

ÉTUDE INDUSTRIELLE

DES

ALLIAGES MÉTALLIQUES

PAR

LÉON GUILLET

DOCTEUR ÈS SCIENCES

INGÉNIEUR DES ARTS ET MANUFACTURES

LAURÉAT ET MEMBRE DU COMITÉ DE LA SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS DE FRANCE

LAURÉAT ET MEMBRE CORRESPONDANT

DE LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

ALBUM DE MICROGRAPHIES

PARIS (VI^e)

H. DUNOD ET E. PINAT, ÉDITEURS

SUCCESSIONS DE V^o CH. DUNOD

49, Quai des Grands-Augustins, 49

1906

Tous droits réservés

UNIVERSITÉ DE LILLE

1984

LE DEVOIR DE LA LITTÉRATURE

ARCH

NO 4407 R

669 # GUI



ÉCOLE CENTRALE
DE LILLE
Cité Scientifique - BP 48
59651 VILLENEUVE D'ASCQ Cedex
FRANCE

21 JUIL 1982



v. Lwafwid

ALLIAGES MÉTALLIQUES

ÉTUDE INDUSTRIELLE
DES
ALLIAGES MÉTALLIQUES

PAR

LÉON GUILLET

DOCTEUR ÈS SCIENCES

INGÉNIEUR DES ARTS ET MANUFACTURES

LAURÉAT ET MEMBRE DU COMITÉ DE LA SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS DE FRANCE

LAURÉAT ET MEMBRE CORRESPONDANT

DE LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

ALBUM DE MICROGRAPHIES

PARIS (VI^e)

H. DUNOD ET E. PINAT, ÉDITEURS

SUCCESSIONS DE V^o CH. DUNOD

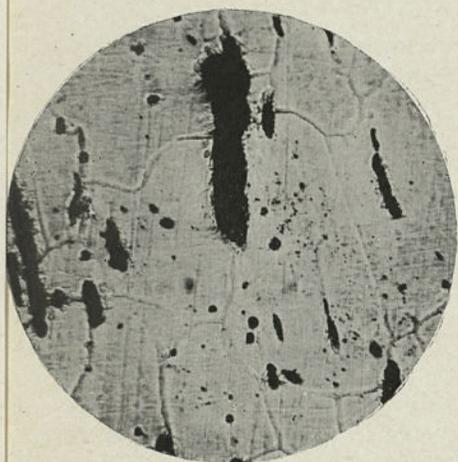
49, Quai des Grands-Augustins, 49

1906

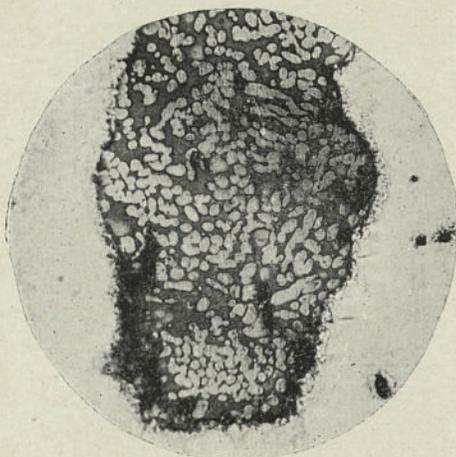
Tous droits réservés.

UNIVERSITÉ DE LILLE

SCORIES DANS LE FER DOUX



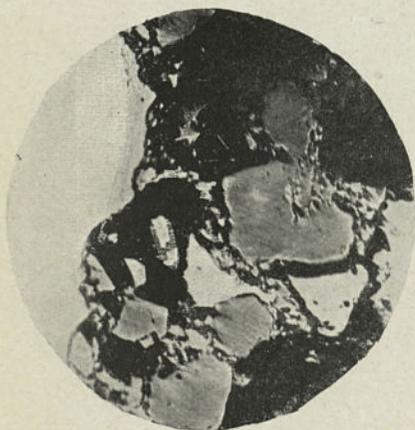
PHOT. 1. — G = 200 d.



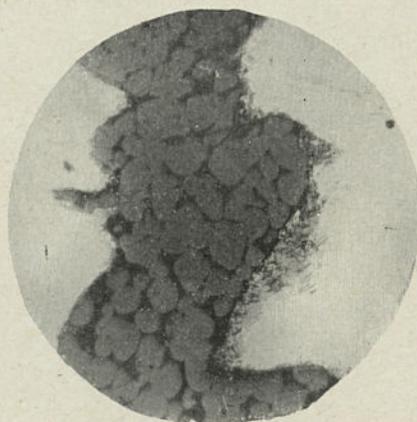
PHOT. 2. — G = 200 d.

Polissage en bas-relief.

Les scories montrent deux éléments encore indéterminés ; ce sont probablement des silicates.

