

C

Nr 11780

Polytechnika Warszawa

W. BRONIEWSKI

Professeur à l'École Polytechnique  
de Varsovie

# TRAVAUX PRATIQUES DE METALLOGRAPHIE

Traduit du polonais  
par G. PRUSZKOWSKI Ing. E. C. P.

*Préface de*  
**HENRY LE CHATELIER**  
*Membre de l'Institut*

FONDATION MIANOWSKI  
INSTITUT D'ENCOURAGEMENT AUX TRAVAUX SCIENTIFIQUES  
VARSOVIE, PALAIS STASZIC

PARIS



92, RUE BONAPARTE (VI)

1930

IMPRIMÉ EN POLOGNE.

TRAVAUX PRATIQUES  
DE METALLOGRAPHIE

1  
W. BRONIEWSKI

Professeur à l'École Polytechnique  
de Varsovie

2  
TRAVAUX PRATIQUES  
DE METALLOGRAPHIE

Traduit du polonais  
par G. PRUSZKOWSKI Ing. E. C. P.

*Préface de*  
*HENRY LE CHATELIER*  
*Membre de l'Institut*

FONDATION MIANOWSKI  
INSTITUT D'ENCOURAGEMENT AUX TRAVAUX SCIENTIFIQUES  
VARSOVIE, PALAIS STASZIC

PARIS



92, RUE BONAPARTE (VI)

1930

IMPRIMÉ EN POLOGNE.

i. r. 8952



nr 721

~~C-11780~~

IMP. DE LA FONDATION MIANOWSKI VARSOVIE

BG04A/004-16

## PRÉFACE.

*Le traité de métallographie de M. Broniewski vise un but essentiellement pratique: faciliter aux élèves et aux chefs de travaux l'organisation des manipulations, puis leur réalisation. C'est, en quelque sorte, la photographie des travaux de laboratoire que l'auteur dirige, comme annexe de son cours, à l'École Polytechnique de Varsovie. On peut avoir confiance dans l'exactitude des recommandations, car ce sont des faits vécus. Il ne s'agit pas là d'un travail livresque, édifié, par compilation, au moyen de la littérature très étendue existant aujourd'hui sur ces matières. A chaque ligne on peut sous-entendre: «J'ai appliqué telle méthode, j'ai obtenu tel résultat».*

*M. Broniewski n'a pas seulement l'expérience du professorat, il a, en outre, personnellement contribué au développement de la science qu'il enseigne. Il a perfectionné les appareils employés pour l'enregistrement des propriétés des métaux et des alliages: il a appliqué, avec succès, ses méthodes à l'étude des bronzes et des laitons. Au point de vue scientifique, son traité offre toute garantie d'exactitude: il est au courant des derniers progrès de la science.*

*Le programme des manipulations semble judicieusement établi. Les études progressent du simple au composé: elles débutent par la technique de la métallographie, puis abordent l'étude d'alliages de plus en plus complexes, d'abord ceux du cuivre, puis ceux du fer et du carbone pour arriver au traitement thermique de l'acier. On peut évidemment modifier ce programme de bien des façons différentes, changer les alliages étudiés, les réactifs d'attaque. Tout chef de travaux, au courant de son métier, imaginera de nombreuses variantes. Mais en cas de difficultés, même d'insuccès, il sera prudent, surtout pour les débutants, de se conformer strictement aux instructions de ce petit manuel: ils seront assurés du succès.*

*Par cette publication, M. Broniewski rend un réel service à l'enseignement d'une science qui a eu assez d'influence sur les progrès de l'industrie, pour que son éloge ne soit plus à faire.*

*H. Le Chatelier.*

## AVANT-PROPOS.

*Ce manuel contient la description des travaux pratiques de métallographie faits à l'École Polytechnique de Varsovie par les élèves-ingénieurs.*

*L'organisation de ces exercices m'a pris plusieurs années parce que dans la bibliographie métallographique contemporaine on ne trouve pas de manuel qui puisse faciliter cette tâche. Si j'ai réussi à combler cette lacune, je considérerai mon but comme atteint.*

*Je suppose que les élèves admis aux manipulations possèdent des notions théoriques, au moins, équivalentes à celles que donne mon petit traité de métallographie (Introduction à l'étude des alliages. Paris. Delagrave). Plusieurs manuels français satisfont à cette condition.*

*Autant que possible, j'ai évité toute citation, afin de ne pas sortir des limites volontairement restreintes de ce manuel.*

*Pour organiser les manipulations, j'ai été secondé, avec dévouement, par le chef des travaux, M. Krupkowski et par les préparateurs du Laboratoire de Métallurgie. Qu'il me soit permis de remercier sincèrement tous ces collaborateurs.*

*N. Broniewski*

## MANIPULATIONS DE METALLOGRAPHIE.

Ces manipulations sont divisées en deux séries. La première est obligatoire pour tous les étudiants du 6-ème semestre de la Faculté de Mécanique, après la fin des cours correspondants faits pendant le semestre précédent. Elle a pour but de familiariser les élèves avec la technique des essais de matériaux, au moyen du microscope et du couple thermoélectrique.

La deuxième série de manipulations est obligatoire seulement pour les étudiants du 7-ème semestre, des sections technologique, militaire et des communications; elle a pour but l'application pratique aux besoins industriels des connaissances acquises précédemment. Chacune de ces séries comprend 10 séances, réparties sur une durée de 14 semaines, afin que les étudiants puissent les effectuer dans un ordre bien déterminé, en partant de l'exercice No. 1 ou No. 6, comme l'indique le tableau I.

La salle des Travaux Pratiques peut contenir trente élèves. La figure I, en donne une vue générale.

SEMAINE:		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV
SECTIONS	I	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
	II		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
	III			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
	IV				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	V					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	VI	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5				
	VII		6	7	8	9	10	1	2	3	4	5			
	VIII			6	7	8	9	10	1	2	3	4	5		
	IX				6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	
	X					6	7	8	9	10	1	2	3	4	5
NUMEROS des MANIPULATIONS															

Tableau I. Ordre d'exécution des manipulations.

Les travaux sont effectués par groupes de trois élèves.

Dans la mesure du possible néanmoins, on prend en considération surtout le travail individuel de l'étudiant et dans la plupart des cas l'exercice

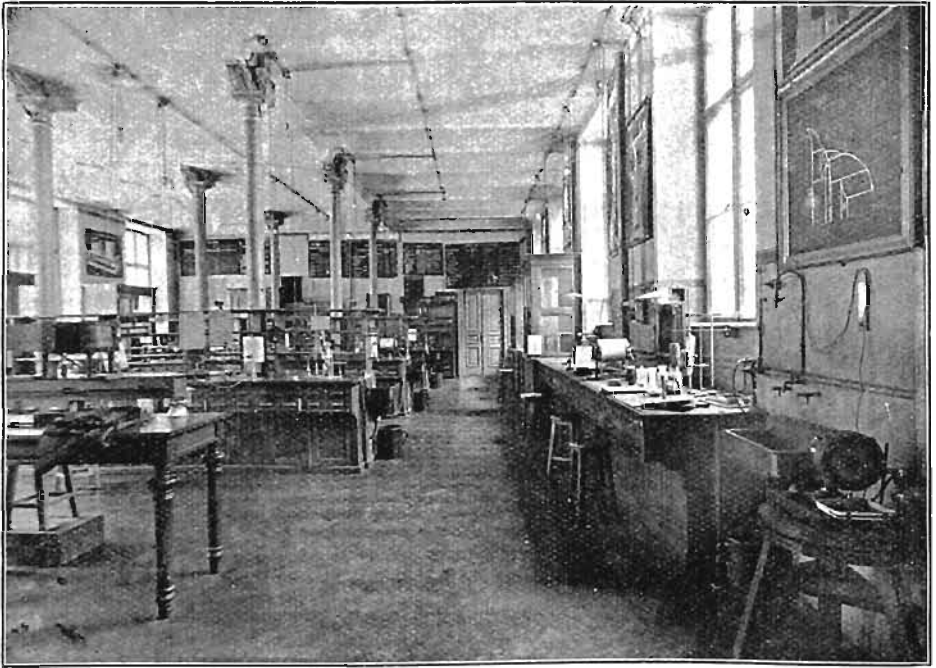


Fig. 1. Vue générale de la salle de travaux pratiques.

est fait par chacun, indépendamment de ceux qui se trouvent dans son groupe. Dans la première série on trouve huit séances de travaux pratiques individuels de ce genre et dans la deuxième série on en trouve quatre. Pour les manipulations qui doivent se faire collectivement dans chaque groupe, la répartition du travail est indiquée dans les instructions.

On applique le règlement suivant pendant les travaux :

#### REGLEMENT.

**Manipulations.** Les séances ont lieu les lundi, mercredi et vendredi, de 15 à 18 heures.

M. M. les Etudiants inscrits dans le même groupe (A, B et C) devront faire leurs travaux pratiques ensemble.

Tout Etudiant qui manquera, sans raison valable, une séance, ou qui manquera deux séances, quelles qu'en soient les raisons, sera rayé de la liste.



**Comptes-rendus.** Des comptes-rendus des manipulations effectuées devront être rédigés; ils devront contenir les schémas des installations employées et les dessins des structures observées dans les alliages. Ces comptes-rendus devront être écrits à l'encre, dans des cahiers du type régulier et réunis toutes les semaines dans une boîte, à l'entrée du Laboratoire de Métallurgie, aux dates suivantes: série du lundi, au plus tard le jeudi; série du mercredi, au plus tard le samedi; série du vendredi, au plus tard le mardi.

Au jour des travaux pratiques les cahiers seront rendus après correction des comptes-rendus.

Les inscriptions sur les cahiers doivent être faites sur des étiquettes spéciales qui seront données au Laboratoire de Métallurgie.

Tout Etudiant en retard avec deux comptes-rendus peut-être rayé de la liste.

**Examens.** A la fin des manipulations, M. M. les Étudiants auront à passer un examen théorique ou pratique, relatif aux travaux pratiques, dont dépendra leur admission. Pourront être exemptés de cet examen ceux qui auront obtenu pour leurs comptes-rendus une note bonne ou très bonne.

### PREMIERE SERIE DE MANIPULATIONS.

Ces travaux pratiques ont surtout pour but de familiariser les étudiants avec la technique des essais, au moyen du microscope et du couple thermoélectrique. Pendant les travaux pratiques de micrographie (1 à 5), l'élève étudie une quinzaine d'échantillons d'alliages (fonte, acier, antifricition et alliages du cuivre) au point de vue de leur structure et de l'influence des traitements thermiques. En même temps, il se familiarise avec la pratique de la métallographie: polissage des échantillons, attaque, inclusion, repérage, mesure de la dimension des cristaux et technique de l'analyse micrographique. On emploie des microscopes métallographiques de types différents à chaque séance, en commençant par le plus simple que l'on monte soi-même (1-ère manipulation) jusqu'au grand microscope du type le plus perfectionné à la 5-ème séance.

La transition amenant à la deuxième moitié des manipulations est formée par la macroscopie (6-ème manipulation) grâce à laquelle l'étudiant détermine le degré de ségrégation et le traitement mécanique des échantillons étudiés.

Les 4 séances suivantes sont consacrées à l'étalonnage du couple thermoélectrique et du pyromètre optique, puis à l'application des connaissances ainsi acquises à l'établissement des diagrammes de fusion des

alliages et des points de transformation des aciers. La disposition, dans le laboratoire, des travaux pratiques de la première série est indiquée sur la fig. 2.

Dans la salle, les élèves trouvent:

- a) les appareils qui leur sont nécessaires; b) les instructions pour l'exécution des manipulations; c) les renseignements (courbes, microphotographies, etc.) leur permettant de s'orienter dans les résultats obtenus.

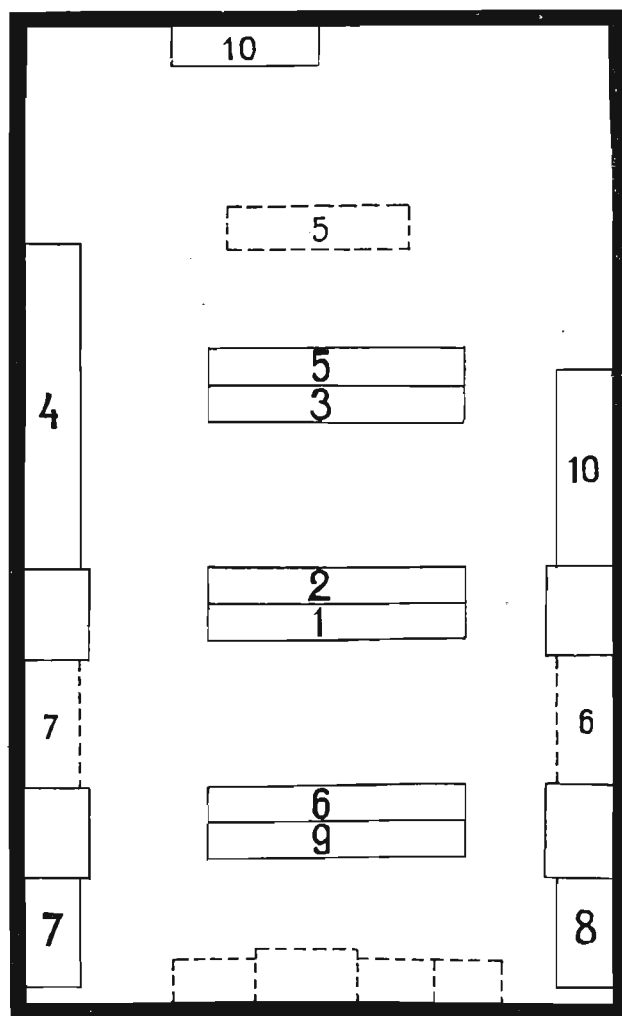


Fig. 2. Plan de la salle pour la 1-ère série de manipulations.

est représentée sur la fig. 3; à sa partie inférieure, les numéros correspondants renvoient à l'inventaire de cette manipulation. Dans la liste des appareils, auprès des microscopes, sont indiqués les facteurs de grossissement  $K$ , en fonction de la longueur du tube ( $K_1$ ), des puissances de l'ob-

## 1-ère MANIPULATION.

POLISSAGE  
DES ECHANTILLONS ET  
OBSERVATION MICRO-  
GRAPHIQUE.

La manipulation commence par le montage complet d'un microscope métallographique très simplifié. Le microscope monté sert à l'observation des échantillons de fontes blanches, hypo et hypereutectiques, sous un grossissement assez faible.

### a) Appareils.

La disposition d'ensemble des appareils

jectif ( $K_2$ ) et de l'oculaire ( $K_3$ ), de sorte que le grossissement du microscope est exprimé par le produit  $P = K_1 K_2 K_3$ . Avec chaque lentille est indiquée sa distance focale ( $f$ ).

Parmi ces appareils, est à remarquer le microscope métallographique, (fig. 4) d'une construction des plus simplifiées. Le corps de ce microscope a été construit avec un support de chimiste et avec un morceau de tube

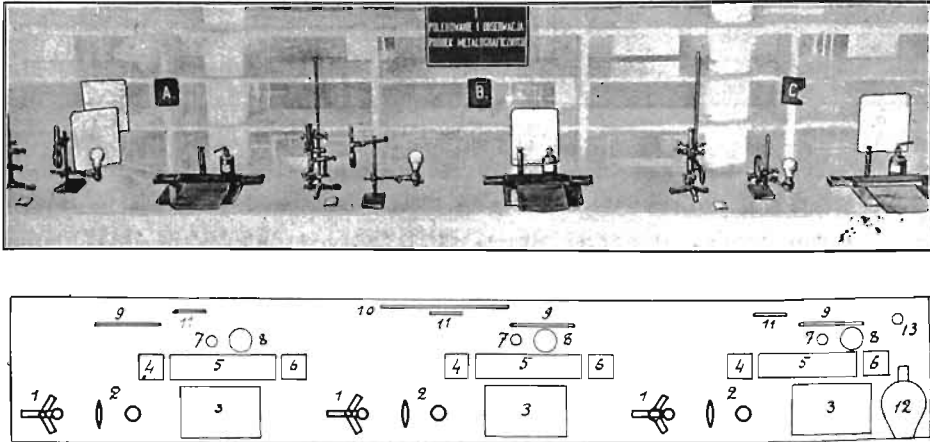


Fig. 3. Disposition des appareils pour la première manipulation.

No.	A P P A R E I L S	Nombre
1	Microscope simplifié $K_1 = 0,92$ . Cire à modeler. Coupelle . . .	3
2	Support avec lampe électrique et lentille; $f = 20$ cm. . . . .	3
3	Glace $25 \times 35 \times 0,4$ cm. pour polissage. Papier émeri 0000 et potée d'émeri 0000 . . . . .	3
4	Objectif $a_3$ Zeiss, $K_2 = 6,6$ Objectif No. 3 Reichert, $K_2 = 11,8$	
	Oculaire No. 3 Zeiss, $K_3 = 6,7$ . . . . .	3
5	Planchette pour polissage . . . . .	3
6	Deux échantillons de fonte blanche en boîte . . . . .	3
7	Réactif d'attaque . . . . .	3
8	Flacon avec de l'oxyde de fer en suspension dans l'eau et son pulvérisateur . . . . .	3
9, 10, 11	Tableaux d'instructions et inscriptions . . . . .	3
12	Sonfflet à main pour sécher les échantillons . . . . .	1
13	Flacon de permanganate de potasse pour la désinfection du pulvérisateur . . . . .	1
sans No.	Tableau de photographies et dessins de fontes blanches . . .	1
»	Tableau portant le diagramme de fusion des alliages Fe-C. . .	1

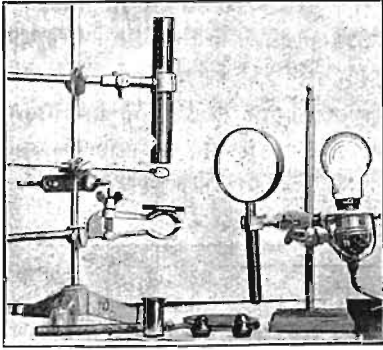


Fig. 4. Microscope employé pour la première manipulation.

à gaz; pour éclairer l'objet on utilise un couvre-objet fixé par de la cire à modeler au bout d'un fil de fer. Pour de faibles grossissements, ne dépassant pas 100, ce microscope donne des résultats tout à fait satisfaisants.

*b) Instructions.*

Le but de cette manipulation est d'établir un microscope métallographique simplifié, d'apprendre à polir et d'observer les échantillons métallographiques.

A. Polissage. I. Les échantillons reçus seront polis sur papier émeri 0000, en les changeant de position toutes les minutes, de façon que les raies se croisent toujours à angle droit. Laver soigneusement à l'eau, sécher au soufflet à main.

II. Polir de la même façon, sur le papier potée d'émeri 0000, jusqu'à disparition des grosses raies précédentes. Laver à l'eau et sécher.

III. Polir définitivement, à l'oxyde de fer en suspension dans l'eau et projeté au moyen d'un pulvérisateur sur une planchette recouverte de drap. Le polissage se fait comme précédemment, jusqu'à disparition complète des raies, à la surface de l'échantillon observé à l'oeil nu. Laver à l'eau et sécher.

B. Attaque. Prendre quelques gouttes de réactif (solution alcoolique d'acide picrique à 4%); recouvrir au moyen d'une baguette de verre la surface polie, de façon que le réactif forme une couche légèrement convexe. Remuer l'échantillon, en le penchant légèrement, pour que le réactif lave toute la surface et que de brillante elle devienne un peu terne. Laver à l'eau et sécher.



Fig. 5.  
Schéma No. 1.

C. Montage du microscope pour les faibles grossissements. I. Placer la lentille à une distance de la lampe telle, que les rayons soient légèrement convergents (foyer à distance de 1 m.).

II. Placer la lame de verre *m* (fig. 5.) juste au dessous de l'objectif et faisant  $45^\circ$  avec l'axe du microscope. Le diaphragme *d*, ainsi que la lampe et la lentille, devront être placés à la hauteur de la lame, pour que le pinceau du rayons tombe en son milieu; vérifier la direction des rayons au moyen d'un morceau de papier blanc ou en regardant la lampe à travers la lame.

III, Fixer l'échantillon dans le mastic à modeler, en plaçant sa surface polie sur la table et en appuyant dessus avec la coupelle à moitié remplie de mastic jusqu'à ce qu'elle vienne porter par ses bords sur la table.

IV. Placer l'échantillon *E* avec sa coupelle sur le support et sous l'objectif; puis le faire monter jusqu'à ce que l'image apparaisse. On est au voisinage de l'image cherchée quand la petite tache lumineuse s'étend pour se transformer en image. Les grands déplacements se font sur le support, les petits déplacements, au moyen de la vis.

V. Si l'image n'est visible qu'en partie, modifier l'inclinaison de la lame *m*; si l'éclairage n'est pas uniforme, déplacer doucement la lampe.

VI. Observer successivement la surface des échantillons. Si l'on remarque des raies, refaire le polissage à l'oxyde de fer, attaquer et observer.

D. Montage du microscope pour des grossissements plus forts. I. Dévisser l'objectif Zeiss  $a_3$  et visser à sa place l'objectif Reichert No. 3.

II. Placer la lame de verre faisant  $45^\circ$  avec l'axe du microscope dans l'échancrure du tube au dessus de la lame. (fig. 6).

III. Placer l'échantillon au dessous de l'objectif et régler l'inclinaison de la lame et la position de la lampe pour que la tache lumineuse, tombant de l'objectif sur l'échantillon, ait une forme circulaire.

IV. Relever et abaisser l'échantillon jusqu'à ce que l'image, vue dans le microscope, soit absolument nette. Quand on approche l'échantillon de l'objectif, la proximité de l'image est décelée par l'apparition d'une tache lumineuse qui se transforme ensuite en image.

V. Régler définitivement l'éclairage comme ci-dessus

VI. Dessiner les images des deux échantillons vues au microscope.

### c) Renseignements.

Les compléments nécessaires pour la première manipulation sont: le diagramme de fusion des alliages fer-carbone et la reproduction des structures des échantillons étudiés.

Le diagramme de fusion des alliages fer-carbone (fig. 7), d'après la con-

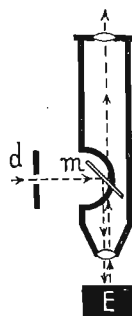


Fig. 6.  
Schéma No. 2.

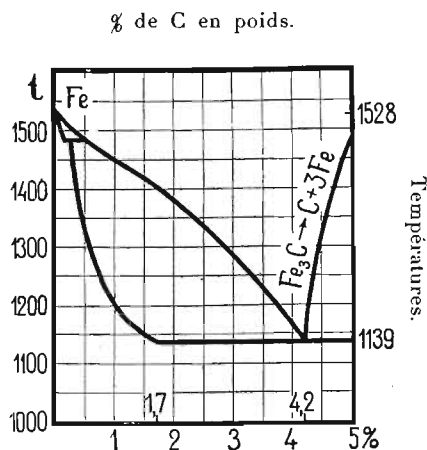


Fig. 7. Diagramme du fusion des alliages fer-carbone.

ception de Goerens-Wüst, est affichée, en grand format, au mur de la salle de travaux; il permet la compréhension de la structure des fontes observées. Les reproductions ci-jointes des fontes blanches caractéristiques sont faites pour les deux grossissements employés par les élèves (fig. 8, 9, 10, 11).

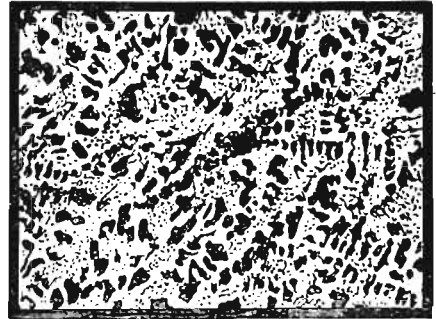
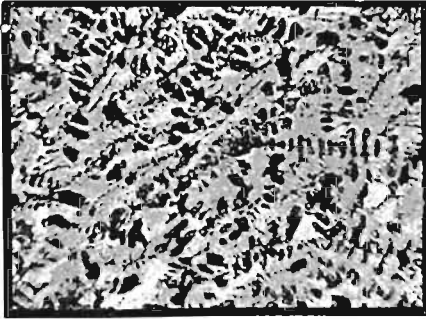


Fig. 8. Fonte blanche hypoeutectique. Dendrites sombres de solution solide limite sur fond d'eutectique (ledeburite). Gr. = 40. A gauche microphotographie, à droite, dessin à la plume.

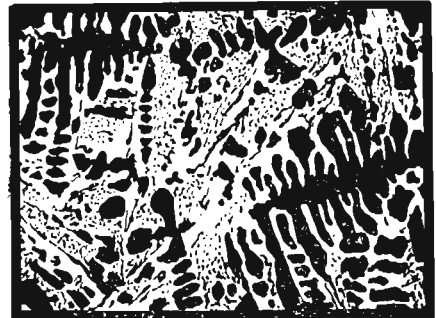
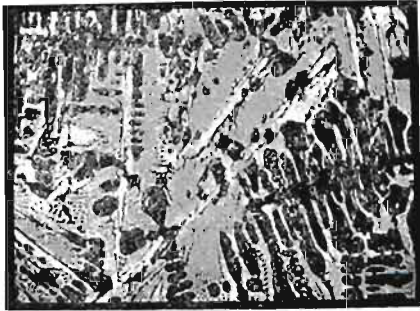


Fig. 9. Le même échantillon sous un grossissement plus fort. Gr. = 75.

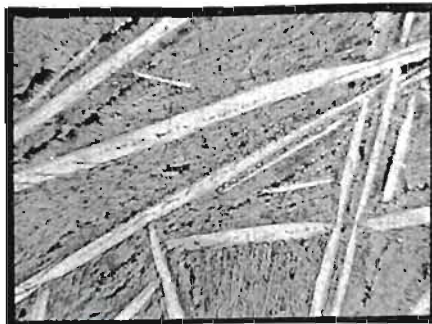


Fig. 10. Fonte blanche hypereutectique. Cristaux clairs de cémentite sur fond d'eutectique (ledeburite). Gr. = 40. A gauche microphotographie, à droite, dessin à la plume.

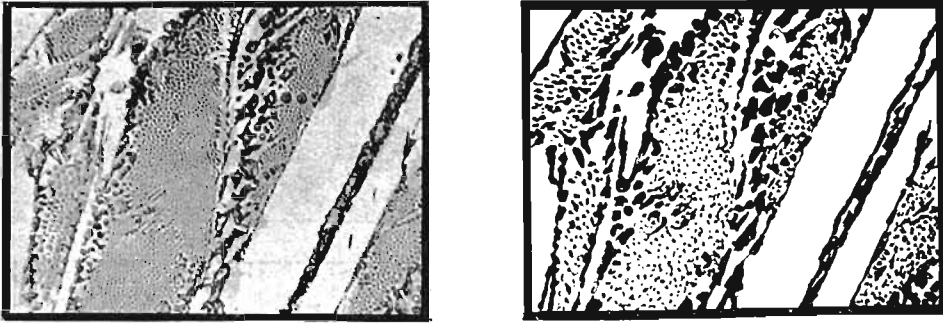


Fig. 11. L'échantillon précédent sous un grossissement plus fort. Gr. = 75.

Les microphotographies sont faites par le procédé au charbon sur plaques de nickel; on reproduit ainsi avec une grande précision l'image vue au microscope.

A côté, on a placé les reproductions des micrographies, faites à la plume, montrant la méthode que devra employer l'élève pour faire le dessin de ce qu'il voit, ainsi que l'exigent les instructions.

## 2-ème MANIPULATION.

### MESURE DES CRISTAUX ET INCLUSION DE PETITS ECHANTILLONS.

Pour la 2-ème manipulation, l'élève dispose déjà d'un microscope métallographique d'atelier, sans vis micrométrique. On étudie un échantillon de fonte grise incluse dans de la gomme-laque et un échantillon d'alliage-antifriction; on y mesure la grandeur des cristaux au moyen d'un oculaire gradué. Le grossissement atteint déjà 250.

#### a) Appareils.

La disposition générale des appareils est représentée fig. 12. Le schéma montre les numéros correspondant à ceux de l'inventaire.

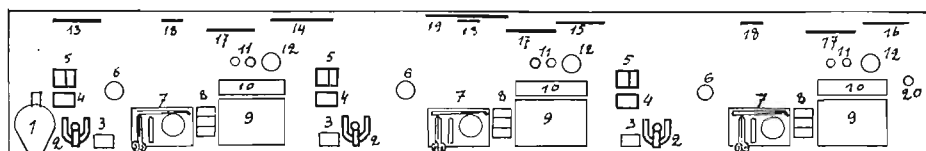
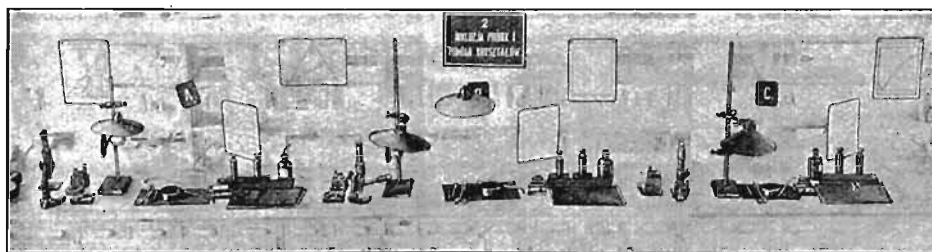


Fig. 12. Disposition des appareils pour la deuxième manipulation.

No.	A P P A R E I L S	Nombre
1	Soufflet à main pour sécher les échantillons . . . . .	1
2	Microscope d'atelier Reichert ( $K_1 = 1,2$ ) avec dispositif d'éclairage Florence . . . . .	3
3	Objectif No. 3 Leitz, $K_2 = 13,2$ Objectif No. 5 Leitz, $K_2 = 40,0$ Oculaire No. 2 Leitz, $K_3 = 5,5$ . Oculaire gradué, $K_3 = 5,5$	3
4	Lame d'acier d'épaisseur connue, dans une monture . . . . .	3
5	Lampe électrique pour l'éclairage du microscope, 4 volts . . . . .	3
6	Pile de poche de 4 volts . . . . .	3
7	Lampe avec diaphragme . . . . .	3
8	Bâton de gomme-laque pour inclusions. Chalumeau avec caoutchouc. Pince. Plaque de fer. . . . .	3
9	Echantillons d'antifrictions et de fonte grise. Tubes pour inclusions. Coupelle avec mastic à modeler. . . . .	3
10	Glace pour polissage. Papier émeri 0000 et potée d'émeri 0000	3
11	Planchette pour polissage . . . . .	3
12	Reactifs: 1) 1% Cr O <sup>4</sup> H <sup>2</sup> et 10% HCl + eau (réactif chromique) 2) solution saturée d'acide picrique dans l'eau . . . . .	3
13 — 19	Flacon avec de l'oxyde de fer en suspension dans l'eau et son pulvérisateur . . . . .	3
20	Inscriptions. Instructions. Diagrammes . . . . .	11
Sans No.	Flacon avec une solution de permanganate de potasse pour la désinfection du pulvérisateur . . . . .	1
Sans No.	Tableau avec les microphotographies et dessins des alliages . . . . .	2

### b) Instructions.

Cette manipulation a pour but l'étude des alliages antifriction et la détermination des dimensions de leurs constituants ainsi que l'inclusion de petits échantillons permettant leur polissage.



A. Etude des alliages antifriction. I. Polir l'échantillon d'antifriction, l'attaquer (5 sec.) au réactif chromique, le fixer dans la coupelle à mastic, et placer à quelques mm. au dessous de l'objectif No. 3 du microscope, muni de son dispositif d'éclairage.

II. Tourner le dispositif d'éclairage pour qu'il vienne s'appuyer contre le corps du microscope. En se servant d'un papier blanc, diriger la lumière de la lampe, au moyen du miroir, dans le dispositif d'éclairage. Vérifier que sur l'échantillon se forme une tache circulaire provenant du pinceau de lumière. Régler la distance du microscope, pour que l'image soit bien visible. Régler à nouveau le dispositif d'éclairage.

III. Dessiner la structure, observée au microscope et expliquer cette structure de l'alliage donné qui a pour composition chimique: Pb=80%, Sb=20%<sup>1)</sup>.

IV. Remplacer l'échantillon d'antifriction par une monture contenant incluse une tôle d'acier d'une épaisseur moyenne:  $e_0 = 150\mu$ , ( $1\mu = 0,001\text{mm.}$ ). Munir le microscope d'un oculaire gradué; régler pour que l'image de la tôle d'acier soit bien visible et mesurer son épaisseur en trois points. La moyenne de ces trois mesures étant  $d_0$  divisions de l'oculaire, la constante  $k$  de grossissement est donnée par  $k = \frac{e_0}{d_0}$ ; alors les longueurs  $e$  vues au microscope seront évaluées en  $\mu$ , par la formule  $e = kd$  où  $d$  est le nombre correspondant de divisions de l'oculaire.

V. Replacer sous le microscope l'échantillon d'alliage antifriction et mesurer les dimensions de trois cristaux moyens.

B. Inclusion de petits échantillons. I. Transformer l'éclairage du microscope. Pour cela sortir du dispositif d'éclairage la monture extrême avec le miroir et la remplacer par une petite lampe, mise en circuit avec une pile de poche et un interrupteur.

II. Au moyen d'une petite flamme de gaz au bout d'un chalumeau, chauffer l'extrémité du bâton de gomme-laque, pour faire couler une goutte fondue sur une plaque de fer. Fixer l'échantillon sur la plaque en l'enfonçant dans la gomme-laque fondue. Coiffer ensuite l'échantillon du tube à inclusion de façon qu'il soit au milieu du tube. Chauffer légèrement le tube et le remplir de gomme-laque, en se servant de la petite flamme de gaz. Après la prise en masse de la gomme-laque, détacher d'un léger choc le tube de la plaque.

III. Polir sur le papier émeri, l'échantillon de fonte grise ainsi inclus. Si l'on voit des cavités, dues à des bulles dans la gomme-laque, chauffer cette surface, la recouvrir de quelques gouttes de gomme-laque et recommencer le polissage.

IV. Si les bords du tube sont tranchants, les arrondir à la lime ou à la meule. Polir l'échantillon sur le papier potée d'émeri et au moyen de l'oxyde de fer.

<sup>1)</sup> Autres compositions: 20% Sb, 80% Sn et 80% Pb, 15% Sb, 5% Sn.

- V. Observer l'échantillon au microscope et dessiner l'image vue.
- VI. Attaquer à l'acide picrique en solution aqueuse, laver et sécher. Si on distingue sur la surface une coloration jaune, au lieu de la coloration grise habituelle, frotter très légèrement avec un doigt propre la surface de l'échantillon pour enlever ce dépôt d'acide picrique.
- VII. Observer au microscope la surface attaquée et la dessiner.
- VIII. Remplacer l'objectif No. 3 par l'objectif plus fort No. 5. Observer l'échantillon et dessiner les détails de la structure.

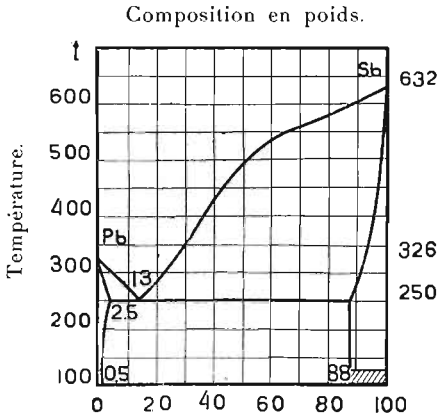


Fig. 13. Diagramme de fusion des alliages plomb-antimoine.

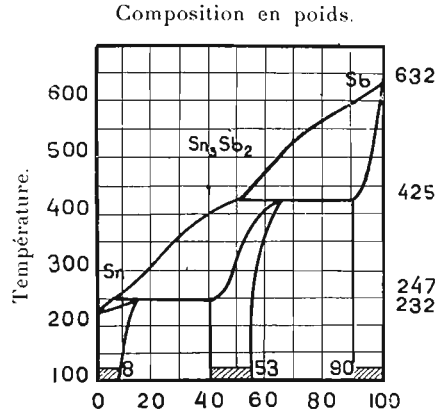


Fig. 14. Diagramme de fusion des alliages étain-antimoine.

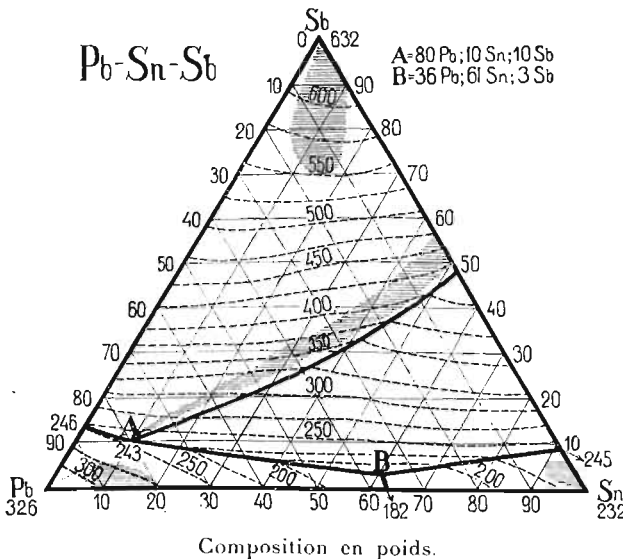


Fig. 15. Diagramme de fusion des alliages plomb-étain-antimoine.

