éprouvette, par la différence des hauteurs de chute et de remontée du pendule (Appareil « Dynstat »).

Dans le présent article, nous nous occuperons principalement des essais sur barreaux, c'est-à-dire des essais caractéristiques d'une poudre à mouler donnée. Dans une étude ultérieure, nous comparerons les résultats sur petites éprouvettes et sur barreaux et nous en tirerons une méthode pour évaluer la qualité de moulage d'un objet donné.

Les matières plastiques que nous avons essayées sont des phénoplastes, c'est-à-dire des mélanges d'une résine thermodurcissable (phénol-formol) et d'une charge. On classe les différentes poudres d'après la nature de cette charge. Nous avons étudié deux types de poudre : la poudre « P.21 » à charge de farine de bois et la poudre « P.41 » à charge de textile sous forme de petits lambeaux de chiffons. On incorpore à la résine cette dernière charge pour augmenter la solidité de la matière moulée.

A priori, la mesure de la résilience d'un barreau par le pendule ne semble pas devoir présenter de difficultés particulières, puisque cette méthode est éprouvée depuis longtemps pour les métaux. Cependant, la comparaison du comportement des deux types de poudre nous a conduits à étudier de près le mécanisme du phénomène de rupture.

Les essais ont été faits comparativement sur un lot de barreaux « P.21 » et un lot de barreaux « P.41 ». D'après les normes, la résilience est mesurée, d'une part sur des barreaux lisses et, d'autre part, sur des barreaux au milieu desquels on a fraisé une entaille de 3,3 mm de profondeur et 2 mm de largeur.

Mécanisme de la rupture des éprouvettes P.21 et P.41.

1) La résistance au choc est tout à fait du même ordre de grandeur pour les deux sortes de barreaux lisses : 10 kg-cm pour l'éprouvette P.21 et 9,6 pour l'éprouvette P.41.

2) Entre les barreaux entaillés apparaît une très grosse différence : tandis que la résistance au choc spécifique (c'est-à-dire rapportée à l'unité de section du barreau) ne varie sensiblement pas du fait de l'entaille pour le barreau P.41 (6,8 et 6,4 kg-cm/cm²), elle diminue considérablement pour les éprouvettes P.21. On trouve seulement 1,9 au lieu de 6,6 kg-cm/cm².

3) Le mécanisme de la rupture est très différent pour les deux sortes de poudre. Dans le cas du barreau P.21, les deux morceaux sont projetés avec violence après la rupture. Ils sont rejetés latéralement dans une direction faisant un angle voisin de 45° avec la trajectoire de descente du pendule. Au contraire, les deux morceaux du barreau P.41 accompagnent le mouvement de la panne frappante et retombent derrière à très courte distance.

Nous avons étudié expérimentalement la vitesse des fragments après rupture. Une première méthode consiste à prendre une série de photographies instantanées de l'éprouvette à des instants déterminés. Nous nous sommes servis de l'appareil « Stroborama ». Un éclair très bref

(de l'ordre de 1/10000 sec.) et très lumineux est déclenché par la fermeture d'un circuit électrique. A cet effet, le bâti du pendule porte une lame flexible et le pendule une vis qui vient au contact de la lame quand le pendule a un peu dépassé sa position d'équilibre, c'est-à-dire quand le contact avec l'éprouvette s'est déjà produit. En agissant sur la position de la vis par rapport au pendule, on peut régler l'instant de l'éclair. Connaissant la position du pendule et sa vitesse, on peut calculer le temps qui s'est écoulé entre la rencontre du pendule et de l'éprouvette et l'instant de chaque photographie (figures 1 à 9 des planches I, II et III).

Les figures ci-jointes montrent la série des clichés obtenus et les positions correspondantes de l'éprouvette et de la panne du pendule : des marques tracées sur l'éprouvette permettent de restituer le cliché en vraie grandeur. Les trois séries correspondent à une éprouvette P.21 lisse, une éprouvette P.21 entaillée et une éprouvette P.41.

