

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	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)
	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)
VOLUME TÉLÉCHARGÉ	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	<u>N°18 (1919)</u>
Adresse	Paris ; Liège : Librairie Polytechnique Ch. Béranger, éditeur 1919
Collation	1 vol. (51 p.-[5] p. de calques - 1 pl. dépl.) : ill., fig., fotogr., graph. ; 24 cm
Nombre de vues	62
Cote	CNAM-BIB P 1329-A (18)
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.18

P 1329-A

8° Ku 107 (113)

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

N° 18

ÉTUDE
SUR LES ESSAIS DE DURETÉ DES CORPS
ET DES MÉTAUX EN PARTICULIER
AU MOYEN DU SCLÉROMÈTRE

PAR

J. SERVAIS

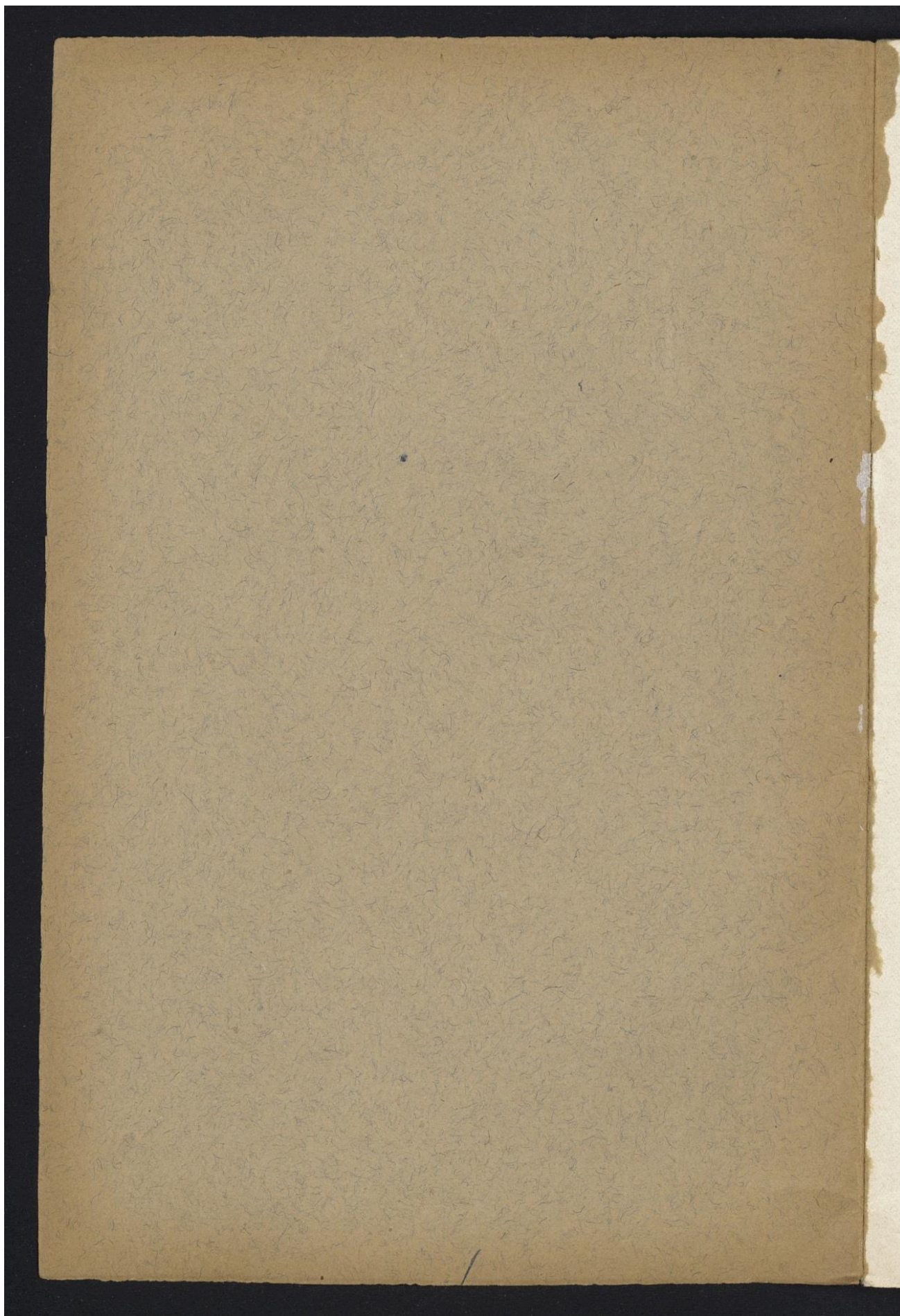
Assistant au Laboratoire d'Essais

PARIS & LIÈGE
LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE CH. BÉRANGER, ÉDITEUR

15, RUE DES SAINTS-PÈRES, 15
LIÈGE, 21, RUE DE LA RÉGENCE, 21

1919

Tous droits réservés



80 Km 107 (113)

ÉTUDE
SUR LES ESSAIS DE DURETÉ DES CORPS
ET DES MÉTAUX EN PARTICULIER
AU MOYEN DU SCLÉROMÈTRE

PAR

J. SERVAIS
Assistant au Laboratoire d'Essais



ÉTUDE
SUR LES ESSAIS DE DURETÉ DES CORPS
ET DES MÉTAUX EN PARTICULIER
AU MOYEN DU SCLÉROMÈTRE

PAR

J. SERVAIS

Assistant au Laboratoire d'Essais

Les définitions de la dureté sont multiples et elles ont fait l'objet de nombreuses discussions que nous éviterons de reprendre ici en admettant que le travail moléculaire est encore trop mal connu dans toutes les applications où la dureté des corps est en jeu pour pouvoir en donner une définition générale qui réponde à la fois à une exactitude scientifique et aux applications courantes expérimentales.

Jusqu'ici, cette confusion au sujet de la dureté, a été grandement atténuée, en joignant toujours à ce mot celui du mode expérimental des essais qui ne sont que comparatifs, et l'on doit remercier ceux qui ont contribué à répandre cet usage.

Parmi tous ces essais, peu sont entrés dans la pratique courante sous le nom de dureté. On peut même dire que les trois suivants sont les seuls :

Dureté à la bille.

Dureté au rebondissement.

Dureté à la rayure.

Dureté à la bille

Cet essai est l'essai Brinell, qui devrait plutôt être simplement désigné sous le nom de *Résistance à la Bille*, et dans lequel on mesure le diamètre de l'em-

Le Laboratoire d'Essais ne prend pas la responsabilité des opinions scientifiques et techniques soutenues par les collaborateurs du *Bulletin*.

preinte, et où la résistance se chiffre, comme l'a indiqué Brinell, par la pression par unité de surface de l'empreinte.

Cet essai est entré dans la pratique courante et journalière et se substitue dans maintes circonstances à l'essai de traction.

Rappelons qu'il a été reconnu que pour un même métal donné et un traitement thermique déterminé (aciers au carbone à l'état recuit, par exemple) ces essais donnent des valeurs (nombre Brinell) sensiblement proportionnelles aux résistances à la traction.

Dans tous les cas, ces mesures comparatives peuvent toujours être interprétées dans le sens des phénomènes de traction.

Dureté par rebondissement

L'appareil employé est le scléroscope qui mesure une hauteur de rebondissement. On conçoit la complexité du phénomène, les nombreux facteurs qui doivent intervenir.

Le peu d'applications où ce phénomène se retrouve dans l'utilisation des corps, ne donne à cet essai que la valeur comparative qu'on veut bien lui attribuer ; aussi, a-t-il été pour nous dénué d'intérêt.

Dureté par rayure

Le principe même de la rayure est totalement différent des deux essais de dureté précédents. Ce phénomène se reproduit dans une foule d'applications industrielles dans lesquelles les corps utilisés frottent et se rayent.

La rayure est à la base de toute usure et le microscope ou même simplement un faible grossissement nous ont montré maintes fois les relations réciproques du frottement et de la rayure.

Ces considérations nous ont amené à étudier spécialement la rayure en général et particulièrement celle qui est faite par le *scléromètre Martens*, dans le but de contribuer à tirer de cet essai les nombreux services qu'il est appelé à rendre et à le propager dans la pratique industrielle.

L'essai à la rayure est, du reste, admis universellement chez les minéralogistes sous forme de rayure réciproque (Méthode comparative de Mohs).

D'autre part, « *la Commission des méthodes d'essai des matériaux de construction* » dans son rapport général (Section A, Métaux) signalait déjà, en juillet 1892, que *la méthode de la rayure au scléromètre peut recevoir des applications pratiques et doit être recommandée en principe* » bien que l'usage ne s'en soit pourtant pas développé depuis cette époque.

Rappelons que le *scléromètre* est basé sur le principe suivant :

Mesure de la largeur d'une rayure superficielle exécutée sous un poids constant, par une pointe définie ;

ou mieux, mais moins pratique :

Recherche du poids qui, agissant sur une pointe définie, trace une rayure de largeur déterminée.

Nous avons éliminé la dualité de ces évaluations, dont les grandeurs ne sont pas immédiatement comparables entre elles, en donnant les résultats de chacun de nos essais sous forme de courbe représentant la largeur de rayure en fonction du poids appliquant la pointe rayante sur la surface.

Il est généralement admis, dans la plupart des ouvrages contenant la description du scléromètre, que la pointe rayante est taillée suivant un angle conique total de 90° .

Martens lui-même, auteur du scléromètre, dans son *Traité des matériaux* admet cette conicité au paragraphe : Méthode Turmer et Martens. Cependant, « les pointes parfaitement dressées, dit-il, sont très coûteuses et l'on n'arrive pas à les obtenir parfaitement ». Il admet les aspérités sur les faces latérales (l'angle moyen étant de 90°) et recommande pour les éliminer le second mode d'emploi de l'appareil mentionné ci-dessus (recherche du poids).

L'appareil qui nous a servi pour notre étude et nos recherches est un appareil Martens, celui qui est affecté à la Section des matériaux du *Laboratoire d'essais du Conservatoire des Arts et Métiers à Paris*. Il est du même modèle que celui qui est en usage au Laboratoire de Gross Lichterfelde. La pointe rayante de diamant que nous avons utilisée est celle de l'appareil lui-même.

Notre étude comprend :

1° Détermination de la forme du diamant à très fort grossissement (1.000 diamètres) et représentation de la forme générale des aspérités avec leur ordre de grandeur à l'échelle de 4000 diamètres ;

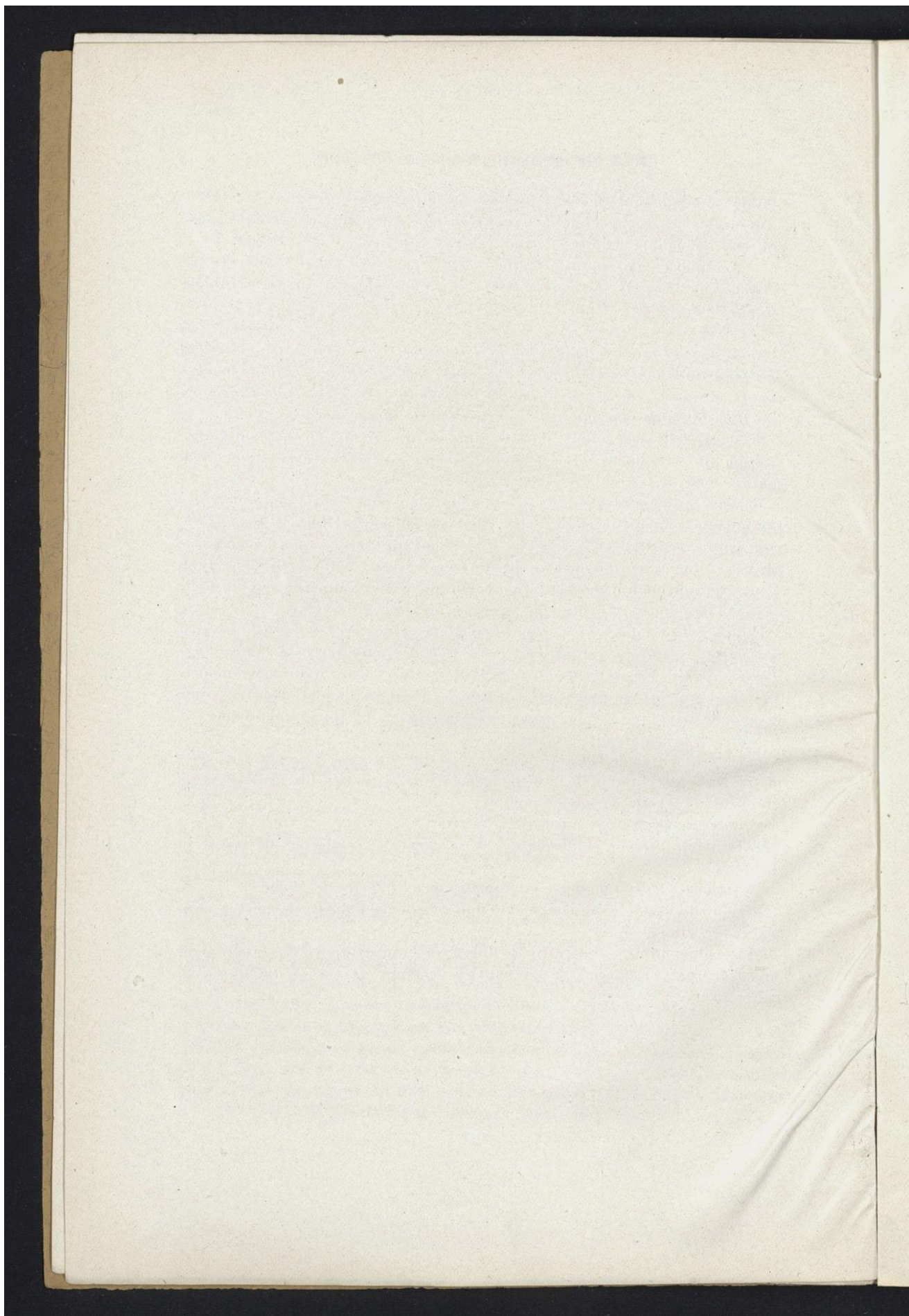
2° Détermination de la forme de la rayure ;

3° Etude du procédé de formation de la rayure et conditions de rayure et d'abrasion ;

4° Application de la méthode sclérométrique à l'*Echelle de Mohs* ;

5° Contribution à l'établissement d'une échelle métallique destinée à remplacer l'échelle de Mohs ;

6° Documentation comparative de duretés sclérométriques d'un certain nombre de corps susceptibles de présenter à ce point de vue un intérêt particulier.



PREMIÈRE PARTIE

ÉTUDE DE LA RAYURE

Détermination de la forme du diamant Forme de la rayure

On s'est fait une idée complètement fausse de la forme réelle du diamant utilisé dans la pratique, en admettant un angle moyen de conicité totale de 90° . Notre étude nous a permis d'établir, que la forme de celui qui sert à nos essais a, perpendiculairement à ses déplacements, un angle *variable* augmentant d'une façon sensiblement progressive :

Angle de conicité mesuré aux bords d'une rayure faite sous un poids de 50 grammes	Largeur de rayure correspondante en $1/1000^e$ de mm.	Métal de dureté correspondante
114°	113	<i>Plomb</i>
135°	60	<i>Etain</i>
161°	25	<i>Fer doux</i>
sous poids plus petit que 20 grammes		
170°	extrême pointe	<i>Quartz</i> <i>Acier dur trempé</i> (1 cm ³ trempé sec)

La photographie ci-après (fig. 1), obtenue par projection optique, avec précautions spéciales, montre que si la taille est bien au voisinage de 90° , l'extrémité

est arrondie et précisée dans la partie utile. Sur cette extrémité sont indiquées, à la même échelle, les largeurs maxima de rayure (sous 50 grammes) pour différents métaux.

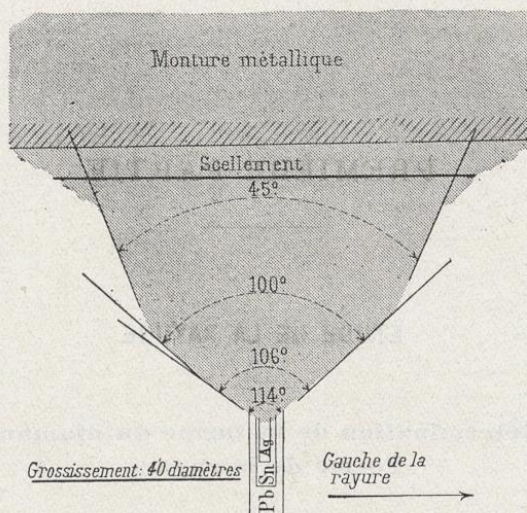


Fig. 1. — Utilisation de la pointe.
Projection du cône du diamant sur un plan parallèle à son axe et normal à la rayure.

Au grossissement de 2.400 diamètres, cette projection se présenterait, quant à la pointe, sous la forme bosselée représentée par le graphique ci-après (fig. 2) concernant le profil conjugué d'une rayure.

Ces bosses n'ont pas nécessairement leurs proéminences sur une même génératrice du cône et leurs situations différentes expliquent, suivant le croquis (fig. 3), leurs formes caractéristiques principalement vers l'extrême pointe.

Vers l'extrême pointe où l'angle moyen du profil est très grand, le diamant se présente donc sous la forme d'une surface hérissée de pointes d'inégales longueurs agissant en plus ou moins grand nombre suivant l'enfoncement.

Ces bosses ont été repérées sur les deux photographies (fig. 4, page 11) (1) qui représentent le diamant vu par réflexion sous un éclairage presque normal.

(1) Ces microphotographies ainsi que toutes celles contenues dans le présent travail sont inversées par rapport aux objets représentés à cause de la présence du prisme du microscope Le Chatelier.

Coupe Normale de la Rayure. — Profil Conjugué du Diamant.