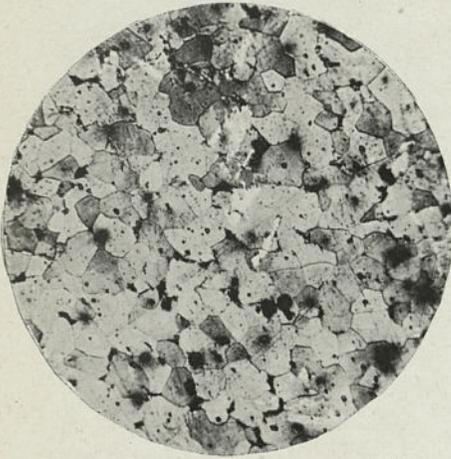


PHOT. 3. — G = 550 d.

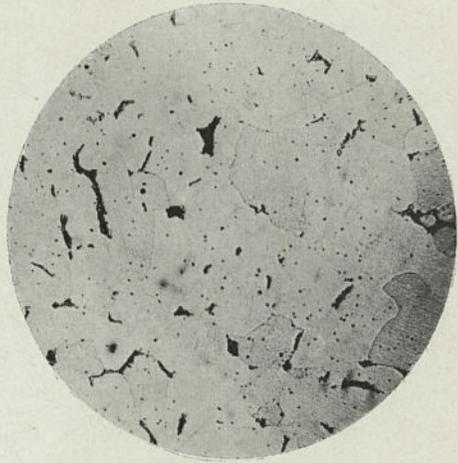


PHOT. 4. — G = 200 d.

ALLIAGES RECUITS RENFERMANT DE PLUS EN PLUS DE CARBONE



PHOT. 5. — C = 0,030
 (attaque prolongée)
 Ferrite, scories et traces de perlite.
 G = 300 d.



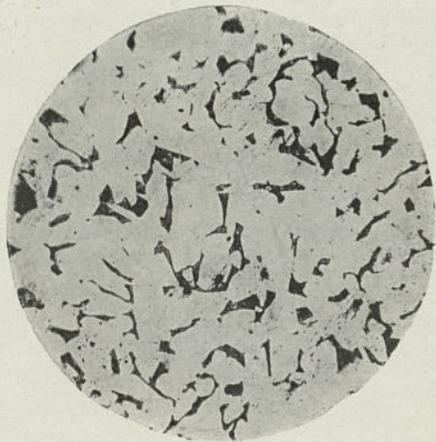
PHOT. 6. — C = 0,038
 Perlite.
 G = 200 d.

Attaques à l'acide picrique.

La perlite croît avec la teneur en carbone.



PHOT. 7. — C = 0,090
 Perlite.
 G = 200 d.



PHOT. 8. — C = 0,185.
 Perlite.
 G = 200 d.

ALLIAGES RECUITS RENFERMANT DE PLUS EN PLUS DE CARBONE



PHOT. 9. — C = 0,400.
Perlite.
G = 200 d.



PHOT. 10. — C = 0,750.
Perlite et un peu de ferrite.
G = 200 d.

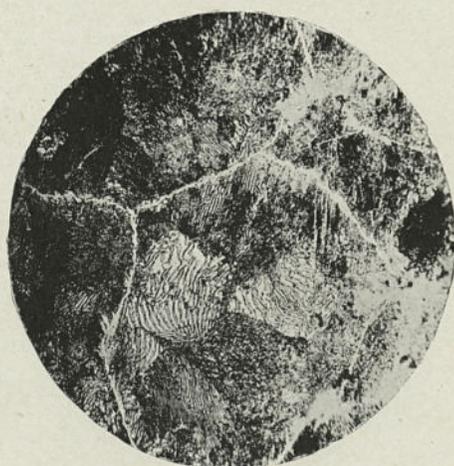
Attaques à l'acide picrique.

La teneur en perlite croît avec le carbone jusqu'à ce qu'il atteigne 0,850 0/0.

Au delà, elle diminue; la cémentite apparait.

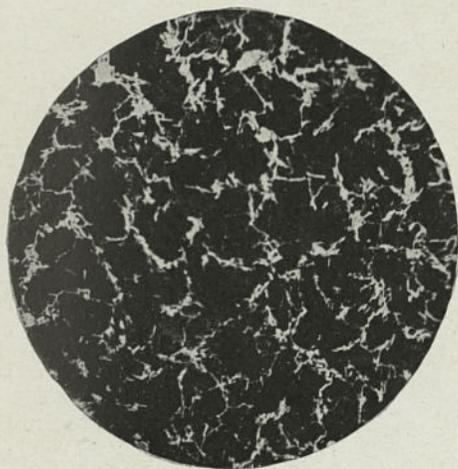


PHOT. 11. — C = 0,850.
Perlite et sorbite.
G = 500 d.