*c) Renseignements.*

Les renseignements comprennent les diagrammes de fusion des alliages antifriction, étudiés pendant la 2<sup>ème</sup> manipulation et les micrographies correspondantes.

Les diagrammes de fusion se rapportent aux alliages binaires plomb-antimoine (fig. 13) et étain-antimoine, (fig. 14) et celui des alliages ternaires étain-plomb-antimoine (fig. 15).

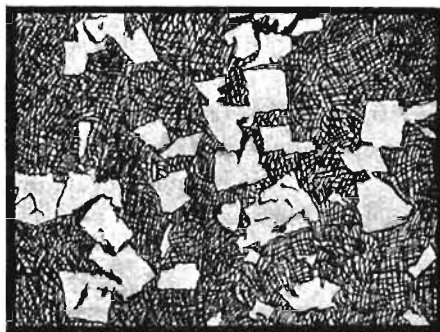


Fig. 16. Alliage contenant 80% Pb, 20% Sb. Cristaux clairs d'antimoine sur fond d'eutectique. Gr. = 80. A gauche, microphotographie, à droite dessin.



Fig. 17. Alliage contenant 80% Sn, 20% Sb. Cristaux clairs de solution solide d'antimoine dans  $\text{Sn}_3\text{Sb}_2$  (environ 50% Sb) sur fond de solution solide à 9% d'antimoine. Gr. = 80. A gauche, microphotographie, à droite dessin.

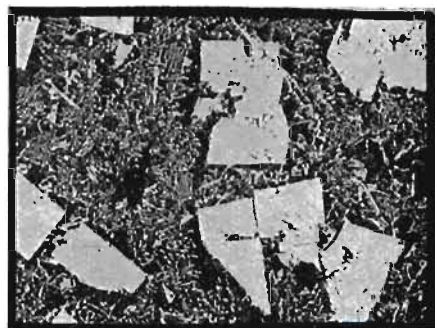


Fig. 18. Alliage antifricition, contenant 80% Pb; 15% Sb; 5% Sn. Cristaux clairs d'antimoine sur fond d'eutectique binaire plomb-antimoine, sombre et d'eutectique ternaire gris. Gr. = 80. A gauche photographie, à droite, dessin.

En partant de ces diagrammes, les élèves établiront dans leur compte-rendu le mode de fusion des alliages étudiés et expliqueront leur structure. Les structures des alliages antifriction observés sont représentées sur les fig. 16, 17 et 18. Les micrographies sont exécutées par le procédé au charbon sur plaques métalliques, les dessins sont faits à la plume. Sur les fig. 19 et 20 on voit les micrographies de la fonte grise examinée après polissage, puis après attaque.



Fig. 19. Fonte grise non attaquée. Lamelles noires de graphite sur fond de métal. Gr. = 250. A gauche, microphotographie, à droite, dessin.



Fig. 20. Le même échantillon après attaque à l'acide picrique. Lames de graphite noir sur fond de ferrite claire et de perlite grise. Gr. = 250. A gauche, microphotographie, à droite, dessin.

La fonte grise contenant du graphite, de la ferrite et de la perlite (fig. 20) est de la qualité industrielle la plus courante, c'est pourquoi on l'emploie, le plus souvent, pour la manipulation. De temps en temps, on la remplace par des fontes grises graphite-ferrite ou graphite-perlite-cémentite.

### 3-ème MANIPULATION.

#### REPERAGE DES ECHANTILLONS ET ANALYSE MICROGRAPHIQUE.

Pendant la 3-ème manipulation, l'élève passe à l'étude de l'acier recuit. Il dispose d'un microscope plus perfectionné, avec une vis micrométrique et un dispositif d'éclairage permettant des grossissements plus importants (environ 500). Les échantillons d'acier sont repérés de façon qu'on puisse les étudier au même endroit et successivement avec deux réactifs différents, pour distinguer la ferrite de la cémentite. Ensuite on détermine la teneur en p. 100 de carbone, avec une précision de 0,1%, au moyen de l'oculaire quadrillé, dans un échantillon d'acier hypoeutectoïde.

#### a) Appareils.

La disposition des appareils est représentée par la fig. 21. Sur le schéma les numéros renvoient à l'inventaire.

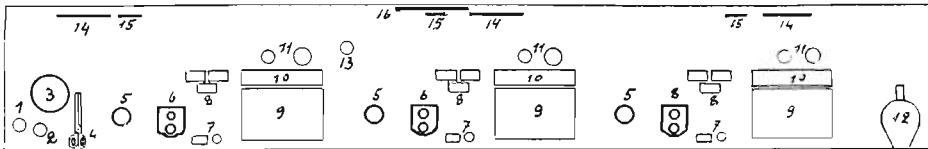
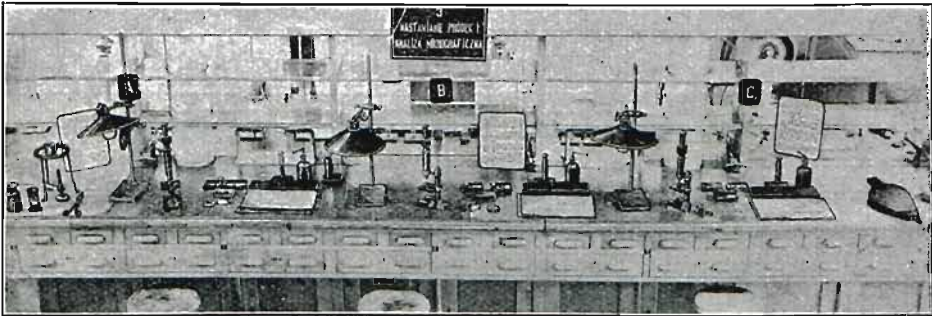


Fig. 21. Disposition des appareils pour la troisième manipulation.

No.	A P P A R E I L S	Nombre
1	Flacon de solution de picrate de soude à 4% dans la soude caustique <sup>1)</sup> . . . . .	1
2	Sablier de 5 minutes. . . . .	1
3	Trépied, avec triangle et coupelle de porcelaine pour chauffer le picrate de soude. . . . .	1
4	Pincés pour l'attaque au picrate de soude. . . . .	1
5	Lampe électrique avec diaphragme. . . . .	3
6	Microscope Reichert avec vis micrométrique et dispositif d'éclairage Rejtó $K_1 = 1,2$ . . . . .	3
7	Dispositif pour le repérage d'échantillons et mastic à modeler.	
8	Objectif No. 4 Reichert, $K_2 = 16$ Objectif No. 7 Reichert, $K_2 = 60$ Oculaire No. 3 Leitz, $K_3 = 6,6$ Oculaire No. 3 Leitz, avec quadrillage, $K_3 = 6,6$ Echantillons d'acier. . . . .	3
9	Glace à polir. Papier émeri 0000 et potée d'émeri 0000 . . . . .	3
10	Planchette à polir . . . . .	3
11	Flacon de solution alcoolique d'acide picrique à 4%. Flacon contenant de l'oxyde de fer en suspension dans l'eau, avec son pulvérisateur. . . . .	3
12	Soufflet à main pour sécher les échantillons . . . . .	1
13	Flacon de permanganate de potasse pour la désinfection des pulvérisateurs. . . . .	1
14, 15, 16	Tableaux d'instructions. Inscriptions . . . . .	7
Sans No.	Tableaux de photographies et dessins des échantillons d'acier étudiés . . . . .	2

### b) Instructions.

Le but de cette séance est d'enseigner l'emploi de l'analyse micrographique, à la place de l'analyse chimique, pour le dosage du carbone dans l'acier. Si l'on doit faire plusieurs attaques successives, le repérage de l'échantillon permet de retrouver l'emplacement observé précédemment.

A. Repérage de l'échantillon. I. Si l'échantillon étudié n'est pas muni d'une fine raie verticale, en faire une au moyen d'une scie d'horloger.

Polir l'échantillon, l'attaquer à l'acide picrique en solution alcoolique à 4%, le placer sur la platine du microscope, muni de son dispositif de repérage et de son appareil d'éclairage.

<sup>1)</sup> Ce réactif se prépare de la façon suivante. Dans 100 cm<sup>3</sup> de soude caustique à 20% on met 4 gr d'acide picrique. Après 30 minutes d'ébullition, on filtre la solution et on la conserve dans l'obscurité.

II. Régler le microscope. Pour cela descendre le tube  $T$  (fig. 22) jusqu'à ce que l'objectif se trouve à 1 mm. environ de la surface de l'échantillon. Vérifier que le mouvement micrométrique de mise au point présente une latitude de course  $d$  de 2-3 mm.

Placer la lampe à une distance de 50 cm. du microscope, à la hauteur de la lentille  $S$  d'éclairage.

Faire apparaître l'image, en déplaçant le tube; achever la mise au point au moyen de la vis micrométrique  $M$ .

III. Placer sous le microscope le dispositif de repérage, engager le couteau  $a$  (fig. 23) dans la raie de l'échantillon  $E$  que l'on appuiera ensuite contre l'autre couteau  $b$ .

Déplacer le dispositif de repérage tout entier sous le microscope jusqu'à ce que l'on obtienne un aspect bien caractéristique de la structure de l'alliage. Fixer avec du mastic à modeler le dispositif de repérage à la platine du microscope. Dessiner l'image observée.

IV. Si l'image, vue au microscope, présente des cristaux blancs sur fond gris de perlite, il faut distinguer, au moyen du réactif au picrate de soude, si on a affaire à de la ferrite ou à de la cémentite. Repolir l'échantillon d'acier et le plonger pendant 5 minutes, (comptées au sablier), dans le réactif au picrate de soude bouillant. La face polie doit être tournée vers le haut pour éviter les bulles d'air. Retirer l'échantillon, le laver, en passant légèrement un doigt propre sur la surface attaquée, sécher et observer en plaçant, comme précédemment, l'échantillon sous le microscope et portant par sa raie sur le couteau  $a$ .

Si les cristaux, vus sur fond de perlite, ont noirci, on a affaire à de la cémentite, s'ils sont restés clairs, c'est de la ferrite. Dessiner l'aspect observé et le comparer au précédent.

B. Analyse micrographique. I. On peut déterminer, par la micrographie la teneur en carbone dans de l'acier bien recuit et ne contenant pas plus de 0,8% de carbone, ni plus de 0,5% au total d'additions de Mn, Cr et Si.

Les parties sombres de l'image correspondent à de la perlite pure, donc à une teneur de 0,8% environ de carbone. Les parties claires de l'image correspondent à de la ferrite pure, presque complètement dépourvue de carbone. Si l'image est formée moitié de ferrite claire et moitié de perlite sombre, on a une teneur de 0,4% de carbone et ainsi de suite.

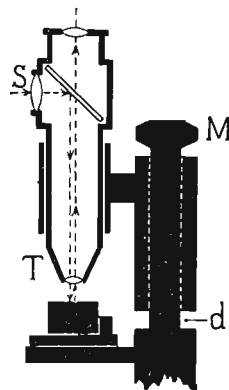


Fig. 22. Réglage du microscope

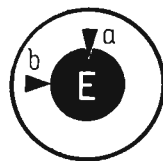


Fig. 23. Dispositif de repérage.

II. Polir les échantillons d'acier hypo-eutectoïde et les attaquer à l'acide picrique en solution alcoolique. Munir le microscope d'un oculaire quadrillé contenant 100 petits carrés. Compter le nombre  $n$  de carrés où la perlite occupe la plus grande partie de la surface. La teneur en carbone sera alors  $C\% = 0,008 n$ . Le grossissement devra être suffisamment fort pour que les grains du constituant le plus fin de l'alliage puissent occuper plus de la moitié d'un carré.

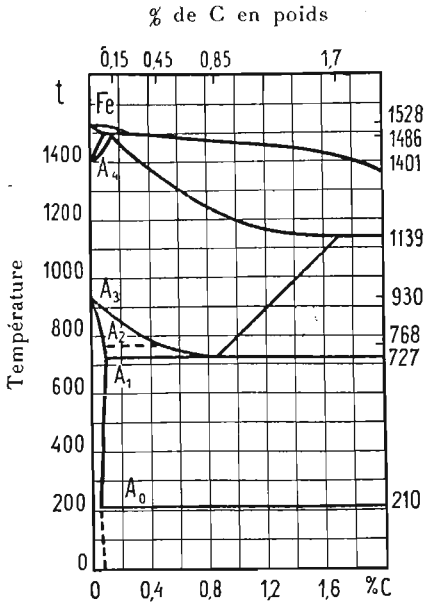


Fig. 24. Diagramme des transformations de l'acier au carbone.

L'acier hypo-eutectoïde, attaqué à l'acide picrique, est reproduit sous deux grossissements: l'un plus faible (fig. 25) permet l'analyse micrographique, l'autre plus fort (fig. 26) différencie les constituants de la perlite.

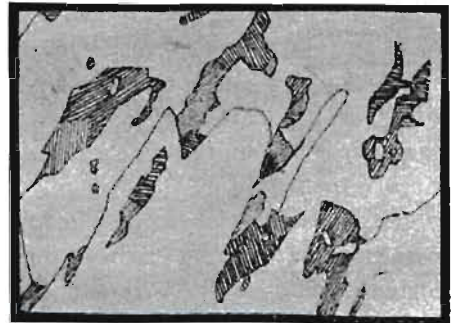


Fig. 25. Acier à 0,2% C. Grains clairs de ferrite sur fond de perlite. Gr. = 125.

IV. Remplacer l'objectif No. 4 par l'objectif No. 7, plus puissant. Observer et dessiner les détails de la structure de la perlite dans l'acier recuit.

### c) Renseignements.

Les renseignements sont donnés par le diagramme des transformations des aciers (fig. 24) affiché, en grand format, sur les murs de la salle de travaux et par les reproductions des échantillons d'acier observés.

Les reproductions d'échantillons, faites comme précédemment, par le procédé au charbon sur métal et par dessin à la plume, correspondent aux aciers hypo et hyper-eutectoïdes.



L'acier hypereutectoïde est représenté aussi sous deux grossissements; pour chacun d'eux, on a mis en évidence la structure par deux attaques successives du même point à l'acide picrique et au picrate de soude (fig. 27 à 30).

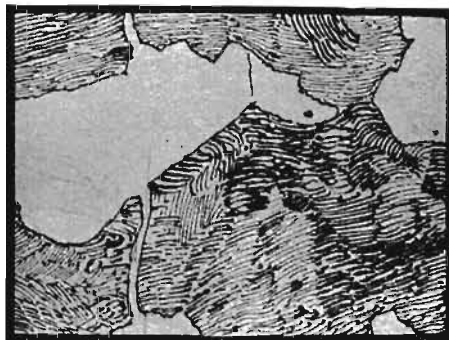
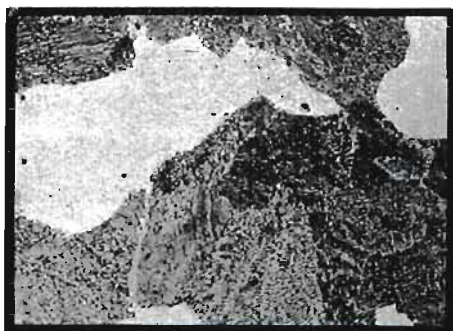


Fig. 26. Acier à 0,4% C. Grains clairs de ferrite sur fond de perlite. Gr. = 500.

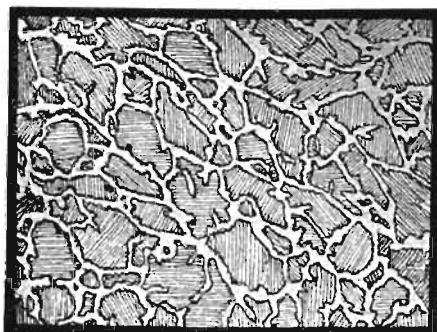
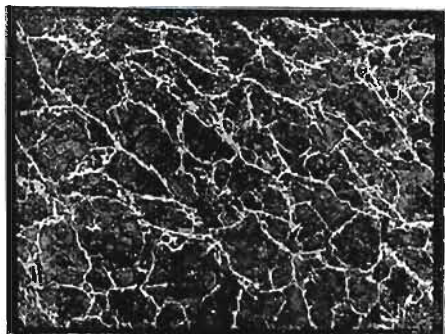


Fig. 27. Acier à 1,5% de C attaqué à l'acide picrique. Cristaux clairs de cémentite sur fond de perlite. Gr. = 125.

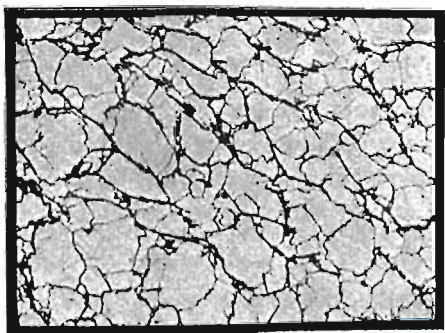


Fig. 28. L'échantillon précédent attaqué au picrate de soude. Cristaux sombres de cémentite sur fond de perlite. Gr. = 125.

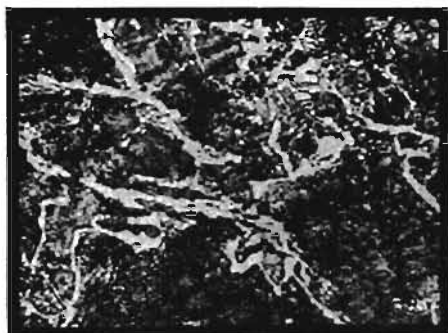


Fig. 29. . Même attaque que fig. 27, sous un plus fort grossissement. Gr. = 500.

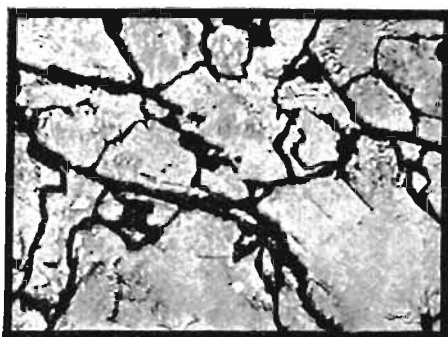


Fig. 30. Même attaque que fig. 28, sous un plus fort grossissement. Gr. = 500.

#### 4-ème MANIPULATION.

##### MICROGRAPHIE DES ALLIAGES DU CUIVRE.

La 4-ème manipulation est consacrée aux alliages du cuivre, dont une partie est soumise à des traitements thermiques. On observe à cette occasion les variations de structure du bronze d'aluminium et du bronze d'étain, la structure du laiton, celle du cuivre, plus ou moins oxydé, puis on en fait le dessin au moyen d'un appareil monté sur le microscope.

##### a) Appareils.

La disposition des appareils est représentée sur la fig. 31 et sur le schéma dont les numéros renvoient à l'inventaire.

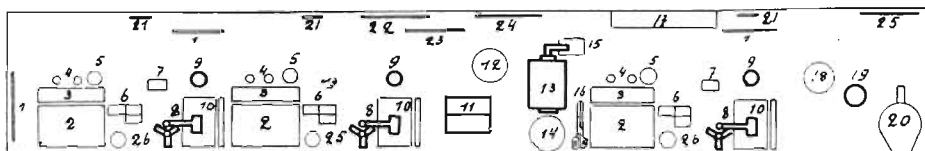
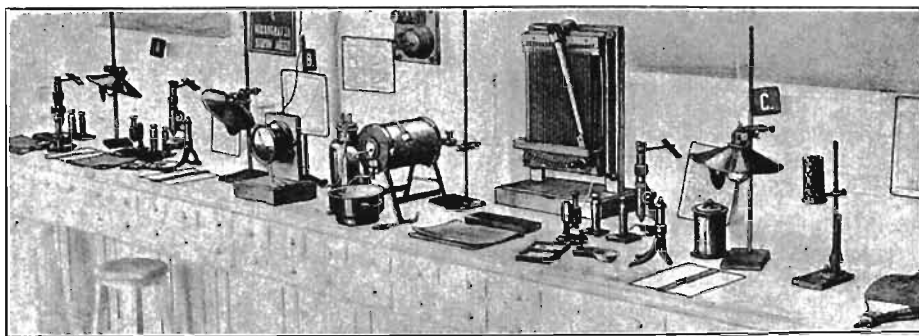


Fig. 31. Disposition des appareils pour la quatrième manipulation.

No.	A P P A R E I L S	Nombre
1	Tableau d'instructions . . . . .	3
2	Glace pour polissage. Papier émeri 0000 et potée d'émeri 0000.	3
3	Planchette à polir. . . . .	3
4	Flacon de réactif à l'iode (solution alcoolique à 10%) Flacon de réactif chromique (solution aqueuse 10% HCl et 1% CrO <sup>3</sup> H <sup>2</sup> ) . . . . .	3
5	Flacon contenant de l'oxyde de fer en suspension dans l'eau et son pulvérisateur. . . . .	3
6	Echantillons d'alliages du cuivre (3). Lame d'acier d'épaisseur connue, dans une monture . . . . .	3
7	Appareil à disposer les échantillons; verres avec du mastic à mo- deler pour fixer les échantillons . . . . .	3
8	Microscope à crémaillère et vis micrométrique (Reichert) K=1,2; dispositif d'éclairage Rejtó. Appareil à dessiner d'Abbe . Oculaire Reichert No. 4, K <sub>3</sub> = 7,1. Objectif Reichert No. 5, K <sub>2</sub> = 34.	3
9	Lampe électrique avec diaphragme. . . . .	3
10	Règle graduée en mm, feuille de papier blanc . . . . .	3
11	Galvanomètre pour la mesure des températures . . . . .	1
12	Flacons avec de l'eau pour les extrémités froides du couple . . . . .	1
13	Four électrique à résistance . . . . .	1
14	Réceptient contenant de l'eau pour la trempe . . . . .	1
15	Support portant le couple thermoélectrique . . . . .	1
16	Pincés . . . . .	1

No.	A P P A R E I L S	Nombre
17	Rhéostat . . . . .	1
18	Flacon avec de l'ouate . . . . .	1
19	Four à gaz pour la trempe des échantillons . . . . .	1
20	Soufflet à main pour sécher les échantillons . . . . .	1
21 — 22	Inscriptions . . . . .	4
23	Courbe donnant la température en fonction de la force électromotrice du couple No. 15 . . . . .	1
24 — 25	Tableaux de diagrammes . . . . .	3
26	Soucoupe avec des tampons d'ouate . . . . .	3
Sans No.	Tableaux portant les diagrammes de fusion des alliages Cu-Cu <sup>2</sup> O, Cu-Sn et Cu-Zn. . . . .	4
»	Tableaux de photographies et dessins d'alliages de Cu. . . . .	3
»	Polissense à pédale . . . . .	1

*b) Instructions.*

Le but de cette manipulation est de familiariser les élèves avec la structure des alliages du cuivre et avec les transformations que subissent certains d'entre eux sous l'influence des traitements thermiques.

A. La trempe des alliages du cuivre. I. Envoyer du courant dans le four électrique et arrêter le chauffage à 700°.

II. Polir l'échantillon No. 1 (composition Sn 24%, Cu 76%<sup>1)</sup>) d'abord sur les papiers émeri et potée, puis sur le touret à polir, ensuite attaquer au réactif chromique, jusqu'à l'apparition d'un léger voile à la surface ou du contour des grains.

III. Régler l'horizontalité de la face attaquée de l'échantillon. Dans ce but placer l'échantillon dans le mastic à modeler, qui est sur le verre et la face attaquée vers le haut; appuyer, assez fort, sur le refouloir de l'appareil à placer les échantillons, afin que la surface à observer, après un enfoncement de quelques mm. de l'échantillon dans le mastic, vienne porter entièrement sous la partie plane du refouloir.

IV. Régler le microscope, comme dans la manipulation précédente. Les grands déplacements se font au moyen de la crémaillère et les petits au moyen de la vis micrométrique.

V. Dessiner et expliquer la structure au moyen du diagramme.

VI. Laisser l'échantillon dans le four électrique à 700°, pendant une demi-heure, puis tremper vivement à l'eau. Pendant le chauffage, étudier les autres alliages du cuivre.

<sup>1)</sup> Autre composition 9% Al et 91% Cu.

VII. Enlever la couche d'oxyde à la meule, polir aux papiers émeri et potée, puis sur le touret à pédale; attaquer au réactif chromique.

VIII. Dessiner l'aspect observé et expliquer la constitution de l'alliage d'après le diagramme.

B. Etude des alliages du cuivre. I. Fixer, à la partie supérieure du microscope, l'appareil à dessiner (fig. 32).

Cet appareil contient un miroir  $m$  percé en son centre d'un petit trou, de sorte que l'ocil voit à la fois l'image de l'échantillon  $E$  et le papier à dessin  $P$ . Si le champ du papier à dessin est trop clair, au point de rendre indistincte l'image de l'échantillon, il faut affaiblir les rayons  $L$ , venant du papier, par l'interposition d'un verre de couleur verdâtre  $N$ . Si c'est l'inverse qui a lieu, on placera sur le trajet des rayons venant du microscope un verre de même nature  $n$ .

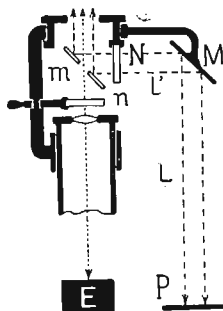


Fig. 32. Appareil à dessiner.

II. Polir et attaquer successivement, au réactif chromique, les échantillons donnés, les observer au microscope, expliquer et dessiner, avec l'appareil à dessiner, la structure de chacun d'eux:

Nos des échantillons	Composition	Traitement thermique
2	5% $\text{Cu}_2\text{O}$ , 95% Cu	Refroidi lentement <sup>1)</sup>
3	40% Zn, 60% Cu	Refroidi lentement <sup>2)</sup>

III. Si les échantillons de laiton et de cuivre montrent, malgré un polissage soigné, des raies provenant de l'écronissage produit par le polissage du début et gênant l'observation, on enlèvera la couche superficielle du métal par le procédé suivant: recouvrir la surface non attaquée du métal d'une solution alcoolique d'iode à 10% et attendre 15 secondes, puis placer l'échantillon sous l'eau du robinet et laver la surface avec un doigt propre et mouillé pour enlever le dépôt blanc formé. Attaquer ensuite au réactif chromique.

C. Détermination du grossissement du microscope. A la place de l'échantillon, placer, sous le microscope, une lame d'acier incluse, dont l'épaisseur moyenne est  $e = 150 \mu$ . Remplacer le papier à dessin par une règle graduée en millimètres, sur laquelle l'épaisseur de la lame, vue au microscope, est de  $k$  mm. Comme le chemin, suivi par les rayons venant du papier, a pour longueur  $L + L'$  cm. (fig. 32) et que le

<sup>1)</sup> Autres compositions: cuivre électrolytique et aussi  $\text{Cu}_2\text{O}$  2%, Cu 98%.

<sup>2)</sup> Autres compositions: 33% Zn, 67% Cu et 10% Sn, 90% Cu (coulé et recuit).

chemin, suivi par les rayons à travers le microscope et venant de l'échantillon, est  $l$  cm., le grossissement  $X$  du microscope s'exprime par la relation:

$$X = \frac{10^3 k}{e} \frac{l}{L + L'}$$

Mesurer  $L + L'$  et  $l$ ; calculer  $X$ .

c) Renseignements.

Les compléments nécessaires pour la 4-ème manipulation comprennent des diagrammes de fusion, des diagrammes de propriétés mécaniques et les reproductions des alliages étudiés.

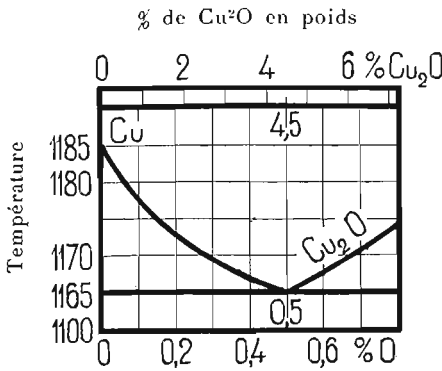


Fig. 33. Diagramme de fusion de l'alliage Cu-Cu<sub>2</sub>O.

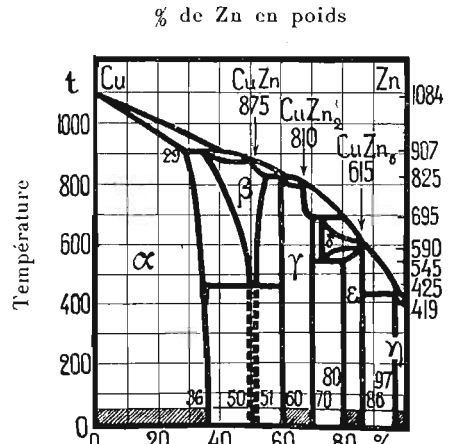


Fig. 34. Diagramme de fusion cuivre-zinc.

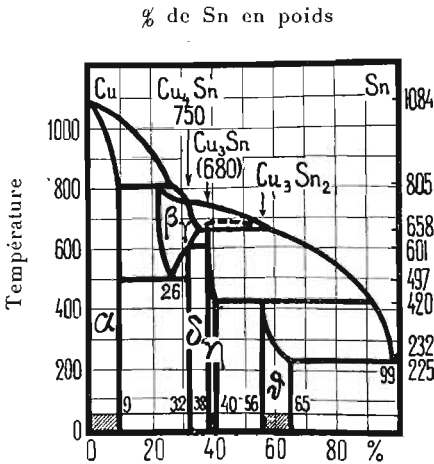


Fig. 35. Diagramme de fusion cuivre-étain.

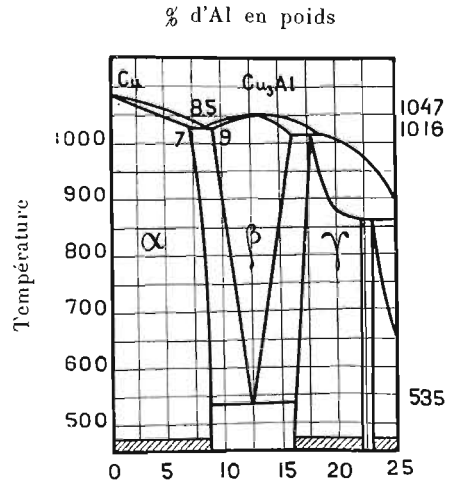


Fig. 36. Partie importante du diagramme de fusion cuivre-aluminium.

% de Zn en poids

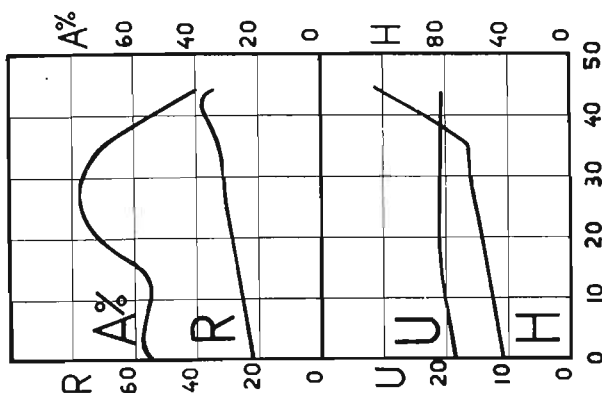


Fig. 37. Propriétés mécaniques des alliages cuivre-zinc. R — résistance à la traction; A% — allongement de rupture. H — dureté Brinell et U — résilience.

(L. Guillet, 1914)

% de Sn en poids

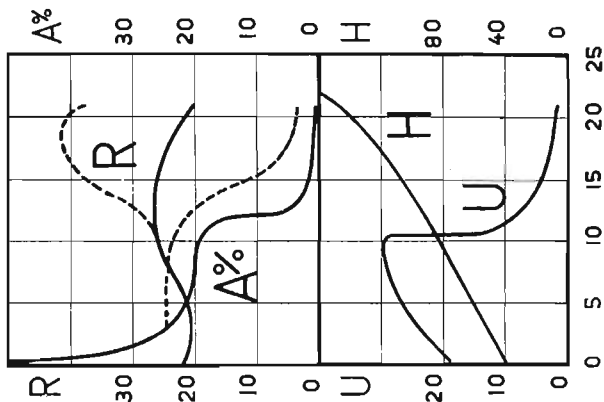


Fig. 38. Propriétés mécaniques des alliages cuivre-étain. R — résistance à la traction; A% — allongement de rupture; H — dureté Brinell et U — résilience. Les traits pleins se rapportent aux alliages recuits au-dessous de 500°, les traits pointillés aux alliages trempés au-dessus de 600°.

% d'Al en poids

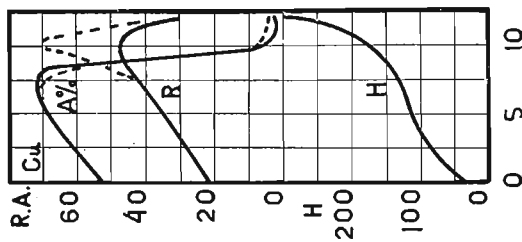


Fig. 39. Propriétés mécaniques des bronzes d'aluminium; R — résistance à la traction, A% — allongement de rupture; H — dureté Brinell. Les traits pleins se rapportent à des alliages recuits au-dessous de 500°, les traits pointillés aux alliages trempés au-dessus de 550°.

Les diagrammes de fusion du cuivre contenant de l'oxydure cuivreux  $\text{Cu}^2\text{O}$  (fig. 33), du cuivre et du zinc (fig. 34), du cuivre et de l'étain (fig. 35) sont affichés en grand format sur les murs de la salle de travaux. Une portion du diagramme de fusion cuivre-aluminium (fig. 36), relative aux bronzes d'aluminium, est placée près de la table de manipulations.

Les diagrammes représentant les propriétés mécaniques des alliages, en fonction de leur composition, ne correspondent qu'aux alliages, utilisables en pratique, du cuivre et du zinc (fig. 37), du cuivre et de l'étain (fig. 38), du cuivre et de l'aluminium (fig. 39). On a mis en évidence les effets de la trempe dans les diagrammes relatifs aux alliages du cuivre et de l'étain, du cuivre et de l'aluminium.

Les reproductions des alliages, étudiés au cours de la 4-ème manipulation, sont nombreuses, car chaque élève reçoit d'autres alliages à étudier. On les a réunies sur trois tableaux et les microphotographies ont été obtenues sur plaques de cuivre et de laiton par le procédé au charbon.

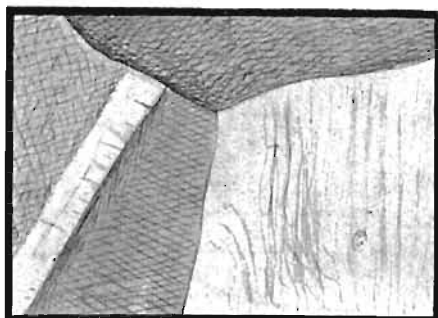
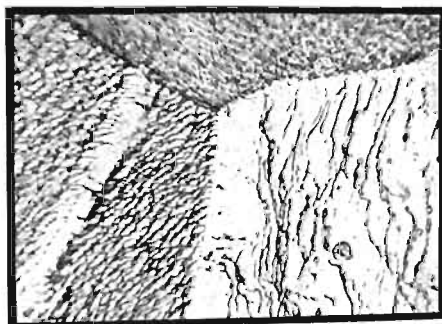


Fig. 40. Cuivre électrolytique. On y voit les contours des cristaux et des grains. Gr.=300. A gauche microphotographie, à droite dessin à l'encre de Chine.

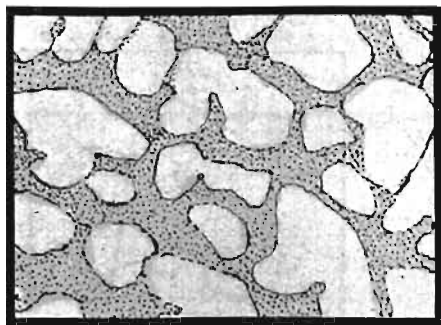
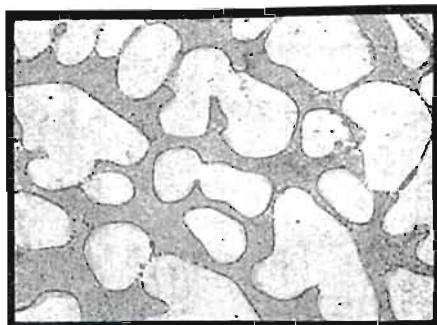


Fig. 41. Alliage hypoeutectique de cuivre avec  $\text{Cu}^2\text{O}$ . Cristaux clairs de cuivre sur fond d'eutectique. Gr.=300. A gauche microphotographie, à droite dessin à la plume.