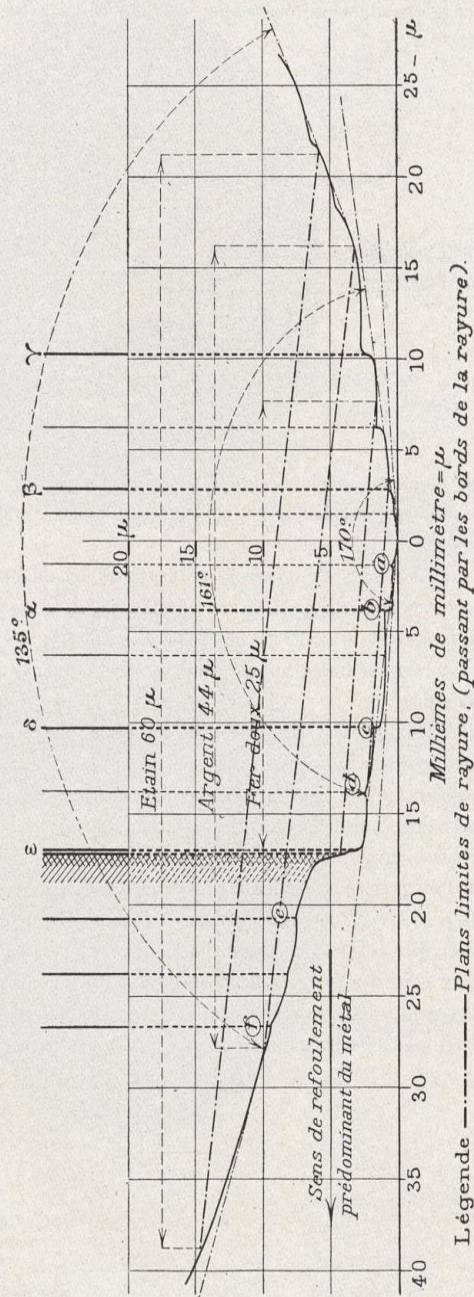


Fig. 2.

Une faible variation dans l'éclairage des deux photographies permet par repérage de mieux situer l'inclinaison des surfaces réfléchissantes.

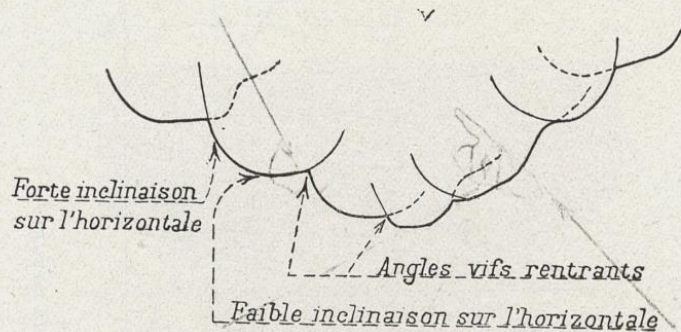


Fig. 3.

L'extrême pointe est indiquée sur la photographie supérieure. Elle appartient à une sorte de cristal émergent semblant encastré dans le reste de la surface rugueuse.

On voit sur la photographie inférieure que des traces longitudinales, dont la direction coïncide avec celle de la rayure, apparaissent en avant du sommet, donc sur la face avant du cristal susmentionné. La cause semble être le frottement et la nature de ces traces, forme d'usure ou métallisation, peut être déterminée facilement.

En bordure de cette forme cristalline, et du côté avant, une cavité ou dépression brusque provoque un bord à pic en plan oblique sur la direction de la rayure. Pendant la rayure, ce plan, à l'instar d'une charrue, ce que nous avons constaté par ailleurs, rejette la plus grande partie du métal sur l'un des côtés (côté gauche de la rayure, disons mieux, rive gauche). Cet effet ne se produit que lorsque l'enfoncement est suffisant pour permettre ce jeu.

Les surfaces de niveau, perpendiculairement à l'axe du cône de taille, ont pu être observées, dans l'examen microscopique à éclairage normal et réfléchi, par l'emploi d'un objectif à court foyer. Elles apparaissent successivement sous forme de zones de netteté, par variation de la mise au point.

Ces surfaces sont très irrégulières et le croquis (fig. 5, page 12) en donne une idée.

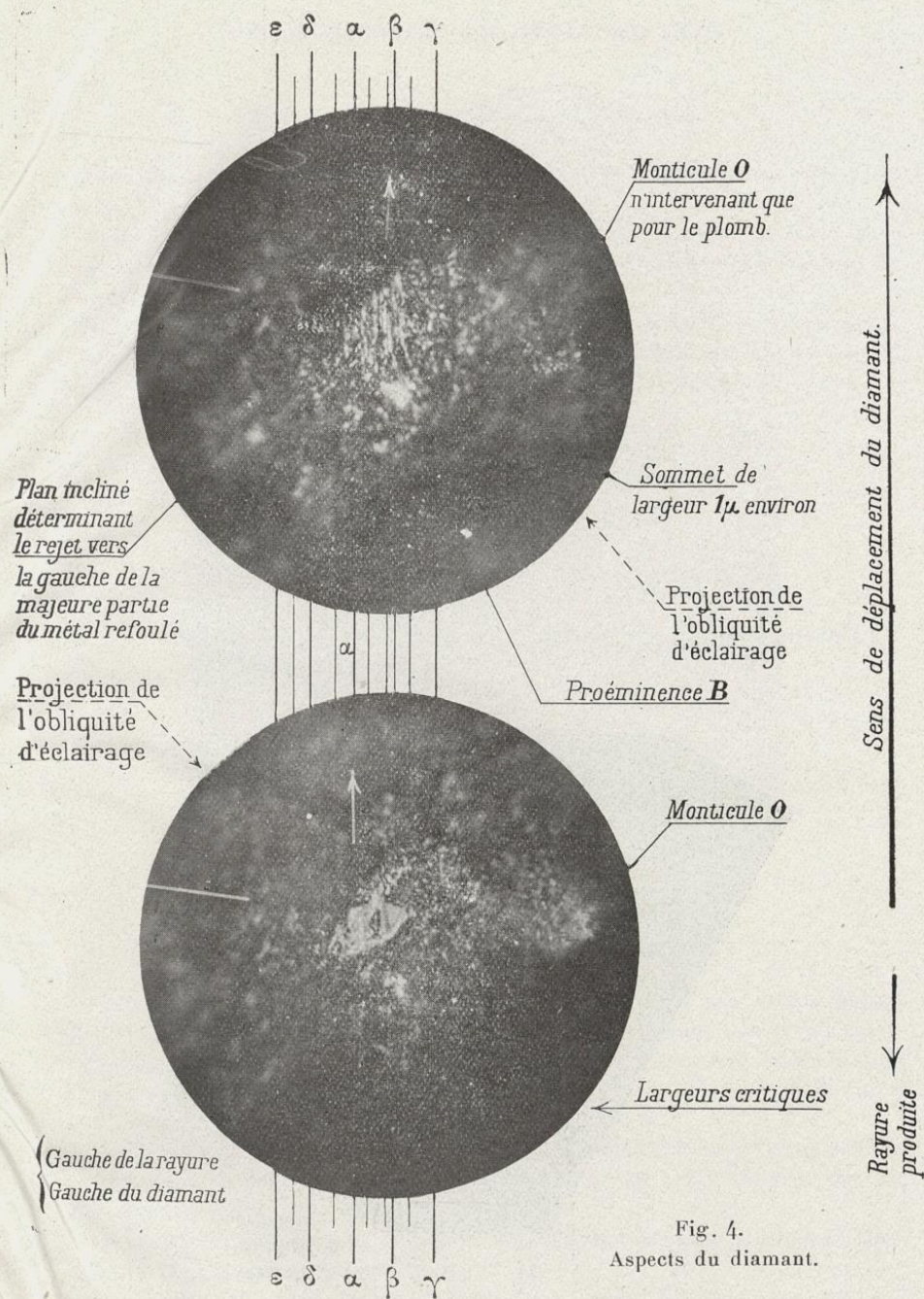


Fig. 4.
Aspects du diamant.

Grossissement. 900 diamètres
Eclairage presque normal
Images formées par réflexion des surfaces brillantes.

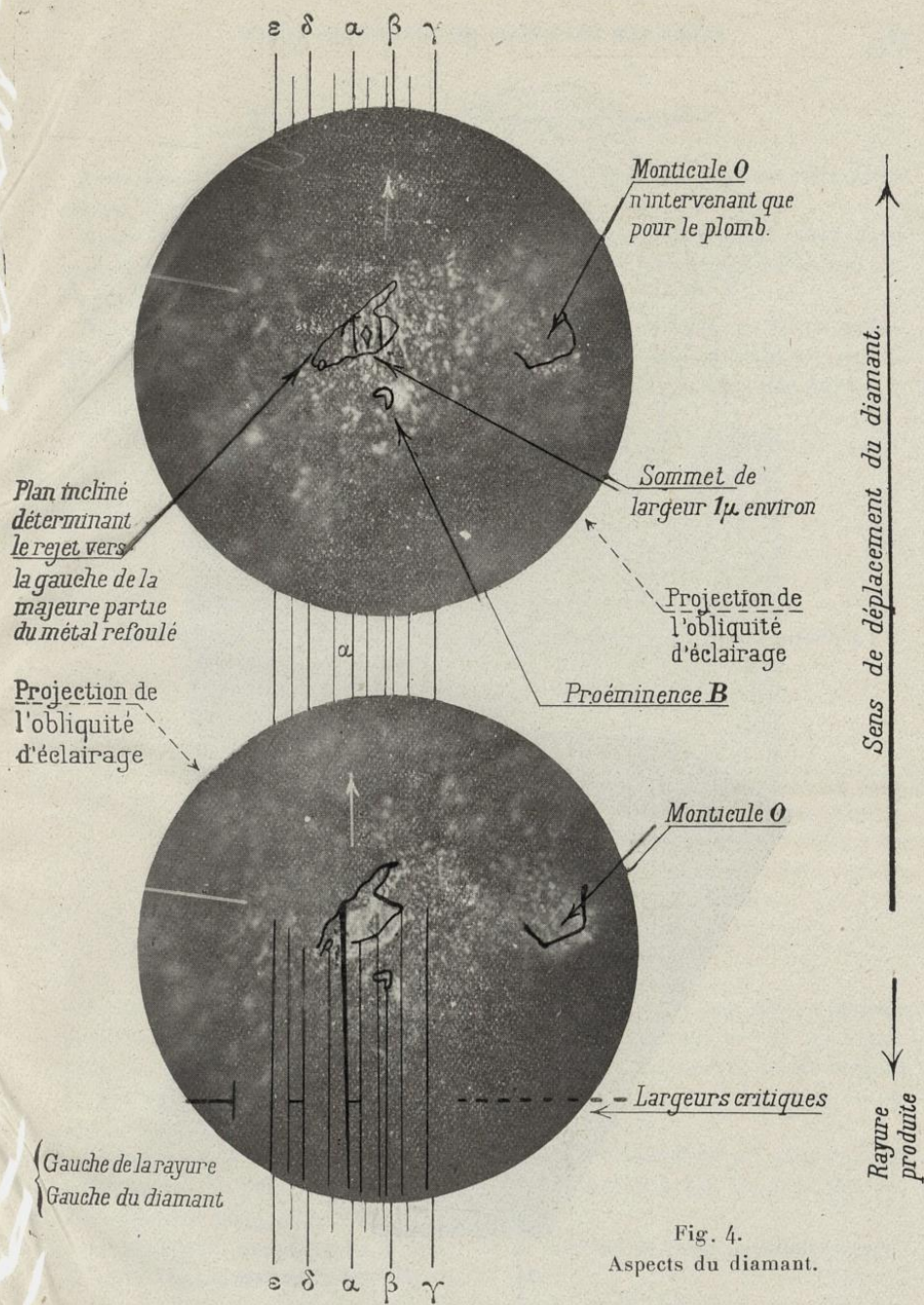


Fig. 4.
Aspects du diamant.

Grossissement. 900 diamètres
Eclairage presque normal
Images formées par réflexion des surfaces brillantes.

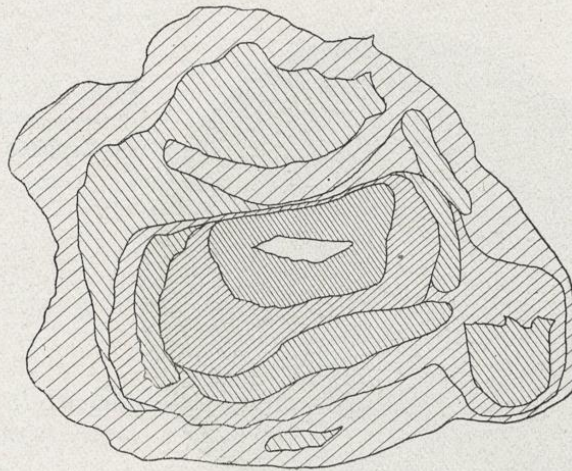


Fig. 5.

La photographie ci-dessous (fig. 6) est un exemple de ces observations.

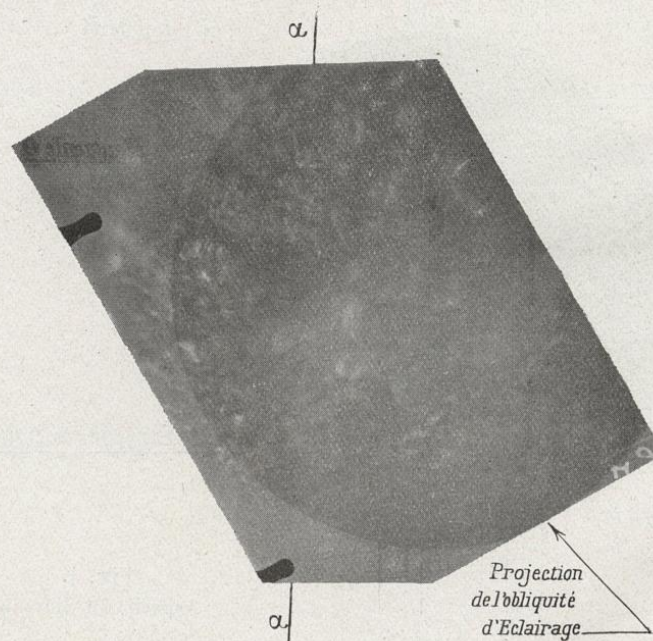


Fig. 6.

Fig. 5 et 6. — Observation des surfaces de niveau

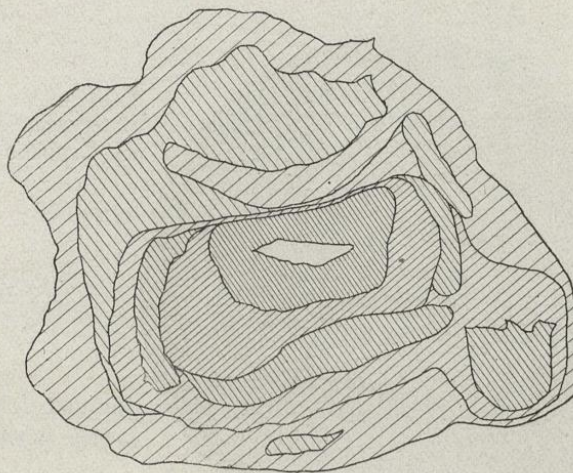


Fig. 5.

La photographie ci-dessous (fig. 6) est un exemple de ces observations.

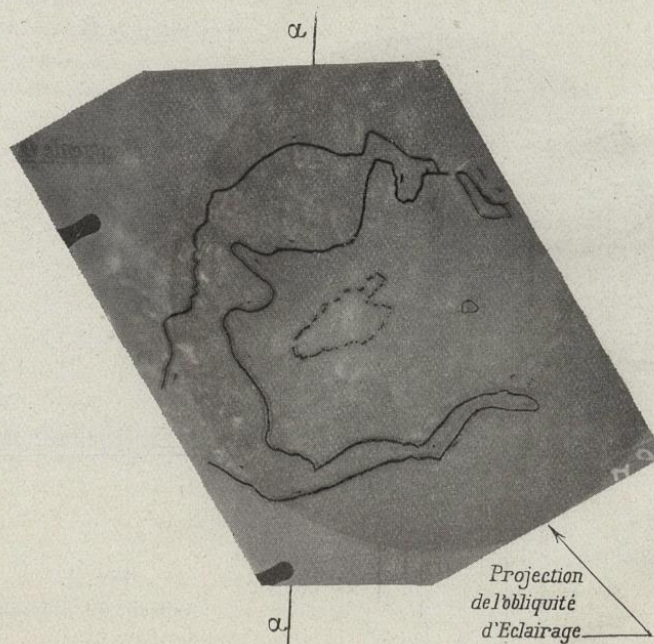


Fig. 6.

Fig. 5 et 6. — Observation des surfaces de niveau

Forme et formation de la rayure

Pour que les rayures s'effectuent avec quelque précision, il est nécessaire que les bords soient nets et rectilignes.

Avant toutes nos expériences, nous avons fait toute une série d'essais dans lesquels nous avons opéré successivement avec des orientations différentes du diamant.

Nous avons constaté que dans la plupart des cas, on obtient des bords ondulés comme dans la photographie ci-dessous (fig. 7), principalement lorsqu'il s'agit de rayures relativement larges, par conséquent sur métaux peu durs.



Fig. 7.

Grossissement.	350 diamètres
Poids.	10 grammes
Métal.	Argent
Orientation quelconque du diamant	

Nous avons remarqué, dans certains cas, la formation d'une rayure latérale parasite, notamment celle due à la proéminence B indiquée sur la photographie supérieure (fig. 4, page 11). De même, pour les rayures de faible largeur (7 à 8/1000^e de mm.) le dédoublement de la pointe en deux ou trois autres donnant autant de rayures parallèles a pu être constaté.

Nous avons donc choisi pour toute notre étude l'orientation qui nous donnait pour toutes les largeurs la meilleure rayure (photographie ci-après, fig. 8); elle concerne tous nos résultats.

La rayure se présente sous la forme d'une réunion de traits parallèles à espacements et intensité variables (fig. 9).

Ces traits nettement reconnaissables dans toutes les expériences à leurs écartements et à leurs apparences ont été désignés par des lettres (α , β , γ , etc...), et leurs origines vraisemblables, retrouvées par superposition à

même échelle (voir photographies, fig. 4), ont été indiquées sur la plupart des photographies.