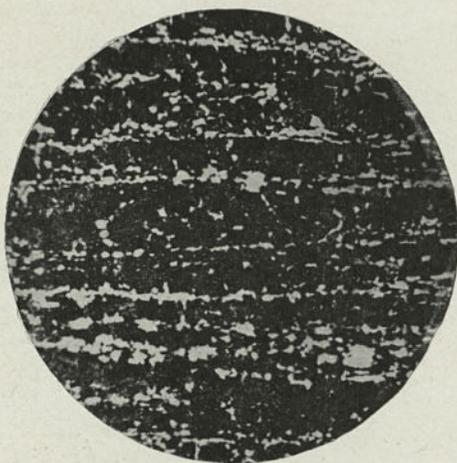


PHOT. 12. — C = 1,05.
Cellules bordées de cémentite et remplies
de perlite.
G = 200 d.

CÉMENTITE LIBRE



PHOT. 13. — C = 2,20.
Cémentite libre.
Coupe perpendiculaire au sens du laminage.
G = 200 d.



PHOT. 14. — Le même.
Cémentite libre.
Coupe suivant le sens du laminage.
G = 200 d.

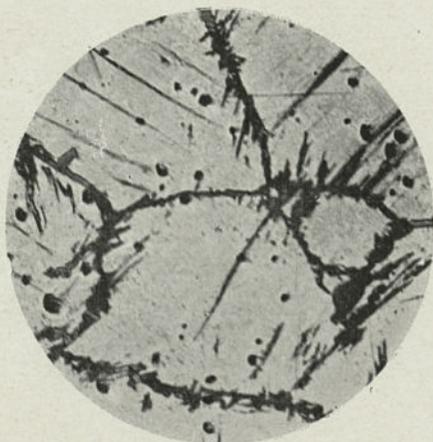
Attaques à l'acide picrique (photos 13 et 14).

Attaques au picrate de soude (photos 15 et 16).

La cémentite libre se colore en noir par le picrate de soude.

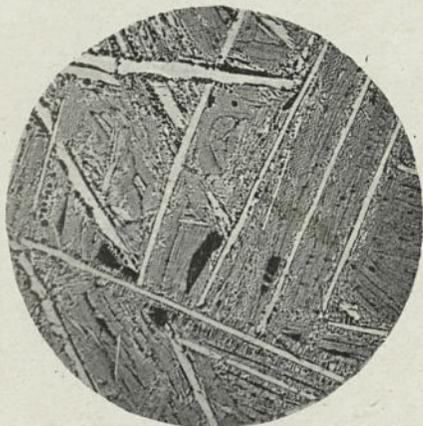


PHOT. 15. — Le même.
Cémentite colorée au picrate.
G = 200 d.

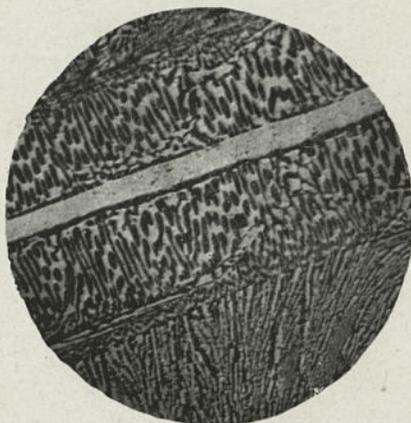


PHOT. 16. — Autre cémentite colorée au picrate.
G = 500 d.

ALLIAGE TRÈS CARBURÉ (FONTE BLANCHE) OBTENU ACCIDENTELLEMENT EN FONDANT DU FER
EN PRÉSENCE DE GRAPHITE



PHOT. 17. — Aiguilles de cémentite entourées
de perlite.
G = 50 d.



PHOT. 18. — Même vue à un grossissement
plus fort.
G = 200 d.

Attaques à l'acide picrique.



PHOT. 19. — Perlite, Cémentite et Sorbite.
G = 200 d.

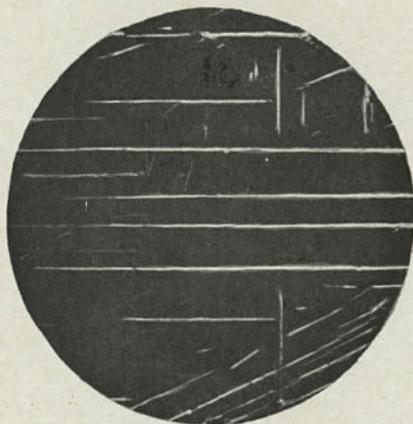


PHOT. 20. — Cémentites (parties blanches)
et perlite (parties noires).
G = 200 d.

ACIERS CÉMENTÉS ; ACIER TREMPÉ



PHOT. 21. — Bord d'un acier cémenté.
Le cœur de l'acier n'est pas changé.
Le bord est à perlite compacte.



PHOT. 22. — Bord d'un acier très cémenté.
Aiguilles très nettes de cémentite.