La première photographie montre le pendule au moment où il arrive au contact avec l'éprouvette; celle-ci a été peinte en blanc en son milieu afin de rendre plus nettes les photographies. Le cliché n° 2 a été pris quand la panne du pendule s'était avancée de 3 mm : elle est prise face à l'éprouvette; on a pris aussi une vue plongeante de façon que l'on puisse juger de l'angle que font entre eux les deux morceaux. On constate que l'éprouvette est déjà séparée en deux morceaux qui sont à une distance d'environ 5 mm l'un de l'autre. La photographie n° 3 a été prise à l'instant où la panne du pendule avait parcouru 12 mm, c'est-à-dire une distance supérieure à l'épaisseur de l'éprouvette. Les deux morceaux sont alors à environ 42 mm l'un de l'autre et ils font un angle d'environ 45° avec la direction initiale de l'éprouvette; c'est d'ailleurs dans cette direction qu'ils sont projetés. On voit donc que pour un barreau lisse P.21, la rupture se fait tout d'un coup et pour une avance très faible du pendule, c'est-à-dire après une flexion faible de l'éprouvette; alors que dans l'essai de flexion statique la flèche maximum de l'éprouvette lisse est de 2 mm, la rupture par choc est complète pour une avance du pendule qui ne doit pas être supérieure à 1 mm. Il semble que l'éprouvette ne fléchisse que très peu et que, par conséquent, elle soit comprimée et comprime également les appuis : la rupture alors survient brusquement et par l'élasticité des appuis, les deux morceaux de l'éprouvette sont projetés vers l'avant; seulement leur extrémité est encore au contact de la panne dont la partie arrondie, se frayant un passage entre les deux morceaux de l'éprouvette, communique à celle-ci une vitesse latérale. Nous avons vérifié qu'avec une panne ne comportant pas d'arrondi, les morceaux sont projetés vers l'avant du pendule à peu près parallèlement au plan d'oscillation de celui-ci.

Les trois photographies suivantes (4 à 6) sont relatives à la rupture d'une éprouvette entaillée. Afin de repérer la position de chaque morceau, on a collé de chaque côté de l'entaille une bande de papier millimétré sur l'éprouvette. La figure 4 montre l'éprouvette avant rupture et la photographie de la figure 5 correspond à la même position du pendule que celle de la figure 2, mais l'on constate que, si l'éprouvette est également complètement brisée, les deux morceaux sont bien plus rapprochés l'un de l'autre, leur distance n'étant que de 3 mm. De même, la photographie de la figure 6 est à comparer à celle de la figure 3; les deux morceaux s'écartent encore l'un de l'autre, mais ne sont distants que de 11 mm au lieu de 40 pour l'éprouvette lisse; de plus, un des morceaux a légèrement basculé dans un plan vertical.

De l'examen de ces photographies, on conclut que la vitesse de projection des fragments est bien plus petite :

Eprouvette P.41.

Photographies instantanées.

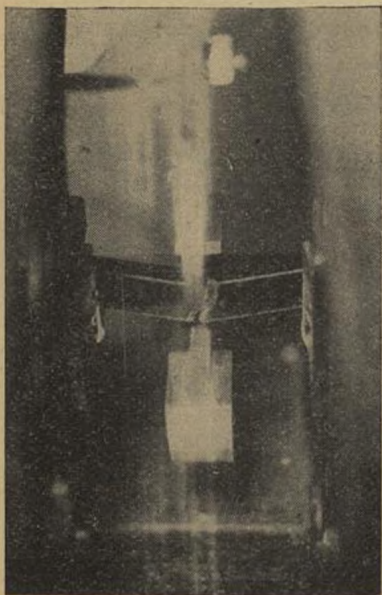
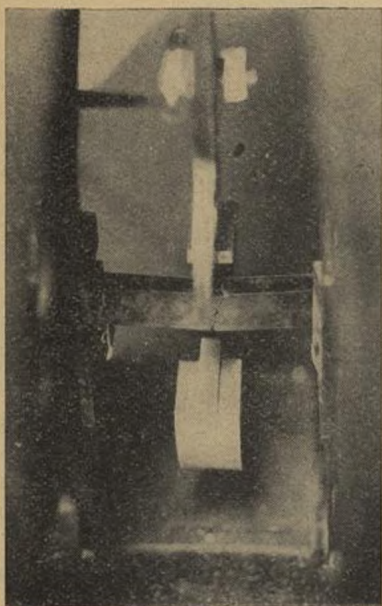
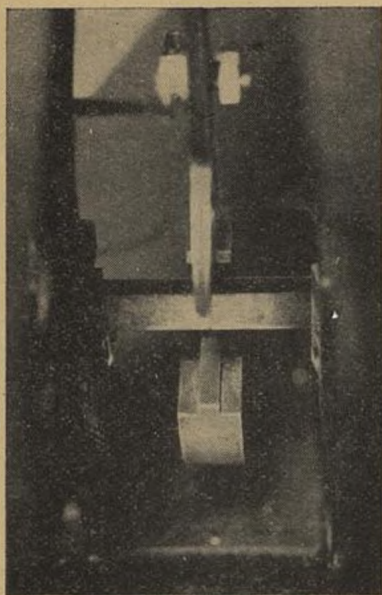


Schéma de la position de l'éprouvette restituée d'après la photographie ci-contre.