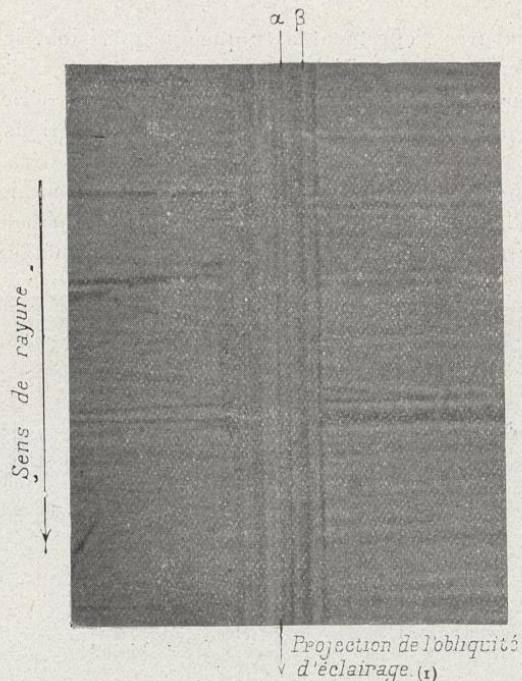


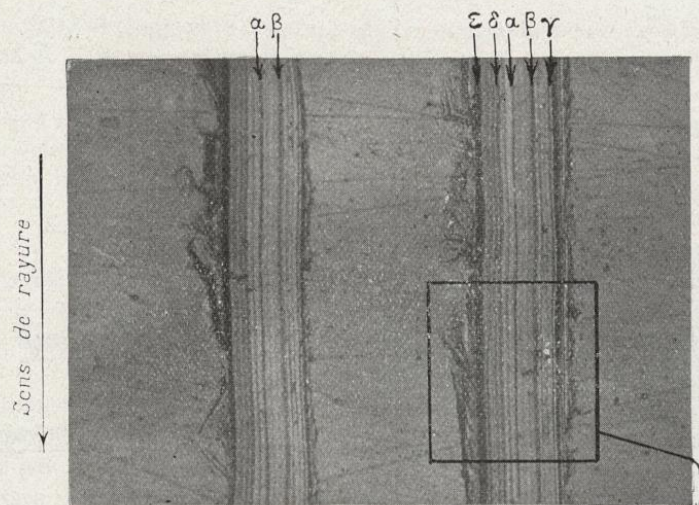
Fig. 8.

Grossissement.	1000 diamètres
Poids sur le diamant	50 grammes
Métal	acier dur trempé
Eclairage presque normal à la surface rayée (1).	

Ces mêmes traits nous ont servi de points de repère et nous ont permis de suivre les accroissements latéraux de la rayure sous l'augmentation de poids. D'autre part, en employant un objectif microscopique à court foyer, et en mesurant les déplacements nécessaires de l'échantillon pour les mises au point successives des différents plans de la rayure, nous avons obtenu une évaluation des profondeurs (voir photographie ci-après, fig. 10). Cette méthode dont les résultats sont consignés synoptiquement à la figure 11 (page 16) nous a servi à établir le graphique (fig. 2, page 9).

Ce graphique porte notamment les traces de plans limites de rayure (passant par les deux bords) qui mettent en évidence *l'inégalité des cotes des deux bords* (photographie, fig. 10).

(1) Cet éclairage est celui adopté dans toutes nos photographies de rayures.



Emplacement de la photog. Fig 10.

Fig. 9.

Grossissement.	350 diamètres
Poids sur le diamant	45 grammes
Métal	bronze monétaire

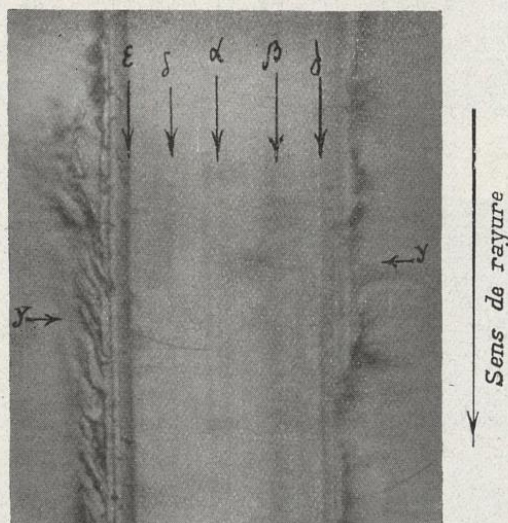


Fig. 10.

Mise au point sur l'extrême bord gauche

Grossissement	1.000 diamètres
Poids.	45 grammes
Métal.	Bronze monétaire

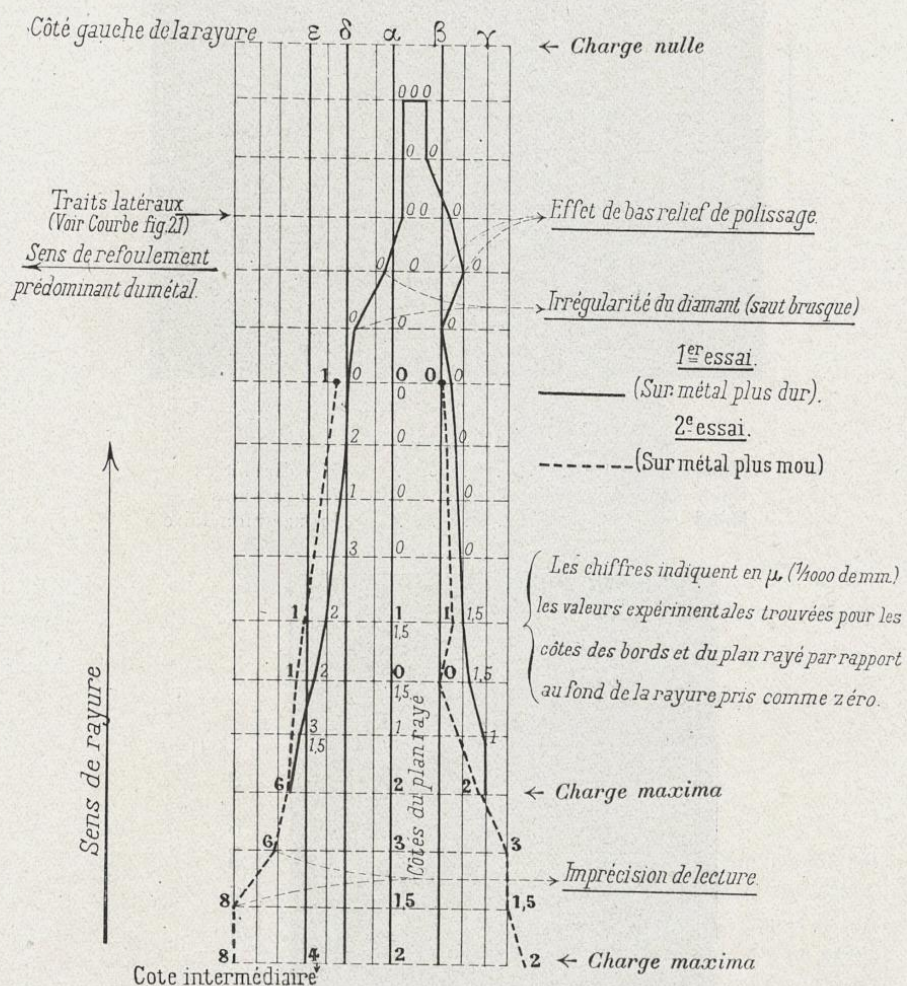


Fig. 11.

Relevé des mesures expérimentales au grossissement de 900 diamètres, indiquant l'augmentation de la largeur de rayure avec l'augmentation de la charge appliquée progressivement sur le diamant.

Dans cette photographie (fig. 10, page 15) malgré le défaut de mise au point du fond de la rayure qui est dû au fort grossissement, les lignes α , β , etc. sont visibles.

Le sens de la rayure est nettement visible par l'entraînement apparent du métal, notamment en y (photographie, fig. 10).

Nous avons essayé de déterminer la forme de la rayure par la méthode différente qui suit :

Elle consiste à observer directement une coupe de la rayure par un plan normal à la surface rayée. Comme il ne faut pas songer à obtenir cette coupe par une coupure ou par usure qui l'une et l'autre, à cause de la petitesse des dépressions à observer, viendraient les détruire à l'endroit intéressé, nous avons été amenés à effectuer une coupure avant la rayure elle-même et nous avons opéré de la façon suivante :

1° Coupe d'un bloc homogène et polissage aussi plan et aussi parfait que possible des faces de coupe.

2° Réunion des deux faces polies et reconstitution du bloc primitif par soudure extérieure du joint.

A cause de la faible sphéricité des surfaces polies due inévitablement aux procédés de polissage à notre disposition, nous avons été amenés à la troisième opération nous permettant d'utiliser la partie véritablement en contact, partie centrale du bloc.

3° Nouvelle coupe perpen-

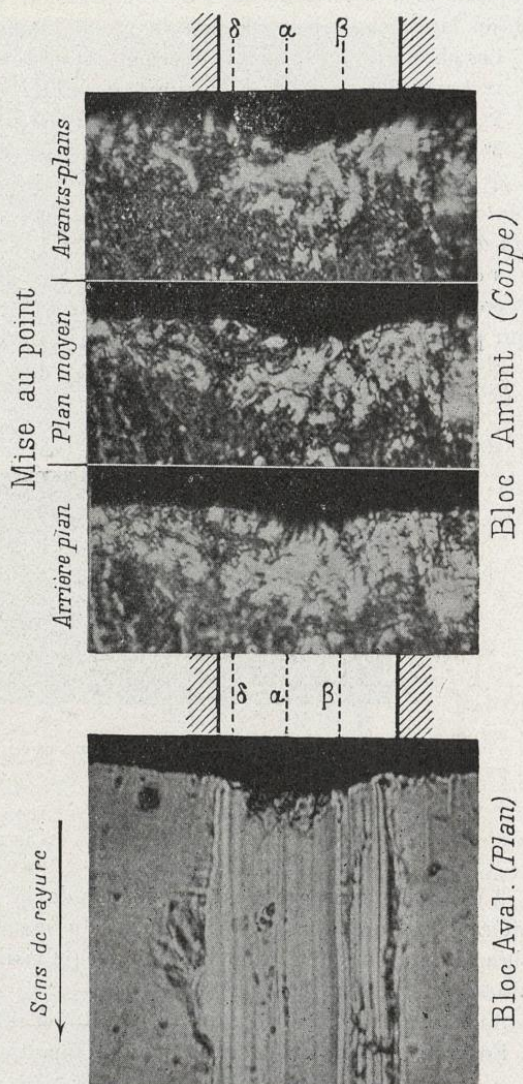


Fig. 12.

Grossissement . . . 1.000 diamètres
Métal laiton 30 o/o
Poids 50 grammes.

diculaire et diamétrale à la surface de contact des deux parties du bloc.

4° Polissage d'une face de cette dernière coupe.

5° Rayure perpendiculaire au joint.

6° Séparation des deux blocs en prenant la soudure opposée comme charnière, afin d'éviter tout effort de compression sur l'arête intéressante (les soudures latérales avaient été enlevées préalablement).

Les photographies (fig. 12) permettent de remarquer :

1° *Le grand angle de l'extrémité rayante.*

2° *L'apparence des inégalités causées par les bossages du diamant.*

3° *Le repérage des traits α et β .*

4° Sur le bloc amont, en blanc (partie saillante), une surélévation du métal témoigne de son *entraînement jusqu'à une certaine profondeur dans le sens du déplacement du diamant.*

à ce métal entraîné, correspond, sur le bloc aval un vide équivalent de métal repoussé visible sur la photographie (fig. 12). Une seconde expérience faite sur plomb a permis de faire les mêmes constatations (fig. 13).

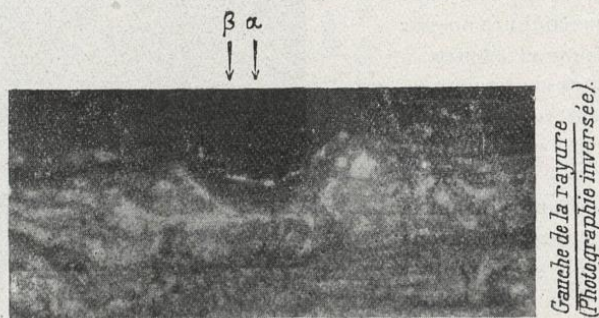


Fig. 13. — Coupe d'une rayure sur plomb

Bloc.	aval
Grossissement.	100 diamètres
Poids	> 50 grammes.

A cause des plus grandes dimensions de la rayure, on voit la surélévation latérale produite par le refoulement du métal vers la gauche, refoulement signalé à propos de la forme du diamant (et visible également sur les photographies, fig. 7, 9 et 10).

Sous forme de bordure noire, apparaît l'entraînement du métal.

Enfin le grand angle terminal du diamant est encore visible.

L'entraînement du métal sur toute la surface en contact avec le diamant peut s'observer dans les parties superficielles du plan rayé, et en bordure de la rayure, en observant la déformation correspondante des lignes encore visi-

bles du dernier polissage, dont le sens a été choisi perpendiculaire aux rayures.
(Exemple : photographies ci-dessous, fig. 14 et 15, en X, Y et Z).

Cet entraînement s'explique aisément par l'étirement du métal résistant à la rupture en avant du diamant.

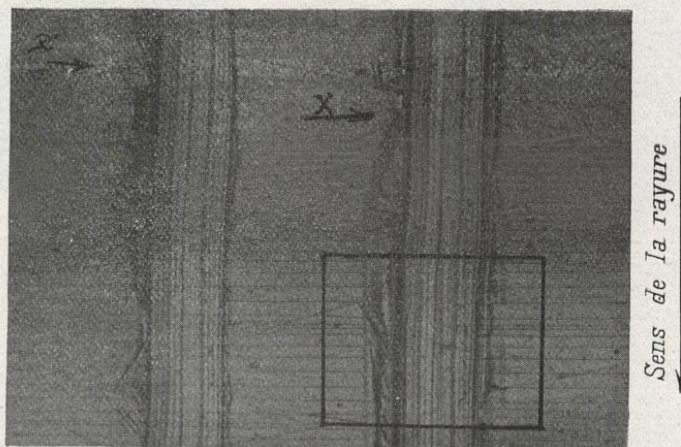


Fig. 14.

Grossissement.	350 diamètres
Métal	bronze monétaire
Poids	45 grammes
Mise au point moyenne (1)	

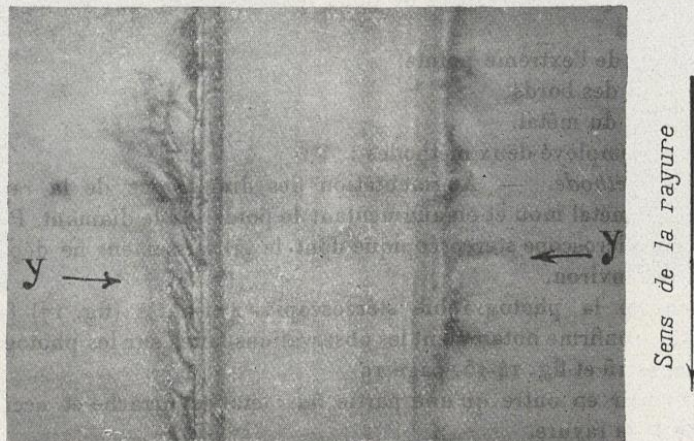


Fig. 15.

Même orientation que ci-dessus.

Grossissement	1.000 diamètres
-------------------------	-----------------

Mise au point :	{ En avant plan
	{ Bord gauche (1) de la rayure.

(1) Photos inversées par prisme.

Sur ces photographies, on peut remarquer également le rejet de la plus grande partie du métal vers la gauche de la rayure, avec craquelures cristallines montrant, en outre, la *compression latérale*.

L'observation des lignes du polissage permet également de discerner facilement l'observation des rayures latérales distinctes de la rayure principale dont nous avons parlé à plusieurs reprises. Le croquis ci-dessous (fig. 16) dispense de toute explication complémentaire, et montrer l'intérêt d'effectuer les rayures perpendiculairement à celles d'un polissage imparfait.

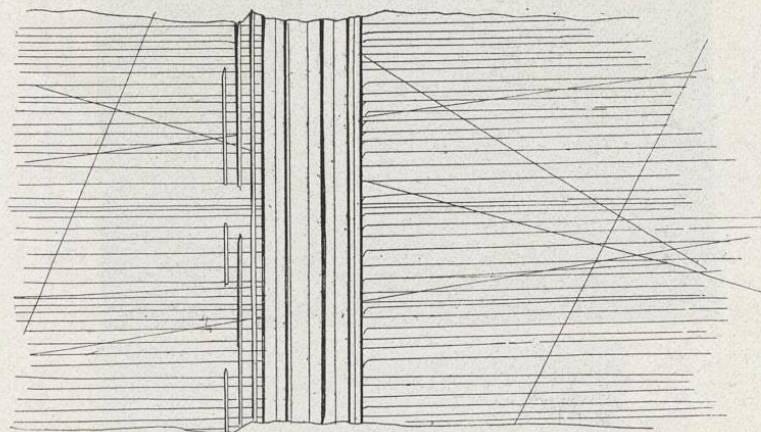


Fig. 16.

Nous avons également essayé de nous rendre compte *de visu* de la forme établie jusqu'ici :

Grand angle de l'extrême pointe.

Surélévation des bords.

Rejet latéral du métal.

Nous avons employé deux méthodes :

Première méthode. — Augmentation des dimensions de la rayure en employant un métal mou et en augmentant le poids sur le diamant. Puis examen avec un microscope stéréoscopique dont le grossissement ne dépasse pas 6,5 diamètres environ.

L'examen de la photographie stéréoscopique ci-après (fig. 17) faite sur un bloc aval, confirme notamment les observations faites sur les photographies (fig. 10, pages 15 et fig. 14-15, page 19).

On peut y voir en outre qu'une partie du métal est arraché et accumulé à l'extrémité de la rayure.

Deuxième méthode. — Production artificielle d'un groupe de deux photographies stéréoscopiques conjuguées à fort grossissement : 350 diamètres, en prenant au microscope deux photographies pour lesquelles l'échantillon avait deux inclinaisons différentes sur l'axe (fig. 18).

Parce que les images étaient formées par réflexion de l'éclairage sur des surfaces brillantes, cette méthode n'a pas donné les résultats qu'on avait pu en attendre.