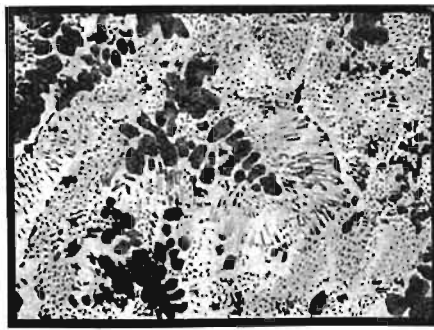
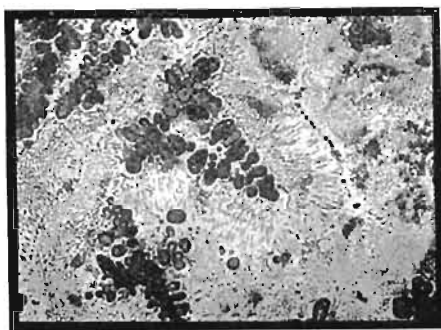


Fig. 42. Alliage hypérectique de cuivre avec  $\text{Cu}_2\text{O}$ . Dendrites sombres d'oxyde cuivreux sur fond d'eutectique. Gr. = 300. A gauche microphotographie, à droite dessin à la plume.

Le premier tableau se rapporte au cuivre (fig. 40, 41, 42). Le second tableau comprend deux laitons et un bronze d'aluminium, avant et après traitement thermique (fig. 43, 44, 45 et 46).

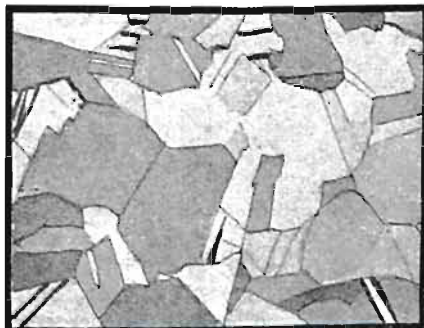
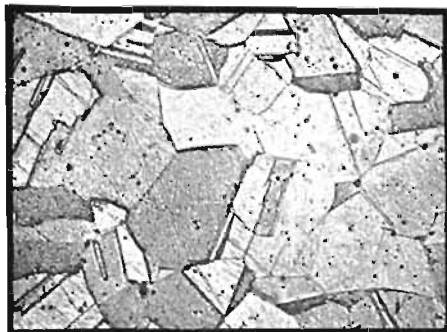


Fig. 43. Laiton à 33% de zinc après recuit. Grains de solution solide, avec plans de clivage. Gr. = 300. A gauche microphotographie, à droite dessin à l'encre de Chine.

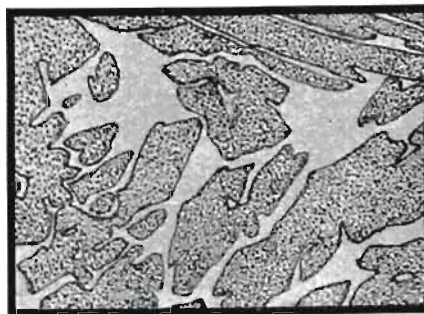
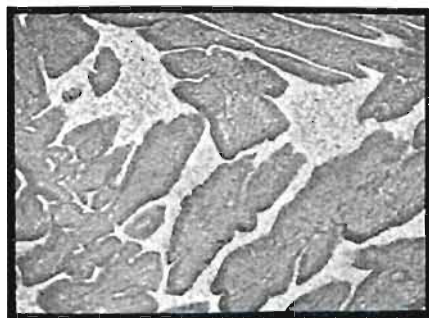


Fig. 44. Laiton à 40% de zinc, après recuit. Solution solide limite claire (36% Zn) sur fond du composé  $\text{CuZn}$ . Gr. = 300. A gauche microphotographie, à droite dessin à la plume.

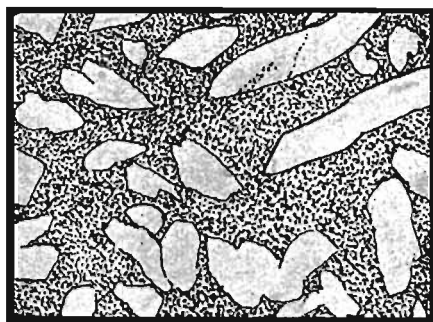


Fig. 45. Bronze d'aluminium à 9% d'Al après recuit. Grains clairs de solution solide limite (7% d'Al) sur fond d'un mélange très fin produit par la décomposition du composé  $Cu^3Al$ . Gr.=300. A gauche microphotographie, à droite dessin à la plume.

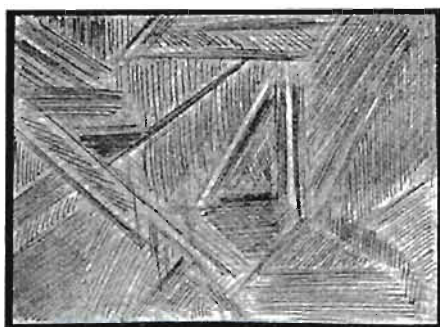
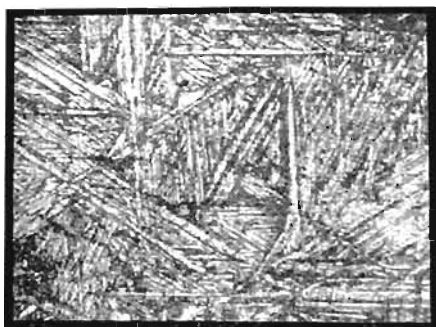


Fig. 46. L'échantillon précédent après trempe. Structure martensitique des cristaux de solution solide. Gr.=300. A gauche microphotographie, à droite dessin à l'encre de Chine.

Le troisième tableau comprend les reproductions des bronzes d'étain (fig. 47, 48, 49 et 50) et montre les transformations produites par les traitements thermiques.

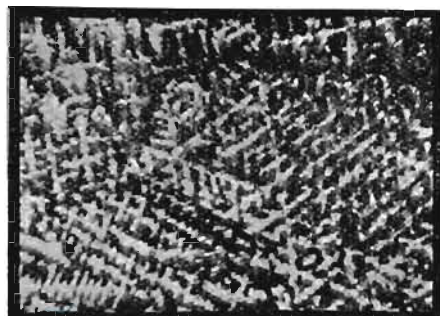


Fig. 47. Bronze coulé à 10% d'étain. Solution solide hétérogène, dont les dendrites claires sont plus riches en cuivre. Les limites des grains apparaissent plus sombres. Gr.=300. A gauche microphotographie, à droite dessin à l'encre de Chine.

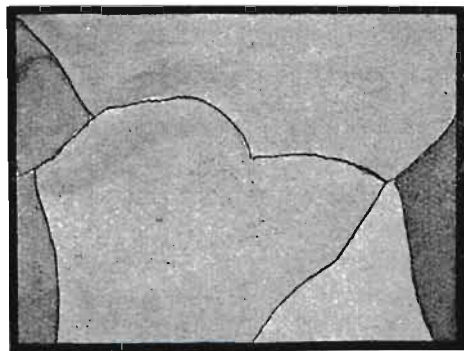
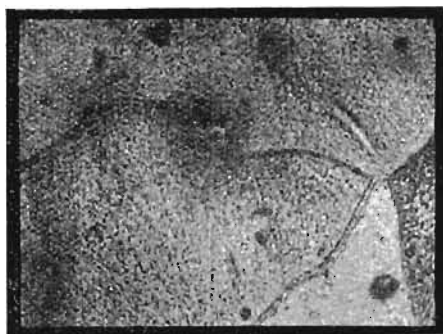


Fig. 48. L'échantillon précédent après recuit. Les grains de solution solide ne sont pas teintés également, à cause des orientations différentes des cristaux. Gr.=300. A gauche microphotographie, à droite dessin à l'encre de Chine.

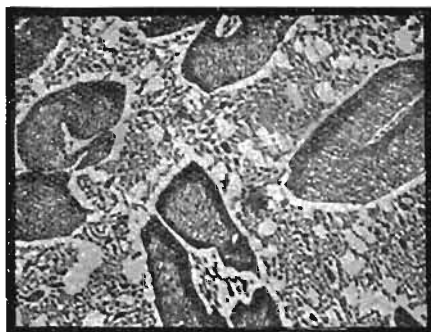


Fig. 49. Bronze recuit à 24% de Sn. Cristaux sombres de solution solide limite (14% de Sn), sur fond d'eutectoïde (27% de Sn). Gr.=300. A gauche microphotographie, à droite dessin à la plume.

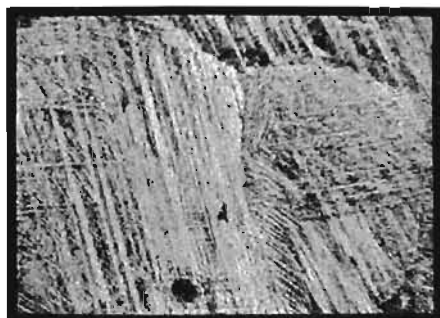


Fig. 50. L'échantillon précédent après trempe. Cristaux et grains de solution solide. Gr.=300. A gauche microphotographie, à droite dessin à l'encre de Chine.

## 5-ème MANIPULATION.

## INFLUENCE DE LA TREMPÉ SUR LA STRUCTURE DE L'ACIER.

Dans la cinquième manipulation, on étudie la trempe de l'acier. A cette occasion on observe le passage de la structure perlitique à la structure martensitique et l'on compare celle-ci à la structure austénitique, obtenue par la trempe de certains aciers spéciaux. On emploie pour cette manipulation de grands microscopes métallographiques, muni d'une chambre photographique dont le verre dépoli sert à déterminer le grandissement de la photographie éventuelle.

## a) Appareils.

La disposition générale des appareils est représentée sur la fig. 51. Les N-os du schéma correspondent à ceux de l'inventaire.

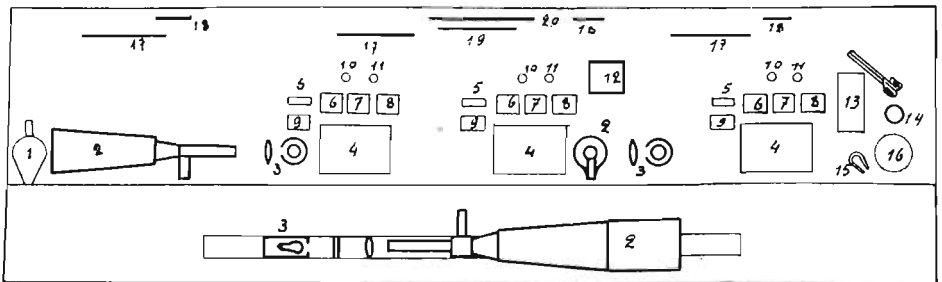
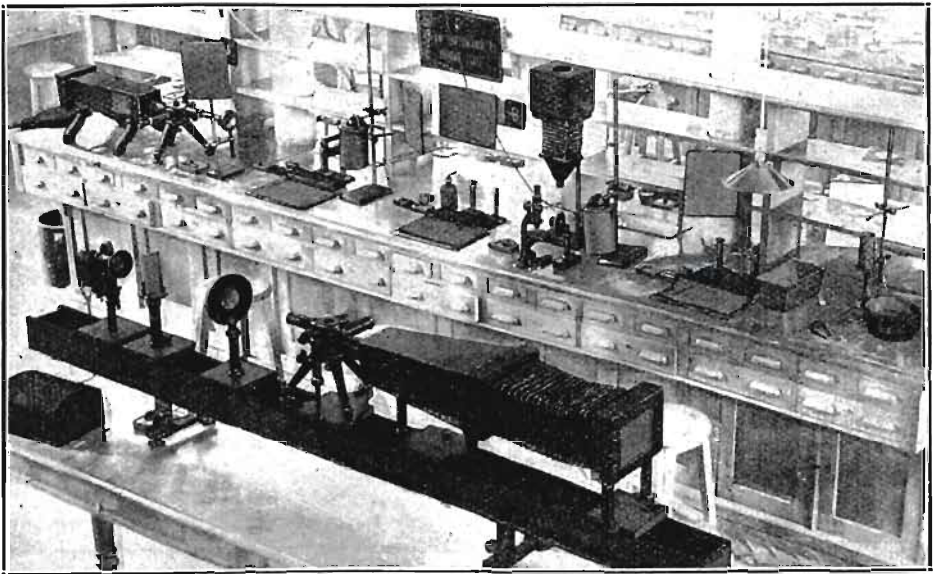


Fig. 51. Disposition des appareils pour la cinquième manipulation.

No.	A p p a r e i l s	Nombre
1	Soufflet à main pour sécher les échantillons . . . . .	1
2 A	Microscope horizontal Pellin avec chambre photographique $K_1 = 1,7$ . . . . .	1
2 B	Microscope Reichert <sup>1)</sup> avec crémaillère et vis micrométrique, muni d'un dispositif d'éclairage Nacet, $K_1 = 1,2$ (chambre photographique au No. 12) . . . . .	1
2 C	Microscope horizontal Pellin avec chambre photographique $K_1 = 1,7$ (sur table séparée) . . . . .	1
3	Lampes électriques pour l'éclairage des microscopes . . . . .	3
4	Glace à polir; papier émeri 0000 et potée d'émeri 0000 . . . . .	3
5	Règle graduée en mm. . . . .	3
6 & 7	Echantillons des aciers étudiés (2). . . . .	3
8	Oculaire Reichert No. 5, $K_3 = 10,7$ . Oculaire de projection Zeiss. Objectif Reichert No. 3, $K_2 = 13$ . Obj. Reichert No. 5, $K_2 = 40$ . . . . .	3
9	Echelle 1 mm. = 100 divisions sur lame d'acier . . . . .	3
10 & 11	Réactifs: solution à 4% d'acide azotique dans l'alcool isoamy- lique et solution alcoolique à 4% d'acide picrique . . . . .	3
12	Support avec chambre verticale pour la photographie au mi- croscope 2 B . . . . .	1
13	Terre d'infusoires. Pincettes . . . . .	1
14	Four à gaz pour la trempe . . . . .	1
15	Aimant . . . . .	1
16	Récipient pour la trempe à l'eau . . . . .	1
17 à 20	Tableaux d'instructions. Inscriptions . . . . .	8
Sans No.	Tableaux des photographies et dessins d'alliages étudiés . . . . .	1
Sans No.	Polisseuse à pédale et meule rotative . . . . .	1

### b) Instructions.

Cette séance a pour but l'étude de l'influence du traitement thermique de l'acier sur sa structure et la comparaison des structures martensitique de l'acier trempé au carbone et austénitique de l'acier spécial.

A. Trempe et recuit. I. Polir l'échantillon d'acier (à 0,8% C environ) en se servant du touret à pédale. Attaquer à l'acide picrique, en solution alcoolique, pendant  $\frac{1}{2}$  minute. Si l'aspect de la perlite apparaît au microscope, on a de l'acier recuit; si l'acide picrique ne fait pas apparaître de structure nette, repolir l'échantillon et attaquer à l'acide azotique en solution dans l'alcool isoamylique (à 4%), jusqu'à l'apparition nette de la structure martensitique (aiguilles se rencontrant à  $30^\circ$  ou  $60^\circ$ ). C'est alors de l'acier trempé. Si l'image est confuse, passer l'échantillon, après attaque,

<sup>1)</sup> Ce microscope a été remplacé actuellement par un microscope métallographique horizontal Leitz avec chambre.

très légèrement sur le disque du touret à polir. Décrire et dessiner la structure d'acier obtenue.

II. a) Si l'échantillon précédent est de l'acier recuit, on le fixe sur un fil de fer et on le chauffe dans la flamme du four à gaz jusqu'à disparition du ferromagnétisme, ce que l'on reconnaît en le touchant avec un pôle d'aimant. Après disparition du ferromagnétisme, chauffer encore pendant 5 minutes, pour dissoudre plus complètement la cémentite, puis retirer vivement du feu et jeter dans l'eau.

b) Si l'échantillon précédent est trempé, le fixer sur un fil de fer et le chauffer pendant 10 minutes dans la flamme d'un bec Meker, en le portant au rouge. Ensuite le retirer du feu et le placer dans la terre d'infusoires pour assurer son refroidissement lent.

III. Après le traitement thermique (trempe ou recuit), enlever la surface de l'échantillon à la meule, sur une épaisseur d'au moins 0,5 mm., afin d'enlever la couche décarburée par le chauffage. Polir ensuite l'échantillon, l'attaquer à l'acide picrique, si on a fait un recuit et par l'acide azotique, si on a fait une trempe. Observer l'aspect obtenu au microscope et le dessiner.

B. Etude de l'acier austénitique. I. Voir si l'échantillon est attiré par l'aimant; s'il en est ainsi, comparer la force d'attraction avec celle exercée par le même aimant sur un échantillon de fer.

II. Polir l'échantillon, l'attaquer avec la solution à 4% d'acide azotique dans l'alcool isoamylique ou avec la solution alcoolique d'acide picrique, observer et dessiner la structure.

C. Réglage du microscope pour la photographie et mesure du grandissement. I. Remplacer l'objectif No. 5 par l'objectif No. 3. Mettre à la place de l'échantillon une lame micrométrique (1 mm. = 100 divisions), de façon que l'échelle graduée soit au centre du champ. Sans déplacer la lame, remplacer l'objectif No. 3 par l'objectif No. 5, que l'on avait précédemment et régler à nouveau la position de la graduation.

II. Relever l'écran de verre dépoli qui atténue la lumière. Renvoyer l'image de la graduation sur le verre dépoli de la chambre photographique et régler de façon que les divisions apparaissent avec netteté; mesurer la distance de  $n$  divisions =  $p$  mm. Le grandissement de l'image est donc  $x = 100 \frac{p}{n}$ .

III. Remplacer la lame micrométrique par l'échantillon et mettre au point.

### c) Renseignements.

Pour la 5-ème manipulation, les renseignements comprennent les courbes qui montrent l'influence de la trempe sur les propriétés mécaniques de l'acier et les reproductions des alliages étudiés. Les courbes donnent,

en fonction de la composition, la résistance à la traction, l'allongement, la dureté et la résilience (fig. 52 et 53).

Les microphotographies sur plaques métalliques et les dessins correspondants montrent la transformation de la structure perlitique en martensitique (fig. 54 et 55) ainsi que la structure polyédrique de l'acier austénitique (fig 56).

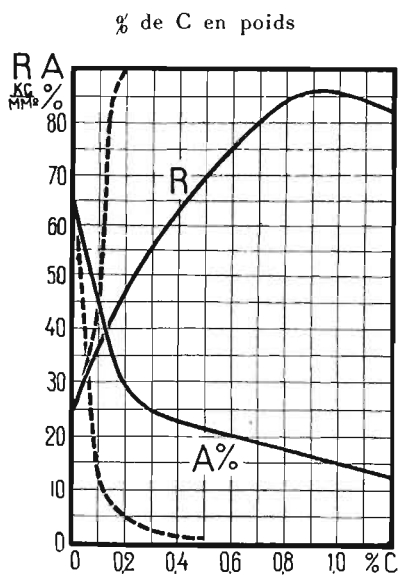


Fig. 52. Propriétés mécaniques des aciers au carbone. R — résistance à la traction; A%—Allongement en pour cent à la rupture. Les traits pleins se rapportent aux aciers recuits; les traits pointillés aux aciers trempés.

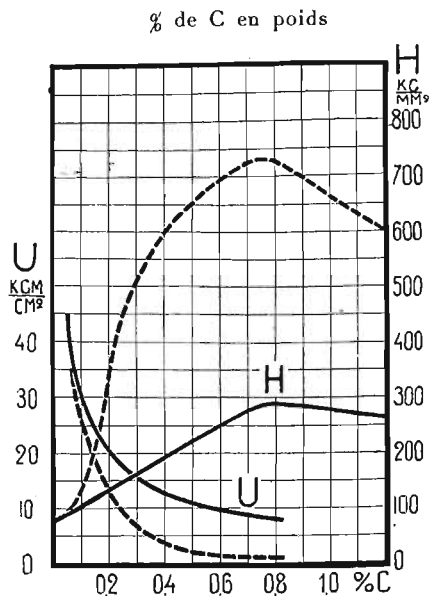


Fig. 53. Propriétés mécaniques des aciers au carbone. H—dureté et U—résilience. Les traits pleins sont relatifs aux aciers recuits, les traits pointillés aux aciers trempés.

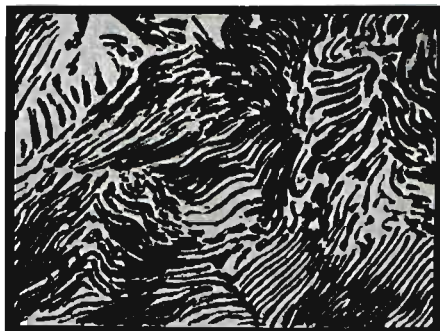
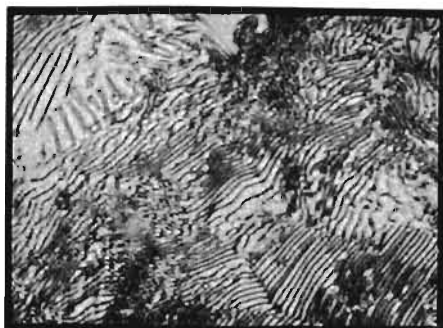


Fig. 54. Acier recuit à 0,8% de C. Structure perlitique; on voit le mélange très fin de cristaux de cémentite et de ferrite. Gr.=600. A gauche microphotographie, à droite dessin à la plume.



Fig. 55. L'échantillon précédent après trempe. Structure martensitique. Gr.=600. A gauche microphotographie, à droite dessin à l'encre de Chine.

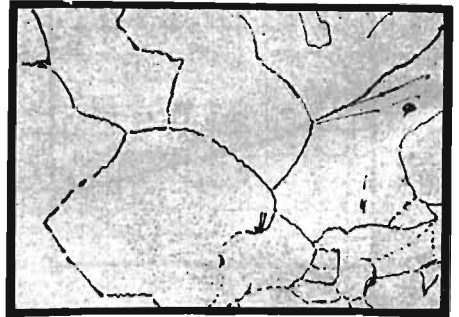
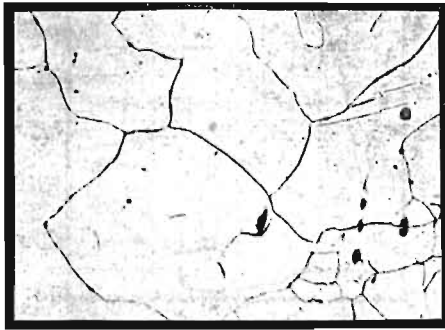


Fig. 56. Acier à 25% de Ni, refroidi rapidement. Structure austénitique. Gr.=200. A gauche microphotographie, à droite dessin à la plume.

## 6-ème MANIPULATION.

### MACROSCOPIE.

La sixième manipulation donne des connaissances, très importantes pour la pratique, sur la macroscopie. Les échantillons d'acier sont étudiés successivement au réactif acide, au réactif à l'iode, au réactif au cuivre, afin de déterminer le degré de ségrégation des impuretés et la nature des traitements mécaniques antérieurs.

#### a) Appareils.

La disposition des appareils représente la fig. 57, alors que sur le schéma correspondant sont indiqués les N-os de l'inventaire.



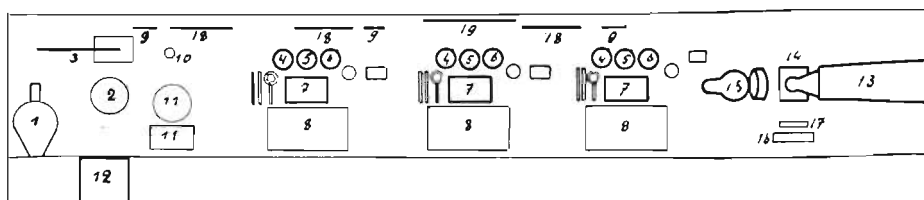
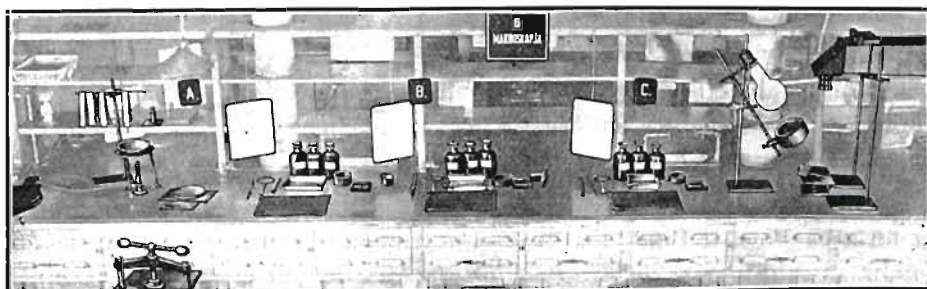


Fig. 57. Disposition des appareils pour la sixième manipulation.

No.	APPAREILS	Nombres
1	Soufflet à main pour sécher les échantillons . . . . .	1
2	Colle dans une soucoupe. Trépied. Brûleur . . . . .	1
3	Su port pour sécher les papiers encollés . . . . .	1
4 à 6	Réactifs: 1 <sup>o</sup> Chromique: 1% CrO <sub>3</sub> H <sub>2</sub> , 10% HCl + eau; 2 <sup>o</sup> de Heyn: solution à 9% de chlorure double de cuivre et d'ammonium dans l'eau;	
	3 <sup>o</sup> à l'iode: solution à 10% d'iode dans l'alcool. . . . .	3
7	Cuvette 13 × 18 cm. Fer plat (vieille lame de scie tordue). Pinceau pour l'iode. Fil de fer garni d'ouate au bout . . . . .	3
8	Papier émeri 0000 et potée d'émeri 0000. Echantillons d'acier	3
10	Flacons d'encre grasse. Bouchon de caoutchouc. Plaque de fer. Linge fin. . . . .	3
11	Papier à reproduction. Rond et feuille de caoutchouc. Plaque de fer. Carton. . . . .	1
12	Presse à copier. . . . .	1
13	Chambre photographique montée sur 4 supports. Drap noir, dispositif de projection, objectif f = 27 cm. . . . .	1
14	Planchette pour remonter l'échantillon . . . . .	1
15	Support avec condenseur (f = 17 cm) et lampe (Phillips-Argenta 300 w). . . . .	1
16	Règle graduée en centimètres. . . . .	1
17	Règle graduée en millimètres. . . . .	1
9, 18 et 19	Tableaux d'instructions. Inscriptions . . . . . Sur une autre table: Planches pour le polissage. . . . . Photographies et dessins des échantillons étudiés . . . . .	4  3 1

*b) Instructions.*

Cette manipulation a pour but l'étude des impuretés d'un acier et de ses traitements mécaniques antérieurs, par un examen à l'oeil nu des images obtenues par corrosion du métal.

A. Réactif acide. I. L'échantillon sera bordé d'un papier graissé et formera ainsi le fond d'un récipient rempli d'acide. Après avoir fait fondre la colle grasse (50% de colophane, 25% de suif et 25% de paraffine), y tremper une bande de papier et la suspendre sur un fil de fer jusqu'à, ce qu'elle cesse de coller aux doigts.

II. Polir l'échantillon 1 (morceau de rail) au papier émeri 0000, laver à l'eau et sécher au soufflet. Terminer le polissage au papier potée d'émeri 0000, laver et sécher.

III. Chauffer un fer plat sur le brûleur; appliquer la bande de papier par la moitié de sa largeur contre l'échantillon et la presser au point de contact avec le fer chaud. Coller ainsi le papier tout autour de la pièce en promenant convenablement le fer. Contrôler avec de l'eau l'étanchéité du récipient obtenu.



Fig. 58.  
Attaque de la pièce.

IV. Verser sur la surface de la pièce, dans la cuvette formée, le réactif acide (10% d'acide chlorhydrique et 1% d'acide chromique). Remuer légèrement la pièce.

V. Après lavage et séchage de l'échantillon, observer la figure obtenue par corrosion, la dessiner et conclure sur la qualité du métal étudié.

VI. Après une attaque assez prononcée au réactif acide, la pièce peut être employée comme un cliché d'imprimerie pour la reproduction. Dans ce but on frotera la surface de la pièce avec un bouchon de caoutchouc trempé dans de l'encre d'imprimerie, puis on l'essuiera délicatement avec un linge presque jusqu'à sec. Sur un carton, on étendra une fine feuille de caoutchouc, puis par dessus une feuille de papier humide; on placera l'échantillon par dessus, la face tournée vers le bas, puis une tôle et un rond de caoutchouc. L'ensemble sera mis sous la presse et serré d'un demi-tour du volant.

B. Le réactif au cuivre. I. Après avoir poli la section de l'échantillon 2 (un tube), comme on l'a indiqué ci-dessus, la badigeonner de réactif de Heyn (solution dans l'eau à 9% de chlorure double de cuivre et d'ammonium) au moyen d'un tampon d'ouate roulé sur un fil de fer. Continuer jusqu'à apparition de l'image.

II. La pièce, ainsi attaquée, doit être lavée à l'eau et séchée. Dessiner l'image observée et en déduire la qualité du métal et son traitement.

C. Le réactif à l'iode. I. Recouvrir, au moyen d'un pinceau, la surface polie, de l'échantillon 3 (fragment à rivets) avec du réactif à l'iode (solution alcoolique à 10% d'iode). Passer légèrement le pinceau jusqu'à ce que la teinte brune disparaisse et que l'image apparaisse nettement.

II. Laver le pièce à l'eau et la sécher. Dessiner l'image obtenue et en déduire les résultats relatifs à la qualité du métal et à son traitement mécanique.

D. Montage pour la photographie. I. Visser l'objectif  $O$  devant le miroir  $L$  de la chambre photographique (fig. 59). Placer, au dessous, la pièce  $E$  sur le support et l'éclairer au moyen de la lampe  $Z$  et de la lentille  $S$ .

II. Observer l'image étudiée sur le verre dépoli  $M$  en plaçant la pièce à une distance convenable de l'objectif, en déplaçant le support et, si ce mouvement ne suffit pas, en relevant ou en abaissant la chambre photographique.

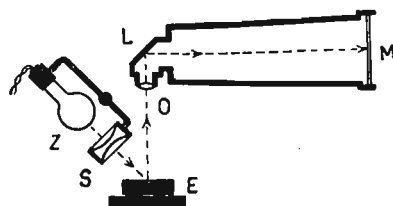


Fig. 59.

Photographie d'une macroscopie.

III. Mettre sur la pièce un papier portant une graduation en cm. Mesurer la grandeur de son image sur le verre dépoli et en déduire le grandissement obtenu.

#### Plan du travail

L'élève A

Eclaire la pièce

L'élève B

Règle la position de la pièce

L'élève C

Observe l'image sur le verre dépoli et la montre aux élèves A et B

#### c) Renseignements.

Les renseignements sont fournis uniquement par les photographies et les dessins des pièces étudiées. Ces pièces sont choisies, en général, de façon que l'une d'entre elles montre la ségrégation provenant de la coulée, alors que les deux autres sont intéressantes pour leur traitement mécanique. Pour montrer la ségrégation on prend généralement, avec succès, un profilé ou un rail (fig. 60). Les phosphures et les sulfures, qui se solidifient à la fin, sont rassemblés dans la partie médiane de la pièce et permettent d'apprécier l'état de pureté du métal ainsi que les conditions de coulée (coulée chaude ou froide).

Pour étudier le traitement mécanique, on a pris une section de tube soudé par recouvrement et une section de construction métallique passant par l'axe d'un rivet.

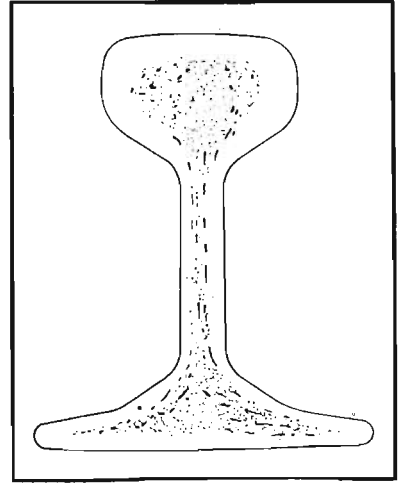
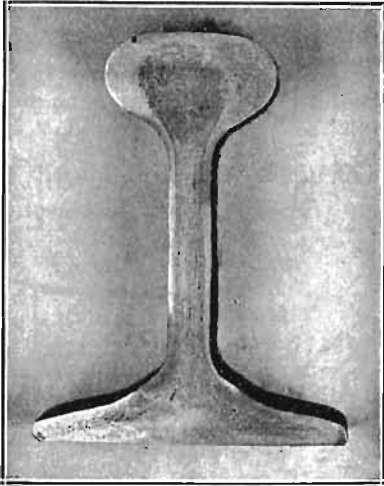


Fig. 60. Section de rail attaquée au réactif chromique. A gauche photographie, à droite dessin à la plume.

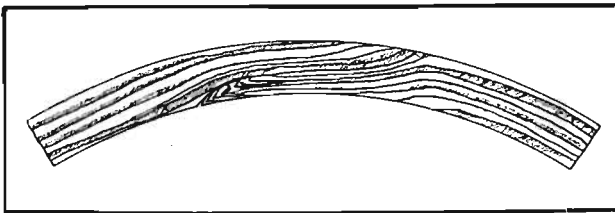
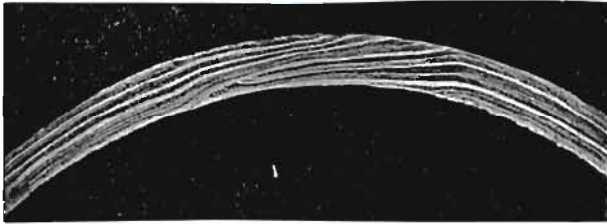
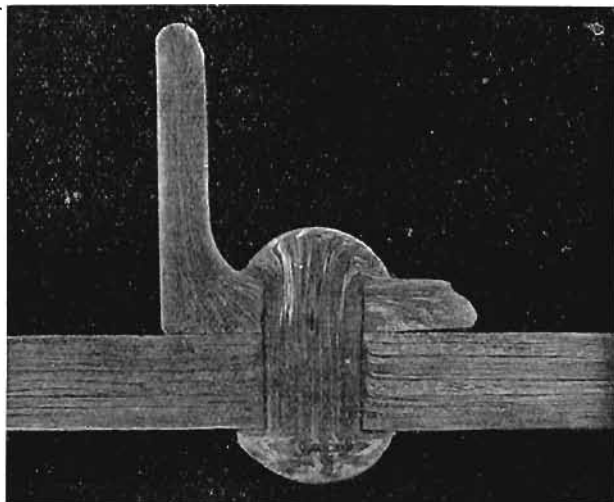


Fig. 61. Section de tube montrant la soudure. Attaque par réactif au cuivre. Au-dessus photographie, au-dessous dessin à la plume.

Sur la section du tube, on remarque la soudure qui aurait pu passer inaperçue, si on n'avait employé un examen macroscopique (fig. 61). La coupe de construction métallique (fig. 62) montre que les trous de rivet ont été faits à l'emporte-pièce et non à la perceuse, ainsi que le côté sur lequel s'est fait le rivetage.



### 7-ème MANIPULATION.

#### SOUDURE ET ÉTALONNAGE d'un COUPLE THERMOÉLECTRIQUE.

Les quatre dernières manipulations sont consacrées à des réglages et étalonnages de pyromètres et à leur emploi. La 7-ème manipulation commence la série par la soudure d'un couple thermoélectrique à l'arc électrique et son étalonnage aux températures d'ébullition de la naphthaline, du soufre et du zinc.

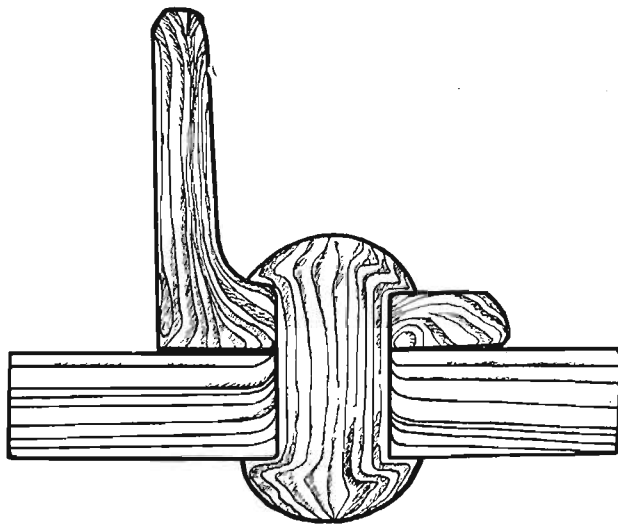


Fig. 62. Section de construction métallique par l'axe d'un rivet, attaquée au réactif à l'iode. Au-dessus photographie, au-dessous dessin à la plume.

#### a) Appareils.

La soudure et l'étalonnage du couple se font successivement sur deux tables (fig. 2).

La fig. 63 indique la disposition des appareils pour la soudure du couple.