Fig. 7. — Avance de la panne : nulle.

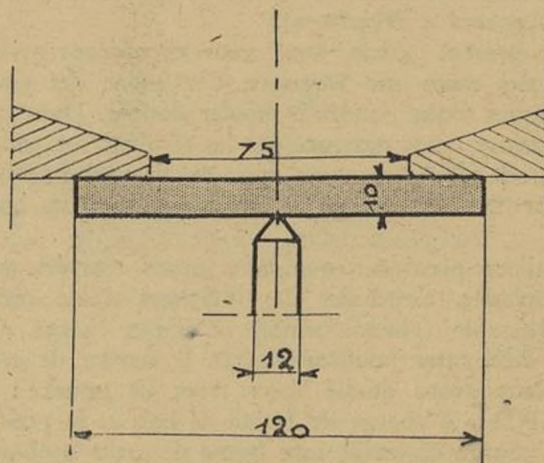


Fig. 8. — Avance de la panne : 3 mm.

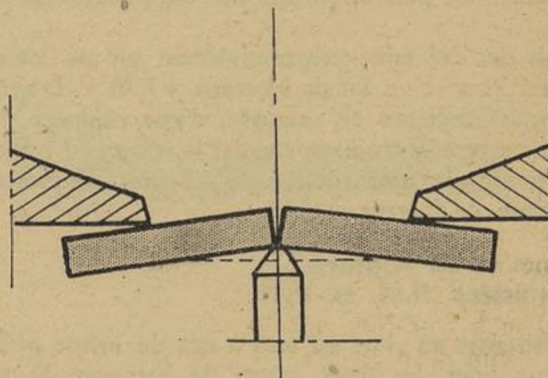
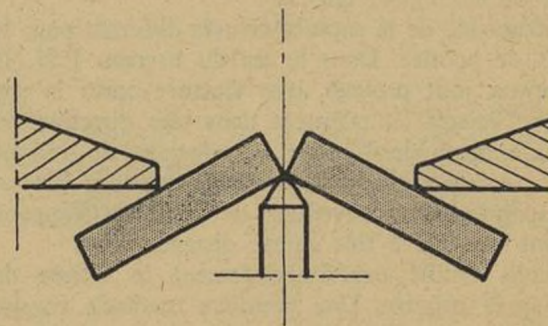


Fig. 9. — Avance de la panne : 12 mm.



cela doit provenir de ce que la rupture de l'éprouvette se produit immédiatement après la rencontre avec le pendule, car la résistance du barreau est diminuée par l'entaille. La compression de l'éprouvette a donc été moins forte et la réaction des appuis, plus faible, a communiqué moins d'énergie aux deux fragments; nous avons d'ailleurs constaté, sans avoir pu faire de mesures précises, que plus un barreau lisse est résistant, plus la vitesse de projection des fragments est grande. Il semble donc y avoir étroite corrélation entre les deux phénomènes; *le fait que les morceaux soient projetés après la rupture n'est pas un phénomène auxiliaire, mais il est caractéristique du mécanisme même de la rupture des éprouvettes P.21.*

Le phénomène de la rupture, pour les éprouvettes P.41, est totalement différent, comme le montrent les figures 7 à 9. Ces clichés ont été pris aux mêmes instants relatifs que pour les autres séries; en plus de la vue de face, on prenait comme auparavant une vue plongeante de l'éprouvette: ce sont ces dernières qui figurent ici. L'éprouvette, vue avant rupture sur la figure 7, apparaît sur la figure 8 non pas séparée en deux fragments, mais simplement déchirée par une fissure qui s'ouvre du côté opposé à la panne du pendule; cette fissure s'élargit à mesure que le pendule avance, mais on voit sur la figure 9 que les deux morceaux sont encore liés l'un à l'autre quand la panne du pendule a parcouru 12 mm. Les deux fragments sont donc entraînés avec le pendule et ils sont rejetés vers l'arrière, sans qu'ils acquièrent une vitesse importante.