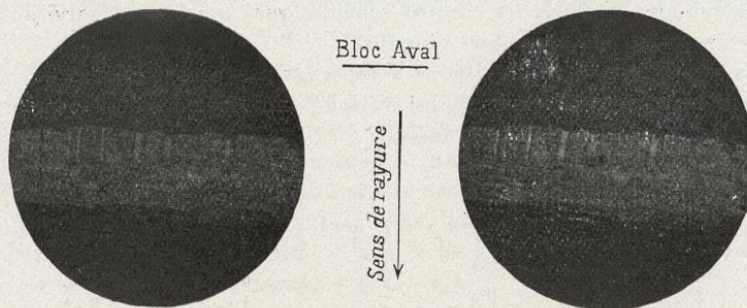
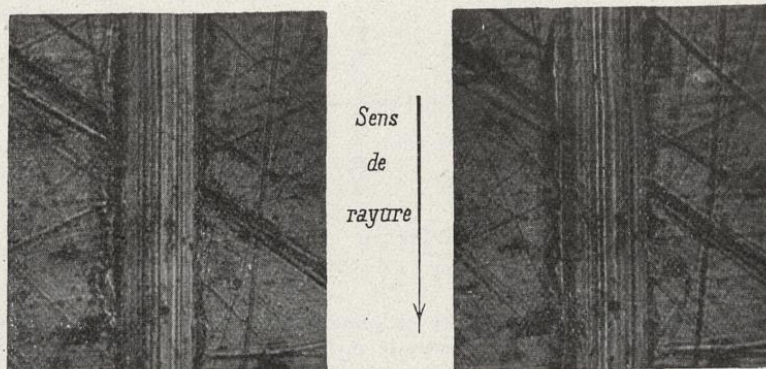


Fig. 17. — Rayure ayant fait l'objet de la photographie, fig. 13.

Métal	Plomb fondu
Bloc	Aval
Grossissement	6,4 diamètres.

En effet :

- 1° Une faible variation d'incidence provoque une variation d'intensité d'éclairage relativement grande.
- 2° L'éclairage apparaît extrêmement différent pour les deux images.



Projections de l'obliquité moyenne d'éclairage

Fig. 18.

Grossissement	350 diamètres
Mise au point	moyenne
Métal	cuivre d'un fil
Poids.	50 grammes.

Il eut été nécessaire d'opérer sur des surfaces mates obtenues par exemple par oxydation après rayure.

Le manque de temps ne nous a pas permis de reprendre ces essais.

Nous donnons (fig. 19), les croquis schématiques nous ayant servi au repérage des sens des photographies obtenues.

Nous conseillons d'employer pour le repérage des côtés soulevés de l'échantillon sur les images obtenues, l'observation simultanée des déplacements respectifs de l'échantillon et de son image.

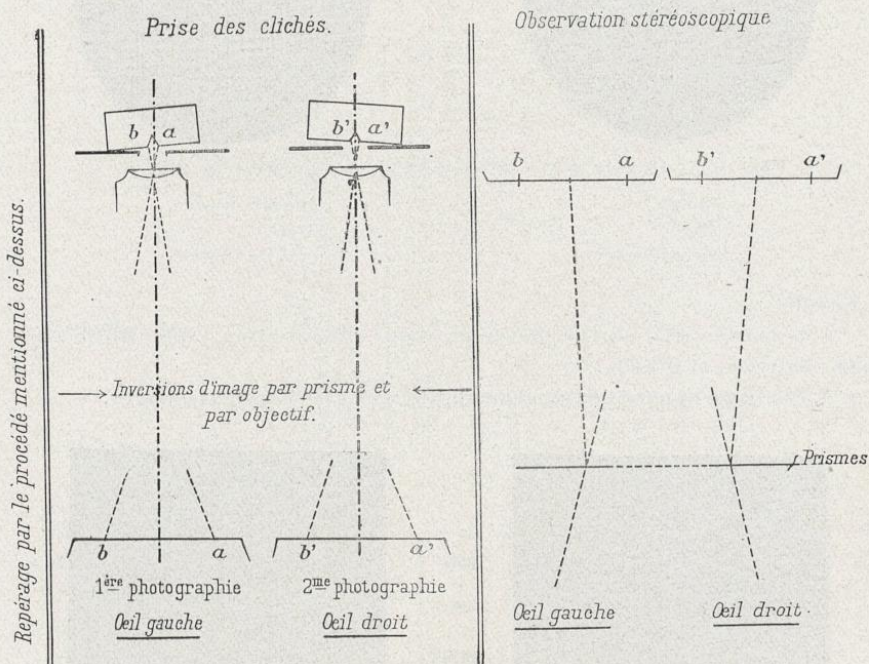


Fig. 19.

Angle d'inclinaison. 8°30' environ

Tang. 8°30' = 0,15

Nota : La transposition sera évitée en photographiant les deux images sur la même plaque, les côtés b' et a étant vers le milieu de la plaque (Voir observation stéréoscopique, fig. 19).

On peut remarquer que cette condition correspond à la suivante : les images des bords soulevés devront être vers le milieu de la plaque.

En résumé :

On peut tirer comme conclusions :

1° Le grand angle de l'extrême pointe et sa variation progressive, l'importance des aspérités de la surface du diamant et leur mode d'action.

2° Le rejet (avec le diamant utilisé) vers la gauche de la rayure, par un plan oblique à l'avant du cristal, de la majeure partie du métal déplacé.

3° Entraînement du métal sur toute la surface en contact avec le diamant. Cet entraînement ne nous paraît pas nécessairement dû au frottement, mais résultant plutôt de la cohésion du métal.

La partie située à l'avant de la pointe étant entraînée par poussée directe et entraînant à son tour les parties latérales.

4° Arrachement partiel du métal reporté ensuite à l'extrémité de la rayure, du moins lorsqu'il s'agit de rayures assez larges.

5° Surélévation inégale des bords au-dessus du plan rayé.

6° La réaction aux efforts du diamant se fait par du métal écroui.

7° En outre, l'hétérogénéité des métaux est sensible aux rayures de faibles largeurs. Cette sensibilité est d'autant moins grande que le mélange des composés hétérogènes est plus intime et que leurs parties constituantes sont plus petites *par rapport aux dimensions de la rayure*.

DEUXIÈME PARTIE

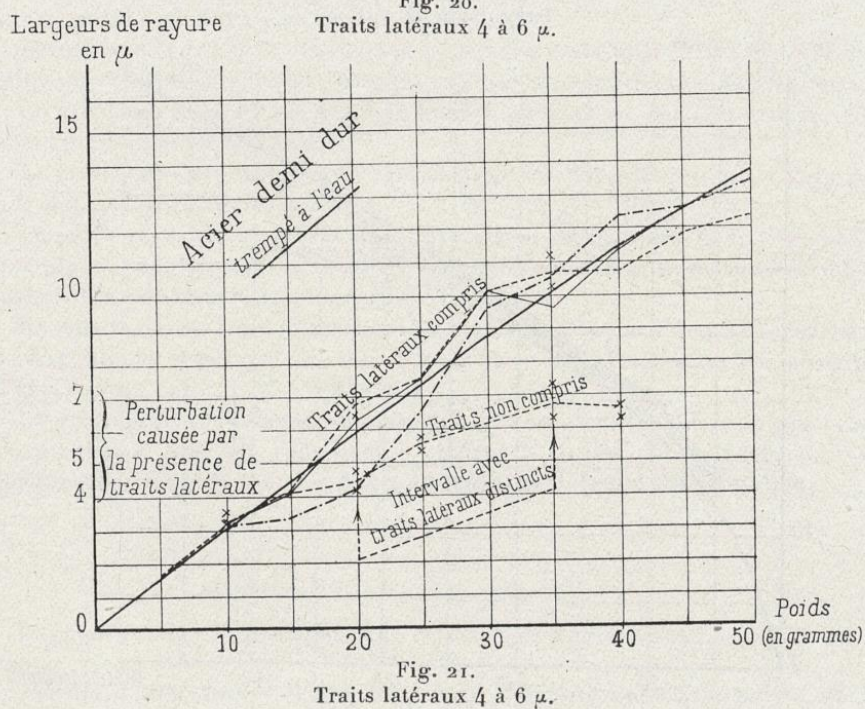
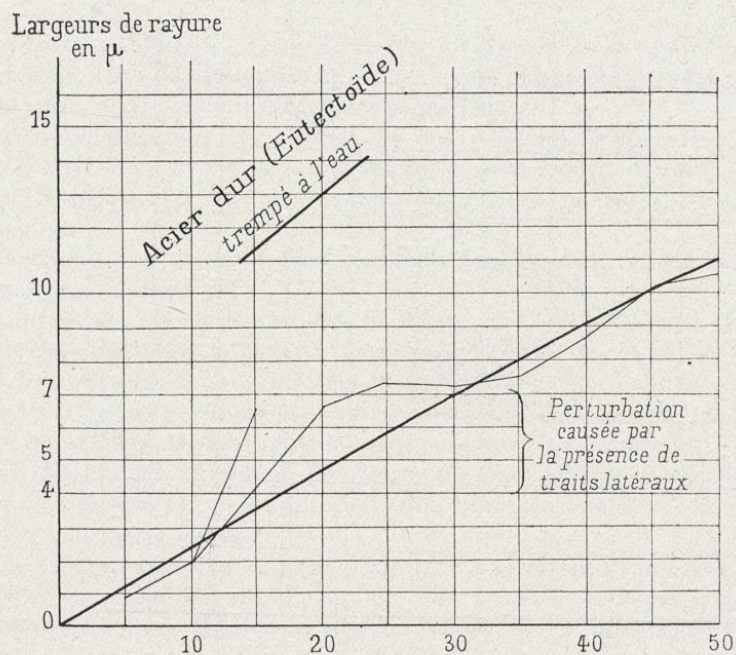
LES MESURES AU SCLÉROMÈTRE

Les méthodes de mesures préconisées pour l'emploi du scléromètre, et rappelées à la page 5, ont été toutes employées, et, suivant les expérimentateurs, avec des bases (poids ou largeurs) multiples. De là impossibilité systématique de condenser les résultats obtenus.

Pour éviter cette lacune et rendre par principe nos expériences générales, au lieu de chiffrer nos résultats numériquement nous les avons donnés sous forme de courbes donnant la variation de la largeur de la rayure en fonction de l'effort total appliquant la pointe du diamant sur le corps rayé.

Pour toutes ces expériences de mesures comparatives, comme pour celles de la première partie, nous avons choisi l'orientation du diamant nous donnant la meilleure rayure (photographie fig. 8, page 14) ; toutes nos rayures ont été faites sous une couche de benzine pour éviter l'influence possible des corps gras.

Ceci donné, nous avons donc pris des métaux *homogènes* sur lesquels nous avons fait un grand nombre d'expériences, et nous avons remarqué plusieurs intervalles de lectures ne devant jamais pouvoir servir à effectuer les mesures. La forme ou les irrégularités du diamant en sont les causes. Nous donnons ci-après à titre d'exemple ces anomalies évidentes dans les courbes.



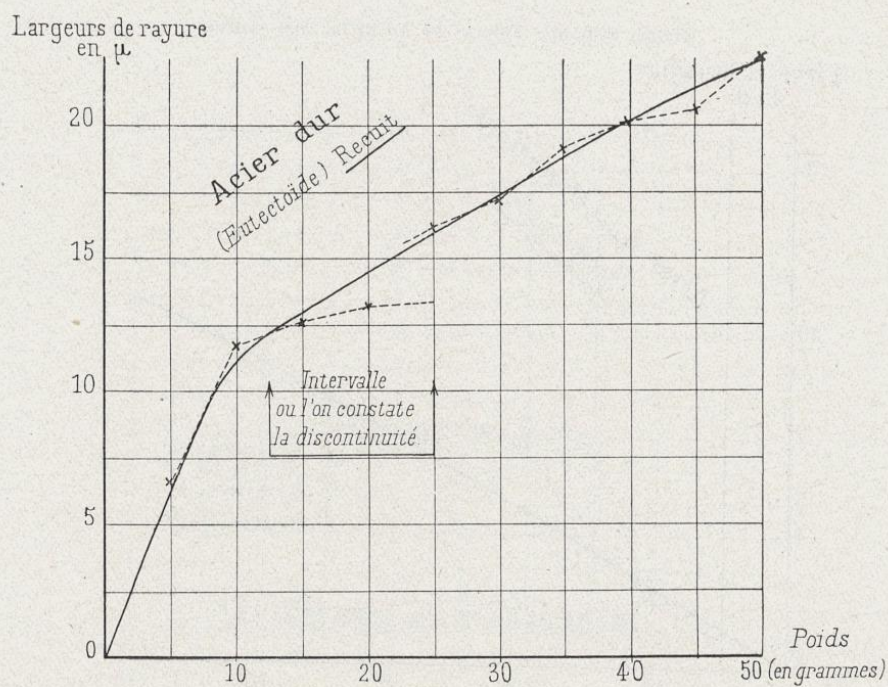


Fig. 22.
Irrégularité 13 à 16 μ .

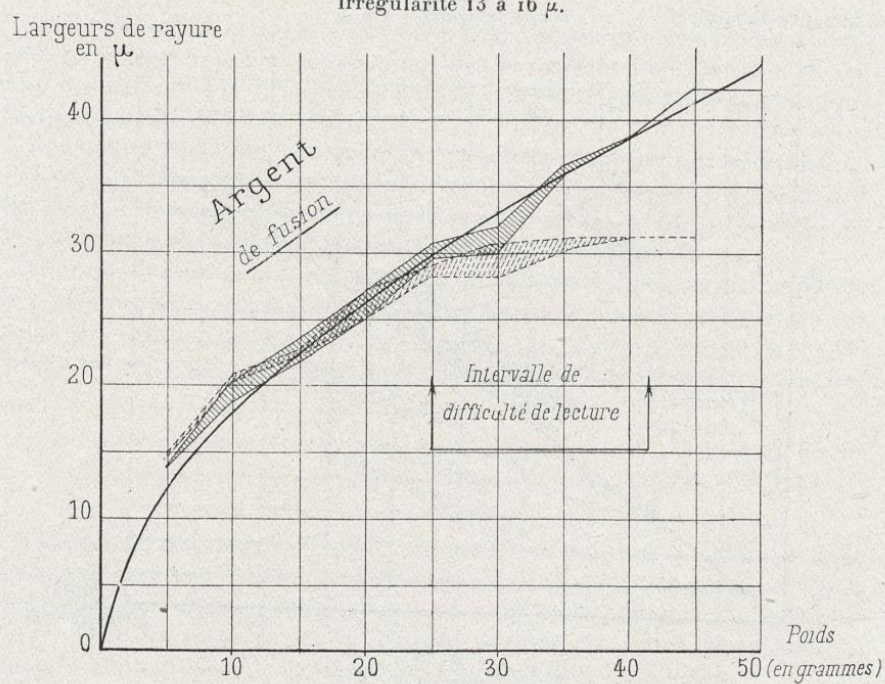


Fig. 23.
Difficulté de lecture 30 à 40 μ .

Graphique (fig. 20 et 21). — Entre les valeurs 4 et 6 μ la rayure est accompagnée de traits latéraux distincts de la rayure principale. Ils sont analogues et de même origine que ceux signalés pages 13 et 20.

Ce graphique donne les résultats de trois expériences faites sur le même métal. Dans l'une d'elles, les mesures de largeur ont été faites sans et avec traits latéraux. On se rend compte de l'erreur qu'ils sont susceptibles d'apporter.

L'intervalle où se manifestent ces traits latéraux est indiqué sur le graphique (fig. 11, page 16).

La projection des proéminences, de même cote, qui les tracent se retrouve sur le graphique (fig. 2, page 9), dans l'intervalle *a b*.

Graphique (fig. 22). — La forme du diamant provoque dans les valeurs un saut brusque entre 13 et 16 μ , et qui s'est retrouvé dans les autres expériences faites sur d'autres métaux que celui que concerne ce graphique.

On observe que la largeur de rayure est sensiblement stationnaire entre 15 et 25 grammes et l'on conçoit qu'il faille éliminer cette valeur si on voulait chiffrer la dureté à mesurer.

Sur le graphique (fig. 2, page 9), de *c* à *d*, la projection du profil rayant se confond en cet endroit avec le plan limite de rayure et explique ainsi le saut brusque dont il est question ici et dont l'emplacement est déterminé par les mesures faites (graphique fig. 11, page 16). Ce phénomène serait mieux visible sur un graphique fait à plus grande échelle.

Graphique (fig. 23). — De 30 à 40 μ la lecture est difficile à cause de la faible profondeur de la rayure près de l'extrême bord gauche ainsi mal délimité.

Ce graphique montre les zones de lecture mettant en évidence à partir de 30 μ l'incertitude de la limite.

Le phénomène est analogue au saut brusque mis en évidence sur le graphique (fig. 22), mais moins accentué.

La partie rayante provoquant cette imprécision est indiquée en *e*, *f* (graphique fig. 2, page 9), cette localisation étant déterminée par les mesures et indiquée notamment sur le graphique (fig. 11, page 16).

En dehors de ces trois intervalles (4 à 6 μ - 13 à 16 μ - 30 à 40 μ) les courbes sont régulières et peuvent être tracées sans aléas dans les limites des erreurs d'expériences.

La présence de ces valeurs critiques élimine donc dans l'application générale du procédé la méthode consistant à chiffrer la dureté par une largeur de rayure sous un poids donné et **rend nécessaire le tracé des courbes**.

La considération du phénomène de rayure nous a amené aux remarques suivantes :

Première remarque. — Une conséquence du *grand angle de la partie utile*

de la pointe est que la réaction est presque uniquement verticale et directement opposée à l'effort qui applique la pointe.

Deuxième remarque. — Avec une pointe de forme **géométrique** (sphère, pyramide ou tronc de pyramide) la surface de réaction sera toujours proportionnelle **au carré de la largeur de rayure** et cette fonction, pour un coefficient de résistance du métal constant, sera représentée par une droite si l'on prend pour abscisses les valeurs de l'effort exercé sur la pointe.

Le coefficient angulaire de cette droite sera déterminé évidemment d'une part par le métal en expérience, d'autre part par la valeur de l'angle de la pointe.

Les aspérités d'une pointe peuvent être considérées comme formant une surface s'écartant de part et d'autre d'une surface conique moyenne et leur effet dans les essais de rayure se manifestera, suivant le croquis ci-dessous, par une ondulation de part et d'autre de la droite théorique mentionnée plus haut et correspondant au cône moyen.