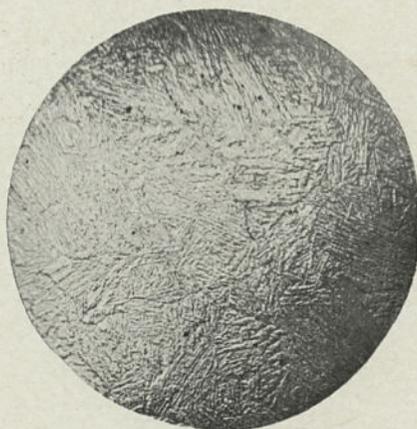
Attaques à l'acide picrique.

G = 200 d.

La cémentation — c'est-à-dire le recuit à température élevée en présence d'une matière carburante — augmente la teneur en carbone de la périphérie et par conséquent la perlite; elle peut faire apparaître de la cémentite qui se présente en aiguilles, souvent visibles à l'œil nu.



PHOT. 23. — Bord d'un acier cémenté.
Aiguilles de cémentite et perlite.
G = 200 d.



PHOT. 24. — Acier trempé à bonne température
Martensite pure.
G = 200 d.

ACIERS TREMPÉS



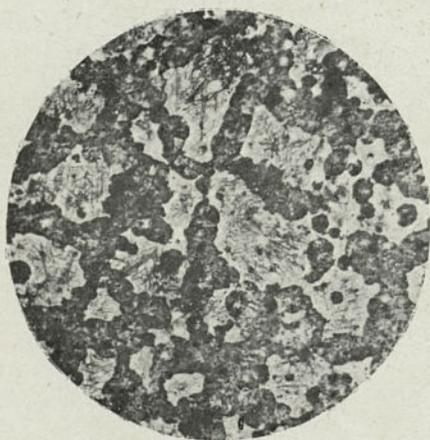
PHOT. 25. — Acier trempé à trop basse température.
Troostite.
G = 200 d.



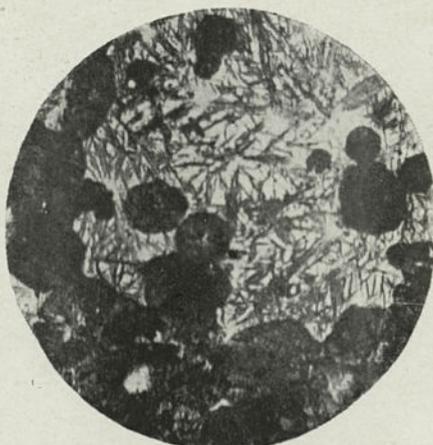
PHOT. 26. — Acier très carburé,
trempé à très haute température
dans un bain à 0°.
Austenite et troosto-sorbite.
G = 200 d.

Attaques à l'acide picrique.

Pour les constituants des aciers trempés, voir le texte, page 118 et suivantes.

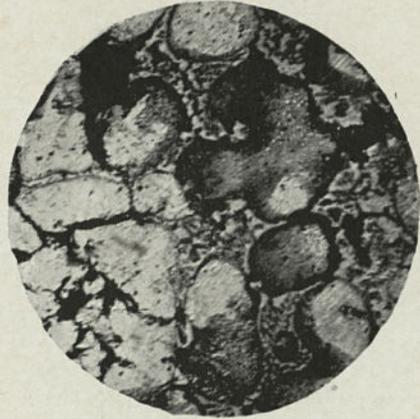
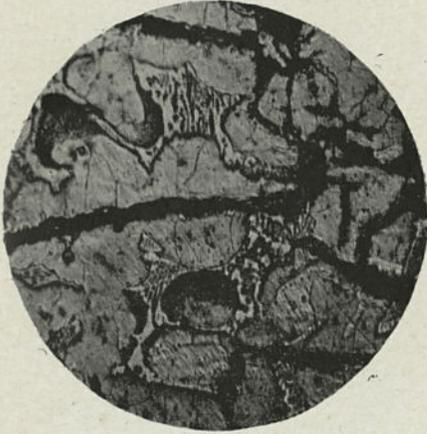


PHOT. 27. — Acier trempé à trop basse température.
Troostite martensite et troosto-sorbite.
G = 50 d.



PHOT. 28. — Le même à un grossissement plus fort.
G = 200 d.

FONTES GRISES



PHOT. 29. — Fonte grise de Neuves-Maisons.
C = 3,30, Mn = 0,49, P = 1,31, Si = 3,43.

PHOT. 30. — Autre fonte grise de Neuves-Maisons
C = 3,20, Mn = 0,46, P = 1,63, Si = 4,56.

Attaques à l'acide picrique.

G = 200 d.

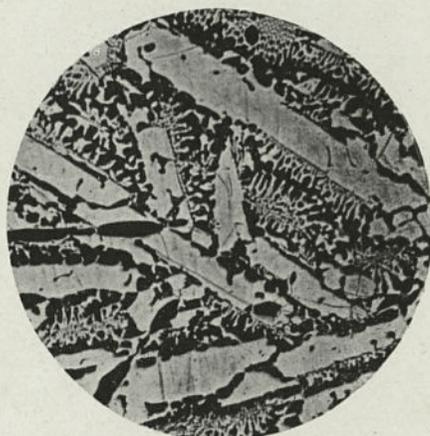
Les fontes grises montrent du graphite (traînées noires), de la cémentite (parties blanches) et de la perlite (parties grises).