Dans ce cas, il y a donc réellement rupture par flexion, la déchirure se produisant d'abord sur la partie de l'éprouvette opposée au pendule, là où les tensions sont maxima, puis la fissure se propage à l'intérieur de l'éprouvette jusqu'à rupture complète. Quand l'éprouvette P.41 est entaillée, la rupture se produit plus facilement parce que la section est plus faible, mais suivant un processus rigoureusement analogue. On comprend donc pourquoi la résistance spécifique garde le même ordre de grandeur; au contraire, dans le cas d'une éprouvette P.21, la présence de l'entaille facilite la rupture d'une façon considérable et en change profondément le mécanisme.

Telles sont les caractéristiques de la rupture des deux classes de barreaux, les barreaux P.21 que l'utilisateur juge « fragiles » et les barreaux P.41 qui ne sont pas considérés comme tels.

Evaluation de l'énergie cinétique des fragments de l'éprouvette après rupture.

Nous nous sommes servis des photographies instantanées pour évaluer la vitesse initiale de projection des fragments de l'éprouvette. Comme nous l'avons dit, le temps écoulé depuis la rencontre du pendule et de l'éprouvette peut être calculé pour chaque photographie. D'autre part, le cliché donne l'espace parcouru par l'éprouvette: on en déduit donc la vitesse moyenne de celle-ci entre le début du choc et l'instant considéré. Le tableau ci-dessous donne les résultats des mesures pour les éprouvettes P.21 lisses et entaillées.

Ce tableau met en évidence les vitesses considérables des fragments de l'éprouvette. Notons, par comparaison, que la vitesse linéaire du pendule n'est que 310 cm/sec. Pour

les éprouvettes P.21 lisses, la vitesse croît encore après que la panne ait parcouru les trois premiers millimètres, c'est-à-dire que l'arrondi de celle-ci, en contact avec chaque fragment, leur communique encore un complément de force vive. Dans le cas des éprouvettes P.21 entaillées, la vitesse est à peu près constante, ce qui confirme l'idée que la rupture complète est alors réalisée plus vite. Pour les éprouvettes P.41, les photographies montrent que l'extrémité de chaque fragment est encore en contact avec le pendule, même quand celui-ci a parcouru 12 mm: elle a donc une vitesse égale à la vitesse du pendule. D'autre part, le point de l'éprouvette qui touche l'appui a une vitesse nulle; l'éprouvette est soumise à un mouvement de rotation, en même temps que de translation, et les différents points de l'éprouvette ont donc des vitesses variées, difficiles à évaluer avec précision.

Nous avons confirmé ces mesures par une méthode totalement différente. Nous avons repéré le point d'impact, sur le plancher de la salle, des fragments projetés; la vitesse initiale étant horizontale et la hauteur au-dessus du sol étant connue, on peut déduire de la distance parcourue horizontalement la vitesse initiale de l'éprouvette. Les résultats obtenus sont en très bon accord avec les précédents. En prenant la moyenne des distances parcourues par une douzaine d'éprouvettes lisses, nous sommes arrivés au nombre de 580 cm/sec. comme vitesse initiale et, pour les éprouvettes entaillées, à une valeur de 150 cm/sec; pour les éprouvettes P.41, la mesure n'était pas possible étant donné le très faible espace parcouru et la grande dispersion des points de chute.

Des valeurs de la vitesse initiale et de la masse des fragments, nous pouvons déduire l'énergie emportée par l'éprouvette sous forme d'énergie cinétique. Les résultats sont les suivants: pour l'éprouvette P.21 lisse, la force vive de l'éprouvette après rupture est de 3,9 kg-cm. Pour l'éprouvette P.21 entaillée; 0,3 kg-cm. Pour l'éprouvette P.41, la détermination est bien moins précise. En admettant, ce qui est raisonnable, une vitesse moyenne du fragment égale à la moitié de la vitesse du pendule, on trouve la valeur de 0,3 kg-cm. Or, l'énergie totale de rupture qui a été empruntée au mouton-pendule est respectivement, dans les trois cas précédents: 10 kg-cm, 1,9 kg-cm et 9,5 kg-cm. Cette énergie est la somme du travail de rupture proprement dit et de l'énergie communiquée à l'éprouvette. *Le partage se fait donc dans des proportions très variables dans les trois cas.* Pour les barreaux P.21 lisses, l'énergie de rupture compte pour 60 % et l'énergie cinétique des fragments pour 40 %. Pour le barreau P.21 entaillé, il y a 85 % d'énergie de rupture et 15 % d'énergie cinétique. Enfin, pour le barreau P.41, l'énergie cinétique ne représente que 4 % de l'énergie totale. Le mouton-pendule, dans le cas de l'éprouvette P.21, est une véritable catapulte, puisque la moitié environ de l'énergie dépensée sert à projeter les fragments.