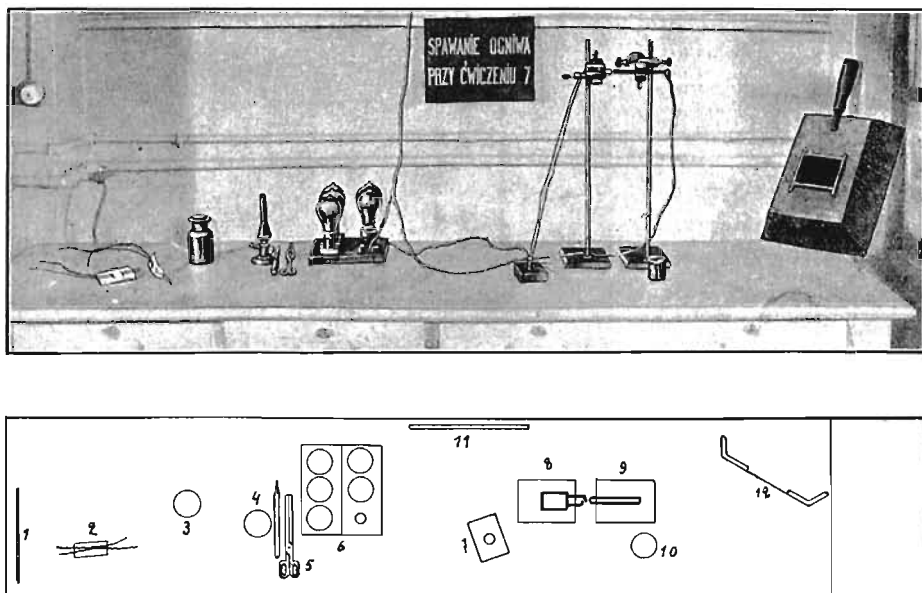


Fig. 63. Disposition des appareils pour la soudure du couple.

No.	A P P A R E I L S	Nombres
1	Tableau d'instruction . . . . .	1
2	Fils métalliques pour les trois couples (nichrome-constantan).	6
3	Flacon de borax . . . . .	1
4	Brûleur Bunsen . . . . .	1
5	Pincettes et lime. Etai. . . . .	1
6	Résistance à lampe (actuellement en manganine). . . . .	1
7	Borne pour le couple thermoélectrique . . . . .	1
8	Support avec dispositif pour fixer le couple . . . . .	1
9	Support avec charbon d'arc fixé. Fil métallique pour vérifier le sens du courant . . . . .	1
10	Verre d'eau . . . . .	1
11	Inscription. . . . .	1
12	Verre bleu monté sur un écran . . . . .	3

La fig. 64 indique la disposition des appareils pour l'étalonnage du couple.

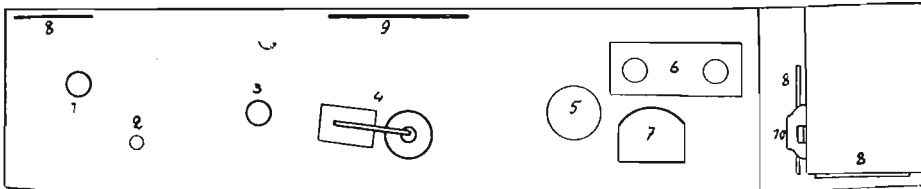
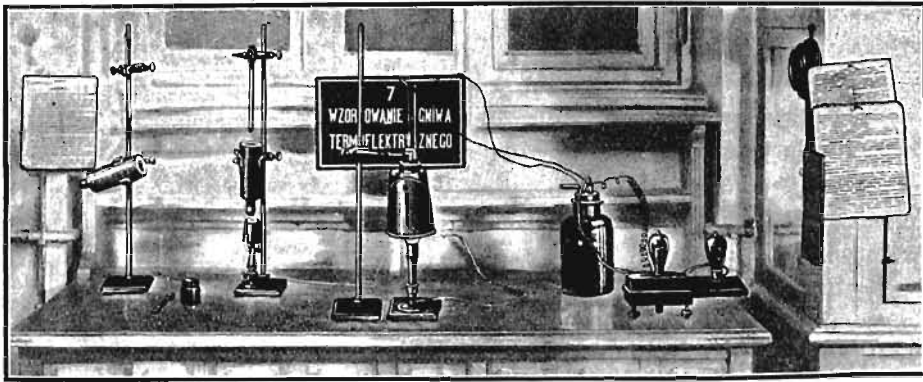


Fig. 64. Disposition des appareils pour l'étalonnage du couple thermoélectrique.

No.	APPAREILS	Nombres
1	Support avec récipient à naphthaline et tube de verre pour le couple. Brûleur Bunsen . . . . .	1
2	Flacon avec charbon de bois pulvérisé et cuiller . . . . .	1
3	Support avec récipient à soufre et tube de verre pour le couple. Brûleur Bunsen . . . . .	1
4	Support avec réchaud pour le chauffage du zinc; couvercle percé d'un trou pour fermer le creuset à zinc. Support avec tube de quartz pour protéger le couple. Brûleur Meker . . . . .	1
5	Flacon pour plonger la soudure froide du couple. Thermomètre pour la mesure de la température de l'eau. Couple thermoélectrique . . . . .	1
6	Résistance (à lampes ou en manganine) . . . . .	1
7	Galvanomètre . . . . .	1
8 et 9	Tableaux d'instructions et inscriptions . . . . .	5
10	Baromètre. . . . .	1

*b) Instructions.*

Le but de cette manipulation est de trouver la relation entre la température et la force électromotrice du couple construit par les élèves.

A. Soudure du couple. I. Relier le couple à la borne et mettre le bouchon de prise dans la prise de courant. Brancher un fil de cuivre sur le conducteur qui va au charbon à arc et fermer le circuit, en plongeant dans de l'eau les extrémités de ce fil et du couple thermoélectrique. Vérifier alors que le courant circule bien dans le sens convenable: le couple thermoélectrique doit être relié au pôle négatif, qui est indiqué par le plus fort dégagement gazeux dans l'eau. Si le courant ne circule pas dans le bon sens, retourner le bouchon de prise pour l'inverser.

II. Serrer dans un étau à main les deux fils du couple, entre deux feuilles de plomb et tortiller, au moyen des pinces, les extrémités qui dépassent.

III. Mouiller avec de l'eau les extrémités ainsi roulées, les saupoudrer de borax, puis le fondre à la flamme du brûleur.

IV. Gratter avec la lime la pointe du couple ainsi formé.

V. Fixer le couple thermoélectrique sur le support (fig. 65), rapprocher le charbon de l'extrémité du couple jusqu'à ce que l'arc jaillisse et qu'une goutte fondue se forme. Ne regarder qu'à travers le verre de couleur.

B. Mesure. I. Fixer sur le support, bien verticalement, le récipient à naphthaline, y plonger le couple thermoélectrique (constantan-nichrome) dans son tube de protection et de façon que la soudure du couple se trouve à deux ou trois cm. au-dessus du niveau de la naphthaline, dans la partie entourée de plâtre.

II. Placer le galvanomètre, bien horizontalement, avec le niveau sphérique et amener l'aiguille sur la division zéro. Réunir le galvanomètre aux conducteurs du couple et de la résistance.

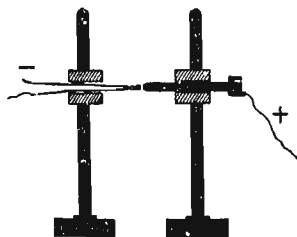


Fig. 65. Disposition du couple pour la soudure.

III. Chauffer graduellement le récipient, au moyen du brûleur, jusqu'à ébullition de la naphthaline. Lire l'indication du galvanomètre, restée constante trois minutes, au moins, pendant l'ébullition de la naphthaline. Noter cette indication qui correspond au point d'ébullition de la naphthaline  $217,96^{\circ} + 0,058 (p - 760)$ , où  $p$  est la pression atmosphérique lue sur le baromètre.

Déterminer la température des extrémités froides du couple.

IV. Enlever le récipient à naphthaline. Etalonner le couple thermoélectrique par le procédé décrit ci-dessus, pour la température d'ébullition du soufre qui est  $444,5^{\circ} + 0,09 (p - 760)$ . Après mesure faite, incliner le récipient à soufre jusqu'à une position voisine de l'horizontale.

V. Couvrir le zinc, se trouvant dans le creuset sur le support, d'un petit peu de charbon de bois en poudre (environ 0,5 gramme), recouvrir d'un couvercle percé d'un trou, fixer le tube de porcelaine de protection



à environ 1 cm. du niveau du zinc; chauffer avec le grand brûleur jusqu'à ébullition du zinc:  $918^{\circ} + 0,125 (p - 760)$ , en étalonnant le couple comme on l'a déjà indiqué<sup>1)</sup>.

C. Calculs. I. De l'ensemble des trois équations du type  $e = A(t - t_0) + B(t^2 - t_0^2) + C(t^3 - t_0^3)$ , où  $e$  représente la force électromotrice,  $t$  successivement les températures d'ébullition de la naphthaline, du soufre et du zinc,  $t_0$  la température des extrémités froides du couple, déduire les coefficients  $A$ ,  $B$ ,  $C$ .

II. De l'ensemble des deux équations du type  $e = a(t - t_0) + b(t^2 - t_0^2)$ , où  $t$  représente successivement les températures d'ébullition du soufre et du zinc, déduire les coefficients  $a$  et  $b$ . Dessiner sur du papier millimétré, en se servant de la relation obtenue, la courbe donnant la force électromotrice en fonction de la température.

III. Calculer et comparer les résultats des deux relations, obtenues aux paragraphes I et II, pour les températures de  $700^{\circ}$  et  $1000^{\circ}$  afin de voir, si les différences sont de l'ordre de grandeur des erreurs de mesure.

IV. Interpréter, aux points de vue mathématique et physique, la signification des relations du type:

$$e = a(t - t_0) + b(t^2 - t_0^2)$$

$$\text{et } e' = a'(t - t_0) + b'(t - t_0)^2$$

utilisées pour l'étalonnage des couples thermoélectriques.

#### Plan du Travail.

L'élève A	L'élève B	L'élève C
Règle et observe le galvanomètre.	Chauffe la naphthaline.	Lit le baromètre et le thermomètre.
Lit le thermomètre.	Observe le galvanomètre.	Chauffe le soufre.
Chauffe le zinc (environ 15 minutes).	Lit le thermomètre.	Observe le galvanomètre.

#### c) Renseignements.

Les compléments pour cette manipulation sont contenus dans le tableau II qui permet le calcul des coefficients des équations devant représenter le résultat de l'étalonnage du couple. La fig. 66 montre que l'équation I est la différence de deux portions de la courbe  $e = at + bt^2$ . La fig. 67 montre que l'équation II peut s'obtenir par une translation de l'axe des forces électromotrices de  $O^{\circ}$  à  $t^{\circ}$ .

<sup>1)</sup> Au lieu du zinc, on peut employer le cadmium dont le point d'ébullition est donné par:  $778^{\circ} + 0,11 (p - 760)$ . La température de fusion de l'argent  $F = 961^{\circ}$  peut aussi être employée; on établit alors une courbe de fusion de l'argent conformément aux indications de la 8-ème manipulation.

## TABLEAU II.

Calcul des coefficients numériques des équations utilisées pour l'étalonnage du couple.

Symboles:  $e$  — déviation du galvanomètre correspondant à la température  $t$ .

$e_1$  — déviation du galvanomètre correspondant à  $t_1$  température d'ébullition de la naphthaline.

$e_2$  — déviation du galvanomètre correspondant à  $t_2$  température d'ébullition du soufre.

$e_3$  — déviation du galvanomètre correspondant à  $t_3$  température d'ébullition du zinc.

$t_0$  — température ambiante.

I.  $e = a(t - t_0) + b(t^2 - t_0^2) = [at^2 + bt^2] - [at_0^2 + bt_0^2]$  v. fig. 66,

$$b = \frac{1}{t_3 - t_2} \left[ \frac{e_3}{t_3 - t_0} - \frac{e_2}{t_2 - t_0} \right]$$

$$a = \frac{e_2}{t_2 - t_0} - b(t_2 + t_0) = - \left[ \frac{e_3(t_2 + t_0)}{t_3 - t_0} - \frac{e_2(t_3 + t_0)}{t_2 - t_0} \right]$$

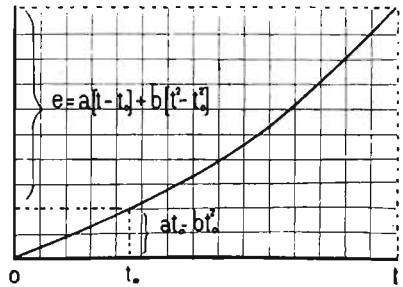


Fig. 66.

Courbe représentative de l'équation I.

II.  $e' = a'(t - t_0) + b'(t - t_0)^2$  v. fig. 67,

$$b' = \frac{1}{t_3 - t_2} \left[ \frac{e'_3}{t_3 - t_0} - \frac{e'_2}{t_2 - t_0} \right]$$

$$a' = \frac{e'_2}{t_2 - t_0} - b'(t_2 - t_0) = - \frac{1}{t_3 - t_2} \left[ \frac{e'_3(t_2 - t_0)}{t_3 - t_0} - \frac{e'_2(t_3 - t_0)}{t_2 - t_0} \right]$$

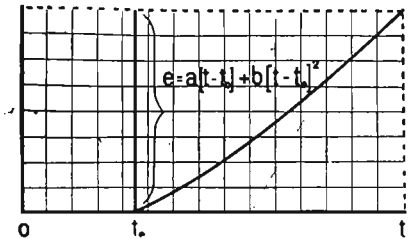


Fig. 67.

Courbe représentative de l'équation II.

III.  $e = A(t - t_0) + B(t^2 - t_0^2) + C(t^3 - t_0^3)$

$$C = \frac{1}{t_3 - t_1} \left[ \frac{e_3}{t_3 - t_0} - \frac{e_2}{t_2 - t_0} - \frac{e_2}{t_2 - t_0} - \frac{e_1}{t_1 - t_0} \right]$$

$$B = \frac{1}{t_3 - t_2} \left[ \frac{e_3}{t_3 - t_0} - \frac{e_2}{t_2 - t_0} \right] - C(t_3 + t_2 + t_0) = \frac{1}{t_3 - t_1} \left[ - \frac{t_2 + t_1 + t_0}{t_3 - t_2} \left( \frac{e_3}{t_3 - t_0} - \frac{e_2}{t_2 - t_0} \right) + \frac{t_3 + t_2 + t_0}{t_2 - t_1} \left( \frac{e_2}{t_2 - t_0} - \frac{e_1}{t_1 - t_0} \right) \right]$$

$$A = \frac{e_3}{t_3 - t_0} - B_i(t_3 + t_0) - C(t_3^2 + t_3 t_0 + t_0^2) =$$

$$= \frac{e_1}{t_1 - t_0} \left[ t_3^2(t_0 + t_2) - t_2^2(t_0 + t_3) \right] + \frac{e_2}{t_2 - t_0} \left[ t_1^2(t_0 + t_3) - t_3^2(t_0 + t_1) \right] + \frac{e_3}{t_3 - t_0} \left[ t_2^2(t_0 + t_1) - t_1^2(t_0 + t_2) \right]$$

$$= \frac{t_3^2(t_0 + t_2) - t_2^2(t_0 + t_3) + t_1^2(t_0 + t_3) - t_3^2(t_0 + t_1) + t_2^2(t_0 + t_1) - t_1^2(t_0 + t_2)}{t_3^2(t_0 + t_2) - t_2^2(t_0 + t_3) + t_1^2(t_0 + t_3) - t_3^2(t_0 + t_1) + t_2^2(t_0 + t_1) - t_1^2(t_0 + t_2)}$$

## 8-ème MANIPULATION.

### ANALYSE THERMIQUE.

Le couple thermoélectrique étalonné sert, dans la 8-ème manipulation, à l'analyse thermique d'alliages peu compliqués, par exemple de l'alliage étain-plomb. On détermine les courbes de fusion de six échantillons, celles-ci servent à établir le diagramme de fusion et les courbes de durée de la solidification eutectique.

#### a) Appareils.

La disposition des appareils est représentée sur la fig. 68.

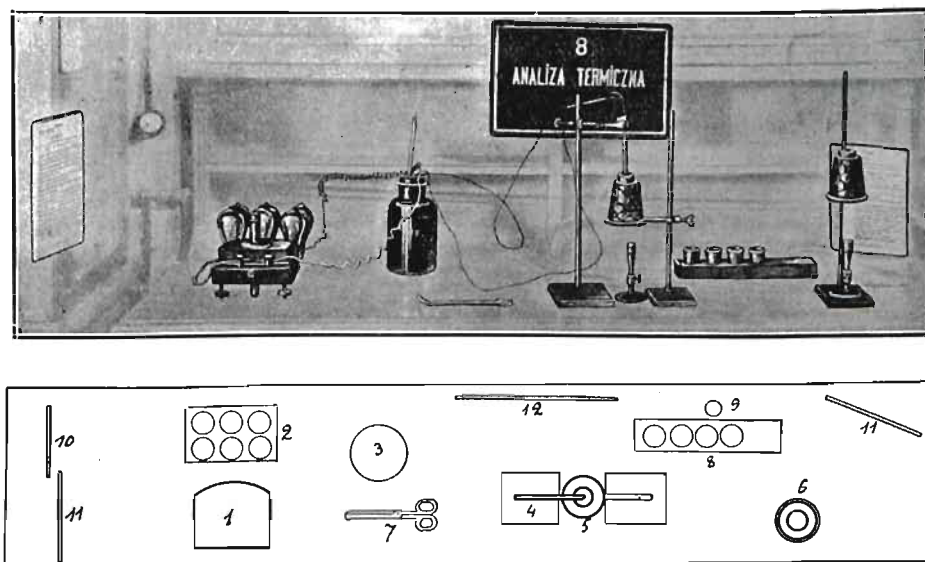


Fig. 68. Disposition des appareils pour la huitième manipulation.

No.	A P P A R E I L S	Nombre
1	Galvanomètre . . . . .	1
2	Rhécostat de lampes (ou de manganine) . . . . .	1
3	Flacon disposé pour recevoir un thermomètre et les extrémités froides du couple . . . . .	1
4	Couple (nichrome-constantan), en tube de fer de protection et fixé sur un support. . . . .	1
5 et 6	Réchaud à gaz sur support et son brûleur Meker . . . . .	2
7	Pincés . . . . .	1
8	Moule de plâtre contenant 6 alliages dans leurs creusets. . . . .	1
9	Flacon contenant du charbon de bois en poudre et une cuiller . . . . .	1
10 et 12	Tableaux d'instructions et inscriptions . . . . .	6

*b) Instructions.*

Le but de cette manipulation est l'établissement du diagramme de fusion de l'alliage étain-plomb, en se servant des courbes de solidification de quelques alliages particuliers.

I. Placer le creuset, contenant le métal, dans le réchaud monté sur son support; fondre le métal sous une couche de 1 mm. de charbon de bois.

II. Après avoir bien mélangé l'alliage, avec une baguette de charbon, glisser le support jusqu'auprès du couple thermoélectrique, recouvrir le creuset d'un couvercle, percé en son centre et plonger le couple, muni de son tube de protection, dans le métal fondu. Fixer les conducteurs aux bornes du galvanomètre.

III. Dès que la température du bain métallique commence à baisser, relever les indications du galvanomètre toutes les 30 secondes.

IV. Après la prise en masse complète du métal, il faudra le refondre et enlever alors le couple.

V. Ecarter le support avec l'alliage étudié et replacer le creuset dans le moule de plâtre. Approcher le second support avec l'alliage fondu préalablement par l'un des étudiants pendant que l'expérience précédente (III) était faite par les 2 autres.

VI. Répéter ces opérations avec les autres alliages Pb-Sn.

VII. Exécuter alors le tracé, sur papier millimétré, des courbes de refroidissement, en portant, à des échelles convenables, sur l'axe des abscisses les temps et sur l'axe des ordonnées les forces électromotrices du couple.

Calculer les températures des points anguleux et des paliers pour établir, d'après ces résultats, le diagramme de fusion et la courbe des paliers en fonction de la composition des alliages étudiés.

La correspondance entre les indications du galvanomètre et les températures est donnée par la courbe (fig. 69) jointe à la manipulation.

Plan de Travail.

Alliages 1 et 2.

L'élève A  
Chauffe successivement les alliages.

L'élève B  
Donne toutes les 30 secondes un «top» précédé, 5 sec. auparavant, de «attention».

L'élève C  
Règle le galvanomètre et lit ses indications.

Remplit les fonctions de l'élève B.

Alliages 3 et 4.  
Remplit les fonctions de l'élève C.

Remplit les fonctions de l'élève A.

Remplit les fonctions de l'élève C.

Alliages 5 et 6.  
Remplit les fonctions de l'élève A.

Remplit les fonctions de l'élève B.

No.	Alliages.		Poids en gr.
	Composition		
1	Pb = 0%	Sn = 100%	80
2	Pb = 20%	Sn = 80%	80
3	Pb = 37%	Sn = 63%	80
4	Pb = 50%	Sn = 50%	100
5	Pb = 75%	Sn = 25%	100
6	Pb = 100%	Sn = 0%	110

c) Renseignements.

Pour cette manipulation, on donne pour tout complément, la courbe de correspondance entre les indications du galvanomètre et les températures du couple, ainsi que le diagramme de fusion des alliages étudiés.

La courbe de correspondance entre les déviations ( $e$ ) du galvanomètre et les températures ( $t$ ) du couple (fig. 69) a été obtenue par l'étalonnage du couple fait précédemment; elle sert à la détermination graphique des températures des points singuliers des courbes de refroidissement.

Le diagramme de fusion des alliages étain-plomb sert à contrôler les résultats obtenus pendant la manipulation.

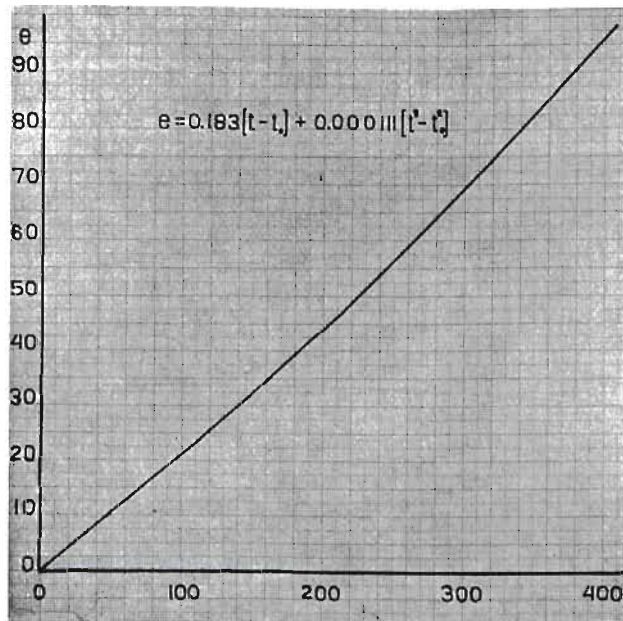


Fig. 69. Courbe donnant les déviations du galvanomètre en fonction de la température du couple.

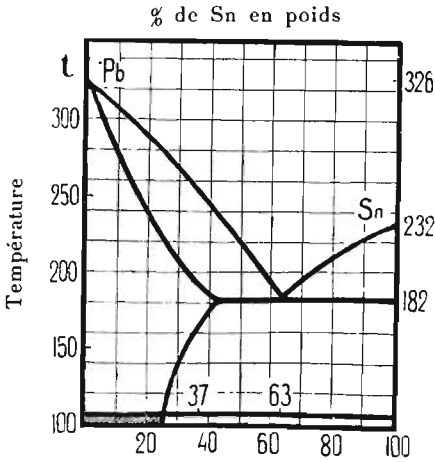


Fig. 70. Diagramme de fusion des alliages plomb-étain.

## 9-ème MANIPULATION.

### OBSERVATION DES POINTS DE TRANSFORMATION DE L'ACIER.

Au cours de la 9-ème manipulation l'élève procède à la détermination, par la méthode différentielle, des points thermiques de transformation de l'acier. Un couple indique alors la température de l'échantillon chauffé au four électrique alors qu'un autre couple donne la différence des températures entre l'échantillon étudié et un étalon ne présentant pas de points de transformation. En se servant des résultats obtenus, on calcule et on trace les courbes d'Osmond,

de Roberts-Austen, de Rosenhain donnant les températures des phénomènes thermiques accompagnant les points de transformation.

#### a) Appareils.

La disposition des appareils pour cette manipulation est représentée sur fig. 71.

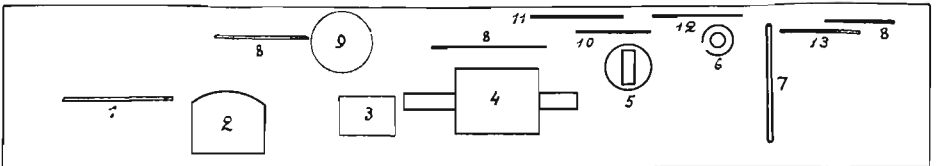
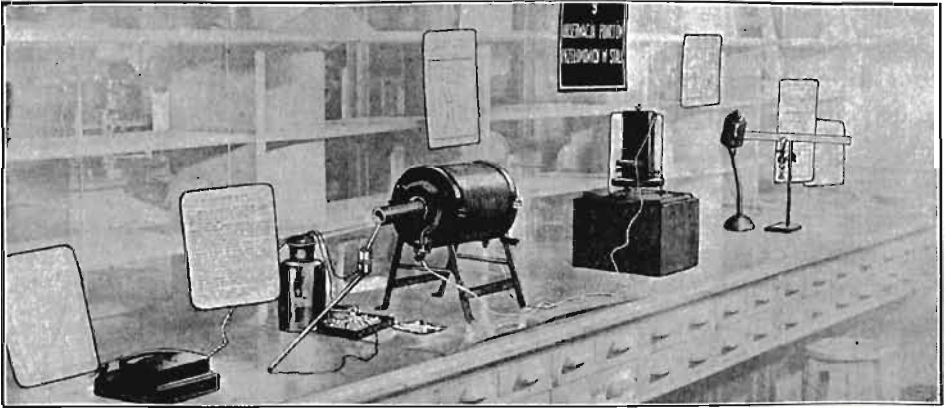


Fig. 71. Disposition des appareils pour la neuvième manipulation.

No.	A P P A R E I L S	Nombre
1	Tableau: courbe donnant la déviation du galvanomètre en fonction de la température du couple. . . . .	1
2	Galvanomètre . . . . .	1
3	Amiante pour envelopper et isoler les échantillons et pour fermer les orifices du four. . . . .	1
4	Four électrique à résistance contenant: un tube de porcelaine de 50 cm. de longueur, un couple différentiel, l'éprouvette d'acier, une éprouvette identique de nichrôme	
	Des fils de nichrôme pour lier les éprouvettes . . . . .	1
5	Galvanomètre à miroir placé sur une plaque de plomb, un feutre et une boîte. . . . .	
6	Lampe électrique sur un support . . . . .	
7	Graduation en mm. sur un support. . . . .	1
8	Tableaux d'instructions. . . . .	1
9	Flacon disposé pour recevoir un thermomètre et les extrémités froides du couple. . . . .	3
10-13	Tableaux . . . . .	1

### b) Instructions.

Le but de cette manipulation est la détermination des points de transformation de l'acier par la mesure du temps nécessaire au refroidissement à des températures diverses (courbe d'Osmond) ou par l'observation des différences de température entre l'éprouvette étudiée et une éprouvette — étalon dépourvue de points de transformation (courbes de Roberts-Austen et de Rosenhain).

A. Détermination des points de transformation par la méthode différentielle de Roberts-Austen. I. Le couple thermoélectrique différentiel nichrôme-constantan présente deux soudures, dont l'une est placée entre les deux moitiés d'une éprouvette d'acier et l'autre dans une éprouvette-étalon dite «neutre» (de nickel ou de nichrôme). Le galvanomètre *R* indique la différence des températures de ces éprouvettes.



Fig. 72. Disposition des galvanomètres pour la méthode différentielle.

Le deuxième couple thermoélectrique, relié au galvanomètre *G*, indique la température de l'acier (fig. 72).

II. Dans deux rainures perpendiculaires, faites dans une des moitiés de l'éprouvette d'acier, on place la soudure du couple qui donne la température et une des soudures du couple différentiel, puis on applique l'autre moitié de l'éprouvette et on lie avec un fil de nichrôme (fig. 73). La seconde soudure du couple différentiel est placée de façon analogue dans

l'éprouvette neutre. Les deux éprouvettes sont séparées par du carton d'amiante et enveloppées d'une fine couche de carton d'amiante, on les lie ensemble alors avec un fil de nichrôme et on les place exactement au milieu du four électrique.

III. Après la mise en circuit du four électrique, lire et noter toutes les 30 secondes les déviations du galvanomètre  $G$  et  $R$ .

IV. Quand la température du four a atteint  $1000^{\circ}$ , couper le courant et pendant le refroidissement, jusqu'à  $400^{\circ}$ , lire et noter de la même façon les déviations  $E$  du galvanomètre  $G$  (température de l'acier) et les déviations  $e$  du galvanomètre  $R$  (différences des températures de l'acier et du nichrôme).

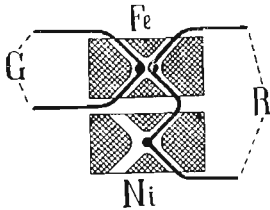


Fig. 73.

Schéma de l'installation des couples pour la méthode différentielle.

V. Mettre en évidence les résultats des mesures en traçant les courbes différentielles d'échauffement et de refroidissement (voir modèles) en portant, à des échelles convenables, sur l'axe des abscisses les déviations du galvanomètre  $G$  et sur l'axe des ordonnées celles du galvanomètre  $R$ , soit  $e = f(E)$ .

VI. Calculer les températures de transformation, marquées sur la courbe différentielle, par les points à plus fort coefficient angulaire. La correspondance entre les déviations du galvanomètre  $G$  et la température est indiquée par une courbe, donnée sur un graphique.

B. Détermination des points de transformation par la méthode d'Osmond. I. En se servant des mesures faites au galvanomètre  $G$ , déterminer, pour chaque déviation relevée, le temps en secondes nécessaire au refroidissement (ou à l'échauffement) de l'échantillon de 1 division du galvanomètre.

II. En portant en abscisses les déviations du galvanomètre  $G$  et en ordonnées les temps calculés correspondants, tracer la courbe d'Osmond soit  $\Delta T/\Delta E = f(E)$ . Mesurer les températures des points de transformation indiqués par les maxima de la courbe obtenu.

C. Détermination des points de transformation par la méthode de Rosenhain. I. En se servant des mesures faites précédemment, déterminer pour chaque déviation du galvanomètre  $G$ , la variation de déviation du galvanomètre  $R$  correspondant à un refroidissement (ou à un échauffement) d'une division du galvanomètre  $G$ .

II. Tracer la courbe correspondante en fonction des déviations du galvanomètre  $G$ , soit  $\Delta e/\Delta E = f(E)$  et déterminer la température des points de transformation indiqués par les maxima de la courbe.

III. Comparer les résultats obtenus par les méthodes A, B et C.



## Plan de travail.

L'élève A.	L'élève B.	L'élève C.
	<i>Chauffage.</i>	
Place les couples dans les échantillons	Règle le galvanomètre <i>G</i> . Place les échantillons dans le four.	Règle le galvanomètre <i>R</i> ;
Lit les déviations du galvanomètre <i>G</i> .	Lit les déviations du galvanomètre <i>R</i> .	Donne un «top» toutes les 30 sec. précédé 5 sec. auparavant de «attention.»
	<i>Refroidissement.</i>	
Lit les déviations du galvanomètre <i>R</i> .	Donne les «top» toutes les 30 secondes.	Lit les déviations du galvanomètre <i>G</i> .

## c) Renseignements.

Les compléments fournis pour la 9-ème manipulation sont les diagrammes donnant les points de transformation pour des aciers de teneurs variées en carbone.

La fig. 74 représente les courbes d'Osmond, au refroidissement, pour 4 aciers au carbone.

Sur la fig. 75 on voit les courbes différentielles de Roberts-Austen pour cinq qualités d'acier au carbone.

Enfin, le tableau III et la fig. 76 donnent un exemple de mesure de points de transformation, conforme aux instructions, pour un acier perlitique.

La première colonne du tableau donne le No. de la mesure. Seules des 9 colonnes suivantes, les colonnes 2, 4 et 8 donnent les résultats directs des mesures du temps  $T$  et des déviations correspondantes  $E$  et  $e$  des deux galvanomètres. Toutes les

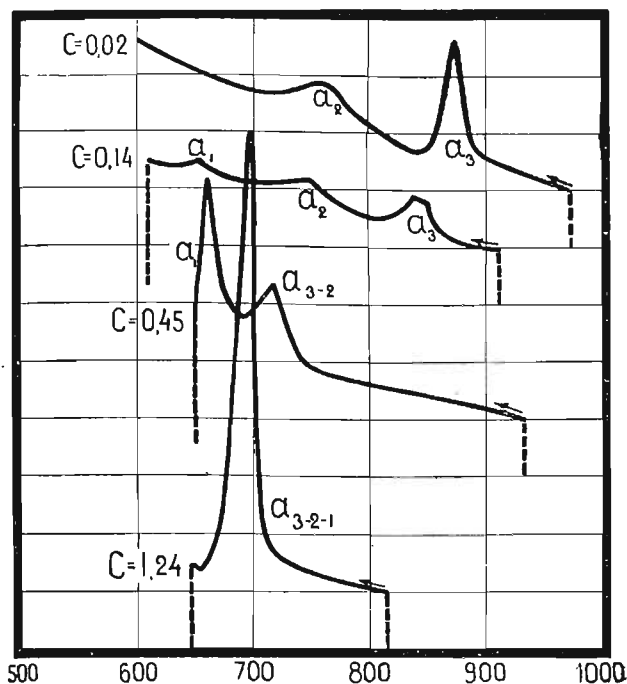


Fig. 74. Courbes d'Osmond pour des aciers contenant de 0,02% à 1,24% de carbone.

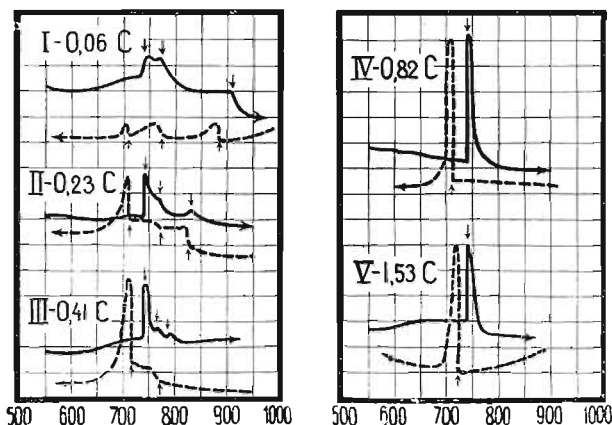


Fig. 75. Courbes de Roberts-Austen pour des aciers contenant de 0,05 à 1,53% de C.

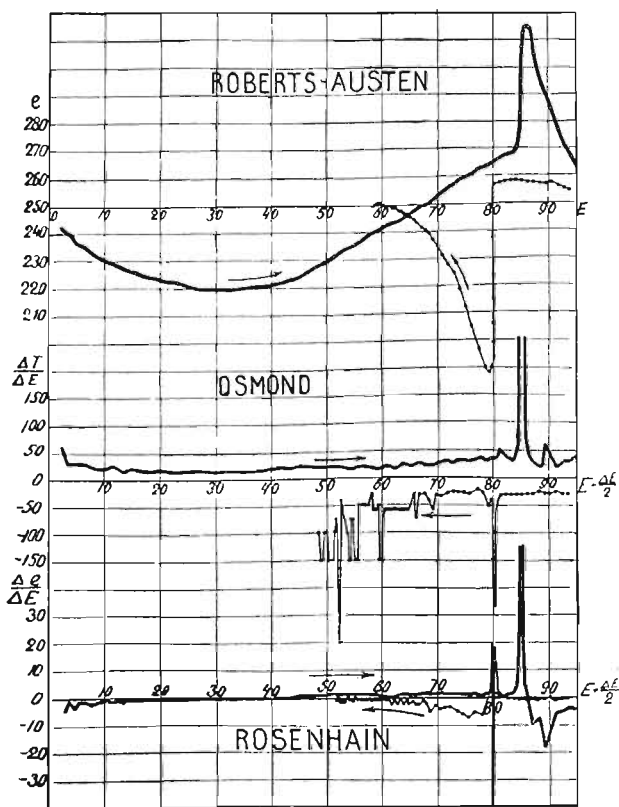


Fig. 76. Courbes de Roberts-Austen, Osmond et Rosenhain d'après des mesures faites sur l'acier perlitique (0,8% de C).

autres colonnes indiquent des résultats de calculs faits d'après les nombres précédents. En particulier, les colonnes 3, 5 et 9 donnent les différences de deux mesures successives de  $T$ , de  $E$  et de  $e$ .

En portant les valeurs  $e$  sur l'axe des ordonnées et  $E$  sur l'axe des abscisses, on obtient les courbes de Roberts-Austen. Le rapport  $\frac{\Delta T}{\Delta E}$  donne une valeur proportionnelle au temps nécessaire pour obtenir une élévation de température de l'éprouvette de  $1^\circ$  (colonne 7). En portant ces valeurs en ordonnées et  $E + \frac{\Delta E}{2}$  (colonne 6) sur l'axe des abscisses, on obtient la courbe d'Osmond.

Le rapport  $\frac{\Delta e}{\Delta E}$  (colonne 10) donne une valeur approchée de la dérivée de la courbe de Roberts-Austen et, si on le représente en fonction de  $E + \frac{\Delta E}{2}$ , on obtient une courbe de Rosenhain. La fig. 76 donne le tracé de ces trois courbes dans l'exemple envisagé.