PHOT. 31. — Fonte de Mazières n° 4.
C = 3,35, Mn = 0,70, P = 0,564, Si = 0,65.

PHOT. 32. — Fonte de Mazières n° 3.
C = 3,49, Mn = 0,38, P = 0,562, Si = 1,26.

FONTES DIVERSES

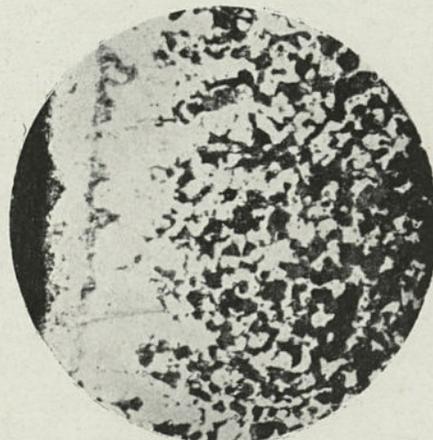
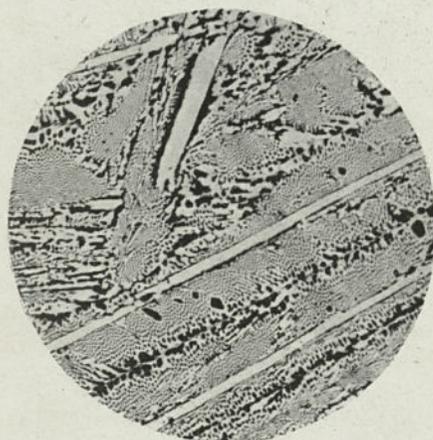


PHOT. 33. — Fonte Harrington n° 1 (fonte grise).
C = 4,58, Mn = 0,28, P = 0,049, Si = 1,63.
G = 50 d.

PHOT. 34. — Spiegel.
G = 50 d.

Attaques à l'acide picrique : 33, 35 et 36.

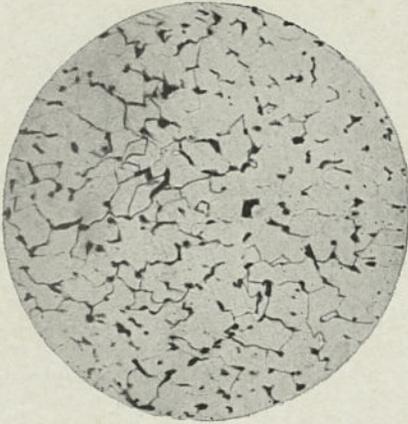
Attaque à l'acide chlorhydrique : 34.



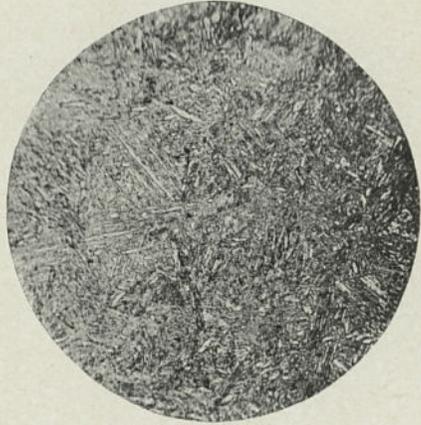
PHOT. 35. — Fonte blanche Decazeville n° 8.
C = 4,00, Si = 0,35, Mn = 4,00, P = 0,38.
G = 200 d.

PHOT. 36. — Bord (à gauche) d'une fonte malléable
(obtenue par décarburation par l'oxyde de fer).
Ferrite et perlite.
G = 200 d.

ACIERS AU NICKEL NORMAUX



PHOT. 37. — C = 0,120, Ni = 2.
Normal.
Perlite et ferrite.

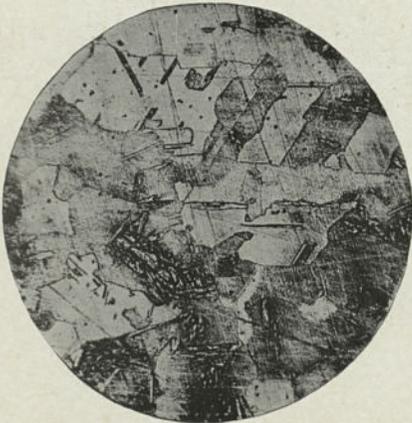


PHOT. 38. — C = 0,120, Ni = 15.
Normal.
Martensite.