Ces résultats posent une question importante. Que doit-on prendre pour mesurer la fragilité? Est-ce l'énergie totale perdue par le pendule ou bien l'énergie propre de rupture? Dans le premier cas, on conclurait de l'expérience que les barreaux P.21 et P.41 ont une fragilité équivalente ($R = 10$ et $R = 9,5$) et dans le second cas que le bar-

		Espace parcouru par le pendule	Temps	Espace parcouru par les éprouvettes	Vitesse moyenne
Eprouvettes lisses P.21	Photo N° 2.....	3 mm	1/1000 sec.	2,4 mm	240 cm/sec.
	Photo N° 3.....	12 mm	3,7/1000 sec.	21 mm	570 cm/sec.
Eprouvettes entaillées P.21	Photo N° 5.....	3 mm	1/1000 sec.	1,6 mm	165 cm/sec.
	Photo N° 6.....	12 mm	3,7/1000 sec.	6,5 mm	175 cm/sec.

reau P.41 est plus résistant que le barreau P.21, les nombres caractéristiques étant respectivement 9,2 et 6. Le classement des poudres à mouler serait donc tout différent, étant donné l'ordre de grandeur de la divergence des chiffres.

Pour élucider cette question, nous avons fait une évaluation de la fragilité plus directe et plus proche de la notion vulgaire de fragilité. Un objet est plus fragile qu'un autre si, sous l'effet de chocs identiques, l'un se casse et l'autre résiste. Le montage expérimental suivant est basé sur cette idée. Le barreau est posé sur deux appuis identiques à ceux du mouton-pendule. On fait tomber au milieu du barreau une masse terminée par une panne de même forme que celle du pendule, d'une hauteur telle que sa vitesse au moment du choc soit précisément la vitesse linéaire de la panne du pendule. Les conditions du choc dans cette expérience et avec le mouton sont donc très proches les unes des autres. En faisant varier le poids de la masse tombante, on change son énergie au moment où elle rencontre l'éprouvette, sans changer sa vitesse. On trouve ainsi, par tâtonnements, l'énergie minimum nécessaire pour briser l'éprouvette. Evidemment, l'expérience n'est pas susceptible d'une grande précision. Toutefois, les résultats sont très nets; nous avons trouvé, sur les barreaux P.21, qu'il faut au moins une énergie de 10,2 kgcm pour rompre sûrement l'éprouvette du premier coup. Cette énergie est très voisine du nombre mesuré au mouton-pendule (10 kgcm) et est indiscutablement très supérieure à l'énergie propre de rupture, déduction faite de l'énergie cinétique des fragments (6 kgcm). On constate d'ailleurs, sur le mouton vertical que, dès que la masse tombante est suffisante pour rompre l'éprouvette, les fragments de celle-ci sont projetés latéralement avec violence. Il n'est pas possible de casser l'éprouvette P.21 sans que les deux fragments ne soient projetés. Par conséquent, « l'énergie propre de rupture » n'a pas de signification physique réelle et c'est bien l'énergie totale pour laquelle les deux types de moutons-pendules essayés ont donné des chiffres concordants qu'il faut prendre pour caractériser la fragilité du barreau. On en arrive donc à la conclusion suivante : la résistance au choc des barreaux de dimensions $120 \times 10 \times 15$, moulés en poudre P.21 et P.41 est réellement à peu près la même : pourtant, l'une des matières est réputée fragile et l'autre non. Par contre, cette distinction entre ces deux poudres, basée sur l'expérience journalière, est confirmée par les mesures de résilience sur d'autres éprouvettes. Un barreau entaillé en poudre P.21 est bien plus fragile que le barreau de même forme en poudre P.41. Les essais sur petites éprouvettes de $10 \times 15 \times 3$ conduisent aussi à cette conclusion. Pour l'éprouvette P.21, le fragment détaché par le pendule est projeté avec une grande vitesse; pour l'autre type d'éprouvette, au contraire, il est simplement rabattu et quelquefois même n'est pas complètement détaché. Les chiffres trouvés sont respectivement 9,5 et 16 pour les éprouvettes P.21 et P.41. Dans ce cas, l'énergie cinétique du fragment est négligeable malgré sa vitesse, à cause de sa très petite