En outre, on donne la courbe de correspondance entre les déviations du galvanomètre et les températures du couple.

TABLEAU III.

Exemple de déterminations des points de transformations de l'acier.

No.	Heures T	Durées $\Delta T$	Déviations E du galvan. G	Variations $\Delta E$	$E + \frac{\Delta E}{2}$	$\frac{\Delta T}{\Delta E}$	Déviations c du galvan. R.	Variations $\Delta c$	$\frac{\Delta c}{\Delta E}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	30 s.	2,5	0,5	2,75	60	243,0	- 2,0	- 4
2	30 sec.	30	3,0	1,0	3,5	30	241,0	- 1,0	- 1
3	1 m. 30 s.	30	4,0	1,0	4,5	30	240,0	- 3,0	- 3
4	2 m.	30	5,0	1,0	5,5	30	237,0	- 1,0	- 1
5	2 m. 30 s.	30	6,0	1,0	6,5	30	236,0	- 1,2	- 1,2
6	3 m.	30	7,0	1,1	7,55	27	234,0	- 2,3	- 2
7	3 m. 30 s.	30	8,1	1,4	8,8	21,4	232,5	- 1,5	- 1
8	4 m.	30	9,5	1,5	10,25	20	231,0	- 1,5	- 1
9	4 m. 30 s.	30	11,0	1,1	11,55	27	229,5	- 1,0	- 0,9
10	5 m.	30	12,1	1,9	13,05	15,8	228,5	- 1,5	- 0,8
11	5 m. 30 s.	30	14,0	1,5	14,75	20	227,0	- 1,0	- 0,7
12	6 m.	30	15,5	1,6	16,3	18,75	226,0	- 1,0	- 0,62
13	6 m. 30 s.	30	17,1	2,0	18,1	15,0	225,0	- 1,0	- 0,5
14	7 m.	30	19,1	1,9	20,05	15,8	224,0	- 1,0	- 0,53
15	7 m. 30 s.	30	21,0	2,0	22,0	15,0	223,0	- 1,5	- 0,75
16	8 m.	30	23,0	2,0	24,0	15,0	221,5	- 0,5	- 0,25
17	8 m. 30 s.	30	25,0	2,0	26,0	15,0	221,0	- 1,0	- 0,5
18	9 m.	30	27,0	2,0	28,0	15,0	220,0	0	0
19	9 m. 30 s.	30	29,0	2,0	30,0	15,0	220,1	0	0
20	10 m.	30	31,0	2,0	32,0	15,0	220,0	0	0
21	10 m. 30 s.	30	33,0	2,0	34,0	15,0	220,0	0	0
22	11 m.	30	35,0	2,0	36,0	15,0	220,5	+ 0,5	+ 0,25
23	11 m. 30 s.	30	37,0	2,0	38,0	15,0	221,0	+ 0,3	+ 0,15
24	12 m.	30	39,0	1,8	39,0	16,6	221,3	+ 0,7	+ 0,4
25	12 m. 30 s.	30	40,8	1,8	41,7	16,6	222,0	+ 1,0	+ 0,55
26	13 m.	30	42,6	1,9	43,55	15,8	223,0	+ 1,0	+ 0,53
27	13 m. 30 s.	30	44,5	1,7	45,35	17,6	224,0	+ 2,0	+ 1,2
28	14 m.	30	46,2	1,8	47,1	16,6	226,0	+ 2,0	+ 1,1
29	14 m. 30 s.	30	48,0	2,0	49,0	15,0	228,0	+ 2,0	+ 1,0
30	15 m.	30	50,0	1,5	50,75	20	230,0	+ 2,0	+ 1,3
31	15 m. 30 s.	30	51,5	1,5	52,25	20	232,0	+ 2,0	+ 1,3
32	16 m.	30	53,0	2,0	54,0	15	234,0	+ 2,0	+ 1,0
33	16 m. 30 s.	30	55,0	1,5	55,75	20	236,0	+ 2,0	+ 1,3
34	17 m.	30	56,5	1,5	57,25	20	238,0	+ 2,0	+ 1,3
35	17 m. 30 s.	30	58,0	1,8	58,9	16,6	240,0	+ 2,0	+ 1,1
36	18 m.	30	59,8	1,4	60,5	21,4	242,0	+ 1,2	+ 0,8
37	18 m. 30 s.	30	61,2	1,8	62,1	16,6	243,2	+ 1,0	+ 0,55

etc. etc.

## 10-ème MANIPULATION.

## ETALONNAGE DES MONTRES DE SEGER ET DU PYROMETRE OPTIQUE.

Cette dernière manipulation de la première série comprend l'étalonnage de montres de Seger et du pyromètre optique. Les indications des montres de Seger, disposées dans un four électrique à résistance, sont comparées à celles du couple thermoélectrique. Le pyromètre optique, une lunette Féry, est employé à la détermination des courbes de fusion de l'argent, et du nickel: ces courbes servent alors à l'étalonnage de l'appareil. La correspondance entre les températures et les indications du pyromètre est exprimée sous la forme d'une fonction exponentielle.

*a) Appareils.*

L'étalonnage des montres de Seger et du pyromètre optique s'effectue sur deux tables (fig. 2) dont la disposition est donnée ci-dessous.

La fig. 77 montre la disposition des appareils pour l'étalonnage des montres de Seger.

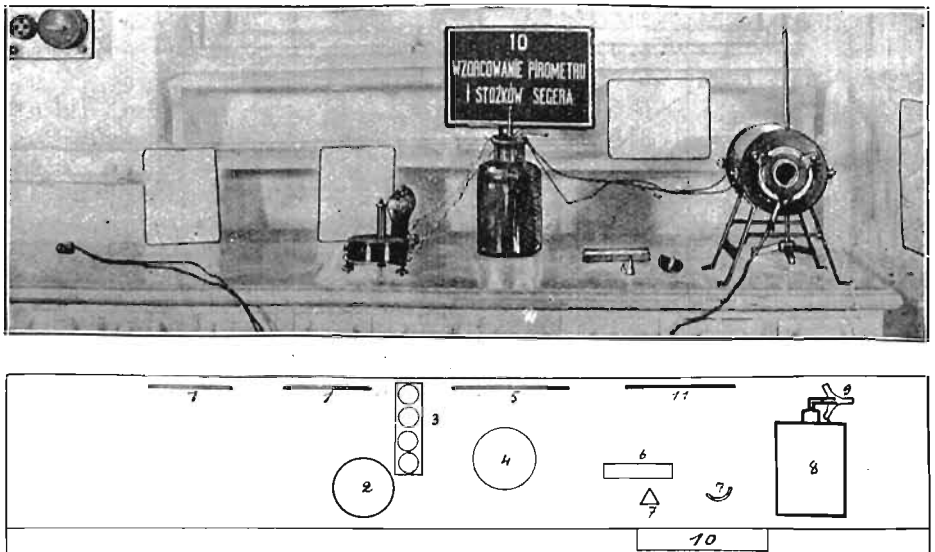


Fig. 77. Disposition des appareils pour l'étalonnage des montres de Seger.

No.	APPAREILS	Nombre
1	Tableaux d'instructions . . . . .	3
2	Galvanomètre . . . . .	1
3	Rhéostat à lampes (ou en manganine) . . . . .	1
4	Flacon disposé pour recevoir un thermomètre et les extrémités froides du couple . . . . .	1
5	Inscriptions . . . . .	1
6	Bouchon de réfractaire, percé d'un trou, pour observer les montres. Crochet pour retirer du four et pour y placer les tôles portant les montres . . . . .	1
7	Tôle recourbée avec dispositif pour placer les montres de Seger. Montres de Seger à températures de fusion variées ( $t < 1000^{\circ}$ ) . . . . .	1
8	Four électrique à résistance . . . . .	1
9	Support pour tenir le couple dans le four . . . . .	
10	Rhéostat du four électrique . . . . .	
11	Courbe donnant la température en fonction de la déviation du galvanomètre . . . . .	

La disposition des appareils pour l'étalonnage du pyromètre optique, est représentée par la fig. 78.

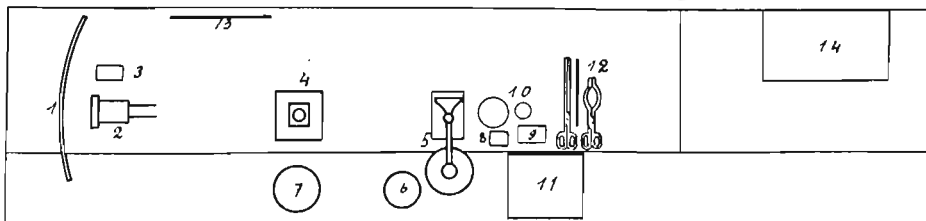
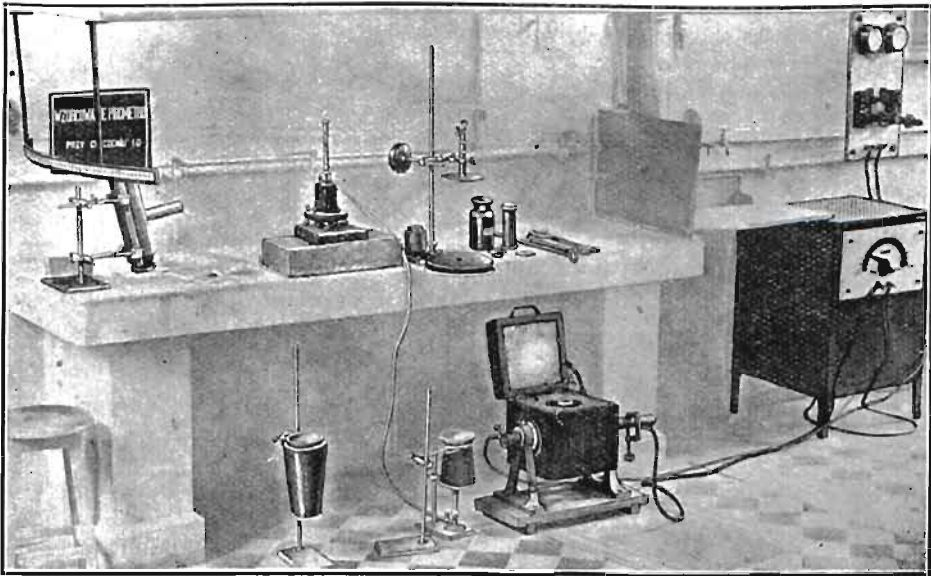


Fig. 78. Disposition des appareils pour l'étalonnage du pyromètre optique.

No.	A P P A R E I L S	Nombre
1	Echelle millimétrique de 1 m. de long . . . . .	1
2	Lampe électrique sur pied . . . . .	1
3	Interrupteur . . . . .	1
4	Galvanomètre à miroir, placé sur plaque de plomb, feutre et base en brique . . . . .	1
5	Support avec écran et pyromètre Féry . . . . .	1
6	Four à gaz disposé pour le chauffage des creusets avec de l'argent. Support avec écran; creuset contenant de l'argent pur . . . . .	1
7	Four à gaz et creuset contenant de l'argent recouvert d'oxyde de magnésium . . . . .	1
8	Tôle pour le centrage du pyromètre, portant un petit trou circulaire et un verre bleu pour l'observation du nickel . . . . .	1
9	Verre bleu . . . . .	3
10	Flacons de cryptol et d'oxyde de magnésium . . . . .	1
11	Four électrique à cryptol. Creuset de graphite à garnissage en magnésic, et contenant du nickel recouvert d'oxyde de magnésium. Ecran de protection en réfractaire . . . . .	1
12	Pincés et baguettes de porcelaine . . . . .	1
13	Inscriptions . . . . .	1
14	Rhéostat du four à cryptol . . . . .	1

*b) Instructions.*

Cette manipulation a pour but la détermination des températures de fusion des montres de Seger, par leur comparaison avec les indications d'un couple thermoélectrique et l'étalonnage de la lunette pyrométrique Féry qui se fait par comparaison avec les températures de fusion connues de certains métaux.

A. Contrôle des montres de Seger. I. Placer sur une tôle de fer, par leur bases, trois montres de Seger, par ordre de numéros décroissants et glisser doucement dans le four, puis fermer le four avec un bouchon spécial, percé d'un trou d'observation en son milieu.



Fig. 79.  
Affaissement des  
montres de Seger.

II. Noter, toutes les minutes, les températures du four et tracer la courbe de chauffage correspondante.

Noter les températures correspondant aux deux positions de chaque montre (fig. 79). Comparer les températures obtenues avec les températures données pour la fusion des montres.

B. Etalonnage de la lunette Féry. I. Allumer le brûleur à gaz se trouvant sous le creuset contenant de l'argent *S* et disposer la lunette comme l'indique la figure 80.

II. Régler l'oculaire  $L$  de la lunette, de façon à amener la soudure  $T$  du couple au foyer, en faisant glisser l'oculaire. Quand le réglage est bon, les petites irrégularités du couple, qui a la forme d'une croix, doivent apparaître très nettement.

III. Après fusion de l'argent, diriger la lunette sur la surface liquide et régler la mise au point, en approchant ou en écartant l'objectif  $O$  au moyen de la vis. Pour un bon réglage, la surface du métal (et éventuellement les impuretés) doit être nettement visible, surtout sur les bords, au contact du creuset. La soudure du couple doit se trouver au milieu de l'image apparente de la surface liquide, ce que l'on peut vérifier en plaçant sur l'écran un diaphragme percé d'un petit trou: l'image doit rester aussi nette.

IV. Allumer la lampe qui éclaire la graduation; noter le zéro, fermer le circuit contenant la lunette et le galvanomètre. Eteindre le brûleur et lire les déviations du galvanomètre, toutes les dix secondes, pour obtenir la courbe de solidification.

V. Déplacer le brûleur qui se trouvait sous le creuset contenant de l'argent pur et le mettre sous le creuset qui contient de l'argent recouvert d'une fine couche d'oxyde de magnésium ( $MgO$ ); allumer le brûleur et attendre que l'argent fonde (environ 25 min.). Etablir, comme précédemment, la courbe de solidification.

VI. Envoyer du courant dans le four électrique et augmenter progressivement son intensité jusqu'à 100 amp. Observer, avec un verre bleu, la fusion du nickel sous la couche d'oxyde de magnésium et, après fusion, disposer la lunette comme au § III, mais en se servant de l'écran à verre bleu. Couper le courant et lire, toutes les dix secondes, la déviation du galvanomètre.

VII. Tracer les courbes de solidification de l'argent pur, de l'argent recouvert de  $MgO$  et du nickel recouvert de  $MgO$ . Comparer les deux premières courbes et adopter les deux dernières pour l'étalonnage du pyromètre, en déterminant les coefficients  $a$  et  $n$  de l'équation.

$$e = a \left[ \frac{T}{1000} \right]^n$$

où  $e$  désigne les déviations du galvanomètre et  $T$  la température absolue. Comme température de fusion de l'argent on prendra  $f = 961^\circ$  et pour le nickel  $f = 1451^\circ$ . On aura alors

$$\begin{aligned} n &= 6,886 (\log e_2 - \log e_1) \\ \log a &= 1,6288 \log e_1 - 0,6288 \log e_2 \end{aligned}$$

Tracer la courbe des déviations, en fonction de la température, pour  $T$  variant de  $0^\circ$  à  $2.000^\circ$  et indiquer l'intervalle où elle est utilisable.

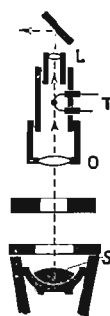


Fig. 80.  
Schéma de la disposition du pyromètre.

## Plan du travail.

L'élève A.  
Dispose et observe les montres dans le four à résistance.

Vérifie le réglage de la lunette. Fait signe toutes les 10 sec.

Enregistre la courbe de solidification de Ag.+MgO.

Dispose la lunette au dessus de Ni + MgO. Fait signe toutes les 10 sec.

L'élève B.  
Contrôle le chauffage du four à résistance.

Enregistre la courbe de solidification de l'argent.

Dispose la lunette audessus de Ag.+ MgO. Fait signe toutes les 10 secondes.

Surveille le four à cryptol.

L'élève C.  
Met le courant dans le four à cryptol, allume le brûleur sous l'argent et dispose la lunette.  
Surveille le four à cryptol.

Surveille le four à cryptol.

Enregistre la courbe de solidification de Ni + MgO.

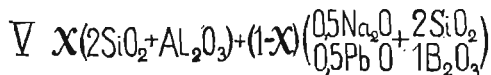
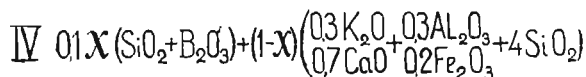
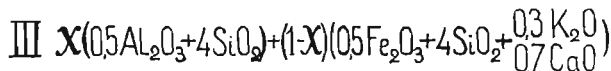
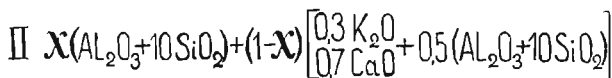
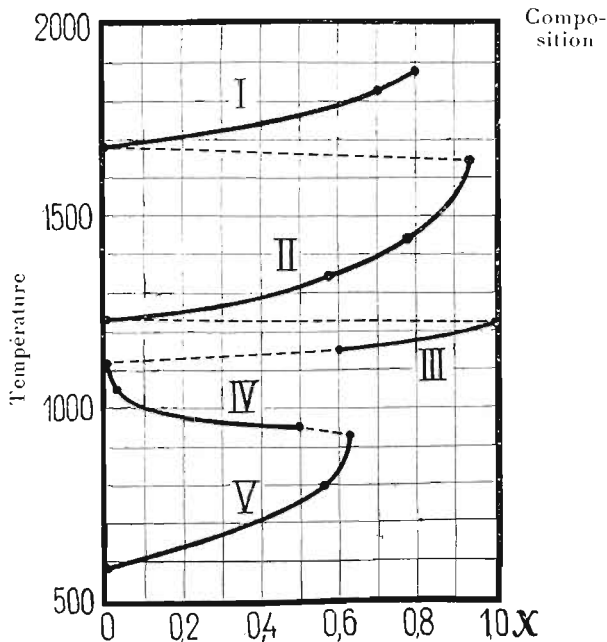


Fig. 81. Température de fusion des montres de Seger, en fonction de leur composition. Au-dessous, composition des montres rapportée à l'unité de poids. (H. Le Chatelier).

## c) Renseignements.

Les renseignements nécessaires à la 10-ème manipulation comprennent un tableau exprimant la correspondance entre les déviations du galvanomètre et les températures du couple et un tableau donnant les températures d'affaîssement des montres de Seger en fonction de leur composition.

Le tableau, qui donne la correspondance entre les indications du galvanomètre et les températures, sert à l'étalonnage des montres de Seger et s'applique jusqu'à la température de 1000°.

Le tableau donnant les températures de fusion des montres de Seger, en fonction de leur composition, est reproduit fig. 81.

Ce diagramme est relatif à la composition de 5 qualités de montres dont les points de fusion varient de 600° à 1900°.



FONCTIONS DU PREPARATEUR POUR LES TRAVAUX PRATIQUES  
DE LA PREMIERE SERIE.

*Instructions générales.*

Le préparateur doit avant chaque manipulation:

1. Disposer dans l'ordre prévu tous les appareils nécessaires à la manipulation.
2. Remplir les flacons de réactifs et d'oxyde de fer en suspension dans l'eau.
3. Changer les papiers à polir endommagés.
4. Enlever, au papier émeri, les attaques micrographiques faites par les élèves au cours de la séance précédente.
5. Veiller à ce que les tables de travaux soient bien essuyées par le garçon de laboratoire.

*Instructions particulières.*

1-ère manipulation.

Vérifier que les lamelles de verre du dispositif d'éclairage ne sont pas endommagées.

2-ème Manipulation.

1. Faire fondre les inclusions et en dégager les échantillons de fonte.
2. Vérifier l'état des piles sèches.
3. Préparer des bâtons de gomme-laque.

3-ème manipulation.

Nettoyer la coupelle à attaque au picrate de soude.

4-ème manipulation.

1. Recuire les échantillons de bronze d'étain et de bronze d'aluminium.
2. Préparer de nouvelles feuilles de papier à dessin.
3. Préparer de la ouate pour les attaques.
4. Vérifier le fonctionnement du couple thermoélectrique.

5-ème manipulation.

Vérifier les échantillons d'acier au carbone et changer ceux qui ont été abîmés par le traitement thermique.

## 6-ème manipulation.

1. Vérifier qu'il reste de la colle et de l'encre grasse.
2. Préparer du papier à empreintes et des bandes.
3. Préparer la ouïate pour les attaques.

## 7-ème manipulation.

1. Vérifier que les éprouvettes ne sont pas fêlées et y ajouter du soufre et de la naphthaline.
2. Préparer un morceau de zinc et vérifier qu'il reste du charbon de bois.

## 8-ème manipulation.

1. Vérifier le fonctionnement du couple.
2. Vérifier que les creusets d'alliage sont en ordre et qu'il y a du charbon de bois.

## 9-ème manipulation.

1. Vérifier le fonctionnement des couples, ordinaire et différentiel.
2. Vérifier la position du galvanomètre.

## 10-ème manipulation.

1. Vérifier le fonctionnement du couple pour l'étalonnage des montres.
2. Préparer les montres.
3. Vérifier que le creuset à nickel n'a pas été endommagé et disposer le four à cryptol.
4. Vérifier la position du galvanomètre.

## DEUXIEME SERIE DE MANIPULATIONS.

Les travaux pratiques de la première série donnent aux élèves-ingénieurs les connaissances nécessaires à l'emploi du microscope métallographique et du pyromètre, mais leur application aux besoins industriels n'y est pas envisagée. Ce sera le but de la deuxième série de manipulations.

Dans cette deuxième série, la première moitié forme un tout relatif à l'emploi des mesures de dureté par le procédé Le Grix. Cette mesure peut-être appliquée, même à de petits échantillons inclus.

Dans la deuxième moitié de manipulations, on étudie l'influence du revenu sur l'acier trempé ou écroui, la variation des propriétés des aciers à coupe rapide avec leur traitement thermique et on met en évidence les facteurs qui influent sur la qualité de la soudure électrique.

En outre, les élèves étudient les conditions de cémentation et de fabrication de la fonte malléable, puis recherchent les impuretés phosphoreuses et sulfureuses dans les fontes et aciers et terminent par l'analyse micrographique, qui leur permet de définir la qualité de l'acier et le genre de traitement thermique subi. La disposition des travaux dans la salle de manipulations est représentée par la figure 82.

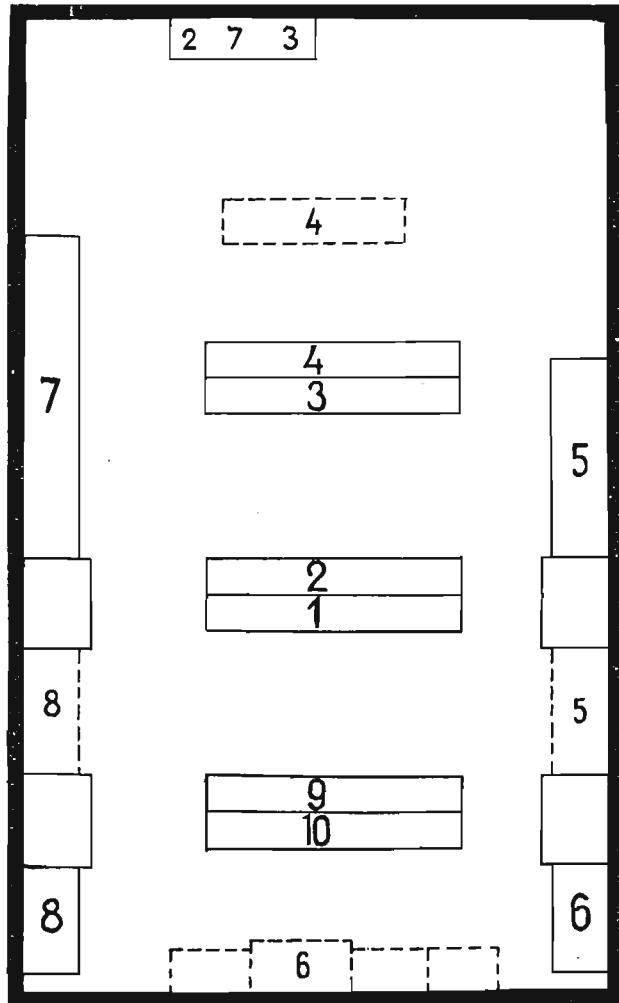


Fig. 82. Plan de la salle de travaux pratiques pour la deuxième série de manipulations.

### 1-ère MANIPULATION.

#### EMPREINTES MICROSCOPIQUES DE DURETE.

La deuxième série de manipulations commence par l'étalonnage de l'appareil Le Grix. Les empreintes de dureté sont faites ici avec une bille de 1 mm. (ou de 3 mm.) sous une pression de 12 Kg. et mesurées au microscope. L'étalonnage résulte de la comparaison des résultats obtenus avec ceux d'un appareil Brinell normal.

a) Appareils.

La disposition générale des appareils est représentée fig. 83.

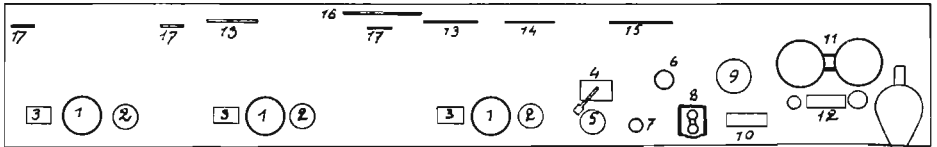
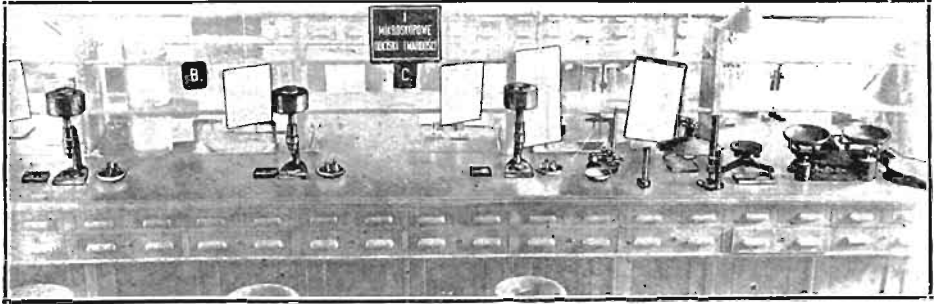


Fig. 83. Disposition des appareils pour la première manipulation.

No.	A P P A R E I L S	Nombre
1	Appareil Le Gris, muni d'une rondelle de papier pour placer sous les échantillons . . . . .	3
2	Monture avec bille de $d = 1,19$ mm. et avec bille de $d = 3,18$ mm. Billes de rechange . . . . .	3
3	Echantillons d'acier et d'alliages du cuivre avec empreintes Brinell . . . . .	3
4	Bouchon avec aiguille aimantée montée sur support . . . . .	1
5	Coupelle . . . . .	1
6	Lampe sur pied. . . . .	1
7	Microscope No. 1 pour la mesure des empreintes Brinell, 1 division de l'oculaire $= 1/20$ mm. . . . .	1
8	Microscope No. 2 pour la mesure des empreintes microscopiques 1 Division de l'oculaire $= 1/200$ mm. . . . .	1
9	Plateforme sur trépied pour vérifier le parallélisme de faces de l'échantillon. Niveau (n'est plus employé) . . . . .	1
10	Micromètre pour vérifier le diamètre des billes. Règlette de Le Chatellier. Echelle: 1 mm. $= 100$ divisions sur lame d'acier . . . . .	1
11 & 12	Balance avec poids . . . . .	1
13—17	Tableaux d'instructions, de duretés, inscriptions. . . . .	10

*b) Instructions.*

Le but de cette manipulation est la mesure des duretés, au moyen d'une bille de petites dimensions et sous une faible pression et la comparaison des nombres de dureté obtenus avec la dureté normale Brinell.

A. Empreintes Brinell. I. Disposer le microscope de mesure No. 1 et mesurer son grossissement (la longueur correspondante à 1 division de l'oculaire) en se servant de l'écartement des traits sur la règle de Le Chatelier à l'endroit ou celui-ci est, par exemple, de 5 mm.

II. Mesurer le diamètre des empreintes Brinell normales, faites au préalable sur les échantillons d'acier et d'alliage de cuivre. L'empreinte, placée au milieu du champ de l'appareil, est mesurée suivant deux directions perpendiculaires, en faisant tourner l'oculaire de 90°; comme vrai diamètre on prendra la moyenne arithmétique des deux diamètres obtenus.

III. Mesurer les diamètres des empreintes, au moyen de la règle de Le Chatelier et comparer ces mesures avec les précédentes.

IV. En se servant de la relation  $H = \frac{P \text{ kg}}{S \text{ mm}^2}$ , où  $S$  est la surface de l'empreinte en mm.  $S = \frac{\pi D}{2} (D - \sqrt{D^2 - d^2})$  et  $P$  la force de pression en Kg, calculer la dureté  $H$ .

Prendre:  $D$ , diamètre de la bille = 10 mm,  $P$ , pour l'acier 3000 Kg. et pour les alliages de cuivre, 500 Kg;  $d$  représente le diamètre mesuré de l'empreinte en mm. (On pourra se servir de la table des duretés pour le calcul de  $H$ ).

B. Empreintes microscopiques. I. Tracer, sur l'autre face de l'échantillon d'acier, un petit cercle à l'encre et faire à l'intérieur, avec l'appareil Le Grix, trois empreintes avec la bille de 1 mm. disposées comme les sommets d'un triangle équilatéral.

II. Pour faire une empreinte de bille, opérer de la façon suivante. Appuyer les deux coudes sur la table, prendre, à deux mains, la vis micrométrique et la tourner lentement, en observant la distance entre la bille et la surface de l'échantillon (la bille se réfléchit dans l'échantillon comme dans un miroir). Quand la bille approche de la surface, ralentir la vitesse de descente. Cesser de tourner la vis micrométrique quand tout le poids repose sur la bille, ce que l'on sent à ce que la vis tourne très facilement. Au bout d'une minute, tourner la filetage doucement en sens inverse, en relevant lentement la bille.

III. Disposer le microscope de mesure No. 2 et mesurer son grandissement: longueur correspondant à une division de l'oculaire, en se servant de l'échelle micrométrique (100 divisions de la lame = 1 mm.).

IV. Dévisser de l'appareil la monture de la bille, démonter le poids et le peser ainsi que la monture de la bille.

V. Mesurer, au moyen de la vis micrométrique, le diamètre de la bille qui a servi à faire les empreintes, en la plaçant sur l'oeil de l'aiguille aimantée.

VI. Mesurer les diamètres des empreintes et calculer les nombres de dureté, comme aux paragraphes II & IV. A. relatifs aux nombres et aux empreintes Brinell.

VII. Dévisser la monture avec la bille de 1 mm. de l'appareil Le Grix et visser la bille de 3 mm. avec une monture. On aura mesuré au préalable le diamètre de la bille au moyen de la vis micrométrique. Faire sur l'échantillon d'alliage du cuivre trois empreintes de dureté, comme aux paragraphes I & II.

VIII. Mesurer les diamètres des empreintes faites et calculer les duretés, comme aux paragraphes II & IV pour les mesures Brinell.

IX. Déterminer le coefficient de correction  $K = \frac{\text{Nombre Brinell normal}}{\text{Nombre Brinell au microscope}}$  pour l'acier et les alliages du cuivre.

#### Plan du travail.

L'élève A.	L'élève B.	L'élève C.
Dispose le microscope No. 1.	Dispose le microscope No. 2.	Vérifie les résultats obtenus par les élèves A & B.

Travail individuel, selon les instructions.

#### c) Renseignements.

Les renseignements, donnés pour la 1-ère manipulation, sont les quatre tableaux servant au calcul des duretés en fonction des diamètres des empreintes.

Deux de ces tableaux sont relatifs aux empreintes Brinell normales faites avec des billes de 10 mm., l'un pour l'acier, avec une pression de 3.000 kg (tableau IV), l'autre pour les autres alliages sous une pression de 500 kg (tableau V).

Les deux derniers tableaux s'appliquent aux empreintes microscopiques, faites sous une pression de 12 kg., avec une bille de 1 mm. pour l'acier (tableau VI), soit avec une bille de 3 mm. pour les autres métaux (tableau VII).

TABLEAU IV.

## Nombres de dureté de l'acier

pour une force de pression  $P = 3000$  Kg, avec bille d'acier de  $D = 10$  mm. calculés d'après la formule.

$$H = \frac{P}{\frac{\pi D}{2} [D - \sqrt{D^2 - d^2}]} = \frac{3000}{\frac{\pi 10}{2} [10 - \sqrt{100 - d^2}]}$$

H—nombre de dureté en Kg/mm<sup>2</sup>, d—diamètre de l'empreinte en mm; Δ—variation de dureté correspondant à une variation du diamètre de l'empreinte de 0,05 mm.

d	H	Δ	d	H	Δ	d	H	Δ
2,20	780	35	3,75	262	7	5,35	123	2
2,25	745	33	3,80	255	7	5,40	121	3
2,30	712	30	3,85	248	7	5,45	118	2
2,35	682	29	3,90	241	6	5,50	116	2
2,40	653	26	3,95	235	6	5,55	114	3
2,45	627	26	4,00	229	6	5,60	111	2
2,50	601	23	4,05	223	6	5,65	109	2
2,55	578	23	4,10	217	5	5,70	107	2
2,60	555	21	4,15	212	5	5,75	105	2
2,65	534	20	4,20	207	5	5,80	103	2
2,70	514	19	4,25	202	5	5,85	101	2
2,75	495	18	4,30	197	5	5,90	99	2
2,80	477	17	4,35	192	5	5,95	97	1
2,85	460	16	4,40	187	4	6,00	96	2
2,90	444	15	4,45	183	4	6,05	94	2
2,95	429	14	4,50	179	5	6,10	92	2
3,00	415	14	4,55	174	4	6,15	90	1
3,05	401	13	4,60	170	3	6,20	89	2
3,10	388	13	4,65	167	4	6,25	87	1
3,15	375	12	4,70	163	4	6,30	86	2
3,20	363	11	4,75	159	3	6,35	84	1
3,25	352	11	4,80	156	4	6,40	83	2
3,30	341	10	4,85	152	3	6,45	81	1
3,35	331	10	4,90	149	3	6,50	80	2
3,40	321	10	4,95	146	3	6,55	78	1
3,45	311	9	5,00	143	3	6,60	77	2
3,50	302	9	5,05	140	3	6,65	75	1
3,55	293	8	5,10	137	3	6,70	74	1
3,60	285	8	5,15	134	3	6,75	73	1
3,65	277	8	5,20	131	3	6,80	72	1
3,70	269	7	5,25	128	2	6,85	70	2
			5,30	126	3			

TABLEAU V.

## Nombres de dureté des alliages

pour une force de pression  $P = 500$  Kg, avec bille d'acier de  $D = 10$  mm. calculés d'après la formule

$$H = \frac{P}{\frac{\pi D}{2} [D - \sqrt{D^2 - d^2}]} = \frac{500}{\frac{\pi \cdot 10}{2} [10 - \sqrt{100 - d^2}]}$$

$H$  — nombre de dureté en Kg/mm<sup>2</sup>,  $d$  — diamètre de l'empreinte en mm;  $\Delta$  — variation des nombres de dureté correspondant à une variation du diamètre de l'empreinte de 0,05 mm.

d	H	$\Delta$	d	H	$\Delta$	d	H	$\Delta$
2,00	158		3,65	46		5,35	20,5	
2,05	150	8	3,70	45	1	5,40	20,1	0,4
2,10	143	7	3,75	44	1	5,45	19,7	0,4
2,15	136	7	3,80	42	2	5,50	19,3	0,4
2,20	130	6	3,85	41	1	5,55	18,9	0,4
2,25	124	6	3,90	40	1	5,60	18,6	0,3
2,30	119	5	3,95	39	1	5,65	18,2	0,4
2,35	114	5	4,00	38	1	5,70	17,8	0,4
2,40	109	5	4,05	37	1	5,75	17,5	0,3
2,45	104	5	4,10	36	1	5,80	17,2	0,3
2,50	100	4	4,15	35,3	0,7	5,85	16,8	0,4
2,55	96	4	4,20	34,4	0,9	5,90	16,5	0,3
2,60	93	3	4,25	33,6	0,8	5,95	16,2	0,3
2,65	89	4	4,30	32,8	0,8	6,00	15,9	0,3
2,70	86	3	4,35	32,0	0,8	6,05	15,6	0,3
2,75	83	3	4,40	31,2	0,8	6,10	15,3	0,3
2,80	80	3	4,45	30,5	0,7	6,15	15,1	0,2
2,85	77	3	4,50	29,8	0,7	6,20	14,8	0,2
2,90	74	3	4,55	29,1	0,7	6,25	14,5	0,3
2,95	72	2	4,60	28,4	0,7	6,30	14,2	0,3
3,00	69	3	4,65	27,8	0,6	6,35	14,0	0,2
3,05	67	2	4,70	27,1	0,7	6,40	13,7	0,3
3,10	65	2	4,75	26,5	0,6	6,45	13,5	0,2
3,15	63	2	4,80	25,9	0,6	6,50	13,3	0,2
3,20	61	2	4,85	25,4	0,5	6,55	13,0	0,3
3,25	59	3	4,90	24,8	0,6	6,60	12,8	0,2
3,30	57	2	4,95	24,3	0,5	6,65	12,6	0,2
3,35	55	2	5,00	23,8	0,5	6,70	12,4	0,2
3,40	53	1	5,05	23,3	0,5	6,75	12,1	0,3
3,45	52	2	5,10	22,8	0,5	6,80	11,9	0,2
3,50	50	2	5,15	22,3	0,5	6,85	11,7	0,2
3,55	49	1	5,20	21,8	0,5	6,90	11,5	0,2
3,60	47	2	5,25	21,4	0,4	6,95	11,3	0,2
		1	5,30	21,0	0,5	7,00	11,1	0,2



TABLEAU VI.