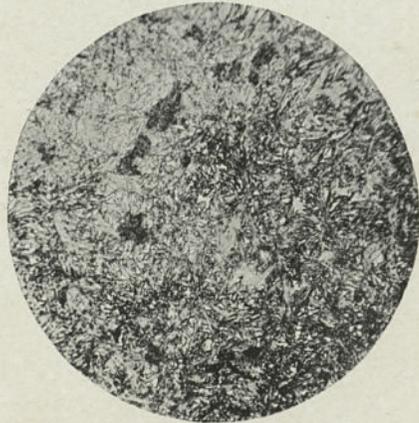
Attaques à l'acide picrique.
G = 300 d.

CONSTITUTION DES ACIERS AU NICKEL

GROUPES	MICROSTRUCTURES	ACIERS A 0,120 C	ACIERS A 0,800 C
I	Perlite.....	0 < Ni < 10	0 < Ni < 5
II	Martensite.....	10 < Ni < 27	5 < Ni < 15
III	Fer γ	Ni > 27	Ni > 15

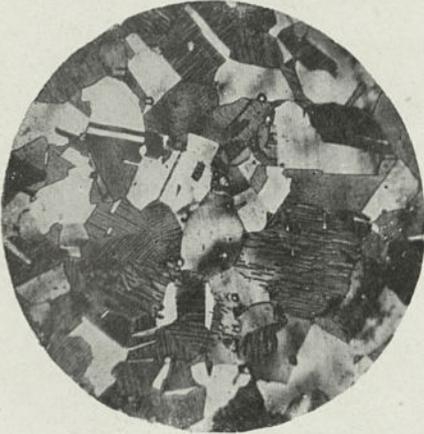


PHOT. 39. — C = 0,120, Ni = 30.
Normal.
Polyèdres de fer γ ; amas de martensite.
(Acier sur la limite des aciers martensitiques.)

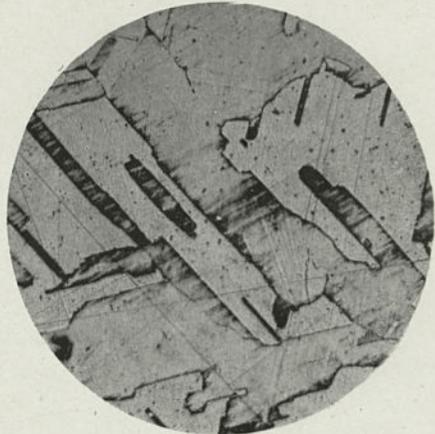


PHOT. 40. — C = 0,800, Ni = 7.
Normal.
Aiguilles de martensite carburée
(ou plutôt de troosto-sorbite)
avec quelques taches blanches de fer γ .

ACIERS AU NICKEL DIVERS



PHOT. 41. — C = 0,800, Ni = 25.
Normal.
Polyèdres de fer γ avec clivages.



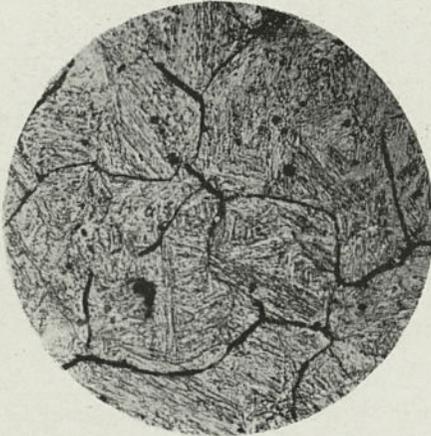
PHOT. 42. — C = 0,520, Ni = 92,3.
Normal.
Polyèdres de fer γ .

Attaques à l'acide picrique.
G = 300 d.

Se reporter au tableau de la planche X.

Les aciers polyédriques qui sont sur la limite du deuxième groupe se transforment par trempé en donnant de la troosto-sorbite (44).

Les aciers martensitiques qui sont sur la limite du troisième groupe donnent après trempé des polyèdres remplis de martensite (43).



PHOT. 43. — C = 0,120, Ni = 25.
Trempe à 800°.
Apparition de polyèdres remplis de α martensite qui préexistait.

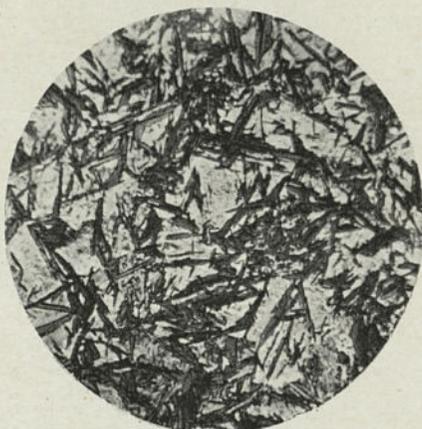


PHOT. 44. — C = 0,250, Ni = 25.
Trempe à 800°.
Les polyèdres ne subsistent que partiellement; il apparait des aiguilles de troosto-sorbite.

ACIERS AU NICKEL AYANT SUBI DES TRAITEMENTS



PHOT. 45. — C = 0,250, Ni = 23.
Recuit à 900° pendant quatre heures.
Apparition de troosto-sorbite.