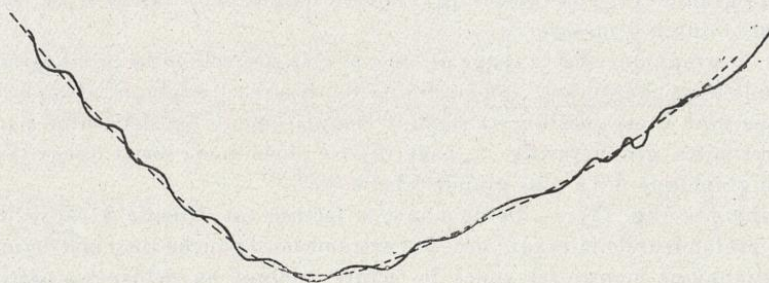


Fig. 24.

A cause de la petite dimension des aspérités, de leur grand nombre du très grand angle de tous les points de contact, à cause des petites dimensions des rayures, et aussi des limites étroites d'expériences (0 à 50 grammes) réduisant pour un même métal l'intervalle comprenant les largeurs de rayures observées, ces écarts de part et d'autre d'un cône moyen sont faibles relativement à la forme parabolique de la fonction (1). C'est cette forme qui est nettement remarquable dans toutes nos expériences (courbes de la 3^e partie) et rend les différences de dureté plus sensibles pour les faibles pressions.

La variation de l'angle moyen de la pointe signalée dans la première partie intervient aussi pour augmenter la courbure mais elle agit peu à cause du faible intervalle dans lequel sont comprises les largeurs de rayure d'un même métal. Il y a lieu cependant de faire exception pour les métaux mous.

A titre comparatif, nous avons traduit dans le graphique de la page suivante (fig. 25), un certain nombre de nos expériences de la 3^e partie en prenant l^2 pour ordonnées.

(1) Sauf aux largeurs critiques à éliminer.

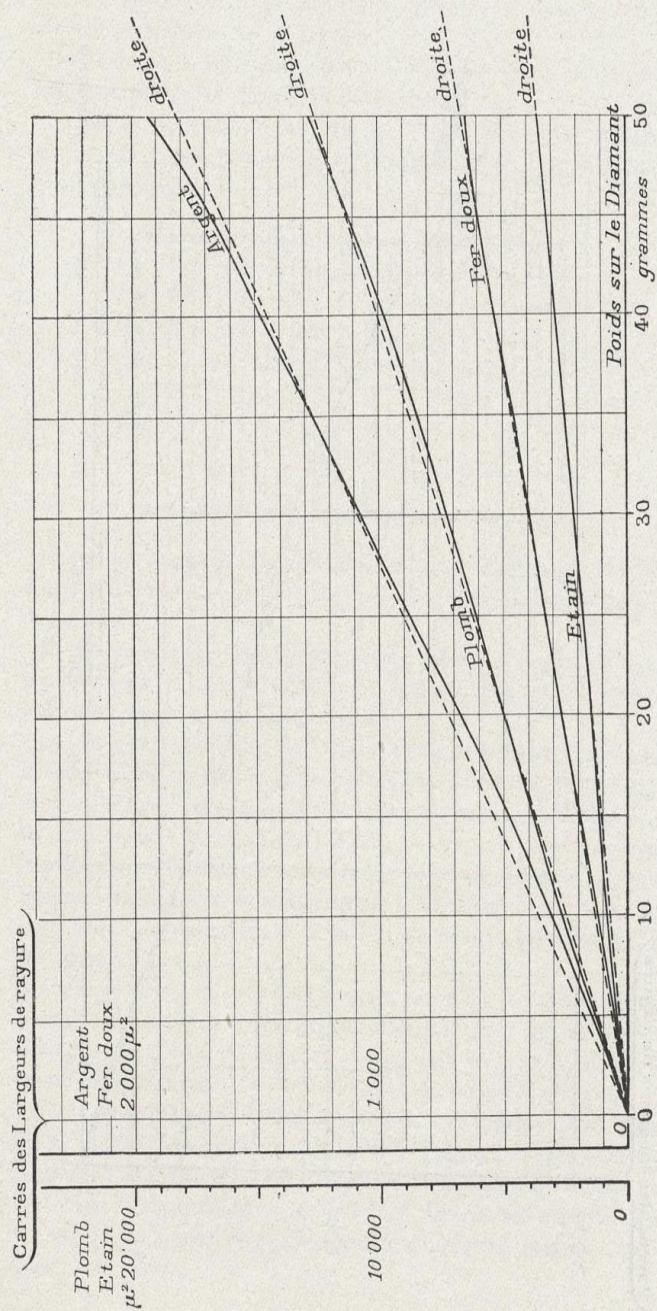


Fig. 25.

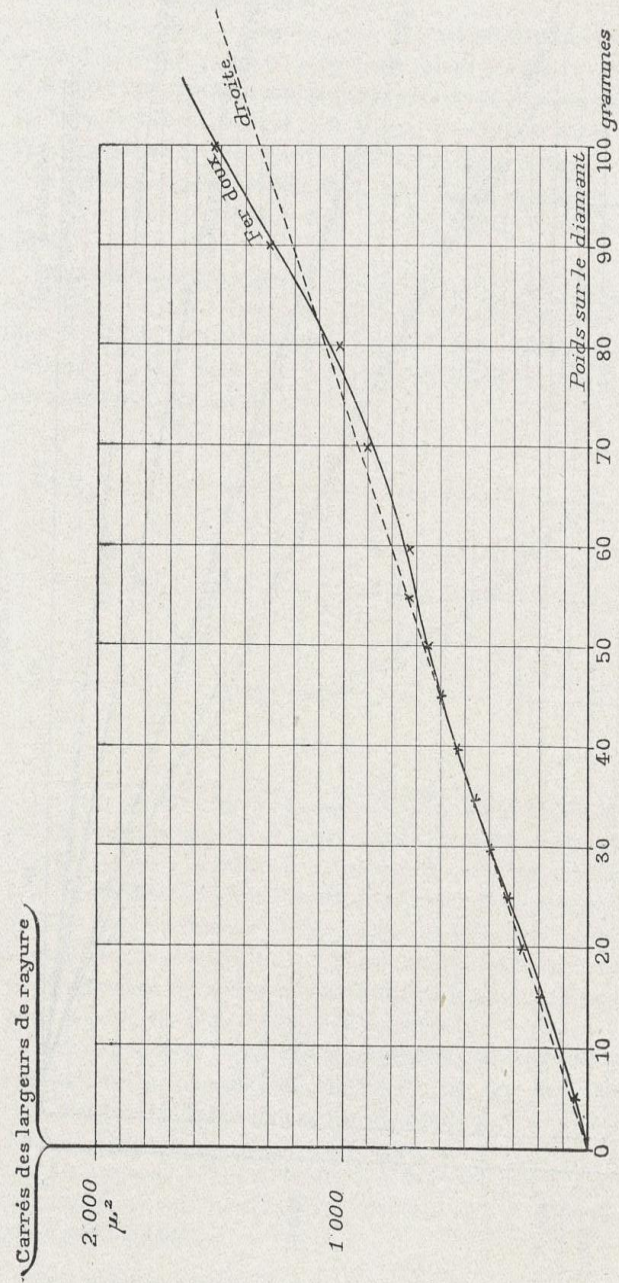


Fig. 26.

Dans le même ordre d'idées nous avons prolongé nos essais au delà de 50 grammes (graphique fig. 26, page 30).

Il y aurait lieu de penser, qu'il faut se limiter dans l'effort sur la pointe notamment lorsque l'on emploie des métaux durs.

Si, pour se rendre compte de l'ordre de grandeur de la pression utilisée, on assimile la surface de contact pendant la rayure à un demi-cercle, on trouve les valeurs suivantes :

Effort total sur la pointe	Pression moyenne en kgs/mm ²		
	Acier dur trempé	Fer doux	Argent
(grammes)			
10	3 500	284	79
25	1.760	234	73
50	1.160	189	66

On voit que la pression moyenne diminue quand la charge sur la pointe augmente. Cela ne veut pas dire que l'on puisse surcharger la pointe sans inconvénients.

En effet, on conçoit aisément que la pression puisse être inégalement répartie : limitée sur les bords par la limite de rupture du métal, elle est vraisemblablement plus grande sur l'extrême pointe.

Ceci amène à conclure que deux rayures parallèles faites par deux pointes solidaires auront une réaction normale plus grande qu'une seule pointe traçant une seule rayure de largeur égale à la somme des largeurs des deux premières. Ceci explique également que lorsqu'on se trouve en présence de traits latéraux, l'erreur faite dans la mesure soit moins grande en prenant la largeur comprise entre les bords externes extrêmes qu'en faisant la somme des largeurs de la rayure principale et du ou des traits latéraux (graphique, fig. 20 et 21, page 25).

Troisième remarque. — Pendant la rayure, la réaction ne s'effectue que sur la partie avant de la pointe. Pour fixer les idées, nous dirons que cette surface serait la moitié de celle de l'empreinte au repos dans le cas d'un même enfoncement au repos ou pendant la rayure faite avec un *diamant symétrique*.

Nous avons pensé que la forme de la partie avant de la pointe devait influencer sur les résultats. Nous avons donc fait une série d'expériences après avoir fait tourner de 180° autour de son axe le diamant qui nous a servi dans toutes nos expériences de façon à conserver le même profil. Les résultats consignés dans le graphique suivant ont été en effet sensiblement différents pour les métaux mous (étain, plomb).

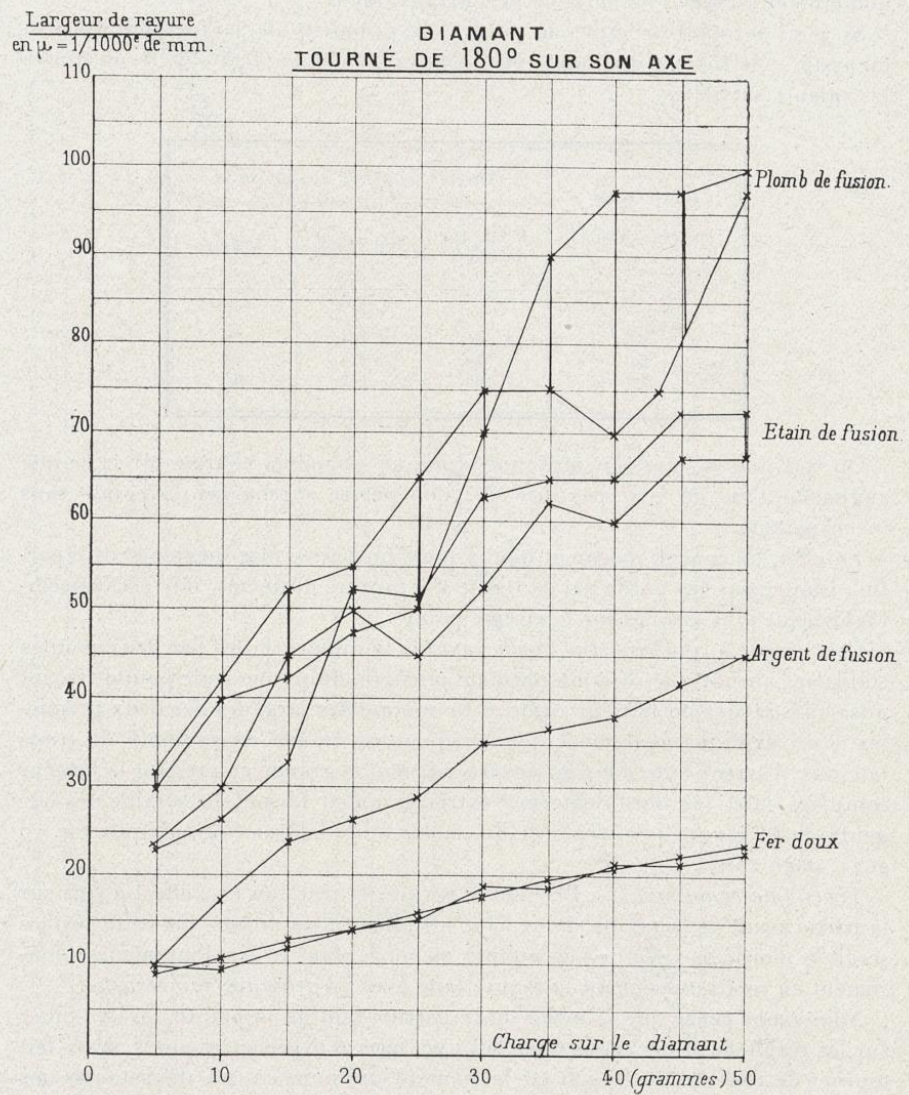
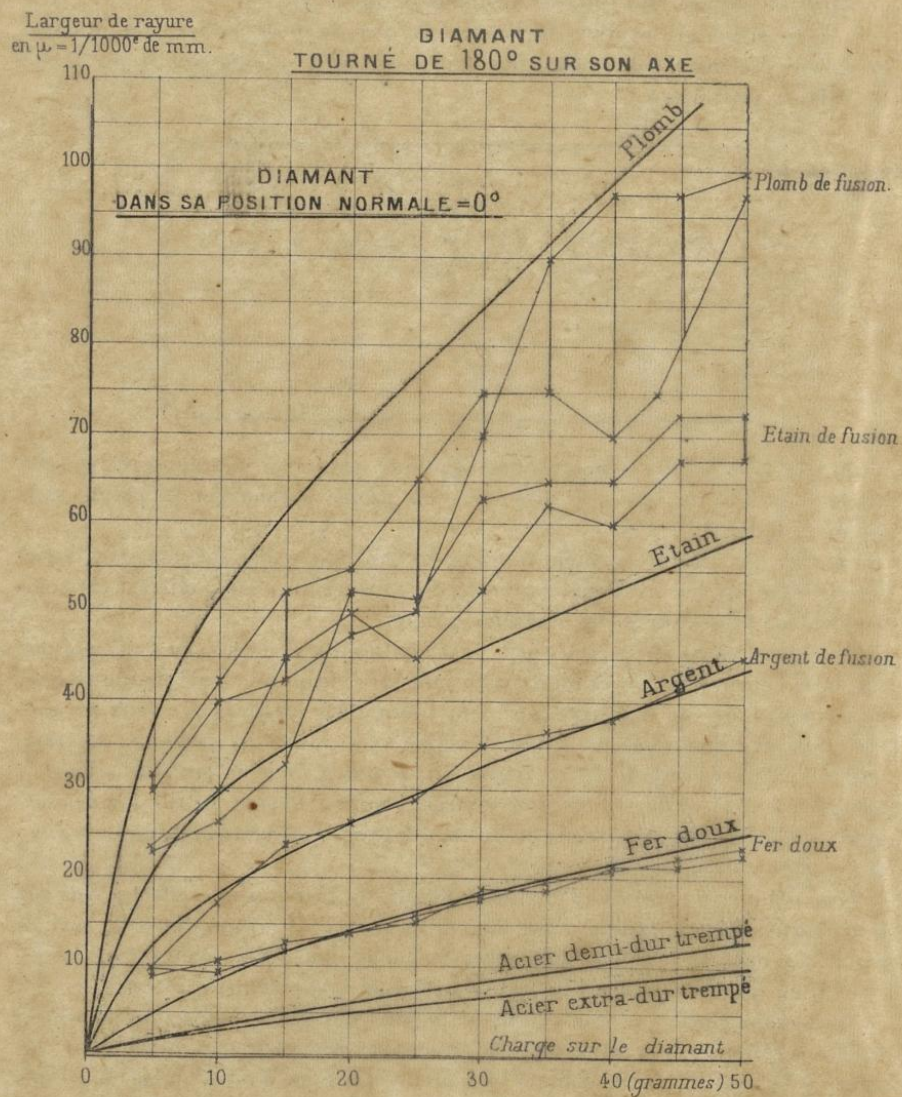


Fig. 27.



. Fig. 27.

Les expériences et raisonnements précédents nous ont suggéré la possibilité d'employer des pointes non taillées, éliminant ainsi l'opération de la taille, difficile, longue et *inefficace*.

Nous avons donc clivé quelques rubis et choisi parmi les éclats deux d'entre eux qui présentaient un angle nettement visible suivant les profils ci-dessous représentant pour chacun des coupes par deux plans normaux à la surface rayée et perpendiculaires entre eux.

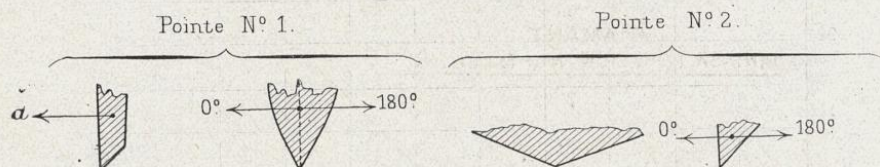


Fig. 28.

La pointe n° 1, utilisée dans la direction rayante marquée *a* sur les profils, a donné, pour une certaine profondeur d'enfoncement, des rayures doublées, produites par deux sommets d'inégale longueur.

Par des changements successifs d'orientation de cette pointe autour de son axe, nous avons été amenés à choisir l'orientation dans laquelle la ligne des deux sommets était sensiblement dans la direction des rayures.

Nous nous sommes arrêté à cette orientation nous donnant des rayures nettes et des courbes assez régulières sur toute l'étendue de l'échelle des duretés.

Les résultats sont réunis dans le graphique (fig. 30, page 34) ci-après comprenant :

- 1° Courbes de l'échelle : Pb, Sn, Ag, Fe.
- 2° Courbes : Sn, Ag, après une rotation de la pointe de 180°. Cette dernière

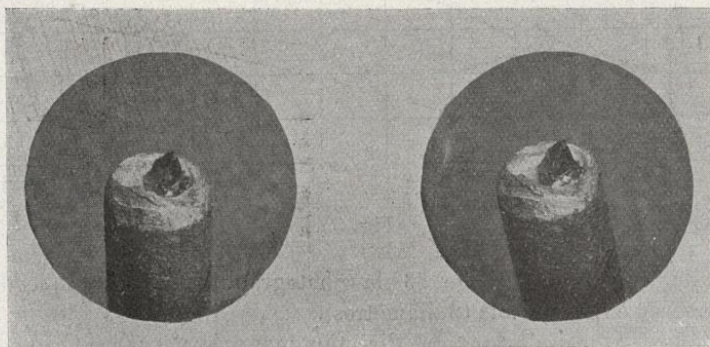


Fig. 29. — Pointe n° 1.