## Nombres de dureté de l'acier

pour une force de pression  $P = 12$  Kg, avec une bille d'acier de  $D = 1,19$  mm, calculés d'après la formule:

$$H = \frac{P}{\frac{\pi \cdot D}{2} [D - \sqrt{D^2 - d^2}]} = \frac{12}{\frac{\pi \cdot 1,19}{2} [1,19 - \sqrt{1,19^2 - d^2}]}$$

H—nombre de dureté en Kg/mm<sup>2</sup>, d—diamètre de l'empreinte en mm,  $\Delta$ —variation des nombres de dureté correspondant à une variation de diamètre de l'empreinte de 0,005 mm

d	H	$\Delta$	d	H	$\Delta$	d	H	$\Delta$
0,140	776		0,245	252	10	0,350	121	3
0,145	724	52	0,250	242	10	0,355	118	3
0,150	677	47	0,255	232	9	0,360	115	3
0,155	634	43	0,260	223	9	0,365	112	3
0,160	594	40	0,265	214	9	0,370	109	3
0,165	558	36	0,270	206	8	0,375	106	3
0,170	525	33	0,275	199	7	0,380	103	3
0,175	495	30	0,280	192	7	0,385	100,4	2,6
0,180	468	27	0,285	185	7	0,390	97,8	2,6
0,185	443	25	0,290	179	6	0,395	95,2	2,6
0,190	421	24	0,295	173	6	0,400	92,7	2,5
0,195	399	22	0,300	167	6	0,405	90,3	2,4
0,200	379	20	0,305	161	6	0,410	88,1	2,2
0,205	361	18	0,310	156	5	0,415	86,0	2,1
0,210	344	17	0,315	151	5	0,420	84,0	2,0
0,215	328	16	0,320	146	5	0,425	82,0	2,0
0,220	313	15	0,325	141	5	0,430	80,1	1,9
0,225	299	14	0,330	137	4	0,435	78,2	1,9
0,230	286	13	0,335	133	4	0,440	76,3	1,9
0,235	274	12	0,340	129	4	0,445	74,5	1,8
0,240	263	11	0,345	125	4	0,450	72,8	1,7
		11			4			1,7

## Méthode de calcul des tableaux

L'expression de la dureté peut se développer en série de Taylor:

$$H = \frac{P}{\frac{\pi D}{2} [D - \sqrt{D^2 - d^2}]} = \frac{4P}{\pi d^2} - \frac{P}{\pi \cdot D^2} - \frac{4 \cdot P \cdot 1}{\pi \cdot d^2 \cdot 16} \left[ \frac{d}{D} \right]^4$$

En se limitant aux deux premiers termes on obtient avec une précision suffisante

l'expression suivante:  $H = \frac{4P}{\pi d^2} - \frac{P}{\pi D^2}$ .

TABLEAU VII.

## Nombres de dureté des alliages

pour une force de pression  $P=12$  Kg. avec une bille d'acier de diamètre  $D=3,18$  mm. calculés d'après la formule:

$$H = \frac{P}{\frac{\pi D}{2} [D - \sqrt{D^2 - d^2}]} = \frac{12}{\frac{\pi \cdot 3,18}{2} [3,18 - \sqrt{3,18^2 - d^2}]}$$

H—nombres de dureté en Kg/mm; d—diamètre de l'empreinte en mm,  $\Delta$ —variation de la dureté correspondant à une variation du diamètre de l'empreinte de 0,005 mm.

d	H	$\Delta$	d	H	$\Delta$	d	H	$\Delta$
0,240	266	11	0,395	97,5	2,5	0,550	50,2	0,9
0,245	255	10	0,400	95,0	2,4	0,555	49,3	0,9
0,250	245	10	0,405	92,6	2,2	0,560	48,4	0,9
0,255	235	9	0,410	90,4	2,1	0,565	47,5	0,8
0,260	226	9	0,415	88,3	2,0	0,570	46,7	0,9
0,265	217	8	0,420	86,3	2,0	0,575	45,8	0,8
0,270	209	7	0,425	84,3	1,9	0,580	45,0	0,7
0,275	202	7	0,430	82,4	1,9	0,585	44,3	0,8
0,280	195	7	0,435	80,5	1,9	0,590	43,6	0,7
0,285	188	6	0,440	78,6	1,8	0,595	42,8	0,7
0,290	182	6	0,445	76,8	1,7	0,600	42,1	0,7
0,295	176	6	0,450	75,1	1,7	0,605	41,4	0,7
0,300	170	6	0,455	73,4	1,6	0,610	40,7	0,7
0,305	164	5	0,460	71,8	1,6	0,615	40,0	0,7
0,310	159	5	0,465	70,2	1,4	0,620	39,3	0,6
0,315	154	5	0,470	68,8	1,4	0,625	38,7	0,6
0,320	149	4	0,475	67,4	1,4	0,630	38,1	0,6
0,325	144	4	0,480	66,0	1,4	0,635	37,5	0,6
0,330	140	4	0,485	64,4	1,2	0,640	36,9	0,6
0,335	136	4	0,490	63,2	1,2	0,645	36,3	0,5
0,340	132	4	0,495	62,0	1,2	0,650	35,8	0,6
0,345	128	3	0,500	60,8	1,2	0,655	35,2	0,5
0,350	124	3	0,505	59,6	1,1	0,660	34,7	0,5
0,355	121	3	0,510	58,5	1,2	0,665	34,2	0,5
0,360	118	3	0,515	57,3	1,1	0,670	33,7	0,5
0,365	115	3	0,520	56,2	1,1	0,675	33,2	0,5
0,370	112	3	0,525	55,1	1,1	0,680	32,7	0,5
0,375	109	3	0,530	54,0	1,1	0,685	32,2	0,5
0,380	106	3	0,535	52,9	0,9	0,690	31,7	0,4
0,385	103	3	0,540	52,0	0,9	0,695	31,3	0,5
0,390	100	2,5	0,545	51,1	0,9	0,700	30,8	0,4

## 2-ème MANIPULATION.

## LE REVENU ET LA TREMPÉ DOUCE DES ACIERS AU CARBONE,

Dans la deuxième manipulation, l'acier perlitique, trempé précédemment, est revenu à 400°, en donnant successivement de l'osmondite et de la sorbite. Un autre échantillon, trempé dans de l'huile de colza, donne un mélange de martensite et de troostite. La structure de l'échantillon est observée au moyen de l'objectif à immersion qui donne les plus forts grossissements (environ 1.300); on étudie en même temps la relation qui existe entre la structure et la dureté.

## a) Appareils.

La disposition générale des appareils est représentée fig. 84.

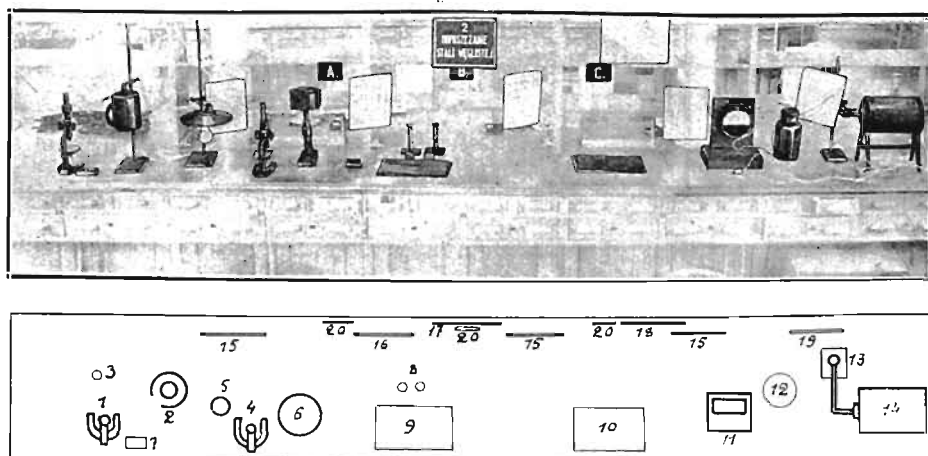


Fig. 84. Disposition des appareils pour la 2-ème manipulation.

No.	APPAREILS	Nombre
1	Microscope d'observation Reichert, $K_1=1,2$ Oculaire Leitz No. 5, $K_3=9,5$ Objectif Reichert No. 3, $K_2=11,8$ . . . . .	1
2	Objectif à immersion Nachet, $K_2=117$ . . . . .	1
3	Lampe sur support pour le microscope . . . . .	1
4	Flacon d'huile de cèdre pour l'immersion, flacon d'éther, linge fin pour essuyer l'objectif . . . . .	1
5	Microscope de mesure, 1 division=0,005 mm. . . . .	1
6	Lampe sur support pour l'éclairage du microscope de mesure . . . . .	1
	Appareil Le Grix avec bille $d=1,19$ mm. et rond de papier . . . . .	1

No.	A P P A R E I L S	Nombre
7	Eprouvettes d'acier C=0,8% et 0,4%; mastic à modeler . . .	1
8	Réactifs: solution à 4% d'acide azotique dans l'alcool isoamylique; solution à 4% d'acide picrique dans l'alcool éthylique.	1
9 & 10	Glace pour polissage, papier émeri 0000, papier potée 0000 . . .	2
11	Galvanomètre . . . . .	1
12	Flacon d'eau pour le couple; thermomètre . . . . .	1
13	Couple thermoelectrique et son support . . . . .	1
14	Four électrique à résistance . . . . .	1
15 — 20	Tableaux d'instructions. Diagramme. Inscriptions . . . . .	10

La trempe à l'huile se fait à part (fig. 82). La disposition des appareils employés alors est représentée fig. 85.

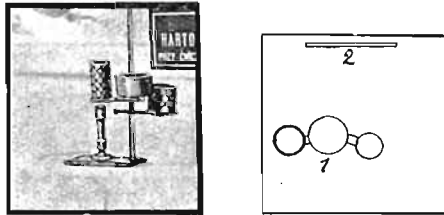


Fig. 85  
Disposition des appareils pour la trempe.

No.	A P P A R E I L S	Nombre
1	Four à gaz pour la trempe des éprouvettes, récipients d'huile et d'eau, grand brûleur Meker. Aimant . . . . .	1
2	Inscription . . . . .	1

#### b) Instructions.

Le but de cette manipulation est le traitement thermique de l'acier qui donne des constituants de transition entre la perlite et la martensite (osmondite, troostite, sorbite).

A. Le Revenu. I. Disposer le microscope d'observation et le microscope de mesure, dont chaque division correspond à 0,005 mm.

II. Enlever à la meule la couche d'oxyde recouvrant la surface de l'échantillon No. 1 d'acier trempé, à 0,8% de carbone environ et faire le polissage.

III. Faire 3 empreintes de dureté (durée: 1 minute chacune), au moyen de l'appareil Le Grix et, en se servant de la table, calculer la dureté correspondante.

IV. Attaquer l'échantillon, à l'acide picrique en solution alcoolique à 4%, pendant 15 secondes. S'il n'y a pas eu d'attaque, repolir légèrement et attaquer à l'acide azotique en solution alcoolique à 4%. Observer la structure, vue au microscope d'observation muni de l'objectif No. 3. Remplacer cet objectif par l'objectif à immersion, poser sur l'échantillon une goutte d'huile de cèdre au moyen d'une baguette de verre, abaisser progressivement l'objectif jusqu'à ce que la goutte le rencontre, observer et dessiner l'image obtenue. Après emploi de l'objectif à immersion, l'essuyer avec un linge fin, légèrement humecté d'éther.

V. Chauffer l'échantillon, pendant une heure, au four électrique à la température de 400°, en réglant convenablement le courant avec le rhéostat.

VI. Sortir l'échantillon du four et le refroidir à l'air, enlever la couche d'oxyde à la meule et polir la surface.

VII. Faire trois empreintes de dureté (durée: 1 minute) et les mesurer au microscope de mesure, calculer la dureté et la comparer à la précédente (§ III); puis attaquer avec la solution alcoolique à 4% d'acide picrique, observer au microscope d'observation avec l'objectif No. 3 et avec l'objectif à immersion; dessiner l'image vue.

B. La trempe à l'huile. I. Polir l'échantillon d'acier recuit No. 2, d'une teneur en C voisin de 0,4%.

II. Faire trois empreintes de dureté, les mesurer au microscope de mesure et déterminer le nombre de dureté correspondant.

III. Attaquer l'échantillon avec la solution alcoolique à 4% d'acide picrique et dessiner l'image vue au microscope d'observation avec l'objectif No. 3 et avec l'objectif à immersion.

IV. Accrocher l'échantillon à un fil de fer et le chauffer, au brûleur à gaz, jusqu'à une température supérieure à la température critique (disparition du magnétisme); puis tremper à l'huile.

V. Enlever la couche d'oxyde à la meule, polir et faire trois empreintes, les mesurer et déterminer la dureté pour la comparer à la précédente (§ II. B).

VI. Attaquer l'échantillon avec la solution alcoolique à 4% d'acide picrique. Si le réactif n'agit pas, repolir légèrement l'échantillon et l'attaquer à l'acide azotique en solution dans l'alcool isoamylique à 4%. Observer, dessiner les images vues au microscope d'observation avec l'objectif No. 3 et avec l'objectif à immersion. Comparer les aspects de l'échantillon avant et après trempe (§ III. B).

## Plan de travail.

L'élève A.  
 Dispose le microscope de mesure.  
 Met le courant et observe la température du four.

Fait revenir l'échantillon No. 1, le polit, détermine sa dureté et l'attaque.

L'élève B.  
 Dispose le microscope d'observation.  
 Polit l'échantillon No. 2, détermine sa dureté et l'attaque.

Observation commune

Trempe à l'huile l'échantillon No. 2 et le polit.

Observation commune.

L'élève C.  
 Polit l'échantillon No. 1, détermine sa dureté et l'attaque.

Détermine la dureté de l'échantillon No. 2, puis l'attaque.

## c) Renseignements.

Les renseignements, donnés pour la 2-ème manipulation, comprennent avant tout les diagrammes exprimant la variation des propriétés mécaniques de l'acier sous l'influence du revenu et des micrographies des aciers revenus, ainsi que des aciers ayant subi une trempe douce.

Le diagramme, donnant les propriétés mécaniques de l'acier en fonction de la température de revenu (fig. 86), montre la forte influence du traitement thermique, même sur des aciers pauvres en carbone ( $C=0,15\%$ ) et la nécessité d'utiliser des températures de revenu différentes, suivant que l'on veut obtenir une grande résistance à la traction et une grande dureté ou bien une résilience importante.

Les micrographies, relatives au revenu, montrent une structure osmon-ditique (fig. 87) et une structure sorbitique (fig. 88). Les micrographies,

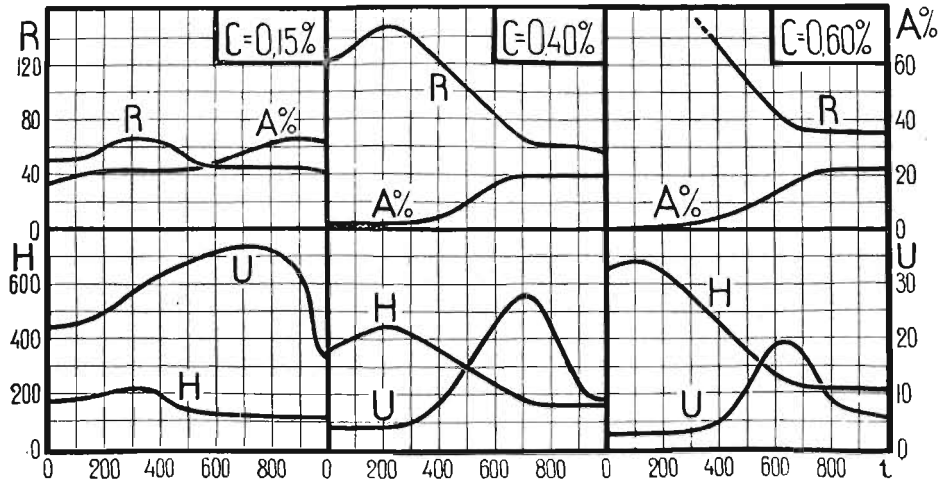


Fig. 86. Les propriétés mécaniques, en fonction de la température de revenu, pour des aciers contenant 0,15%, 0,4% et 0,6% de C. R, résistance à la traction; A%, allongements de rupture; H, dureté et U résilience.

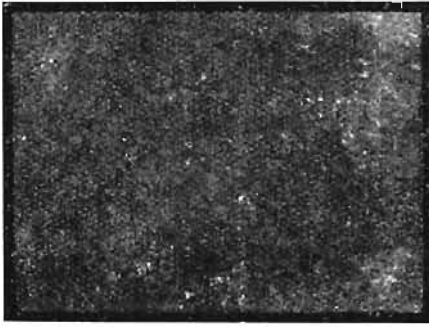


Fig. 87. Acier à 0,8% C, revenu à 400°. Osmondite. Gr. = 1300.



Fig. 88. Le même, revenu plus longtemps ou à température supérieure. Sorbite se résolvant, par places, en perlite. Gr. = 1300.



Fig. 89. Acier à 0,4% de C recuit. Ferrite claire sur fond de perlite. Gr. = 130.



Fig. 90. L'échantillon précédent après trempe à l'huile. Troostite sombre sur fond de martensite. Gr. = 130.

relatives à la trempe à l'huile de l'acier représentent la structure de l'acier avant trempe (fig. 89) et sa transformation, en un mélange de martensite et de troostite, après la trempe (fig. 90 et 91).

En outre, il est joint un tableau donnant les températures en fonction des déviations du galvanomètre et le tableau VI qui permet la détermination de la dureté de l'acier à partir du diamètre des empreintes, mesurés au microscope.

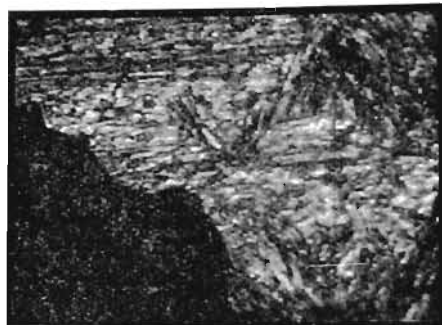


Fig. 91. Le même échantillon sous un grossissement bien plus fort. Troostite sombre et martensite claire. Gr. = 1300.

## 3-ème MANIPULATION.

## SOUDURE ELECTRIQUE.

La troisième manipulation est consacrée à l'étude de la soudure électrique. On détermine d'abord le rendement en énergie du procédé. On étudie ensuite cette soudure de façon à mettre en évidence la différence qui existe entre les résultats obtenus avec une électrode nue et une électrode recouverte d'un enduit désoxydant. Cette étude comprend des essais de macroscopie, de micrographie et de dureté.

## a) Appareils.

La disposition des appareils, pour l'étude de la soudure, est représentée par la fig. 92. La soudure s'effectue à part.

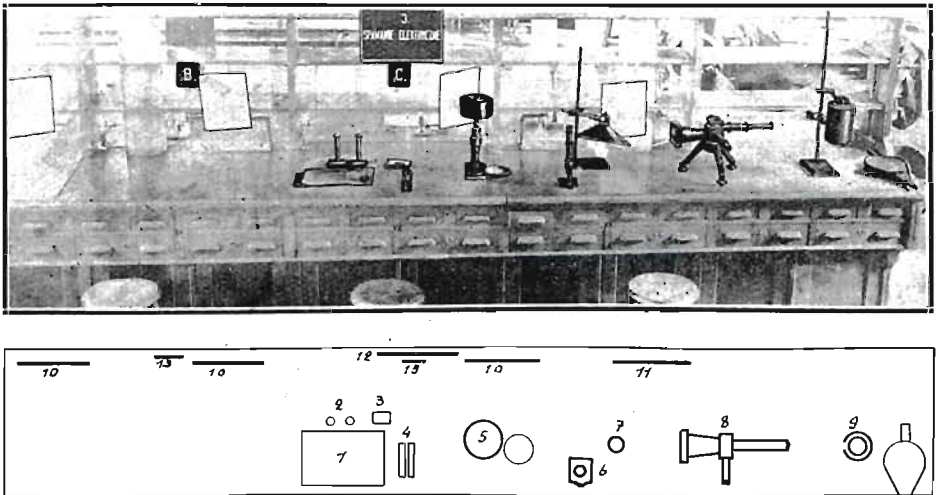


Fig. 92. Disposition des appareils pour l'étude de la soudure électrique.

No.	A P P A R E I L S	Nombre
1	Glace pour le polissage, papier émeri 0000 et potée 0000 . . . . .	1
2	Réactifs: 1) Solution à 4% d'acide azotique dans l'alcool isoamylique, 2) Solution à 10% d'iode dans l'alcool éthylique.	
	Pinceau pour le réactif à l'iode . . . . .	1
3	Mastic à modeler . . . . .	1
4	Plaques de fer pour la soudure électrique. . . . .	2
5	Appareil Le Grix et rond de papier . . . . .	5
6	Microscope de mesure, 1 division = 0,005 mm. . . . .	1
7	Lampe électrique sur pied pour l'éclairage du microscope de mesure . . . . .	1
8	Microscope Pellin, $K_1 = 1,7$ ; oculaire No. 5, $K_3 = 9,8$ ; objectif No. 3, $K_2 = 15,2$ ; objectif NC Zeiss, $K_2 = 27,2$ . . . . .	1
9	Lampe sur pied pour l'éclairage du microscope . . . . .	1
10-13	Tableaux d'instructions et inscriptions . . . . .	8
Sans No.	Polisseuse et meule rotative. Scie. . . . .	1



La disposition des appareils pour la soudure électrique est représentée fig. 93.

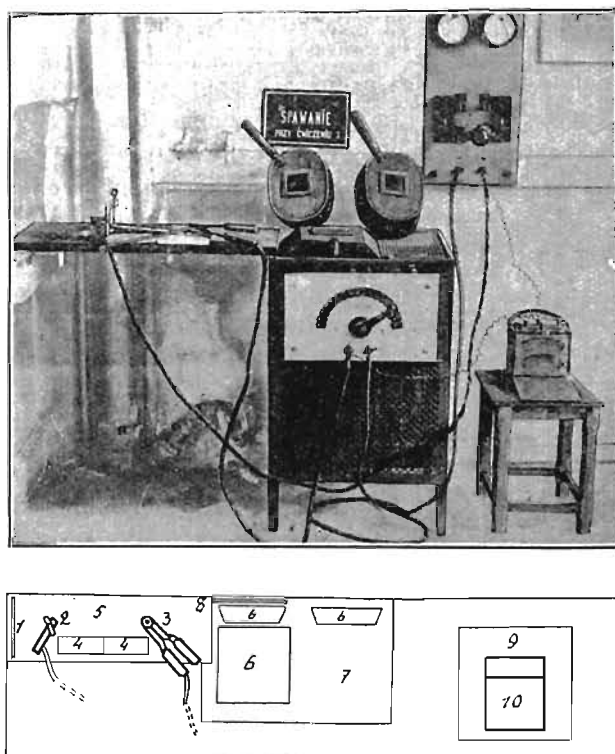


Fig. 93. Disposition des appareils pour la soudure électrique.

No.	A P P A R E I L S	Nombre
1	Ecran de tôle . . . . .	1
2	Etau avec conducteur . . . . .	1
3	Pince avec conducteur . . . . .	1
4	Plaques de réfractaire pour poser les objets soudés . . . . .	2
5	Planche recouverte de tôle . . . . .	1
6	Verres bleus de protection pour les yeux . . . . .	3
7	Rhéostat . . . . .	1
8	Inscription . . . . .	1
9	Tabouret pour disposer le voltmètre . . . . .	1
10	Voltmètre . . . . .	1
Sans No.	Tableau avec voltmètre, ampèremètre et interrupteur . . . . .	1

## b) Instructions.

Le but de cette manipulation est l'étude de la soudure électrique surtout au point de vue de sa résistance, de sa dureté et de la structure du métal.

A. Réalisation de la soudure. I. Peser (sur la balance de la 1-ère manipulation) les tôles préparées pour la soudure; réunir les conducteurs électriques, comme l'indique le schéma (fig. 94).

II. Fermer l'interrupteur *W* et observer, à travers le masque, le travail du préparateur ou du mécanicien pendant qu'il réalise la soudure.

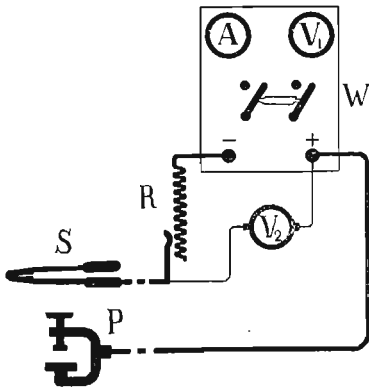


Fig. 94.  
Schéma du montage des appareils pour la soudure électrique.

Remarquer si la soudure a été faite avec une tige de fer enrobée ou non de désoxydant. Noter la durée du soudage, l'intensité du courant, lue sur l'ampèremètre et les tensions marquées par les voltmètres.

III. Faire soi-même des essais de soudure pendant 2 minutes environ sur une autre tôle.

VI. Quand la soudure est terminée, peser les tôles soudées, mesurer la longueur du joint et calculer la dépense effective d'énergie électrique en Kwh pour a) 1 cm. de joint simple et b) 1 kg. de métal de l'électrode fondue. Calculer le taux % de l'énergie utilisée à l'énergie dépensée, en

admettant que pour fondre 1 kg. de fer il faut environ 0,4 Kwh.

B. Examen de la soudure. I. Marquer sur les tôles soudées la face qui a été soudée au moyen d'une tige de fer enrobée de désoxydant, puis couper l'ensemble à la scie perpendiculairement à la soudure. Couper les extrémités des tôles et polir la section.

II. Régler le microscope d'observation et le microscope de mesure dont chaque division correspond à 0,005 mm.

III. Observer la surface polie de l'échantillon au microscope, avec l'objectif No. 3 et comparer les aspects des soudures, faites avec la tige de fer simple et avec la tige de fer enrobée.

IV. Faire trois empreintes (durée 1 minute) sur la soudure, trois empreintes sur la tôle aux environs immédiats de la soudure et trois empreintes loin de la soudure. Les mesurer au microscope de mesure et comparer les résultats.

V. Attaquer l'échantillon à la solution alcoolique d'iode que l'on étend au pinceau sur la surface. Observer l'attaque obtenue à l'oeil nu et au microscope muni de son objectif No. 3.

VI. Repolir l'échantillon, l'attaquer à la solution alcoolique à 4% d'acide azotique et observer au microscope, en remplaçant l'objectif No. 3 par l'objectif NC Zeiss. Mesurer, au microscope de mesure, la dimension moyenne des cristaux dans la soudure, dans la tôle au voisinage de la soudure et dans la tôle loin de la soudure.

VII. Faire les conclusions générales relatives à l'emploi de tiges de fer enrobées. Cet enrobage comprend deux couches, la première empêche l'oxydation, la deuxième réduit les oxydes qui auraient pu se former quand même.

Plan de travail.

L'élève A.	L'élève B.	L'élève C.
Règle le microscope de mesure.	Règle le microscope d'observation.	Fait les connexions suivant le schéma.
Démonstration de soudure sur la première face.		
Soudure de la deuxième face de la tôle.		
Note le temps de soudage.	Note l'intensité sur $A$ et la tension du courant sur $V_1$ .	Note la tension de l'arc sur $V_2$ .
Coupe et polit la soudure.	Détermine la dureté hors du joint soudé.	Détermine la dureté du joint sur la soudure, puis attaque à l'iode.
Observation en commun.		
Mesure la dimension des cristaux dans la soudure.	Polit et attaque à l'acide azotique.	Mesure la dimension des cristaux hors de la soudure.

Observation en commun.

c) Renseignements.

Les renseignements, pour la 3-ème manipulation, comprennent une macroscopie et plusieurs micrographies.

La macroscopie du joint soudé (fig. 95) montre bien que les résultats obtenus, pour la soudure à la main, sont meilleurs en général, quand on emploie une électrode de fer enrobée de désoxydant.

Les micrographies montrent les détails de la structure dans le

joint au contact du métal soudé et du métal d'apport (fig. 96) et l'influence de la chaleur dégagée par le soudage sur l'accroissement des cristaux du métal soudé.

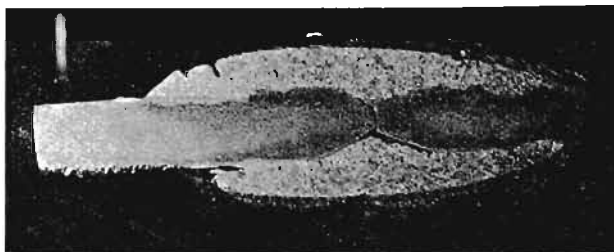


Fig. 95. Macroscopie de la soudure. La partie supérieure de la soudure à été faite avec une électrode enrobée de désoxydant, la partie inférieure avec une électrode de fer nu. Gr. = 2.

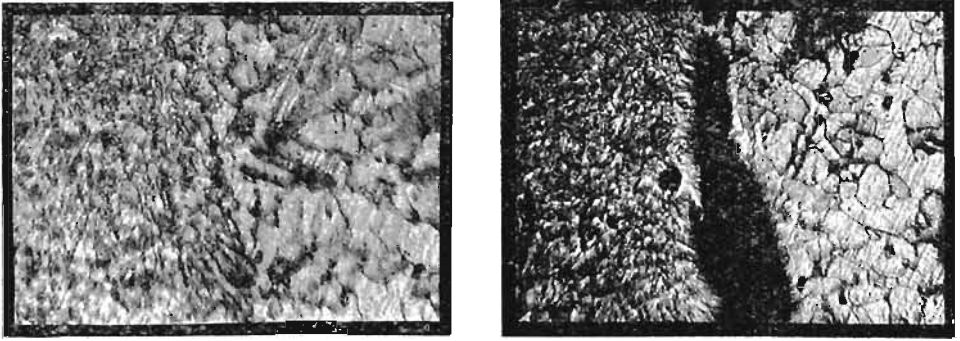


Fig. 96. Soudure électrique. A gauche bonne soudure, faite avec une électrode désoxydante. A droite amorce de fissure dans une soudure faite avec électrode de fer nu. On distingue le gros grain de la tôle soudée et le grain plus fin du métal d'apport. Gr.=250.

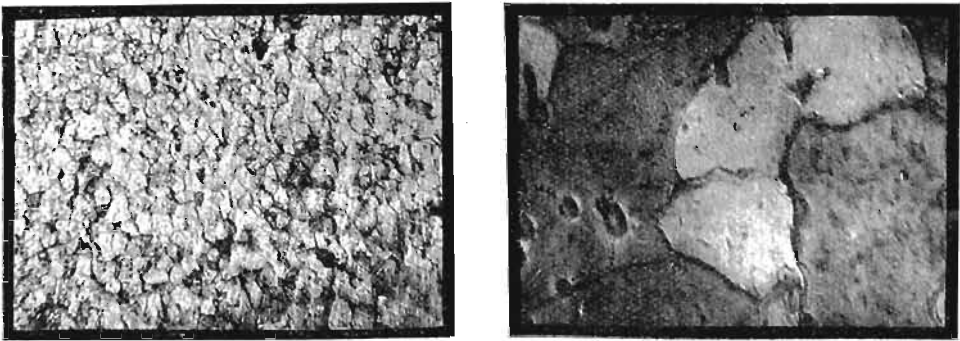


Fig. 97. Tôle soudée. A gauche, structure à grain fin loin de la soudure; à droite structure à gros grain au voisinage de la soudure. Gr. = 250.

On donne, enfin, le tableau VI qui permet de calculer la dureté de l'acier en fonction des diamètres des empreintes microscopiques.

#### 4-ème MANIPULATION.

##### LE TRAITEMENT THERMIQUE DE L'ACIER A COUPE RAPIDE.

La 4-ème manipulation a pour but l'étude du traitement thermique des aciers à coupe rapide. On observe la structure et on mesure la dureté d'un tel acier à l'état brut d'abord, puis après trempé à  $1250^{\circ}$ , enfin après revenu à  $550^{\circ}$  —  $600^{\circ}$ .

##### a) Appareils.

La disposition des appareils pour l'étude de l'acier à coupe rapide est représentée fig. 98. La trempé se fait à l'écart sur une autre table.

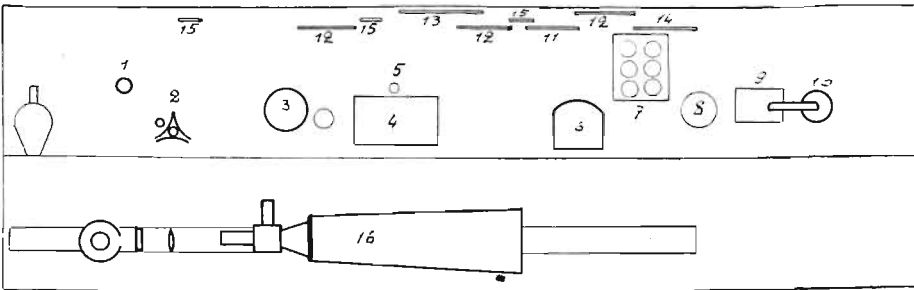
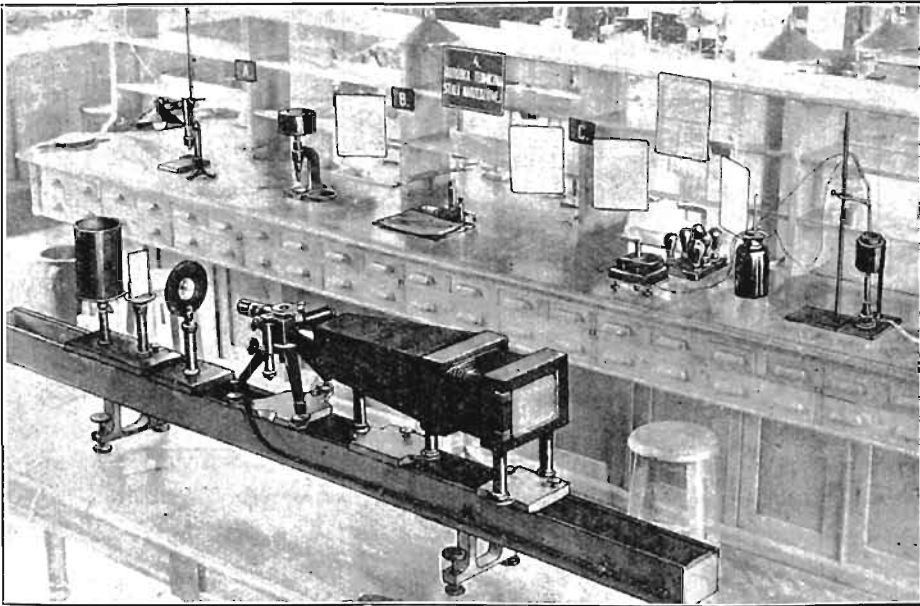


Fig. 98. Disposition des appareils pour l'étude des aciers à coupe rapide.

No.	APPAREILS	Nombre
1	Lampe pour l'éclairage du microscope . . . . .	1
2	Microscope de mesure. 1 division = 0,005 mm. . . . .	1
3	Appareil Le Grix et rond de papier. Billes dans une soucoupe . . . . .	1
4	Glace à polir, papier émeri 0000; papier potée 0000 . . . . .	1
5	Réactif (1% CrO <sub>3</sub> H <sub>2</sub> , 10% HCl, eau); mastic à modeler, échantillon d'acier à outils . . . . .	1
6	Galvanomètre . . . . .	1
7	Rhéostat à lampes (ou en manganine) . . . . .	1
8	Flacon d'eau pour le couple et thermomètre . . . . .	1
9	Support du couple thermoélectrique . . . . .	1
10	Four à gaz et creuset de fer contenant du plomb . . . . .	1
11 & 15	Tableaux d'instructions, diagrammes, inscriptions . . . . .	10
16	Microscope Pellin, K <sub>1</sub> = 1,7. Oculaire No. 5 Reichert, K <sub>3</sub> = 10,7. Objectif 2 mm. Zeiss à immersion K <sub>2</sub> = 96,2. . . . .	1

La disposition des appareils, nécessaires à la trempe de l'acier à coupe rapide, est représentée fig. 99.