PHOT. 46. — C = 0,800, Ni = 20.
Recuit à 900° pendant quatre heures.
Nombreux fers de lance de troosto-sorbite.

Attaques à l'acide picrique.
G = 300 d.

Le recuit et l'écrouissage transforment, comme la trempe, les aciers polyédriques qui sont sur la limite du second groupe.



PHOT. 47. — C = 0,800, Ni = 15.
Écroui.
Formation de fers de lance limités
à la face d'un des polyèdres initiaux.



PHOT. 48. — C = 0,800, Ni = 15.
Écroui
Autre vue montrant l'accentuation
des places de clivage et la formation de martensite
sur les bords.

ACIERS AU NICKEL REFROIDIS



PHOT. 49. — C = 0,800, Ni = 15.
Refroidi à -40° .

On ne voit plus de polyèdres, mais des fers de lance blancs.



PHOT. 50. — C = 0,800, Ni = 15.
Refroidi à -20° .

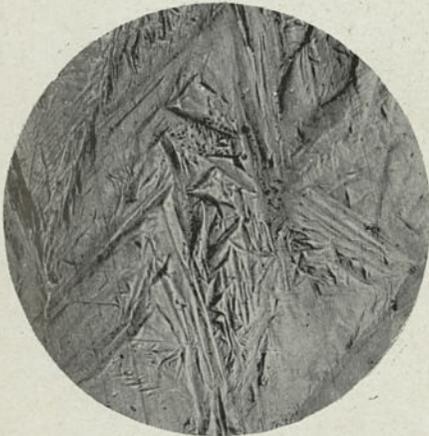
Fond de fer γ ; aiguilles blanches de martensite.

Attaques à l'acide picrique: Phot. 49, 50 et 52.

Aucune attaque: Phot. 51.

G = 300 d.

Les aciers polyédriques qui sont sur la limite du deuxième groupe sont transformés par le froid en aciers martensitiques (aiguilles blanches). Plus l'acier est éloigné de la limite du deuxième groupe, plus la température de transformation est basse. — La quantité de martensite produite est pour un même acier proportionnelle à la température, du moins tant que la transformation n'est pas complète.



PHOT. 51. — C = 0,800, Ni = 15.
Refroidi à -182° (air liquide).

Vue obtenue sans attaque.

La martensite se produit avec augmentation de volume.



PHOT. 52. — C = 0,800, Ni = 20.
Refroidi à -70° .

Au second plan, polyèdres de fer γ .

Au premier plan, aiguilles, de troosto-sorbite.

ACIERS AU MANGANÈSE NORMAUX



Phot. 53. — C = 2,120, Mn = 6.
Normal.
Martensite pure très fine.



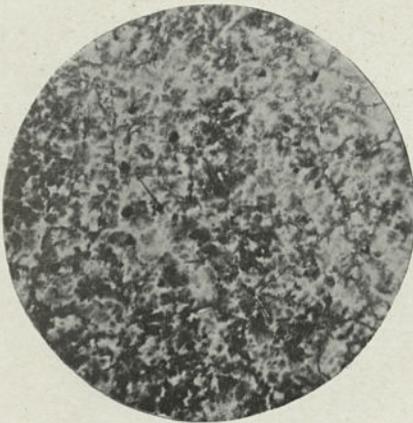
Phot. 54. — C = 0,120, Mn = 14,5.
Normal.
Polyèdres de fer γ avec plans de clivage.

Attaques à l'acide picrique.
G = 200 d.

CONSTITUTION DES ACIERS AU MANGANÈSE.

GROUPES	MICROSTRUCTURES	ACIERS A 0,200 C	ACIERS A 0,800 C
I	Perlite.....	0 < Mn < 5 0/0	0 < Mn < 3
II	Martensite ou troostite....	5 < Mn < 12	3 < Mn < 7
III	Fer γ	12 < Mn	7 < Mn

Dans les aciers du deuxième groupe à haute teneur en carbone, on a de la troostite et non de la martensite.

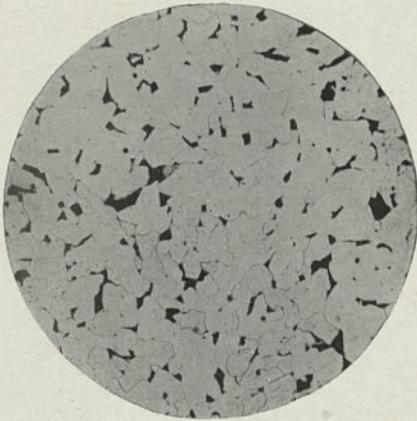


Phot. 55. — C = 0,600, Mn = 5.
Normal.
Troostite.