(Ag) a été faite par deux expériences distinctes à fin d'exemple sur la constance des résultats (1).

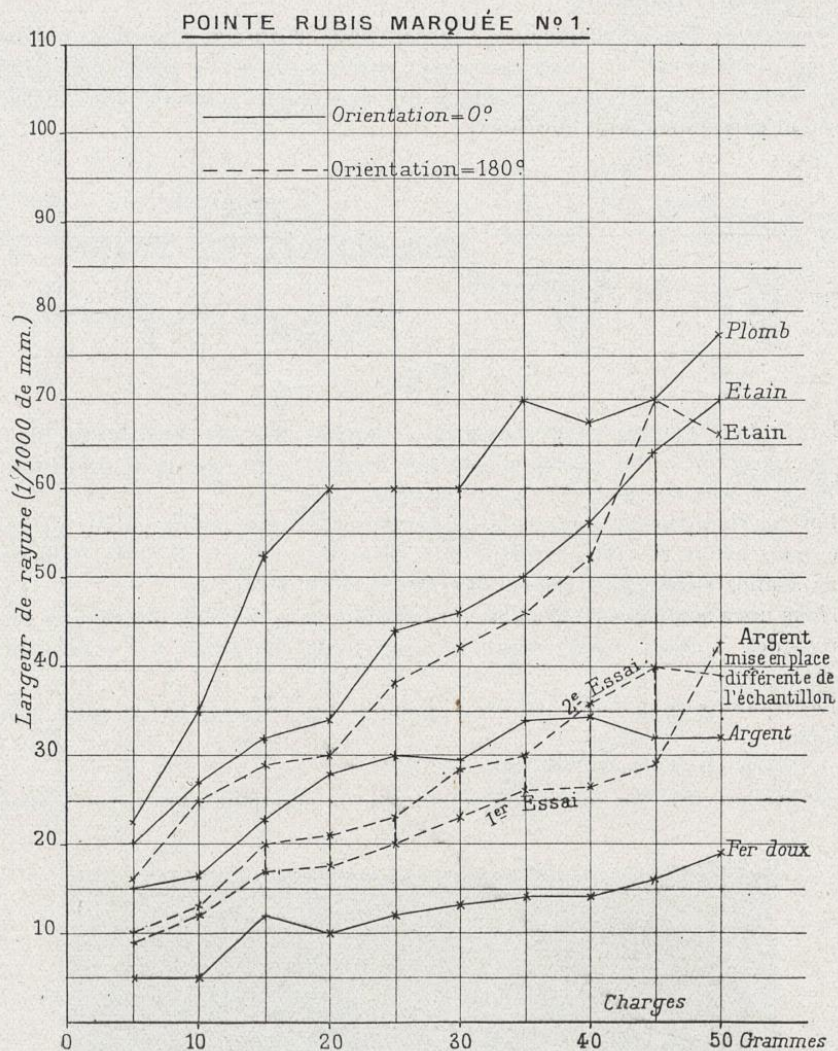


Fig. 30.

Nous donnons (fig. 29, page 33) la photographie stéréoscopique de cette pointe grossie environ 6 fois (6 diamètres).

La pointe n° 2, utilisée dans une direction marquée 0° sur les profils, nous a

(1) L'appareil nous ayant servi n'avait aucun dispositif de repérage pour l'orientation horizontale de la surface rayée.

donné des rayures nettes et des courbes assez régulières sur toute l'étendue de l'échelle des duretés, sauf pour les faibles valeurs des largeurs de rayure voisi-

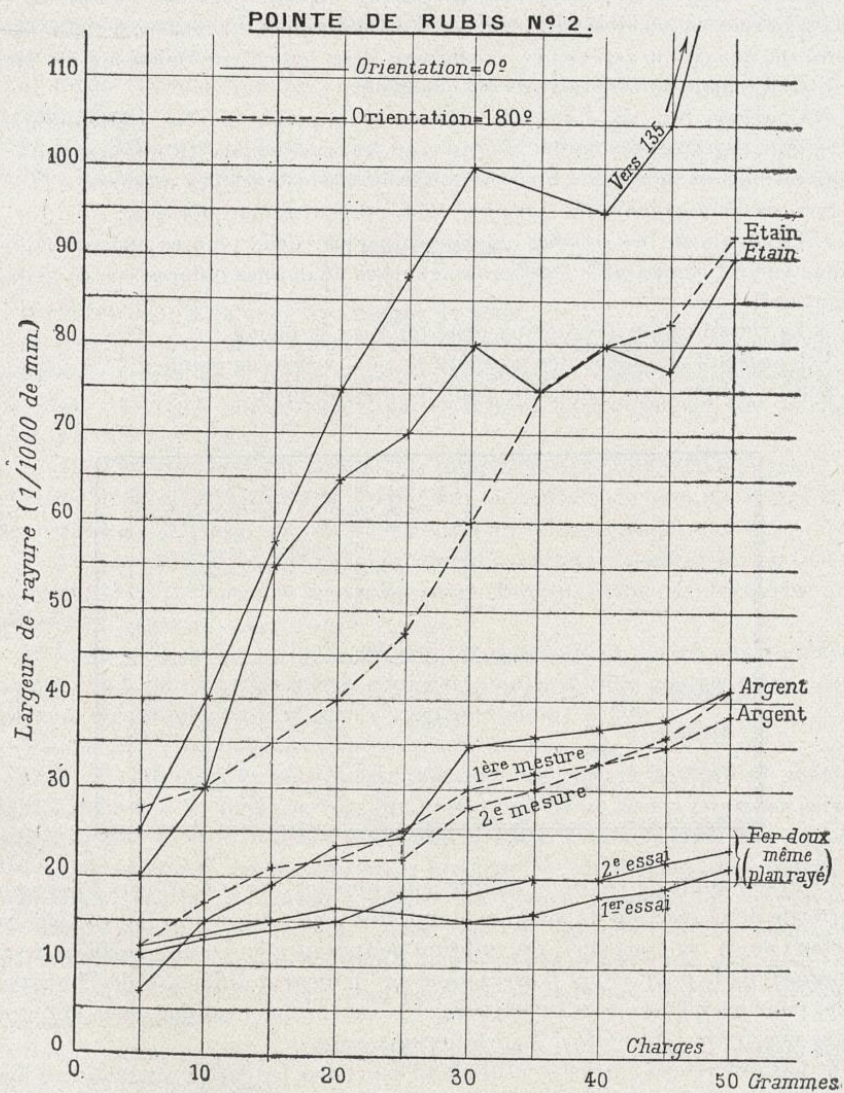


Fig. 31.

nes de 10 μ où la rayure était triplée, l'extrême pointe présentant trois sommets voisins d'inégale longueur.

Nous avons conservé cette orientation et dans le cas des rayures triples, pris

pour largeur équivalente à une celle d'une rayure unique, la somme des largeurs des trois rayures composantes.

Les résultats sont réunis sur le graphique (fig. 31, page 35) comprenant :

1° Courbes de l'échelle : Pb, Sn, Ag, Fe, (la dernière courbe (Fe) a été répétée dans une deuxième expérience vérificative dans laquelle l'orientation du plan poli de l'échantillon n'avait pas été changée).

2° Courbes : Sn, Ag, après une rotation de la pointe de 180°. Cette dernière détermination (Ag) n'a donné lieu qu'à un seul essai, mais les mesures ont été répétées une seconde fois à fin d'exemple sur la constance des mesures.

Sur ces deux graphiques qui précèdent, on peut remarquer que :

1° La régularité des courbes obtenues ainsi par deux pointes choisies à première vue est comparable à celle des courbes analogues obtenues avec le diamant taillé;

2° La classification des métaux reste toujours la même ;

3° L'ordre de grandeur des largeurs de rayure reste le même quelle que soit la pointe utilisée, exception faite pour les métaux mous.

Pointe rayante	Largeurs de rayure pour une charge de 50 grammes correspondant à l'extrémité de la courbe moyenne de chaque essai (en $\mu = 1/1000$ de mm.)			
	Plomb	Etain	Argent	Fer doux
Diamant 0°	115	60	43,5	26
— 180°	99	71	45	23
Pointe n° 1 0°	76	67	37	19
— 180°	»	65	37	»
Pointe n° 2 0°	130	88	40	23
— 180°	»	88	40	»

Le grand angle de l'extrême pointe dans tous les cas et la direction presque verticale de la réaction du métal explique très bien cette concordance, pour les métaux mous l'enfoncement est suffisant pour mettre en jeu des surfaces assez éloignées de la pointe dont l'orientation est nettement différente de l'horizontale, pour les métaux durs la petitesse des dimensions explique dans une certaine mesure la continuité des surfaces agissantes.

4° Les différences entre les résultats obtenus avec les deux orientations d'une même pointe 0° et 180° correspondant à un même profil montrent l'influence de la forme et la grandeur de la surface avant, en contact avec le métal pendant la rayure. Elles sont d'autant plus sensibles lorsqu'il s'agit d'un métal plus mou.

5° Ces expériences viennent confirmer nos remarques générales énoncées à propos des essais avec la pointe de diamant savoir :

- a) Valeurs critiques et paliers dans les courbes.
- b) Nécessité de repérer la position de la surface rayée.
- c) Nécessité de ne considérer que les courbes moyennes et non les courbes expérimentales, devant remplacer la méthode consistant à ne considérer qu'un point de ces courbes.
- d) Forme parabolique des courbes se rapprochant de la droite pour les métaux durs.
- e) Les différences relatives des largeurs de rayure sont de plus en plus faibles à mesure qu'elles concernent des métaux de plus en plus durs, etc., etc.

Conclusions

Il résulte de tout ce que nous venons de voir :

1° Que la largeur de la rayure n'est pas seulement fonction du profil de la rayure mais aussi de la forme de la partie avant en contact avec le corps rayé, la pointe intervient non seulement par sa forme, mais aussi par son *orientation* qui doit être définie ;

2° Que l'utilisation d'une pointe doit comporter une sorte d'étalonnement ou mieux d'examen préalable ayant pour but l'obtention de rayures nettes et la détermination des largeurs critiques devant être éliminées des mesures ;

3° La nécessité de donner graphiquement sous forme de courbes au lieu de valeurs numériques non comparables entre elles résultant des méthodes jusqu'ici employées ;

4° La possibilité de l'emploi de pointes non taillées, les résultats numériques n'étant comparables même pour des pointes taillées que pour une orientation d'une même pointe et pour cette pointe seule ;

5° Le mode rationnel des mesures au scléromètre.

Celui-ci consistera à choisir comme étalons un certain nombre de métaux bien définis tant au point de vue chimique qu'*au point de vue physique* (pratique analogue à celle utilisée couramment dans l'étalonnement des couples thermo-électriques), les métaux étant homogènes, comportant une cristallisation assez petite par rapport aux largeurs de rayure mesurées, et pouvant être constitués micrographiquement à notre avis soit par une solution solide, soit par un eutectique. Nous avons choisi de préférence des *métaux purs* ayant été fondus à une température dépassant peu celle de la fusion (durée de refroidissement : 1/2 heure).

Sur un même graphique, on tracera les courbes concernant les métaux types et celle du corps en essai.

C'est ce que nous avons pratiqué dans la troisième partie de ce travail. Nous donnons d'autre part (fig. 32), en exemple, la présentation d'une courbe sur un graphique type.

6° Que, exception faite pour les métaux durs, nous avons constaté que la forme générale des courbes était voisine de celle de la parabole et expliqué la cause probable ;

LABORATOIRE D'ESSAIS
DU
CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET MÉTIERS
ESSAI DU MÉTAL L. E. C. A. M. (1)
AVEC COMPARAISON AU PLATINE

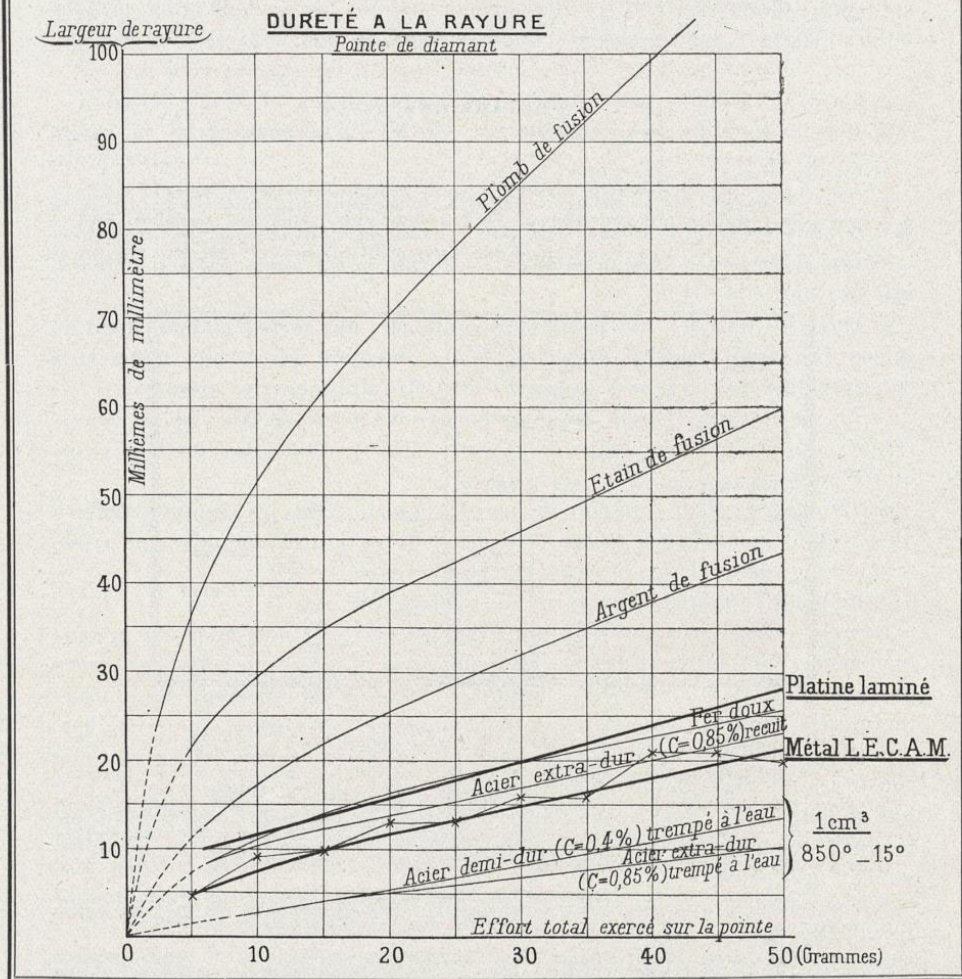


Fig. 32.

(1) Le Métal L. E. C. A. M. est un succédané du platine pour la bijouterie, réalisé pendant la guerre au Laboratoire d'Essais du Conservatoire National des Arts et Métiers, par le Commandant CELLERIER, au moment de la pénurie du platine.

7° Par suite de la forme des courbes que les différences relatives de largeur de rayure sont plus grande pour les faibles poids ;

8° Comme conséquence du grand angle (170°) de l'extrémité du diamant, la grande influence (principalement pour les rayures de faible largeur) de l'inclinaison du plan rayé sur l'axe de la pointe. Une faible variation latérale dans cette inclinaison produisant des apparences de déplacement de l'extrême pointe (voir notamment : graphique fig. 11, page 16, 1^{re} partie). Une faible variation dans un sens perpendiculaire provoquant des variations dans la largeur de rayure ;

9° Les modifications suivantes que nous proposons de faire aux appareils actuellement existant :

a) Adaptation d'un secteur gradué sur la tige supportant la pointe rayante et permettant de repérer l'orientation.

b) Détermination de l'orientation du plan rayé aucun dispositif n'étant prévu à cet effet. Nous proposons une platine renversée (fig. 33 ci-dessous) contre laquelle une lame élastique ou tout autre dispositif permettrait d'appliquer la surface polie du corps à rayer.

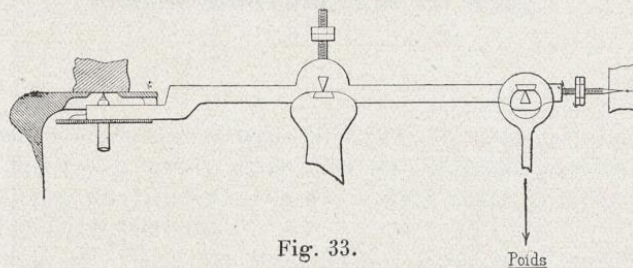


Fig. 33.

c) Avoir cette platine repérée et amovible, s'adaptant sur le microscope, afin d'éviter à ceux qui ne sont pas exercés les recherches longues et fastidieuses ayant pour but d'amener, dans le champ oculaire, les rayures à mesurer.

d) Afin de tracer les rayures sans vitesse ou plus exactement de limiter cette dernière entre des mains inhabiles ou ignorantes, produire les déplacements (1 millim. seulement de longueur) en traçant la rayure par l'intermédiaire d'un pas de vis.

e) Rendre utilisable le poids de 50 grammes en permettant de prolonger les courbes au delà. Tout en étant limité à ce point par le souci de conservation de la pointe.

Nota. — Il est nécessaire d'opérer comme nous l'avons fait dans toutes nos expériences sur des surfaces *planes* et relativement *polies*. La première condition élimine les corps hétérogènes dont le polissage usuel donne ordinairement un relief des constituants d'inégale dureté. La seconde n'est que relative à la dureté du corps poli ; en effet il est logique d'admettre que les rayures de polissage soient négligeables en profondeur devant celle de la rayure.

Il est même avantageux pour la commodité et l'exactitude des mesures que des rayures de polissages soient visibles au microscope si l'on a soin de choisir leur direction commune perpendiculaire à celles des rayures de l'essai.

TROISIÈME PARTIE

APPLICATIONS DE MESURES DE DURETÉ

Résultats d'expériences

Echelle minéralogique de Mohs

Conformément à ce que nous avons dit dans la deuxième partie de ce travail, nous avons choisi pour tous les essais dont les résultats suivent une seule et même orientation du diamant : celle qui nous a donné la meilleure rayure (photographie, fig. 8, page 14).

L'universalité de l'Echelle de Mohs est une raison pour laquelle nous en avons soumis tout d'abord les échantillons préalablement polis à l'essai au scléromètre.

La planche I ci-après nous donne la photographie de rayures obtenues.