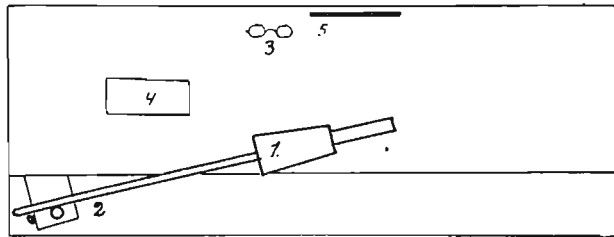
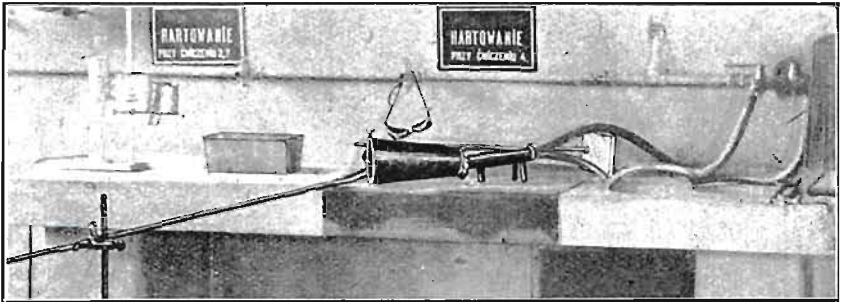


Fig. 99. Disposition des appareils pour la trempe des aciers à coupe rapide.

No.	A P P A R E I L	Nombre
1	Four à gaz pour la trempe de l'acier à outils . . . . .	1
2	Support avec tige de fer pour fixer les échantillons d'acier à outils . . . . .	1
3	Lunettes bleues . . . . .	1
4	Récipient d'huile pour la trempe . . . . .	1
5	Inscription . . . . .	1

*b) Instructions.*

Cette manipulation a pour but de fixer l'influence des différents facteurs des traitements thermiques sur l'acier à outils.

A. L'acier brut. I. Régler le microscope d'observation et le microscope de mesure, dont chaque division correspond à 0,005 mm.

II. Polir l'échantillon d'acier à coupe rapide, qui a été précédemment recuit à 850°, puis refroidi lentement pendant 3 heures. Faire trois empreintes de dureté, au moyen de l'appareil Le Grix, les mesurer au microscope de mesure et, en se servant du tableau, calculer les duretés correspondantes.

III. Attaquer l'échantillon au réactif chromique acide (1%  $H^2CrO^4$  + 10% HCl + eau); observer la structure, vue au microscope d'observation muni de son objectif No. 3. Remplacer l'objectif No. 3 par l'objectif Zeiss à immersion, placer sur la lentille de l'objectif une goutte d'huile de cèdre, observer et dessiner l'aspect obtenu.

Après l'emploi de l'objectif à immersion, l'essuyer avec une linges fin, légèrement imbibé d'éther.

B. Trempe. I. Souder, au moyen de l'arc électrique, l'échantillon d'acier à coupe rapide au bout d'une tige de fer et le chauffer à la flamme d'un grand brûleur à gaz, soufflé à l'air comprimé, d'abord doucement pour l'amener au rouge clair (voisin de  $800^{\circ}$ ), ensuite rapidement jusqu'au blanc (environ  $1250^{\circ}$ ) et le maintenir 5 minutes à cette température, pour permettre la dissolution des carbures doubles.

II. Tremper à l'huile de colza, puis détacher l'échantillon et le polir.

III. Faire trois empreintes (durée 1 minute), au moyen de l'appareil Le Grix, les mesurer au microscope, calculer la dureté correspondante et la comparer à la précédente (§ II-A).

IV. Attaquer l'échantillon au réactif chromique acide et dessiner l'image obtenue au microscope, en se servant de l'objectif No. 3 et de l'objectif à immersion.

C. Revenu. I. Chauffer sur le brûleur Meker du plomb, sous une couche de charbon de bois, jusqu'à  $600^{\circ}$ , en mesurant la température avec le couple thermoélectrique.

II. Attacher l'échantillon d'acier à un fil de fer et le plonger, pendant 20 minutes, dans le plomb fondu, dont la température devra rester comprise entre  $550^{\circ}$  et  $600^{\circ}$ .

III. Polir l'échantillon revenu, mesurer sa dureté, au moyen de trois empreintes faites à l'appareil Le Grix, attaquer au réactif chromique acide, observer et dessiner la structure vue au microscope en se servant des objectifs No. 3 et à immersion.

IV. Des résultats obtenus pour les duretés et les structures, tirer les conclusions qui s'imposent pour la trempe, le revenu et le recuit des aciers à outils.

#### Plan du travail.

L'élève A.	L'élève B.	L'élève C.
Dispose les microscopes.	Polit l'échantillon recuit.	Etudie la dureté et attaque.
O b s e r v a t i o n e n c o m m u n .		
Polit l'échantillon trempé.	Etudie la dureté et attaque.	Chauffe l'échantillon et le trempé.
O b s e r v a t i o n e n c o m m u n .		
Etudie la dureté et attaque.	Fait revenir l'échantillon dans le plomb.	Polit l'échantillon revenu.
O b s e r v a t i o n e n c o m m u n .		

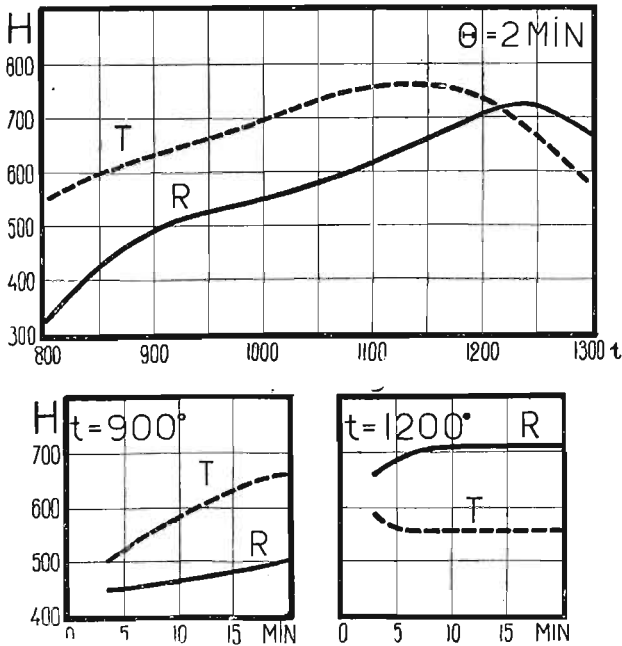


Fig. 100. Dureté de l'acier à outils à coupe rapide après trempe à l'huile (T) et revenu pendant 40 minutes à 580° (R). En haut, en fonction de la température  $t$ , après un chauffage de 2 minutes à la température  $t$ . En bas, en fonction du temps de chauffage avant trempe à 900° et à 1200°. (Guillet, 1923).

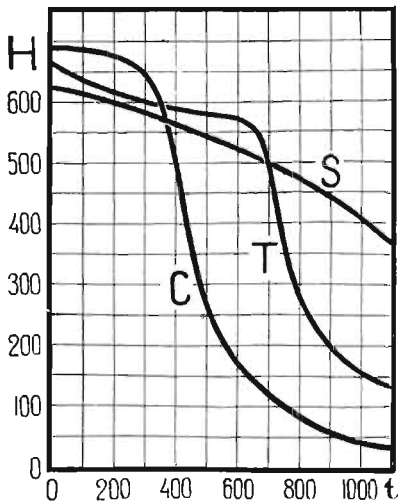


Fig. 101. Dureté des acier à outils: au carbone (C), à coupe rapide (T) et stellite (S), en fonction de la température.

### c) Renseignements.

Les renseignements complémentaires donnés pour la 4-ème manipulation, comprennent les diagrammes de dureté des aciers à outils, en fonction des conditions de traitement thermique et de la température et quelques micrographies.

L'un de ces tableaux donne la correspondance entre la dureté de l'acier à coupe rapide, la température et le temps de chauffage avant trempe, ainsi que l'influence du revenu sur la dureté (fig. 100).

On voit sur ce tableau que le revenu peut, suivant les conditions de trempe, diminuer ou augmenter la dureté.

Le second tableau (fig. 101) donne la dureté de l'acier à outils au carbone (C), de l'acier à coupe rapide (T) et de la stellite (S), en fonction de la température. On voit ici que, jusqu'à 350°, l'acier au carbone est le plus dur; puis jusqu'à 700° c'est le tour de l'acier à coupe rapide et, pour les températures encore plus élevées, c'est la stellite qui s'adoucit le moins. Le choix du meilleur acier à outils, pour un emploi donné, dépend donc de la température maxima à laquelle peut être porté le tranchant de l'outil pendant l'emploi.

Les micrographies représentent la



correspondance qui existe entre la structure de l'acier à coupe rapide et son traitement thermique.

Dans l'acier recuit (fig. 102), relativement doux, on voit des cristaux clairs de carbure à haute teneur en tungstène (environ 60% de tungstène). Après la trempe à haute température, la majeure partie de ces carbures passe en solution et le reste se remarque sur le fond général d'austénite (fig. 103). Le revenu transforme l'austénite en un mélange sombre de martensite et d'osmondite et donne à l'acier à outils la dureté convenable (fig. 104).

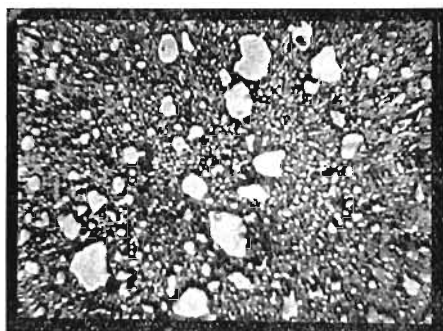


Fig. 102. Acier à coupe rapide avant le traitement thermique. Carbure double clair sur fond de perlite. Gr. = 1000.

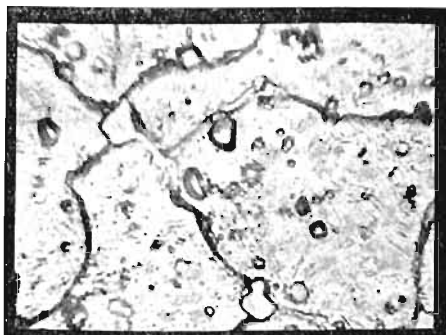


Fig. 103. L'échantillon précédent trempé à 1250°. Carbure sur fond d'austénite partiellement transformée en martensite. Gr. = 1000.

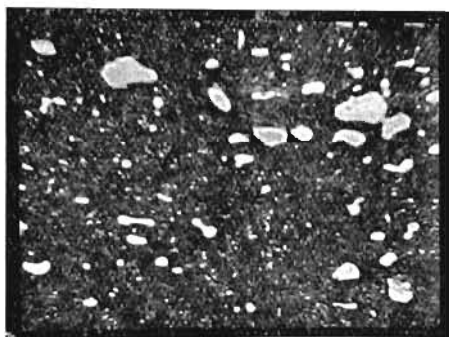


Fig. 104. L'échantillon précédent, après revenu à 600°. Carbure sur fond de martensite et d'osmondite. Gr. = 1000.

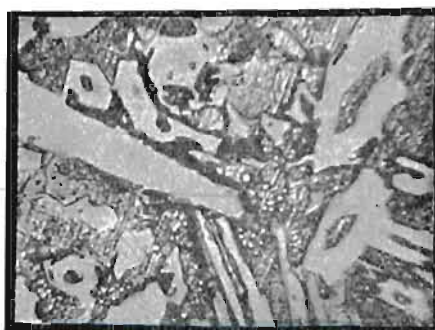


Fig. 105. Stellite attaquée à l'eau régale. Gr. = 1000.

La dernière micrographie (fig. 105) représente la structure de la stellite.

On donne, en outre, le tableau VI qui permet le calcul de la dureté de l'acier, en fonction du diamètre des empreintes et la courbe des températures du couple thermoélectrique, en fonction des déviations du galvanomètre.

## 5-ème MANIPULATION.

## L'ECROUISSAGE DU FER.

L'écroissage du fer est étudié au cours de la 5-ème manipulation. Les échantillons de fer, écroi par martelage, sont soumis à un chauffage au four électrique entre  $450^{\circ}$  et  $950^{\circ}$ . Après refroidissement, on étudie leur structure, la grosseur du grain et leur dureté. Ces résultats, très importants pour la pratique, donnent la température de recristallisation et la relation qui existe entre la grosseur du grain, le degré d'écroissage et la température du recuit.

*a) Appareils.*

Pour la cinquième manipulation, les appareils sont disposés sur deux tables (voir fig. 82). La disposition des appareils sur la première table est représentée sur la fig. 106 et pour la 2-ème table sur la fig. 107.

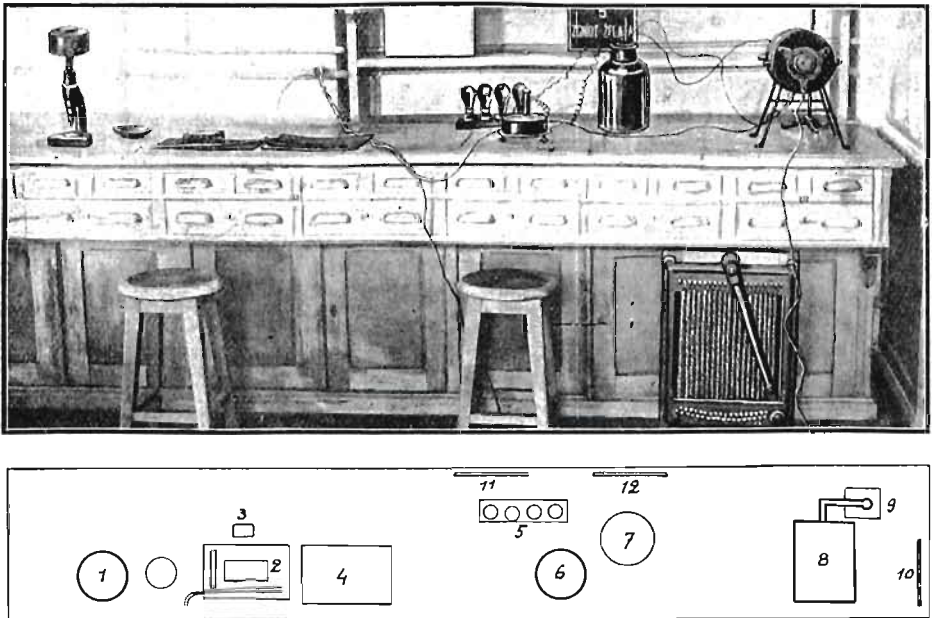


Fig. 106. Disposition des appareils, sur la première table, pour l'étude de l'écroissage du fer.

No.	A P P A R E I L S	Nombre
1	Appareil Le Grix et rond de papier. Billes dans une soucoupe	1
1	Appareils pour l'inclusion des échantillons: plaque de fer, chalumeau, bâton de gomme-laque, pinces . . . . .	1
3	Tige de fer (éprouvette) d'un diamètre de 5 mm, 2 montures pour inclusions, mastic à modeler, pointeau . . . . .	1
4	Glace à polir, papier émeri 0000 et potée 0000 . . . . .	1
5	Rhéostat à lampes (ou en manganine) . . . . .	1
6	Galvanomètre . . . . .	1
7	Flacon d'eau pour le couple; thermomètre. Couple . . . . .	1
8	Four électrique et son rhéostat . . . . .	1
9	Support pour fixer le couple thermoélectrique . . . . .	1
10—12	Tableaux d'instructions, diagrammes et inscriptions . . . . .	6

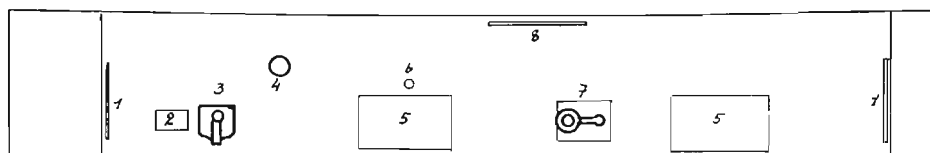


Fig. 107. Disposition des appareils, sur la deuxième table, pour l'étude de l'écroissage du fer.

No.	A P P A R E I L S	Nombre
1	Tableau d'instructions . . . . .	1
2	Eprouvette d'acier doux avec une empreinte Brinell . . . . .	1
3	Microscope de mesure. 1 division=0,005 mm. Mastic à modeler	1
	Autre oculaire, sans graduation, No. 4, $K_3=7,1$ . . . . .	1
4	Lampe sur pied, pour éclairer le microscope. . . . .	1
5	Glace à polir; papier émeri 0000 et potée 0000 . . . . .	1
6	Réactif: solution aqueuse à 4% d'acide azotique . . . . .	1
7	Loupe sur support . . . . .	1
8—9	Tableau des duretés et inscription . . . . .	1

## b) Instructions.

Cette manipulation a pour but l'étude de l'influence de l'écroutissage et du recuit sur la dureté et sur les dimensions des grains du métal écroui.

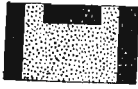


Fig. 108. Inclusion de la tige de fer.

A. Le métal brut. I. Disposer la loupe et le microscope de mesure dont chaque division correspond à 0,005 mm.

II. Chauffer le four électrique et arrêter le chauffage vers 450°.

III. Dans une tige de fer de 5 mm. de diamètre, préalablement chauffée à 950° et trempée à cette température, couper une longueur de 10 mm. environ, faire son inclusion, dans le sens de la longueur, comme l'indique la fig. 108, polir, puis mesurer sa dureté, en faisant les empreintes.

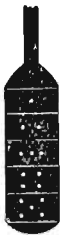


Fig. 109. Marquage des tôles écrouies.

IV. Attaquer, avec une solution à 1% d'acide azotique dans l'eau et mesurer la dimension moyenne des cristaux.

B. Influence du recuit. I. Aplatir le reste de la tige sur l'enclume, jusqu'à une épaisseur de 1 mm. environ, y découper avec la cisaille cinq tôles, comme l'indique la fig. 109 et marquer successivement ces tôles avec un poinçon (., .., ..., ::, :::).

II. Attacher chacune de ces tôles, à l'exception de la première, à un fil de fer et chauffer pendant 15 min. aux températures suivantes:

- ..) entre 450° et 500°
- ...) » 600° et 650°
- ::) » 750° et 800°
- :::) » 900° et 950°

III. Empiler ces cinq tôles dans l'ordre des numéros, les lier au moyen d'un fil de fer fin; faire leur inclusion et les polir (fig. 110). Faire deux empreintes (de 1 min.) sur chaque tôle et les mesurer au microscope de mesure.



Fig. 110. Inclusion des tôles écrouies.

IV. Attaquer les tôles avec une solution à 4% d'acide azotique dans l'eau (1/2 min.) et mesurer, au microscope, les dimensions moyennes des cristaux. Remplacer l'oculaire de mesure par le No. 4 et observer les caractères des grains.

V. Tracer, sur papier millimétré, les courbes obtenues, en portant en abscisses les températures moyennes de recuit et en ordonnées la dureté et la dimension des cristaux obtenus.

C. Influence du degré d'écroissage. I. Polir un échantillon d'acier extra doux (C environ 0,1%) qui, après billage Brinell, a été recuit pendant 30 min. à 800° et dont la surface a été ensuite dressée à la meule.

II. Attaquer l'échantillon avec une solution à 4% d'acide azotique dans l'eau, pour faire apparaître la trace de l'empreinte due à une recristallisation du métal écroui.

III. Observer, à la loupe et au microscope muni de l'oculaire No. 4, la disposition des cristaux autour du centre de l'écroissage et dessiner l'aspect observé. Remplacer l'oculaire No. 4 par l'oculaire de mesure et mesurer la dimension moyenne des grains au milieu de l'empreinte, sur son pourtour et dans le métal non écroui.

#### Plan du travail.

L'élève A.

Aplatit la tige de fer, découpe les tôles, les numérote et les attache.

Dispose la loupe.

Polit l'échantillon présentant des traces de billage, l'attaque et mesure les grains.

L'élève B.

Découpe le morceau de tige de fer, fait l'inclusion, fait deux empreintes de dureté, attaque et mesure les dimensions des cristaux

L'élève C.

Chauffe le four, dispose le microscope. Recuit les tôles, fait leur inclusion, les polit, fait les empreintes, les mesure, et mesure les dimensions des cristaux.

Observation en commun de tous les échantillons.

#### c) Renseignements.

Les renseignements complémentaires pour la 5-ème manipulation comprennent le diagramme des propriétés mécaniques de l'acier, en fonction du degré d'écroissage et du revenu qui a suivi, ainsi que la micrographie montrant la structure de l'acier écroui et revenu.

Dans les trois premières parties du diagramme (fig. 111), on voit la variation des propriétés mécaniques de trois espèces d'acier, en fonction du degré d'écroissage, exprimé en %; puis les deux parties, IV et V, montrent la variation des propriétés mécaniques d'un acier extra-doux, écroui à 70%, en fonction du temps de recuit, à une température donnée. Enfin, la dernière partie montre la variation de ces propriétés, en fonction de la température du revenu.

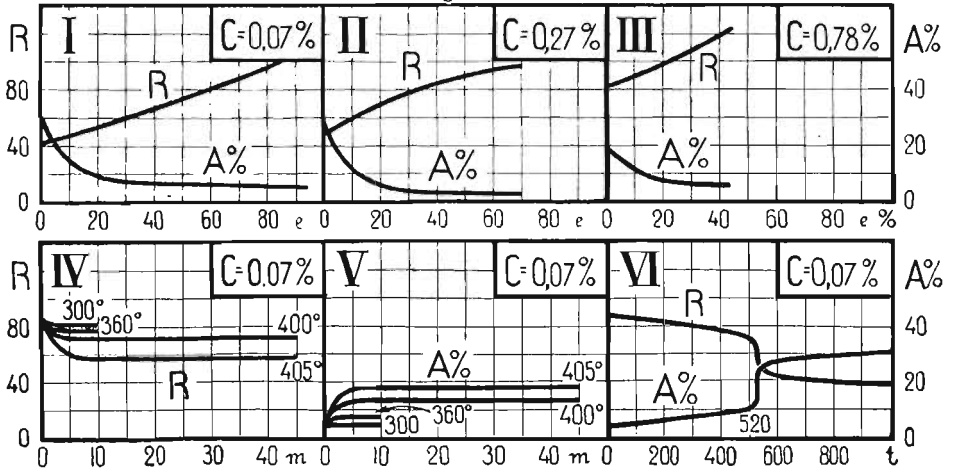


Fig. 111. Propriétés mécaniques de l'acier écroui. R, résistance à la traction; A%, allongements de rupture; e% degré d'écrouissage; m, temps de recuit en minutes; t, température de recuit.

Les micrographies représentées fig. 112 se rapportent à cette dernière partie (VI) du diagramme précédent. Elles montrent les structures de revenu pour différentes températures. On n'y voit de recristallisation que vers 625° et un accroissement des grains plus important à 775° qu'à 925°.

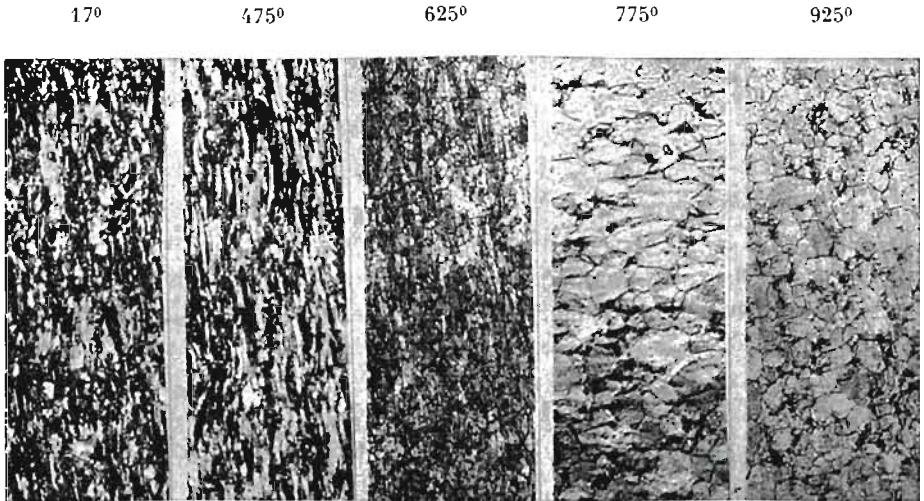


Fig. 112. Revenu de l'acier écroui (0,1% C) à différentes températures indiquées au dessus des micrographies. Gr.=150.

Enfin, on donne pour la 5-ème manipulation le tableau du calcul des duretés et la courbe d'étalonnage du couple thermoélectrique.

## 6-ème MANIPULATION.

### ETUDE DES IMPURETES DE L'ACIER ET DE LA FONTE.

Au cours de la 6-ème manipulation, on détermine les impuretés de la fonte et de l'acier. L'électrolyse dans la soude caustique, ainsi que l'attaque au picrate de soude montrent, au microscope, la teneur de la fonte en phosphore. Le réactif cuivrique de Stead permet de distinguer, au microscope, la ségrégation dans l'acier, avec ses impuretés en phosphore et en oxydes de fer. Enfin, le procédé Baumann met en évidence les sulfures par impression de l'échantillon d'acier sur papier au gélatino-bromure, imbibé d'une solution diluée d'acide sulfurique.

#### a) Appareils.

Les appareils de la 6-ème manipulation sont disposés sur deux tables (voir fig. 82).

La disposition des appareils sur la première table, destinés à l'étude de l'acier par le réactif cuivrique, est représentée fig. 113.

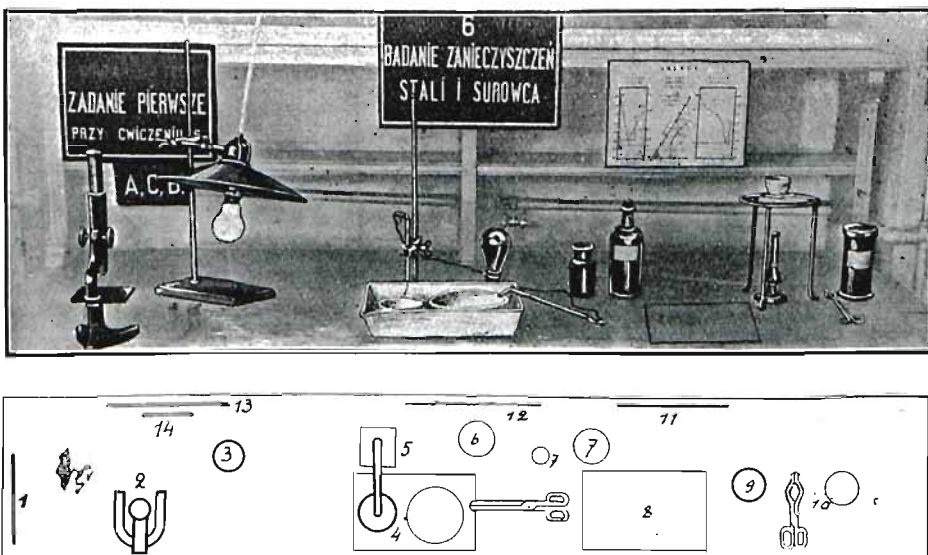


Fig. 113. Disposition des appareils pour l'étude de l'acier par le réactif au cuivre.

No.	A P P A R E I L S	Nombres
1	Tableau d'instructions . . . . .	1
2	Microscope Reichert, $K_1 = 1, 1$ ; oculaire No. 2 Zeiss, $K_3 = 5$ ; objectif No. 8 Leitz, $K_2 = 13, 25$ ; mastie à modeler . . . . .	1
3	Lampe sur pied avec diaphragme . . . . .	1
4	Cuvette et soucoupe de porcelaine; échantillons d'acier contenant des impuretés phosphoreuses . . . . .	1
5	Support en verre portant la cathode . . . . .	1
6	Rhéostat (1 lampe) pince reliée au rhéostat . . . . .	1
7	Réactifs: solution à 4% d'acide picrique dans l'alcool et réactif de Stead (composition: chlorure cuivreux cristallisé 1 gr., chlorure de magnésium crist. 4 gr., acide chlorhydrique concentré 2 cm <sup>3</sup> , eau 13 cm <sup>3</sup> , alcool méthylique 100 cm <sup>3</sup> ) . . . . .	1
8	Glace à polir. Papier émeri 0000 et potée 0000 . . . . .	1
9	Creuset sur trépied pour l'ébullition du picrate de soude. Brûleur . . . . .	1
10	Réactif: solution alcaline à 4% de picrate de soude. Pinces . . . . .	1
11.-12	Tableaux de courbes et inscriptions . . . . .	4

La disposition des appareils sur la seconde table est représentée fig. 114. C'est là que l'on fait l'étude de la fonte, par électrolyse dans la soude caustique et celle de l'acier, par impression sur papier au gélatino-bromure.

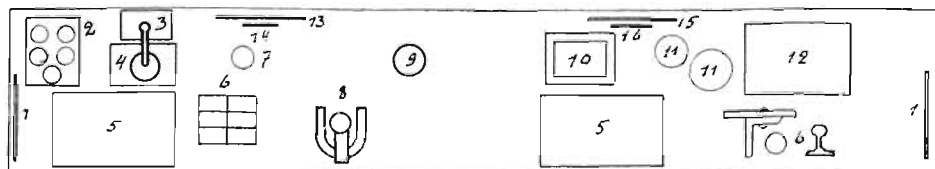
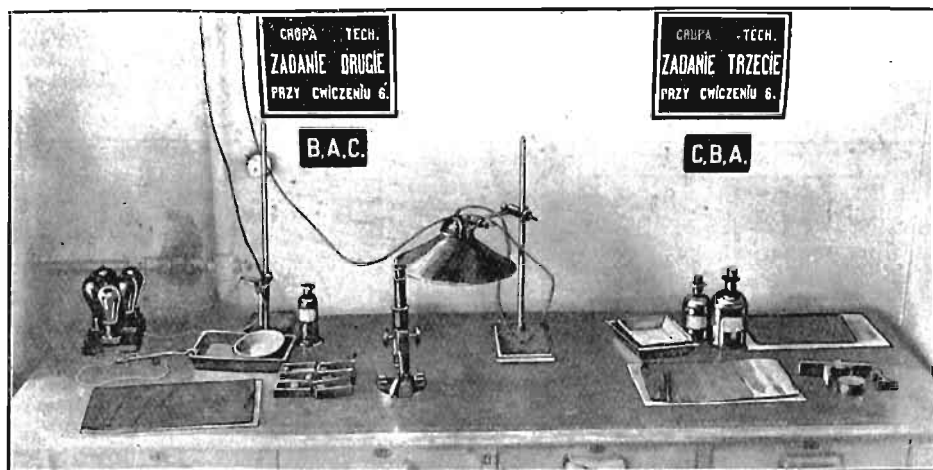


Fig. 114. Disposition des appareils pour l'étude de la fonte, par électrolyse dans la soude caustique et de l'acier, par impression sur papier photographique.



No.	A P P A R E I L S	Nombres
1	Tableau d'instructions . . . . .	2
2	Rhéostat (5 lampes), pince reliée au rhéostat . . . . .	1
3	Support en verre portant la cathode . . . . .	1
4	Cuvette et soucoupe de porcelaine . . . . .	1
5	Glace à polir, papier émeri 0000 et potée 0000 . . . . .	2
6	Echantillons de fonte Thomas et d'acier . . . . .	3
7	Réactif: solution à 10% de NaOH dans l'eau . . . . .	1
8	Microscope Reichert, $K_1 = 1,2$ . Oculaire No. 2 Reichert, $K_2 = 5$ . Objectif Leitz, $K_2 = 14,5$ ; mastic à modeler . . . . .	1
9	Lampe pour éclairer le microscope . . . . .	1
10	Cuvettes . . . . .	2
11	Réactif: solution à 3% de $S^{+}H^2$ dans l'eau; fixage . . . . .	2
12	Papier photographique au gélatino-bromure . . . . .	3
13—16	Inscriptions. . . . .	4
	Soufflet pour sécher les échantillons . . . . .	1
	Accumulateur de 6 volts . . . . .	1

### b) Instructions.

Le but de cette manipulation est l'étude des impuretés de l'acier et de la fonte, par observation au microscope, ou par impression sur papier au gélatino-bromure.

A. Réactif cuivrique. I. Disposer le microscope d'observation.

II. Polir un échantillon d'acier. L'observer au microscope avant et après attaque à l'acide pierique.

Dessiner les aspects observés.

III. Repolir l'échantillon. Verser dans la cuvette du réactif de Stead. Prendre l'échantillon dans la pince reliée au fil électrique, le plonger entièrement dans le réactif. La résistance du circuit est réglée de façon à maintenir l'intensité du courant au-dessous de 0,05 ampère<sup>1)</sup>.

IV. Couper le courant, reverser le réactif dans le flacon, laver l'échantillon et le sécher à l'air.

<sup>1)</sup> C'est un procédé d'attaque indiqué par Le Chatelier et Lemoine (1915). Cette attaque peut aussi être faite par le procédé de Charpy et Bonnerot (1918): on place l'échantillon dans le réactif jusqu'à ce qu'il se recouvre presque entièrement d'une fine couche de cuivre. Ce dépôt est enlevé par frottement avec de la ouate humectée d'ammoniaque.

V. Observer la surface de l'échantillon au microscope et dessiner l'aspect obtenu. Expliquer la signification de l'attaque observée, en remarquant que le réactif teinte avant tout les grains de ferrite les plus purs, c'est-à-dire ceux qui contiennent le moins de phosphore, de carbone ou d'oxyde de fer.

B. Electrolyse dans la soude caustique. I. Disposer le microscope d'observation.

II. Polir l'échantillon de fonte.

III. Verser dans la cuvette la solution de soude caustique (NaOH) et, ayant pris la pièce dans les pinces, l'attaquer par électrolyse pendant 20 secondes environ. L'intensité du courant doit être voisine de 1 ampère.

IV. Reverser le réactif dans le flacon, laver l'échantillon et le sécher à l'air.

V. Observer l'échantillon au microscope et repérer sa position au moyen du dispositif spécial.

VI. Repolir la pièce, l'attaquer au picrate de soude bouillant pendant 5 minutes et, après lavage et séchage, comparer au microscope l'aspect de l'attaque obtenue avec la précédente (V).

VII. Expliquer la signification de l'attaque observée, en remarquant que l'électrolyse dans la solution de soude caustique colore l'eutectique fer-carbone-phosphore et que le picrate de soude colore à la fois la cémentite (moins fortement) et l'eutectique phosphoreux (plus fortement).

C. Impression sur papier photographique. I. Polir l'échantillon d'acier sur les papiers émeri 0000 et potée 0000.

II. Verser dans une cuvette de la solution à 3% d'acide sulfurique, dans une autre une solution d'hyposulfite de soude à 20%. Plonger le papier au gélatino-bromure dans la solution d'acide sulfurique et attendre une demi-minute.

III. Enlever le papier photographique, le placer sur une plaque de verre, la surface sensible vers le haut, placer par dessus la pièce polie et attendre 3 minutes.

IV. Oter l'échantillon, laver le papier dans l'eau courante et le plonger dans l'hyposulfite de soude, attendre 5 minutes, retirer le papier et le laver à l'eau courante.

V. Expliquer la signification de l'impression obtenue, en remarquant que les parties sombres sont dues à la présence de soufre. L'image obtenue sera jointe au compte rendu.

## Plan du travail.

L'élève A.

Fait les travaux du § A.

" " " " § B.

" " " " § C.

L'élève B.

Fait les travaux du § B.

" " " " § C.

" " " " § A.

L'élève C.

Fait les travaux du § C.

" " " " § A.

" " " " § B.

## c) Renseignements.

Les documents joints à la 6-ème manipulation comprennent le tableau des diagrammes et quelques reproductions des pièces étudiées.

Les diagrammes (fig. 115) se rapportent aux alliages binaires et ternaires du fer avec le phosphore et le carbone, ainsi que du fer avec le soufre.

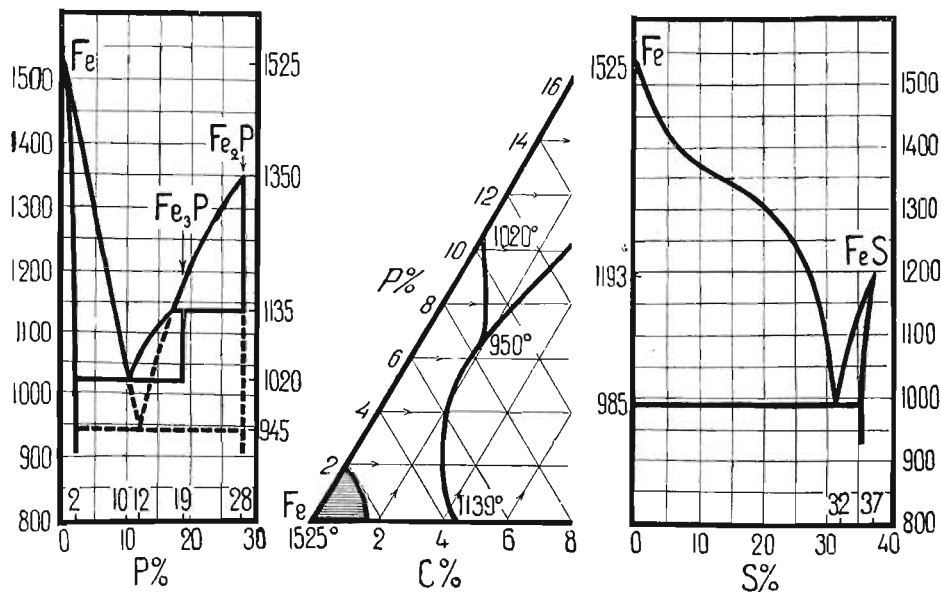


Fig. 115. De gauche à droite: Diagrammes partiels de fusion du fer avec le phosphore, du fer avec le phosphore et le carbone, du fer avec le soufre. Pour 100 en poids.