masse. On n'a plus à distinguer dans ce cas entre énergie propre et énergie totale de rupture.

Il découle de ces résultats plusieurs faits importants, tant pour l'utilisation des matières plastiques que pour la conduite d'essais de contrôle de leur qualité :

1) La valeur relative des résistances au choc d'objets moulés avec deux sortes de poudres n'est pas indépendante de la forme de l'objet, ni de la nature du choc auquel il est soumis. Pour mouler un barreau de large section à résistance au choc maximum, il est indifférent de choisir une poudre P.21 ou une poudre P.41. Mais pour des objets à paroi mince, la poudre P.41 est avantageuse. En outre, avec cette dernière, les irrégularités de la surface (jouant le rôle d'entaille) n'ont pas d'influence, alors que leur influence est très considérable avec la poudre P.21. Etant donné les formes habituelles des objets moulés en matière plastique, qui n'ont presque jamais l'épaisseur des barreaux d'essais, on comprend pourquoi dans la pratique des objets en poudre P.21 sont plus fragiles que les mêmes objets moulés avec la poudre P.41. Le choix de la poudre doit donc dépendre de la forme de l'objet à réaliser et il est absolument essentiel quand on utilise de la poudre P.21 d'éviter toutes les irrégularités de surface qui diminuent considérablement la résistance de la pièce, bien plus que ne le ferait la médiocre qualité de la poudre ou un moulage défectueux.

2) Ce qui est caractéristique de la fragilité d'une matière, c'est d'une part le mécanisme de la rupture, dont l'expression courante « voler en éclats » donne une image exacte et, d'autre part, la sensibilité de la résistance au choc à la forme de l'objet. Ainsi, le mince sillon tracé par le diamant dans une glace épaisse suffit à permettre sa rupture, grâce à un effort infime. Un objet en matière fragile est en général moins résistant au choc que le même objet en matière non fragile, mais le rapport de leurs résistances est très variable et l'ordre de grandeur des deux chiffres peut même être inversé pour certaines formes particulières d'objets.

3) Le nombre mesuré au mouton-pendule représente bien l'énergie du choc nécessaire pour produire la rupture du barreau essayé, sans qu'on ait à lui faire subir de correction. Seulement, la forme du barreau d'essai, de section 10×15 mm, est très éloignée de celle des objets d'usage courant en matière moulée. Aussi les mesures de la résilience sur de telles éprouvettes conduisent-elles à un classement des matières à mouler au point de vue de leur fragilité qui n'a pas d'intérêt pratique. Des essais sur éprouvettes minces seraient bien plus fructueux.

Les résultats de cette étude montrent que la mesure de la résilience des matières plastiques est en réalité bien plus complexe qu'on aurait pu le penser. C'est seulement l'étude détaillée des faits expérimentaux qui peut permettre d'arriver à des conclusions d'intérêt pratique, tant au point de vue de la fabrication que du contrôle des matières plastiques.

A. GUINIER et J.-P. BERTHELIN.



— NOTES & INFORMATIONS —

LES ÉTALONS FRANÇAIS D'INTENSITÉ LUMINEUSE

Le LABORATOIRE D'ESSAIS du Conservatoire national des Arts et Métiers vient de conclure avec le LABORATOIRE CENTRAL d'ELECTRICITÉ une convention aux termes de laquelle la réalisation et la garde des étalons français d'intensité lumineuse font désormais retour à la Section de Métrologie du LABORATOIRE D'ESSAIS, où sont déjà ras-

semblés les autres étalons nationaux de mesures. Cette convention a été immédiatement mise en vigueur et une intercomparaison de l'ensemble des étalons français d'intensité lumineuse est actuellement en cours au LABORATOIRE D'ESSAIS. Les résultats en seront publiés dans ce bulletin.