Les résultats numériques sont réunis dans les courbes du graphique y faisant suite (fig. 34, page 43).

N° 1 *Talc*. — La courbe du talc sur le graphique ne représente que l'ordre de grandeur de la largeur de rayure à cause des irrégularités dues à la pulvéulence de l'échantillon.

N° 2 *Gypse*. — Le gypse par sa nature *écailleuse* ne donne comme le talc que l'ordre de grandeur de la largeur de rayure.

N° 3 *Calcite*. — Raies très nettes malgré les *clivages cristallins* produits par l'action de rejet latéral du diamant ayant servi aux essais et déjà signalée.

N° 4 *Fluorite*. — Raies très nettes.

N° 5 *Phosphorite*. — Echantillon hétérogène donnant des rayures de largeurs différentes.

Nous avons choisi la largeur des rayures faites dans la partie tendre.

N° 6. *Orthose*. — Echantillon rendu comme *spongieux* par un trop grand nombre de trous augmentant vraisemblablement la largeur de rayure correspondant à la dureté réelle.

N° 7 *Quartz*. — Les mesures ont été faites dans les parties ne contenant pas de trous. Un certain nombre de ces trous préexistaient dans l'échantillon, d'autres se sont produits par éclatement de parcelles.

N° 8. *Topaze*. — Echantillon comportant un très grand nombre de petits trous faussant les résultats.

N° 9. *Corindon*. — Extrêmement spongieux, rendant les mesures impossibles.

N° 10. *Diamant*. — Non essayé à la rayure.

Le graphique ne comporte les résultats des échantillons de l'échelle de Mohs que jusqu'au Quartz inclus. Au-delà, à cause de l'état spongieux des échantillons, les mesures sont impossibles (1).

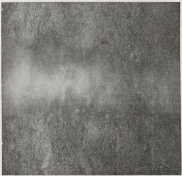
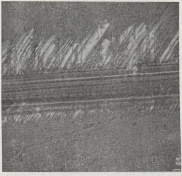
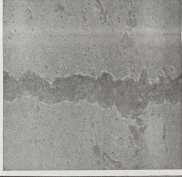
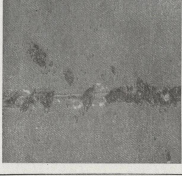
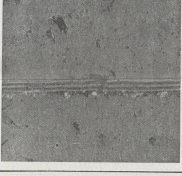
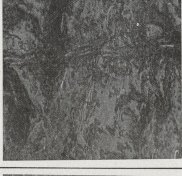
1^{re} Remarque. — L'espacement des échelons diminue quand la dureté augmente. La sclérométrie différencie très peu les corps très durs.

2^e Remarque. — Les courbes se rapprochent de lignes droites pour les corps durs, cette 2^e remarque a été observée également sur les métaux faisant l'objet des résultats qui vont suivre.

(1) Cependant, on peut s'expliquer que ces échantillons peuvent servir à l'essai de rayure réciproque auquel ils servent habituellement. La pointe du corps le moins dur s'émoussant immédiatement comme sur une sorte de lime formée par la présence des trous, tandis que, à l'essai inverse, des trous ont pour effet, dans le corps le moins dur, d'augmenter la largeur de rayure.

ECHELLE MINÉRALOGIQUE DE MOHS

SOLÉROMÈTRE
du Conservatoire des Arts et Métiers de Paris

1	2	3	4	5	6	7	8	9
TALC (Pseudomorph)	DIAPHRASE (Fossils)	CALCITE (Cristaux rhomboédriques)	FLUORITE	PHOSPHATE (Hydroxyapatite)	QUARTZ (Cristaux)	QUARTZ	TOPAZE	COUSIN (Sphéropse)
								
Grainement 500 diamètres Longueur de rayure . . . 100 µ Largeur de rayure . . . 10 µ	Grainement 500 diamètres Longueur de rayure . . . 100 µ Largeur de rayure . . . 10 µ	Grainement 500 diamètres Longueur de rayure . . . 100 µ Largeur de rayure . . . 10 µ	Grainement 500 diamètres Longueur de rayure . . . 100 µ Largeur de rayure . . . 10 µ	Grainement 500 diamètres Longueur de rayure . . . 100 µ Largeur de rayure . . . 10 µ	Grainement 500 diamètres Longueur de rayure . . . 100 µ Largeur de rayure . . . 10 µ	Grainement 500 diamètres Longueur de rayure . . . 100 µ Largeur de rayure . . . 10 µ	Grainement 500 diamètres Longueur de rayure . . . 100 µ Largeur de rayure . . . 10 µ	Grainement 500 diamètres Longueur de rayure . . . 100 µ Largeur de rayure . . . 10 µ

Notes
de
la
Commission

Grainement 500 diamètres
Longueur de rayure . . . 100 µ
Largeur de rayure . . . 10 µ

Grainement 500 diamètres
Longueur de rayure . . . 100 µ
Largeur de rayure . . . 10 µ

Grainement 500 diamètres
Longueur de rayure . . . 100 µ
Largeur de rayure . . . 10 µ

Grainement 500 diamètres
Longueur de rayure . . . 100 µ
Largeur de rayure . . . 10 µ

Grainement 500 diamètres
Longueur de rayure . . . 100 µ
Largeur de rayure . . . 10 µ

Grainement 500 diamètres
Longueur de rayure . . . 100 µ
Largeur de rayure . . . 10 µ

Grainement 500 diamètres
Longueur de rayure . . . 100 µ
Largeur de rayure . . . 10 µ

Grainement 500 diamètres
Longueur de rayure . . . 100 µ
Largeur de rayure . . . 10 µ

Grainement 500 diamètres
Longueur de rayure . . . 100 µ
Largeur de rayure . . . 10 µ

Grainement 500 diamètres
Longueur de rayure . . . 100 µ
Largeur de rayure . . . 10 µ

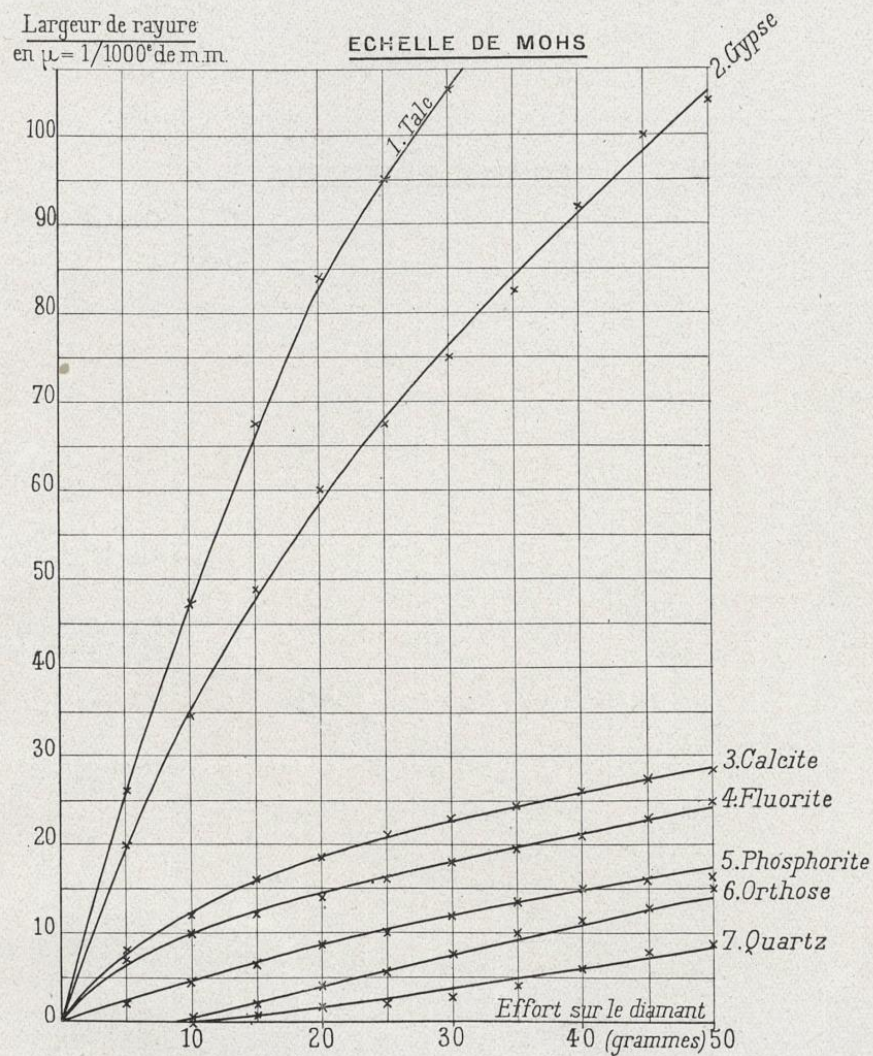


Fig. 34.

Echelle métallique

Conformément à nos conclusions à la fin de la 2^e partie, nous avons choisi dans les nombreux métaux que nous avons essayés ceux qui répondaient aux conditions suivantes :

- 1^o Homogénéité;
- 2^o Etat physique nettement défini de préférence : Métaux de fusion.

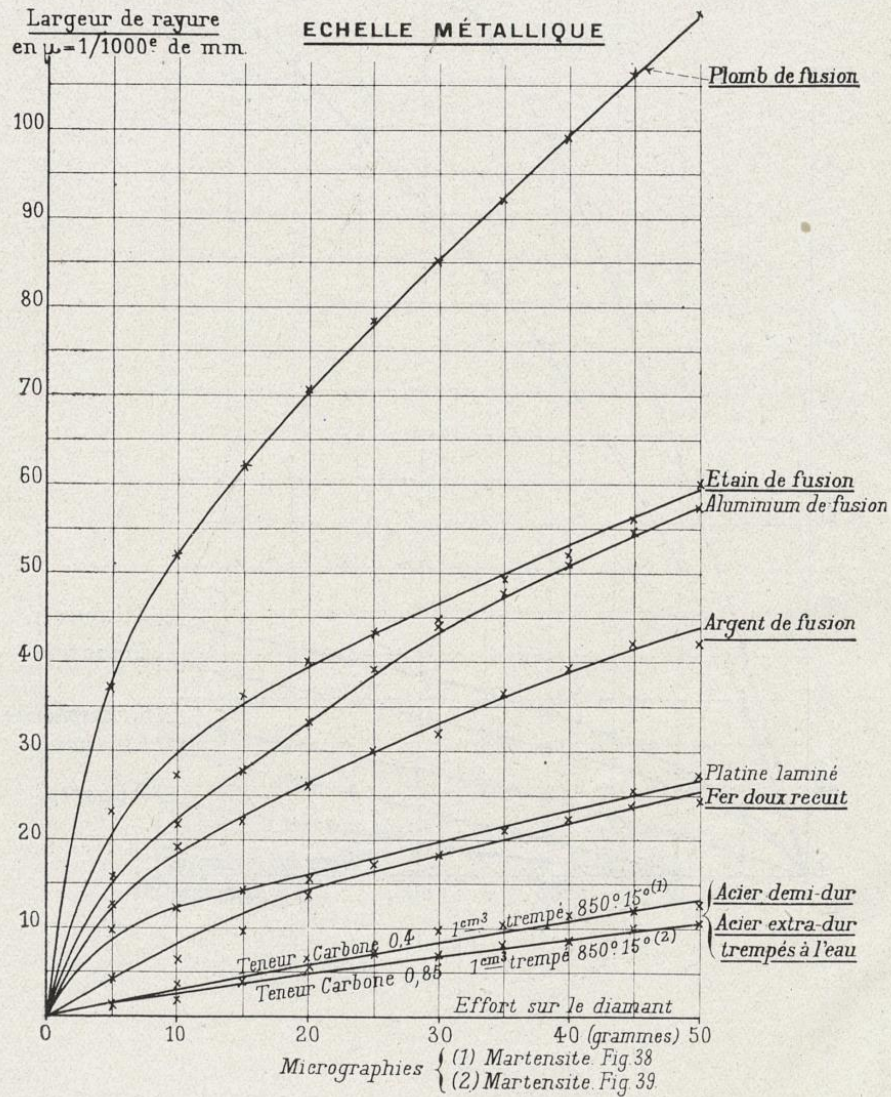


Fig. 35.

Echelle métallique

Conformément à nos conclusions à la fin de la 2^e partie, nous avons choisi dans les nombreux métaux que nous avons essayés ceux qui répondaient aux conditions suivantes :

- 1^o Homogénéité;
- 2^o Etat physique nettement défini de préférence : Métaux de fusion.

Largeur de rayure
en $\mu = 1/1000^e$ de mm.

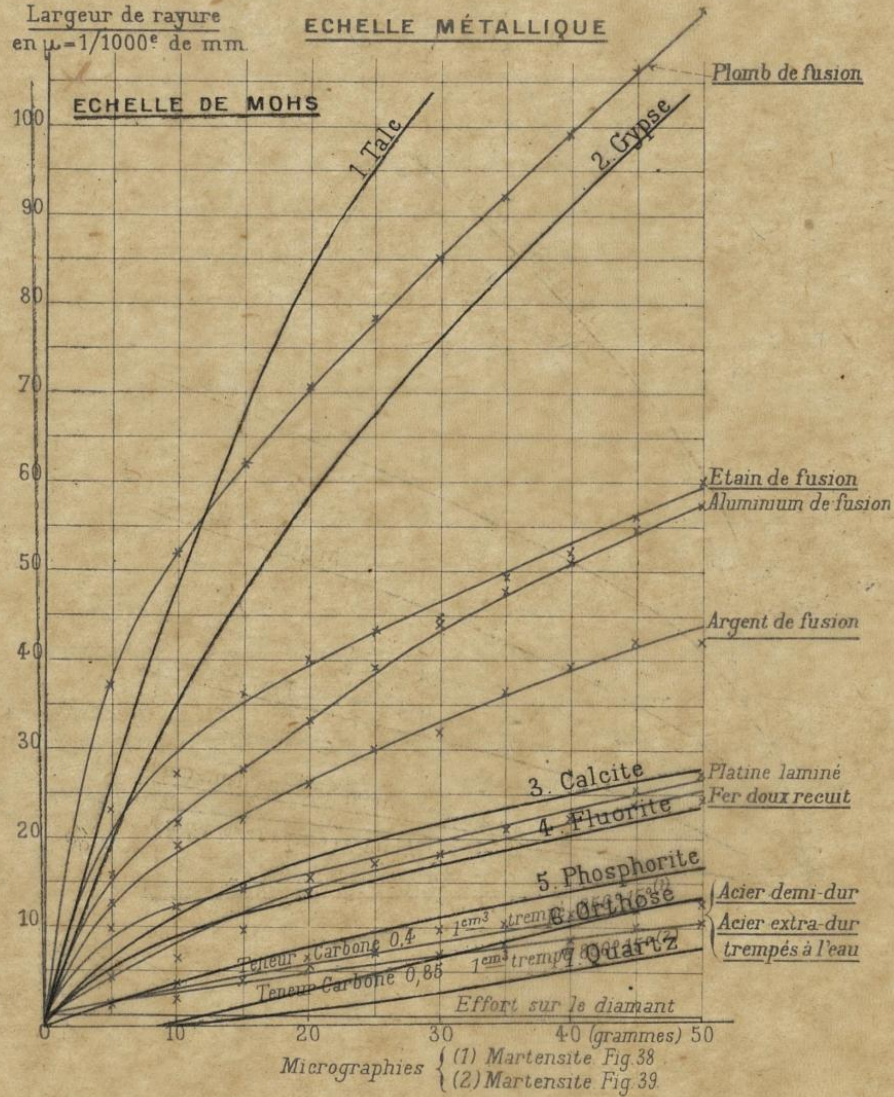


Fig. 35.

3° Formant une série de courbes s'échelonnant à intervalles aussi réguliers que possible.

Nous y avons joint le fer et les aciers à cause de leur importance industrielle et de la valeur-type connue de leurs duretés.

Les résultats constituent la (fig. 35 page 44), sur laquelle nous avons porté à titre de comparaison ceux de la figure 34 concernant l'Echelle de Mohs.

Documentation comparative

Le graphique ci-dessous (fig. 36) donne les résultats sur une série de métaux présentant un intérêt particulier :

Largeur de rayure
en $\mu - 1/1000$ de mm.

DOCUMENTATION COMPARATIVE

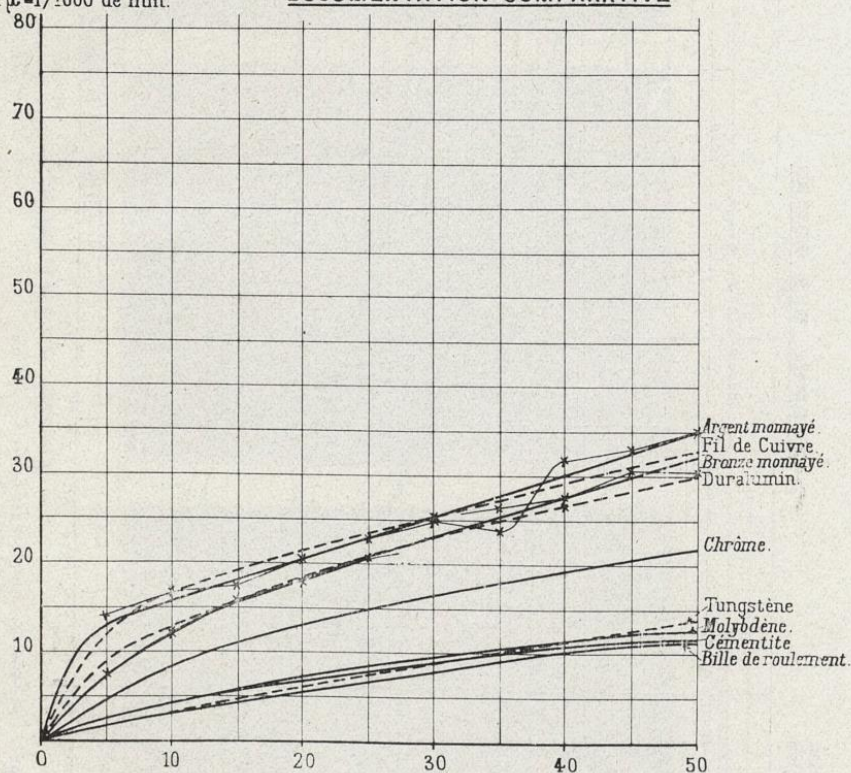


Fig. 36.