Les reproductions des alliages étudiés sont celles des essais faits au réactif de Stead sur l'acier (fig. 116), par électrolyse de la fonte dans la soude caustique (fig. 117) et par impression au papier photographique (fig. 118).

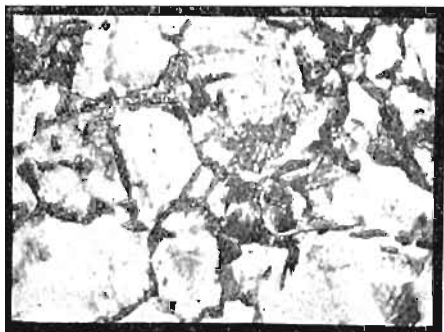


Fig. 116. Acier recuit à 0,6% de C. A gauche, attaque à l'acide picrique. Grain clair de ferrite sur fond de perlite. A droite attaque au réactif de Stead. Grain de ferrite sombre sur fond de perlite claire. Gr. = 70.



Fig. 117. Fonte Thomas. En haut, à gauche, attaque à l'acide picrique. Lamelles noires de graphite et grains clairs d'eutectique Fe-C-P sur fond gris de perlite. A droite, attaque par électrolyse dans la soude caustique. Le graphite et l'eutectique phosphoreux apparaissent noirs sur fond clair de perlite. En bas attaque au picrate de soude. Le graphite et l'eutectique apparaissent noirs sur fond gris de perlite Gr. = 70.

## 7-ème MANIPULATION.

### CEMENTATION ET DE- CARBURATION.

Deux manipulations successives sont consacrées à l'étude de la cémentation et de la décarburation. Au cours de la 7-ème, on fait la cémentation rapide par le cyanure et la cémentation lente par le procédé de Caron. En même temps, on fait la décarburation de la fonte blanche en fonte malléable. Les résultats de la cémentation rapide

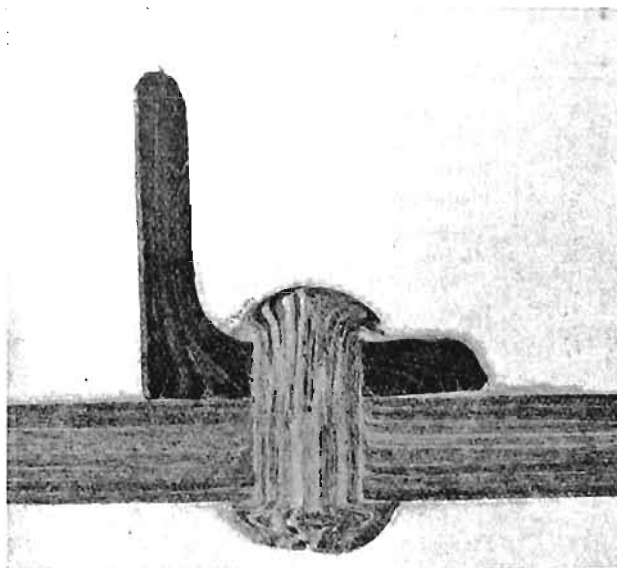


Fig. 118. Coupe d'un rivet de pont, reproduite par essai Bauman. La fig. 62 montre une macroscopie de cet échantillon.

sont étudiés immédiatement, ceux de la cémentation lente et de la décarburation sont laissés pour la séance suivante (8-ème man.).

#### a) Appareils.

La disposition des appareils pour la 7-ème manipulation est représentée fig. 119. La trempe, après cémentation se fait à part, sur les appareils qui ont servi à la deuxième manipulation et qui sont représentés fig. 85.

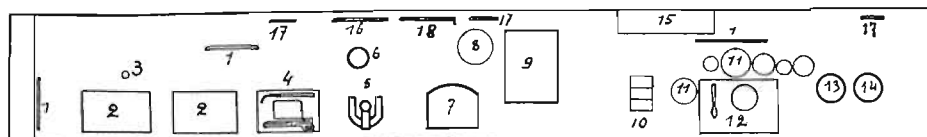
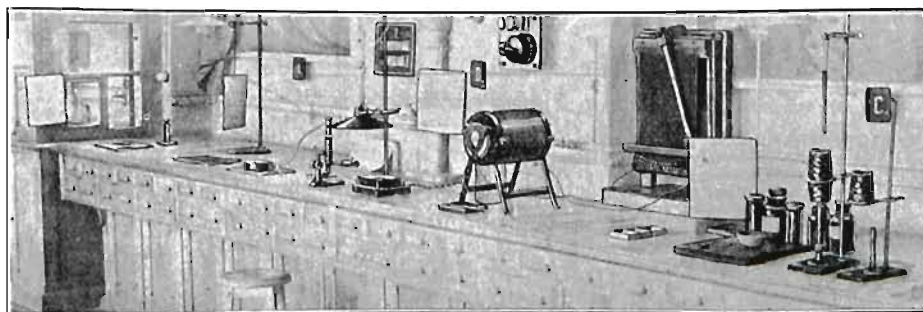


Fig. 119. Disposition des appareils pour la septième manipulation.

No.	A P P A R E I L S	Nombre
1	Tableaux d'instructions . . . . .	3
2	Glace à polir, papier émeri 0000 et potée 0000 . . . . .	2
3	Réactif: solution saturée d'acide picrique dans l'eau . . . . .	1
4	Plaque de fer pour les inclusions, chalumeau; gomme-laque, pinces . . . . .	1
5	Microscope Leitz, $K_1=1,2$ ; oculaire No. 2, $K_3=5$ ; objectif No. 3 Leitz $K_2=13,15$ ; mastic à modeler . . . . .	1
6	Lampe électrique avec diaphragme sur pied, pour éclairer le microscope . . . . .	1
7	Galvanomètre . . . . .	
8	Flacon avec de l'eau pour le couple. Couple thermoélectrique Thermomètre . . . . .	1
9	Four électrique à résistance (actuellement il y en a deux) . .	1
10	Echantillons: tige de fer ( $d=5$ mm.), fil de fer ( $d=3$ mm.) fonte blanche, trois montures pour inclusions . . . . .	1
11	Flacons de minerai de fer ( $Fe^2O^3$ ), de kaolin, de mélange cémentant de Caron (40% $CO^3Ba$ et 60% C), de terre réfractaire. Pâte à cémenter, composition: cyanure de potassium 8%, ferrocyanure de potassium 8%, C en poudre (suie) 50%, carbonate de soude 15%, fluorure de chaux 7%, sable fin 7%, gélatine 5%; eau, quantité nécessaire pour obtenir une consistance pâteuse. Baguette de verre, soucoupe contenant des morceaux de charbon de bois, deux creusets de fer, pinces, fil de fer pour placer les creusets dans le four . .	1
12	Soucoupe et cuiller . . . . .	1
13	Four à gaz et tube de fer pour la cémentation rapide . . . .	1
14	Four à gaz pour chauffer le fil de fer avant la cémentation . .	1
15	Rhéostat du four électrique (au nombre de 2 actuellement) . .	1
16—18	Tableaux: diagrammes et inscriptions . . . . .	5
Sans No.	Soufflet pour sécher les échantillons . . . . .	1

*b) Instructions.*

But de la manipulation: carburation superficielle de l'acier doux, par chauffage dans un mélange carburant et préparation de la fonte malléable, par chauffage de la fonte blanche entourée d'oxyde de fer.

A. Cémentation lente et décarburation. I. Couper à la scie un morceau de 3 cm. dans une tige de fer de 5 mm. de diamètre.

II. Verser dans le creuset du mélange cémentant de Caron sec (40%  $Ba CO^3 + 60\% C$ ), placer le morceau de fer, verser encore du mélange de Caron et tasser avec une baguette de verre.

III. Préparer dans une cuvette une pâte consistante de terre réfractaire pour boucher les fentes.

IV. Couvrir le creuset de son couvercle et luter les fentes avec la pâte.

V. Le morceau de fonte blanche reçue sera cassé en deux. Sa composition moyenne est de  $C = 3\%$ ,  $Si = 0,6\%$ ,  $Mn = 0,4\%$ .

VI. Placer un des morceaux de fonte blanche dans un creuset et le recouvrir de minerai de fer ( $Fe^2 O^3$ ), puis fermer avec le couvercle et boucher les fentes avec de la pâte à luter, comme aux § III et IV.

VII. Glisser avec précaution les deux creusets dans le four électrique<sup>1)</sup>, boucher le four et mettre le courant. Vérifier la position du couple thermoélectrique.

VIII. Augmenter progressivement l'intensité du courant, au moyen du rhéostat, de façon que la température atteigne  $950^0$  et maintenir cette température pendant 2 heures, puis couper le courant et laisser le tout tel quel jusqu'à la manipulation suivante.

IX. Faire l'inclusion de l'autre morceau de fonte blanche dans la monture No. 1, le polir, l'attaquer avec la solution aqueuse d'acide picrique et dessiner l'aspect observé au microscope.

B. Cémentation rapide. I. Allumer le brûleur Meker et attendre environ 15 min. pour que le four atteigne une température de l'ordre de  $1.000^0$ .

II. Chauffer légèrement un fil de fer de 3 mm. de diamètre et de 5 cm. de long, le plonger dans la pâte à cémenter préparée et le sécher avec précaution dans la flamme du brûleur.

III. Mettre dans le tube de fer un morceau de charbon de bois, de la grosseur d'un petit pois et le morceau de fil de fer, puis glisser le tube de fer dans le four. Après vingt minutes de chauffage, réduire progressivement la flamme du brûleur jusqu'à ce que le tube cesse d'être rouge. Enlever alors le fil de fer du tube.

IV. Couper une extrémité, pour obtenir un morceau de 1 cm. de long, faire son inclusion dans la monture No. 2, le polir, l'attaquer à la solution aqueuse d'acide picrique, dessiner l'aspect observé au microscope et garder l'échantillon pour des mesures à faire au cours de la manipulation suivante.

V. L'autre morceau de fer cémenté sera attaché à un fil de nichrome, chauffé rapidement au rouge clair dans la flamme du brûleur et trempé à l'eau.

VI. Détacher de l'échantillon trempé un morceau de 1 cm. de long, faire son inclusion dans la monture No. 3, le polir, l'attaquer à l'acide picrique en solution dans l'eau et dessiner l'aspect observé au microscope.

<sup>1)</sup> La décarburation se fait actuellement dans un autre four que la cémentation.

## Plan du travail.

L'élève A.	L'élève B.	L'élève C.
Prépare l'échantillon pour la cémentation lente.	Prépare la pâte à luter les fentes.	Prépare l'échantillon de fonte à décarburer
Observe la température du four pendant 1 heure.	Cémente le fil de fer (3 mm). Fait l'inclusion de l'échantillon recuit, le polit et l'attaque.	
Fait l'inclusion de l'échantillon de fonte blanche, le polit et l'attaque.	Observe la température du four pendant la 2-ème heure.	Trempe le fil de fer cémenté, fait son inclusion, le polit et l'attaque.
Observation commune au microscope.		

*c) Renseignements.*

Pour tous documents on donne à la septième manipulation les reproductions du fil de fer cémenté à la pâte au cyanure (fig. 120) et la courbe d'étalonnage du couple thermoélectrique.

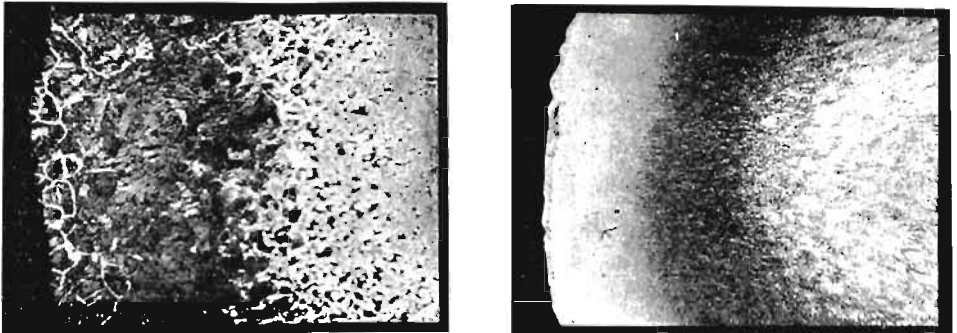


Fig. 120. Fil de fer cémenté rapidement à la pâte au cyanure. A gauche, refroidi lentement. On voit successivement les couches suivantes: cémentite claire sur fond de perlite, perlite grise, ferrite claire sur fond de perlite. A droite le même échantillon, après trempe. On y voit successivement les couches suivantes: martensite claire, mélange sombre de martensite et de troostite, ferrite grise. Gr. = 80.

## 8-ème MANIPULATION.

## CEMENTATION ET DECARBURATION II.

Les échantillons de fer cémenté lentement et de fonte blanche décarburée ne peuvent être étudiés, faute de temps au cours de la 7-ème manipulation. Cette observation se fait pendant la 8-ème séance. En outre on



fait aussi un exemple facile de cémentation métallique: celle du cuivre dans la vapeur de zinc.

a) Appareils.

Les appareils de la 8-ème manipulation sont placés sur deux tables (fig. 82). Sur la première table, on fait la cémentation du cuivre par le zinc (fig. 121).

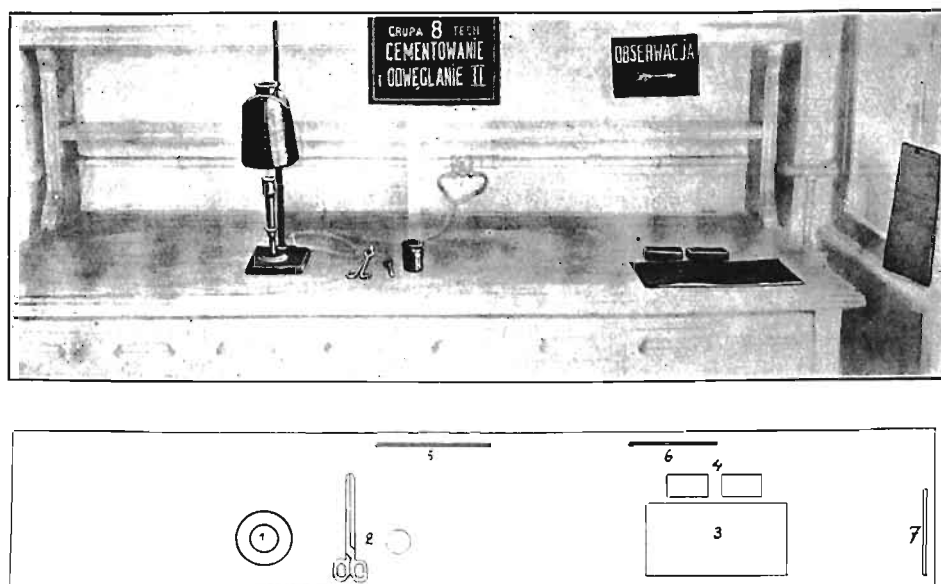


Fig. 121. Disposition des appareils pour la cémentation du cuivre par le zinc.

No.	APPAREILS	Nombre
1	Four à gaz pour chauffer le zinc, creuset et couvercle, baguette de charbon . . . . .	1
2	Flacon de charbon de bois, cuiller, pince . . . . .	1
3	Glace à polir, papier émeri 0000 et potée 0000 . . . . .	1
4	Fil de cuivre . . . . .	2
5-7	Tableaux d'instructions et inscriptions . . . . .	3

L'étude des pièces cémentées se fait sur la deuxième table (fig. 122).

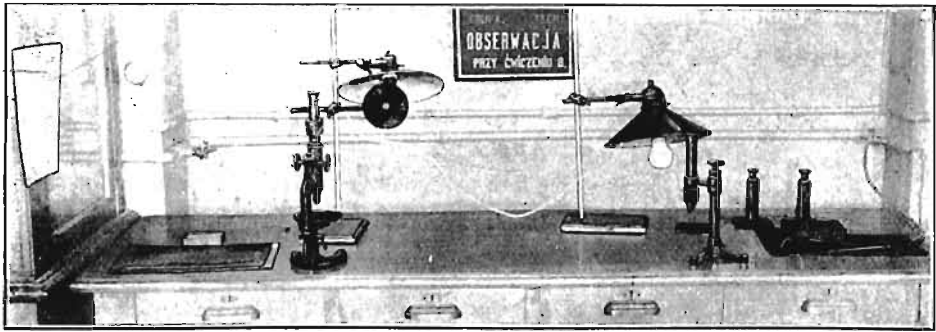


Fig. 122. Disposition des appareils pour l'observation des échantillons cimentés.

No.	A P P A R E I L S	Nombre
1	Tableaux d'instructions . . . . .	2
2	Glace à polir, papier émeri 0000 et potée 0000 . . . . .	1
3	Echantillons de la manipulation précédente . . . . .	5
4	Microscope $K_1 = 1,2$ ; oculaire No. 2 Zeiss, $K_3 = 5$ ; objectif Reichert No. 5. $K_2 = 39,9$ . . . . .	1
5	Lampe avec diaphragme, pour éclairer le microscope d'observation . . . . .	1
6	Inscription . . . . .	1
7	Lampe pour éclairer le microscope de mesure . . . . .	1
8	Microscope de mesure, 1 division = 0,02 mm. . . . .	1
9	Réactifs: 1) Iode dissout dans une solution aqueuse d'iode de potassium (10% I + 20% KI + eau, 2) solution saturée d'acide picrique dans l'eau, 3) réactif chromique (1% $CrO^3H^2$ , 10% HCl et eau) . . . . .	1
10	Plaque pour les inclusions, chalumeau, Baguette de gomme-laque. Montures pour inclusions. Mastic à modeler. Pince. . . . .	1

*b) Instructions.*

Cette manipulation a pour but l'étude de la profondeur et du caractère de la couche carburée dans l'acier cimenté d'une part, d'autre part de la couche décarburée dans la fonte; puis l'exécution de la cémentation du cuivre dans la vapeur de zinc.

A. Etude des effets de la cémentation et de la décarburation. I. Régler le microscope d'observation et le microscope de mesure dont chaque division correspond à 0,02 mm.

II. Mesurer l'épaisseur de la couche carburée dans la pièce cémentée à la pâte de cyanure (monture No. 2) et en déduire la vitesse de cémentation en mm/heure.

III. Sortir les pièces des creusets et les couper en deux. Faire les inclusions, la section vers l'extérieur, du morceau de fonte blanche décarburrée (monture No. 4) et du morceau de fer cémenté lentement (monture No. 5), polir, attaquer avec la solution saturée d'acide picrique dans l'eau et observer au microscope. Dessiner les structures.

IV. Mesurer, avec le microscope de mesure, l'épaisseur de la couche carburée obtenue par cémentation lente (monture No. 5) et calculer la vitesse de cémentation en mm/heure.

V. Comparer, au microscope d'observation, les caractères de la cémentation lente et de la cémentation rapide, au point de vue des structures des couches carburées.

VI. Mesurer l'épaisseur des deux couches apparentes sur l'éprouvette de fonte blanche décarburrée: 1<sup>o</sup>) de l'extérieur jusqu'au début de la couche de perlite pure et 2<sup>o</sup>) de l'extérieur jusqu'à la couche contenant du graphite. Calculer les vitesses de décarburation correspondantes en mm/heure.

B. Cémentation du cuivre. I. Allumer le brûleur Meker sous le creuset et attendre une demi-heure, pour laisser monter la température, puis enlever le couvercle et mettre le morceau de zinc dans le creuset, le recouvrir d'une couche de charbon de bois et attendre quelques minutes que la vapeur de zinc commence à se dégager.

II. Accrocher à un fil de fer le fil de cuivre à cémenter ( $d = 3$  mm.). Pour empêcher la condensation du zinc sur le fil de cuivre, le chauffer rapidement dans la flamme du brûleur, l'introduire ensuite dans le trou du couvercle, pour qu'il se trouve en entier dans la vapeur de zinc, à environ 1 cm. de la surface du métal fondu. Boucher le trou du couvercle avec un morceau de charbon de bois.

III. Après 5 minutes de cémentation, éteindre le brûleur et attendre que le creuset refroidisse (environ 15 min.) puis sortir le fil de cuivre, le couper en deux, faire son inclusion de façon que la section soit apparente et le polir.

IV. Si, après un premier polissage, il reste des raies sur l'échantillon et si elles résistent au polissage soigné, faire une attaque au réactif à l'iode (iode dissout dans une solution d'iodure de potassium dans l'eau), laver dans un courant d'eau, en frottant légèrement avec le doigt pour enlever le dépôt blanc formé et enfin attaquer au réactif chromique.

V. Dessiner l'aspect vu au microscope d'observation et mesurer la profondeur de la couche cémentée au microscope de mesure. En tirer les conclusions relatives à la structure de la couche cémentée.

#### Plan du travail.

##### L'élève A.

Dispose le microscope d'observation. Cémente le fil de cuivre, fait son inclusion, le polit l'attaque et mesure la profondeur de la cémentation.

##### L'élève B.

Dispose le microscope de mesure. Fait l'inclusion de l'échantillon de fonte blanche décarburée, le polit et l'attaque. Mesure la profondeur de la décarburation.

##### L'élève C.

Sort les creusets du four, fait l'inclusion du fer cémenté lentement et l'attaque. Mesure la profondeur des cémentations obtenues par le procédé lent et par le procédé rapide.

Observation commune des échantillons.



Fig. 123. Fil de fer cémenté lentement. On y voit les couches successives: cémentite sur fond de perlite, perlite pure, ferrite à grain fin sur fond de perlite. Gr. = 50.

#### c) Renseignements.

Les documents, fournis pour cette manipulation, comprennent uniquement les reproductions des micrographies des échantillons étudiés.

La fig. 123 montre la micrographie du fer cémenté lentement au cours de la 7-ème séance.

Sur la fig. 124 on voit les résultats de la décarburation de la fonte blanche faite pendant la 7-ème manipulation.

La dernière micrographie (fig. 125) représente les résultats de la cémentation du cuivre par le zinc.

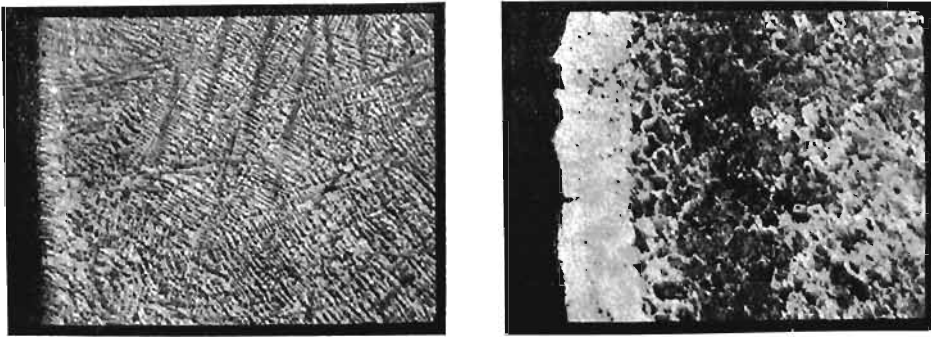


Fig. 124. A gauche, fonte blanche hypoeutectique avant décarburation. A droite, la même après décarburation: on y voit successivement une couche claire de ferrite, une couche sombre d'acier perlitique et de la fonte grise intacte. Gr. = 50.

## 9-ème et 10-ème MANIPULATIONS.

### ANALYSE MICROGRAPHIQUE.

Les deux dernières manipulations (9-ème et 10-ème) portent sur l'analyse micrographique des alliages fer-carbone. L'élève reçoit à chaque séance 7 échantillons appartenant aux catégories suivantes: fonte blanche hypoeutectique, fonte blanche hypereutectique, fonte grise, acier recuit hypoeuctoïde, acier recuit hypereutectoïde, acier à perlite granulaire, acier trempé martensitique, acier trempé austénitique, acier trempé à martensite-austénite mélangées, acier trempé à martensite-trooslite mélangées, acier revenu à structure d'osmondite ou de sorbite. L'analyse consiste à reconnaître les constituants, ce qui permet de déterminer les traitements effectués dans le cas des aciers au carbone. La disposition des appareils est la même pour les 9-ème et 10-ème manipulations. Il en est de même des instructions. On ne fait de différence que par la nature (composition et structure) des échantillons soumis à l'examen.

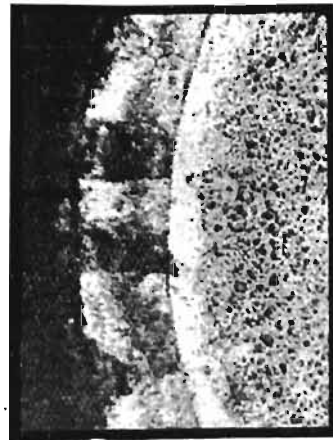


Fig. 125. Fil de cuivre émenté par le zinc. On y voit les couches successives de laiton, puis le cuivre. Gr. = 50.

#### a) Appareils.

La fig. 126 représente la disposition des appareils pour les 9-ème et 10-ème manipulations.

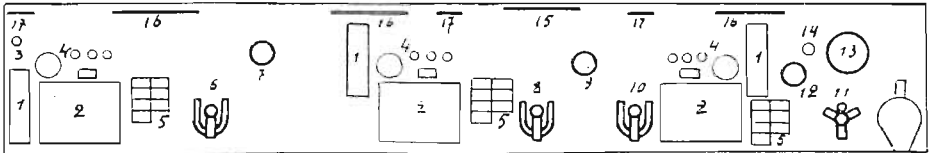
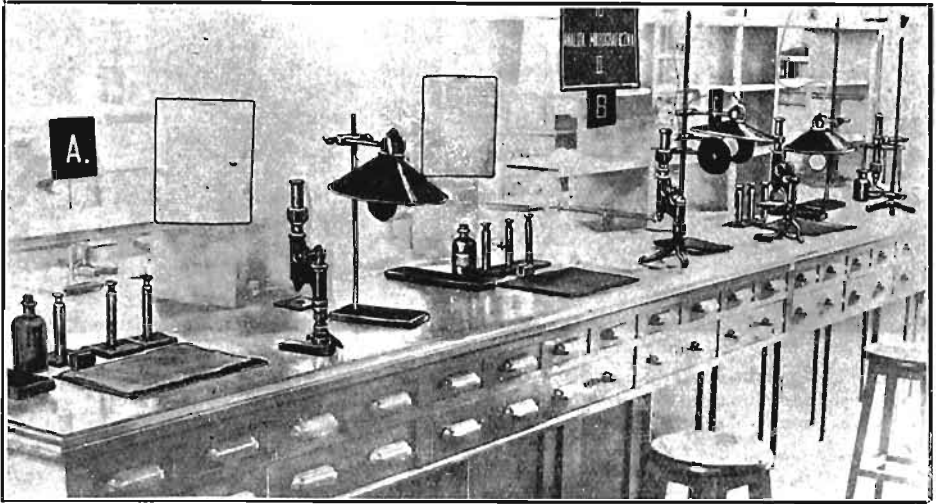


Fig. 126. Dispositions des appareils pour l'analyse micrographique.

No.	APPAREILS	Nombre
1	Planchette à polir . . . . .	3
2	Glace à polir, papier émeri 0000 et potée 0000 . . . . .	3
3	Flacon de désinfectant pour les pulvérisateurs ( $KMnO_4$ ) . . . . .	1
4	Flacon d'oxyde de fer et pulvérisateur, réactifs: solution d'acide picrique à 4% dans l'alcool, solution d'acide azotique à 4% dans l'alcool isoamylique, solution à 10% d'iode dans l'alcool; mastie à modeler, aimant . . . . .	3
5	7 échantillons pour l'analyse (dont un n'est pas reconnu par le préparateur) . . . . .	3
6, 8, 10	Microscope Reichert, $K_1 = 1,2$ ; objectif No. 5 Leitz, $K_2 = 39,9$ ; oculaire No. 4 Reichert $K_3 = 7,4$ ; éclaireur Rejtö . . . . .	3
7, 9	Lampes électriques avec diaphragme pour le microscope . . . . .	2
11	Microscope d'observation préliminaire, $K_1 = 1,2$ ; objectif $\alpha$ Zeiss, $K_2 = 7,35$ ; oculaire No. 1 Leitz, $K_3 = 4$ . . . . .	1
12	Lampe électrique avec diaphragme, pour le microscope . . . . .	1
13	Cresset de porcelaine sur trépied, pince, brûleur . . . . .	1
14	Réactif: pierate de soude en solution alcaline . . . . .	1
15-17	Tableaux d'instructions et inscriptions . . . . .	7
	Soufflet pour sécher les échantillons, polisseuse rotative . . . . .	

*b) Instructions.*

Cette manipulation a pour but de reconnaître les constituants métallographiques de l'acier et d'en tirer les conclusions relatives au traitement thermique et à la composition chimique des échantillons.

I. *Impuretés.* Polir l'échantillon étudié et constater, en l'observant au microscope, s'il contient du graphite, des scories ou des porosités.

II. *Constituants de revenu.* Attaquer, pendant 5 secondes, à l'acide picrique en solution alcoolique à 4%. Les constituants de transition apparaissent alors: osmondite, sorbite, et troostite. S'il apparaît une structure homogène, de teinte sombre, on a de l'osmondite. La sorbite représente la structure intermédiaire entre l'osmondite et la perlite. La troostite apparaît, sous la forme de taches arrondies et sombres, sur un fond inattaqué de martensite. Dans ce dernier cas, la présence de martensite sera décelée d'après les indications du § V.

III. *Constituants de recuit.* Si l'attaque précédente donne des résultats négatifs, attaquer plus longtemps l'échantillon (30·sec.) à l'acide picrique. La perlite se reconnaît facilement dans la structure observée. Quand, en présence de perlite, on trouve des cristaux non colorés par le réactif et qu'il y a doute entre la ferrite et la cémentite, il faut attaquer, après repolissage, pendant 5 minutes au picrate de soude bouillant. Dire le genre d'alliage reçu: acier, fonte blanche ou fonte grise. Dans le cas de l'acier, donner la teneur approchée en carbone.

IV. *Constituants de trempe.* Si l'échantillon, attaqué de 30 à 60 secondes à l'acide picrique, fait apparaître des grains polyédriques, ce peut-être de la ferrite ou de l'austénite. On attaquera alors, après repolissage, à la solution alcoolique d'iode qui colore l'austénite dans l'acier au manganèse et laisse incolores, ou très peu colorées, la ferrite et l'austénite de l'acier au nickel. Vérifier les résultats de l'observation au moyen de l'aimant.

V. Si l'action de l'acide picrique est très faible au bout de 30 sec., attaquer l'échantillon à l'acide azotique en solution à 4% dans l'alcool isomyle. Il peut apparaître alors des cristaux en aiguilles de martensite, faisant généralement entre elles des angles de 30° et de 60° ou bien des grains d'austénite ou de ferrite. On distinguera l'austénite de la ferrite comme l'indique le § IV.

VI. *Suite des observations.* Les observations au microscope doivent être faites successivement sous un faible grossissement (microscope

d'observation préliminaire) et ensuite sous un fort grossissement (microscope individuel).

Les résultats du classement devront être soumis à l'approbation du préparateur.

Dans le compte rendu on mentionnera, pour chaque échantillon classé, les essais qu'il a subis et les résultats obtenus pour chaque essai.

### *c) Renseignements.*



Fig. 127. Acier à 1,5% C trempé. Attaque à l'acide azotique. Cristaux clairs de martensite sur fond d'austénite. Gr. = 300.

Les alliages de fer, étudiés au cours des 9-ème et 10-ème manipulations, ont été, presque tous observés par les élèves pendant les séances précédentes des deux séries.

Seules deux espèces d'aciers n'ont pas encore été étudiées, savoir: le mélange martensite-austénite (fig. 127) et la perlite granulaire (fig. 128). Leurs microphotographies viennent compléter la série des micrographies jointes comme documents.



Fig. 128. Acier à 1,5% C refroidi très lentement. A gauche, l'attaque à l'acide picrique montre les cristaux clairs de cémentite globulaire sur fond de ferrite. A droite, l'attaque au picrate de soude montre les cristaux sombres de cémentite sur fond de ferrite. Gr. = 300.



FONCTIONS DU PRÉPARATEUR POUR LES TRAVAUX PRATIQUES  
DE LA DEUXIÈME SÉRIE.

*Instructions générales.*

Avant chaque manipulation le préparateur devra :

1. Disposer dans l'ordre les appareils nécessaires.
2. Remplir les flacons de réactifs et d'oxyde de fer en suspension dans l'eau.
3. Changer les papiers à polir endommagés.
4. Enlever, au papier émeri, les attaques micrographiques faites par les élèves de la séance précédente.
5. Veiller à ce que les tables de travaux soient bien essuyées par le garçon de laboratoire.

*Instructions particulières.*

1-ère manipulation.

Vérifier que les éprouvettes, portant des empreintes Brinell normales, peuvent encore servir à faire des empreintes microscopiques. Eventuellement les changer.

2-ème manipulation.

1. Recuire l'échantillon qui doit être trempé et tremper celui qui est destiné à être revenu.
2. Vérifier le couple thermoélectrique.

3-ème manipulation.

Remplacer la pièce soudée par une autre.

4-ème manipulation.

1. Recuire l'échantillon d'acier à outils.
2. Vérifier le couple thermoélectrique.
3. Vérifier qu'il y a du charbon de bois.

5-ème manipulation.

1. Faire fondre les inclusions pour sortir les échantillons des montures.
2. Mettre une nouvelle tige de fer pour l'érouissage.
3. Vérifier le couple thermoélectrique.
4. Vérifier l'état de l'éprouvette destinée à établir l'influence du degré d'érouissage sur la grosseur du grain, éventuellement la remplacer par une autre.

## 6-ème manipulation.

1. Mettre du papier photographique pour les essais Baumann.
2. Vérifier la tension de l'accumulateur.

## 7-ème manipulation.

Placer des nouveaux échantillons pour la cémentation et la décarburation.

## 8-ème manipulation.

1. Placer un nouvel échantillon de cuivre à cémenter et un morceau de zinc.
2. Vérifier s'il y a encore du charbon de bois.
3. Fondre les inclusions, pour dégager les éprouvettes des montures.
4. Joindre les échantillons de la 7-ème manipulation.

## 9-ème et 10-ème manipulation.

Changer les séries d'échantillons étudiés au cours de la séance précédente.



nr. 721

## TABLE DES MATIERES.

	Pages
Préface de M. Le Chatelier	
Avant-propos de l'auteur	
Manipulations de métallographie . . . . .	1
Première série de manipulations . . . . .	3
1-ère manipulation. Polissage des échantillons et observation micrographique . . . . .	4
2-ème       »       Mesure des cristaux et inclusion de petits échantillons . . . . .	9
3-ème       »       Repérage des échantillons et analyse micrographique . . . . .	15
4-ème       »       Micrographie des alliages du cuivre . . . . .	20
5-ème       »       Influence de la trempe sur la structure de l'acier . . . . .	30
6-ème       »       Macroscopie . . . . .	34
7-ème       »       Soudure et étalonnage du couple thermoélectrique . . . . .	39
8-ème       »       Analyse thermique . . . . .	45
9-ème       »       Observation des points de transformation de l'acier . . . . .	48
10-ème       »       Etalonnage des montres de Seger et du pyromètre optique . . . . .	54
Fonctions du préparateur pour les manipulations de la 1-ère série . . . . .	59
Deuxième série de manipulations . . . . .	60
1-ère manipulation. Empreintes de dureté microscopiques . . . . .	61
2-ème       »       Revenu et trempe douce des aciers au carbone . . . . .	69
3-ème       »       Soudure électrique . . . . .	74
4-ème       »       Traitement thermique des aciers à coupe rapide . . . . .	78
5-ème       »       Ecroûissage du fer . . . . .	84
6-ème       »       Etude des impuretés de l'acier et de la fonte . . . . .	89
7-ème       »       Cémentation et décarburation I . . . . .	95
8-ème       »       »                    »                    II . . . . .	98
9-ème et 10-ème       Analyse micrographique . . . . .	103
Fonctions du préparateur pour les manipulations de la 2-ème série . . . . .	107
Erreurs d'impression . . . . .	110

## ERREURS D'IMPRESSION.

<i>Page</i>	<i>Ligne</i>	<i>Au lieu de</i>	<i>Doit être</i>
21	11 du bas	K	$K_1$
23	fig. 32	Manque l'indication du rayon l	
59	14 du bas	Manipulation	manipulation
76	3 du haut	sa résistance	son adhérence
90	4 du haut	No. 8	No. 3
94	9 du bas	te	et



nr 721

IMP. DE LA FONDATION MIANOWSKI  
VARSOVIE