Fil de cuivre d'un conducteur électrique; Alliage *Duralumin*; Chrome; Molybdène; Tungstène; Cémentite (dans une fonte blanche à 3,3 o/o de carbone); Bille de roulement (acier nickel chrome trempé); L'argent monnayé et le bronze monétaire qui ont une résistance à l'usure intéressante.



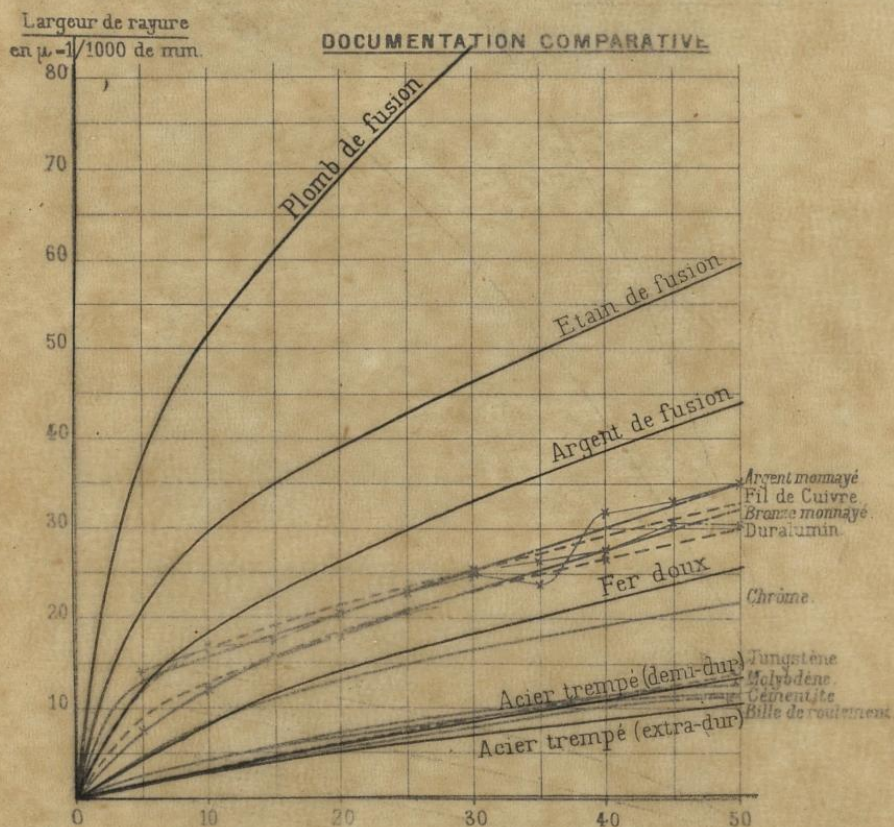
3° Formant une série de courbes s'échelonnant à intervalles aussi réguliers que possible.

Nous y avons joint le fer et les aciers à cause de leur importance industrielle et de la valeur-type connue de leurs duretés.

Les résultats constituent la (fig. 35 page 44), sur laquelle nous avons porté à titre de comparaison ceux de la figure 34 concernant l'Echelle de Mohs.

Documentation comparative

Le graphique ci-dessous (fig. 36) donne les résultats sur une série de métaux présentant un intérêt particulier :



Fil de cuivre d'un conducteur électrique; Alliage *Duralumin*; Chrome; Molybdène; Tungstène; Cémentite (dans une fonte blanche à 3,3 o/o de carbone); Bille de roulement (acier nickel chrome trempé); L'argent monnayé et le bronze monétaire qui ont une résistance à l'usure intéressante.

Trempe des aciers

Le graphique ci-dessous (fig. 37) résume les essais sclérométriques faits sur un acier dur et un acier demi-dur ayant été trempés à l'eau ou à l'huile. Les échantillons étaient des cubes de 1 centimètre de côté. Les trempes ont été fai-

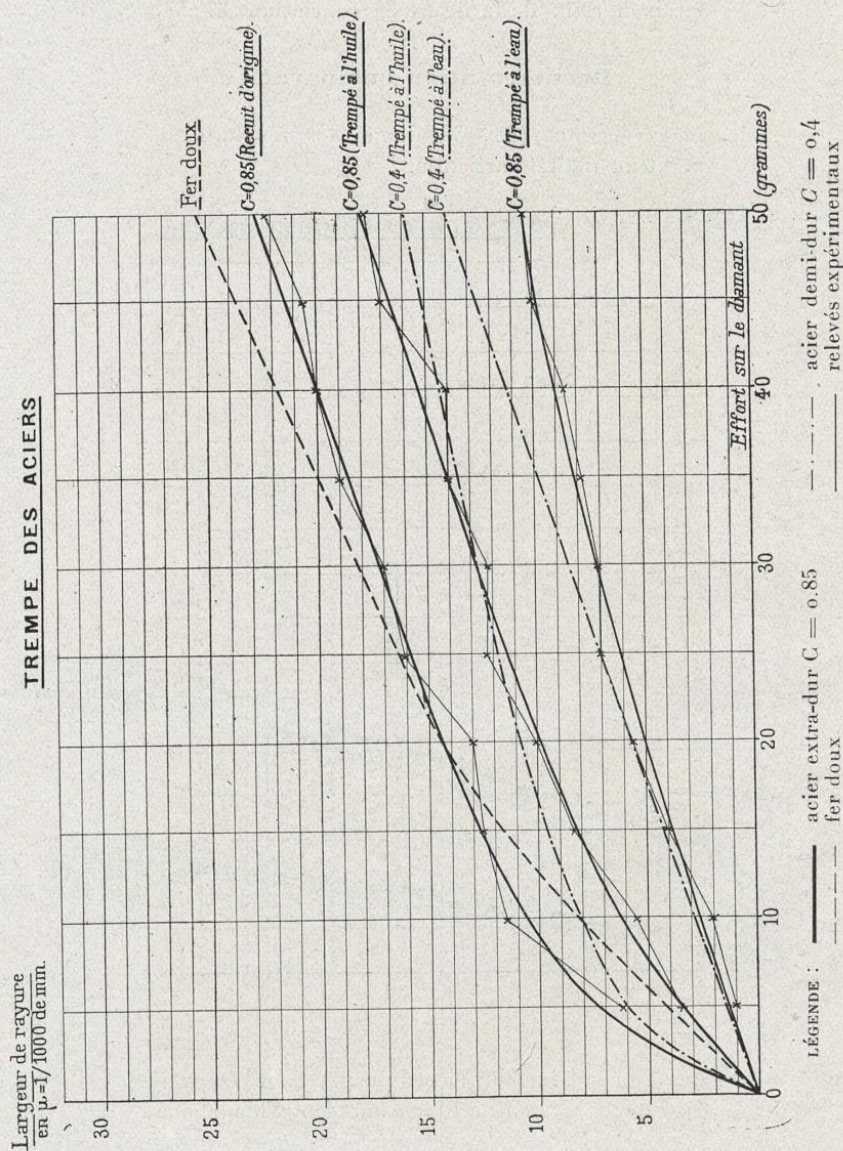


Fig. 37.

ACIER EXTRA-DUR $\left\{ \begin{array}{l} C = 0,85 \\ \text{eutectoïde} \end{array} \right\}$



Recuit d'origine



1 cm³ trempé à l'huile $\left\{ \begin{array}{l} 850^{\circ} \\ 150 \end{array} \right\}$



1 cm³ trempé à l'eau $\left\{ \begin{array}{l} 850^{\circ} \\ 150 \end{array} \right\}$

Fig. 38.

ACIER DEMI-DUR (C = 0,4)

Recuit

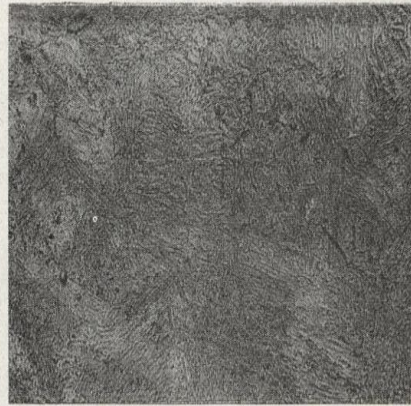
1 cm³ trempé à l'huile $\left\{ \begin{array}{l} 850^{\circ} \\ 15^{\circ} \end{array} \right.$ 1 cm³ trempé à l'eau $\left\{ \begin{array}{l} 850^{\circ} \\ 15^{\circ} \end{array} \right.$

Fig. 39.

tes par le passage de la température de 850° à la température ambiante de 15°.

Les structures micrographiques correspondant à chaque courbe sont reproduites aux pages précédentes (fig. 38 et 39).

On remarque :

- 1° Que le striage ne différencie pas sensiblement les aciers recuits ;
- 2° Que pour la constitution hétérogène de l'acier demi-dur trempé à l'huile (troostite et martensite) la courbe représente la dureté moyenne.

Applications pratiques

La sclérométrie nous a permis de faire des essais comparatifs notamment sur les surfaces cimentées d'axes de piston et sur des coupes diamétrales pratiquées sur des rivets cimentés et trempés destinées à la garniture de pneus d'antidérapants. Dans ce dernier essai les rayures ont été faites parallèlement à la surface cimentée.

La fig. 40 de la page suivante comporte les micrographies de coupes de deux rivets ayant des cémentations différentes. Les courbes correspondantes ont leurs abscisses à la même échelle que les micrographies et pour ordonnées les largeurs de rayure sous une charge de 50 grammes.

Ces éléments sont en relation directe avec la résistance à l'usure des diverses couches de métal destinées à être atteintes successivement par l'usure. On remarque des maxima de dureté dans les zones martensitiques les plus colorées, des points d'inflexion à la naissance de la troostite, enfin des limites extrêmes de cimentation et trempe différentes dans les deux cas et facilement appréciables.

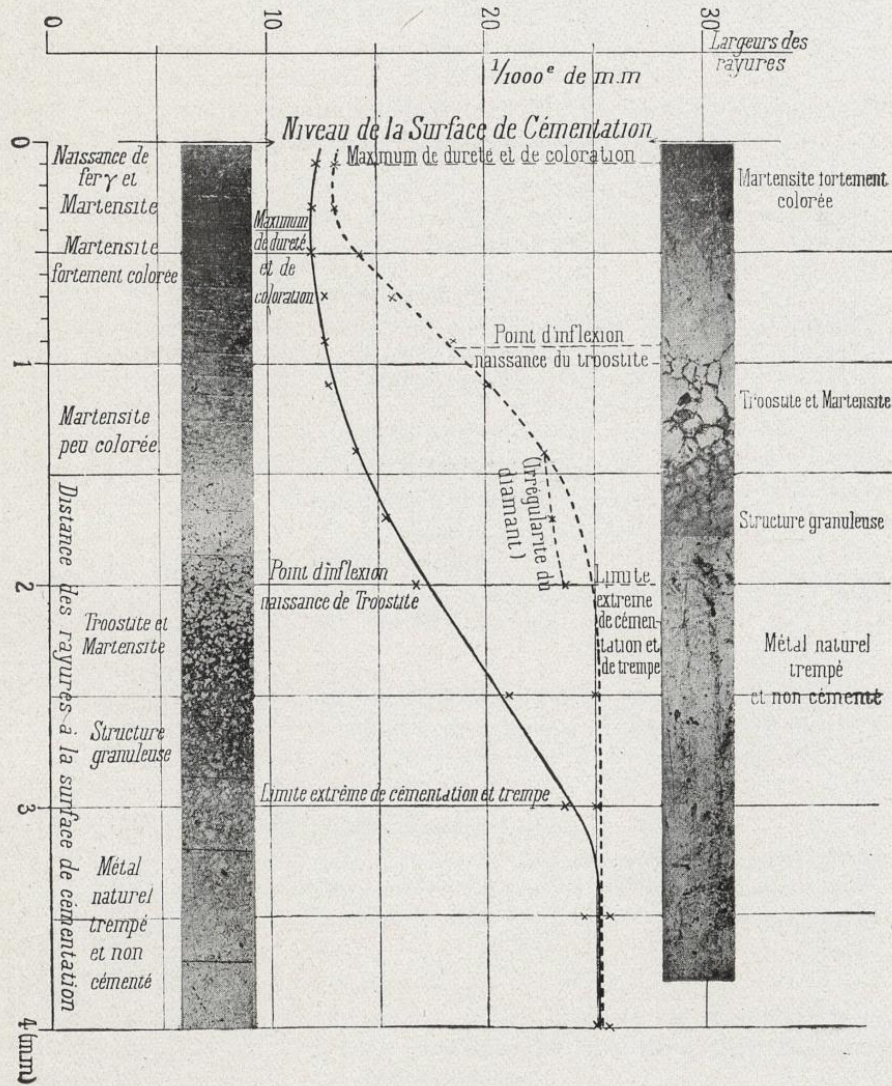


Fig. 40.



LAVAL. — IMPRIMERIE L. BARNÉOUD ET C^{ie}.

Librairie Polytechnique Ch. BÉRANGER, Editeur

Successeur de BAUDRY & C^{ie}

PARIS, RUE DES SAINTS-PÈRES, 15. — LIÈGE, RUE DE LA RÉGENCE, 21

BULLETIN DU LABORATOIRE D'ESSAIS

MÉCANIQUES, PHYSIQUES, CHIMIQUES ET DE MACHINES

DU

CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET MÉTIERS

Le Bulletin ne sera pas périodique, il paraîtra par fascicules détachés

Organisation et outillage du laboratoire d'essais.

N° 1. Le laboratoire d'essais mécaniques, physiques, chimiques et de machines du Conservatoire National des Arts et Métiers, son organisation, son outillage, par A. PÉROT, directeur du Laboratoire. 1 brochure in-8° 4 fr. 50

Rapport du Congrès de Berlin, juin 1903.

N° 2. Extrait du rapport de mission donnée au chef de la section des matériaux de construction au Congrès de chimie de Berlin (juin 1903). — I. Laboratoires d'essais. — II. Fabrication du ciment par fours rotatifs. Description de deux usines. — III. Filtre Beeth. — IV. Essais de ciment de fours rotatifs. — V. Sur un procédé simple et rapide permettant de différencier une chaux grasse d'une chaux hydraulique, par E. LEDUC, chef de la section des matériaux de construction au laboratoire d'essais. Une brochure in-8°, contenant des figures dans le texte et 4 planches hors texte 4 fr.

Action de l'eau de mer sur les mortiers.

N° 3. Action de l'eau de mer sur les mortiers, par E. LEDUC, chef de la section des matériaux de construction. Une brochure in-8° 4 fr. 50

Métaux ferreux.

N° 4. Contribution à l'étude des relations qui existent entre les effets des sollicitations lentes et ceux des sollicitations vives dans le cas des métaux ferreux (barreaux lisses et barreaux entaillés), par P. BREUIL, chef de la section des métaux du laboratoire d'essais. 1 brochure in-8° 12 fr.

Nouveau système de longueurs d'ondes étalons.

N° 5. Rapport sur la nécessité d'établir un nouveau système de longueur d'ondes étalons, présenté au nom de la Société française de Physique au Congrès international de physique de l'Exposition de Saint-Louis, par A. PÉROT et FABRY. 1 brochure in-8° 0 fr. 75

Essais des huiles de pétrole.

N° 6. Essais mécaniques des huiles de pétrole ou autres, effectués au laboratoire d'essais du Conservatoire National des Arts et Métiers de Paris, par P. BREUIL. Une brochure in-8° avec figures et tableaux d'essais 2 fr.

Perte de chaleur des enveloppes calorifuges.

N° 7. Manière de mesurer les pertes de chaleur des enveloppes calorifuges. Quelques résultats d'essais faits au Laboratoire par BOYER-GUILLON, chef de la section des machines et MM. AUCLAIR et LAEDLEIN, assistants. Une brochure in-8° avec deux planches 2 fr.

Essais de compteurs d'eau.

N° 8. Essais de compteurs d'eau, par A. PEROT, directeur du Laboratoire d'essais et H. MICHEL-LEVY, assistant 4 fr.

Valeurs comparatives des trois étalons lumineux.

N° 9. Rapport sur les valeurs comparatives des trois étalons à flammes : Carcel, Hefner, Vernon-Harcourt, par A. PEROT, directeur du Laboratoire d'essais et P. JANET, directeur du Laboratoire central d'Electricité. 0 fr. 75

Sur la constitution intime des calcaires.

N° 10. Sur la constitution intime des calcaires, par E. LEDUC, chef de section des matériaux de construction au Laboratoire d'essais du Conservatoire des Arts et Métiers, avec 4 planches et 38 tableaux 20 fr.

Essais sur le plâtre.

N° 11. Essais sur le plâtre, par E. LEDUC, chef de section des matériaux de construction au Laboratoire d'essais du Conservatoire des Arts et Métiers, et Maurice PELLET, ingénieur-agronome. 1 fr. 50

Examen critique de quelques méthodes de mesure de la puissance utile des voitures automobiles.

N° 12. Examen critique de quelques méthodes de mesure de la puissance utile des voitures automobiles, par J. AUCLAIR, assistant au Laboratoire d'Essais 1 fr. 50

Essais sur le silico-calcaire.

N° 13. Essais sur le silico-calcaire, par E. LEDUC, chef de la Section des matériaux de construction au Laboratoire d'Essais du Conservatoire national des Arts et Métiers et Ch. de la Roche, ingénieur civil *en réimpression*

Essais de torsion.

N° 14. Essais de torsion, par Pierre BREUIL, chef de la Section des métaux du Laboratoire d'Essais, avec une planche 1 fr. 75

Jaugeages des gros débits.

N° 15. Jaugeages des gros débits, par MM. BOYER-GUILLON, chef de la Section des machines, AUCLAIR et LAEDLEIN, assistants. 5 fr. 25

Essais d'huiles usagées.

N° 16. Essais d'huiles usagées, par MM. P. SABATIÉ, chef de la Section des métaux, et PELLET, assistant de la Section de chimie du Laboratoire d'Essais du Conservatoire national des Arts et Métiers, avec 6 planches 2 fr. 25

Etude sur les essais chimiques des verres.

N° 17. Etude sur les essais chimiques des verres, par Ch. GRIFFITHS, ex-préparateur du Cours de Métallurgie et Travail des Métaux, chef de la Section de Chimie au Laboratoire d'Essais du Conservatoire National des Arts et Métiers 4 fr.