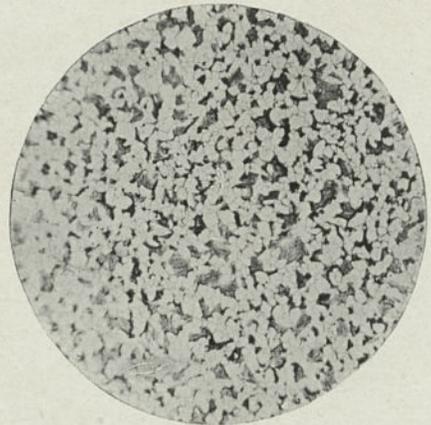


Phot. 56. — C = 0,800, Mn = 10.
Normal.
Polyèdres de fer γ .

ACIERS AU CHROME NORMAUX



PHOT. 57. — C = 0,200, Cr = 0,7.
Normal.
Pearlite et ferrite.
La ferrite a ses dimensions normales.



PHOT. 58 — C = 0,200, Cr = 4,5.
Normal.
Pearlite et ferrite.
La ferrite est considérablement resserrée.

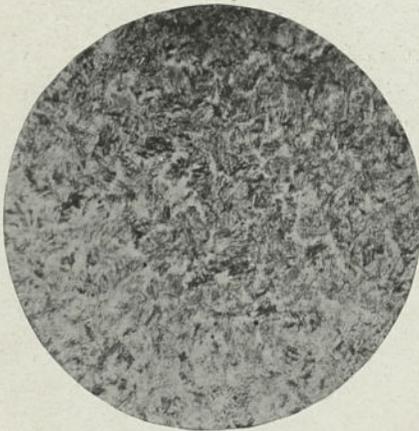
Attaques à l'acide picrique.

G = 200 d.

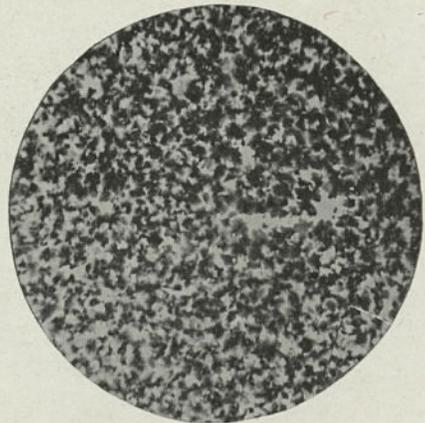
CONSTITUTION DES ACIERS AU CHROME

GROUPES	MICROSTRUCTURES	ACIERS A 0,200 C	ACIERS A 0,800 C
I	Pearlite.....	0 < Cr < 7	0 < Cr < 3
II	Martensite ou troostite....	7 < Cr < 15	3 < Cr < 10
III	Martensite ou carbure.....	15 < Cr < 20	10 < Cr < 18
IV	Carbure.....	20 < Cr	18 < Cr

Dans les aciers du second groupe, on a de la troostite au lieu de martensite.

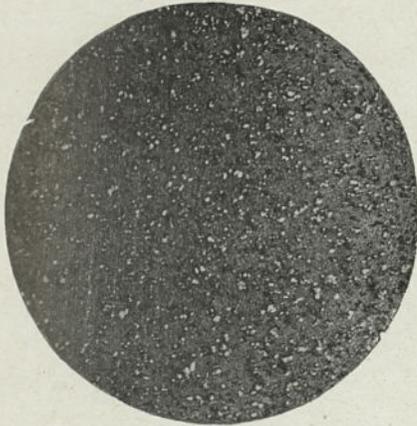


PHOT. 59. — C = 0,200 Cr = 9.
Normal.
Martensite presque pure.

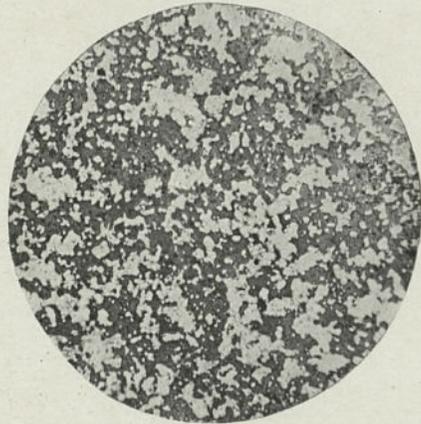


PHOT. 60. — C = 0,800 Cr = 7,3.
Normal.
Troostite avec un peu de martensite.

ACIERS AU CHROME DIVERS



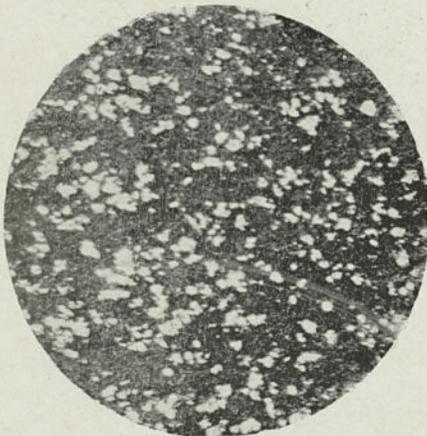
PHOT. 61. — C = 0,460, Cr = 31,7.
Normal.
Grains blancs de carbure double.



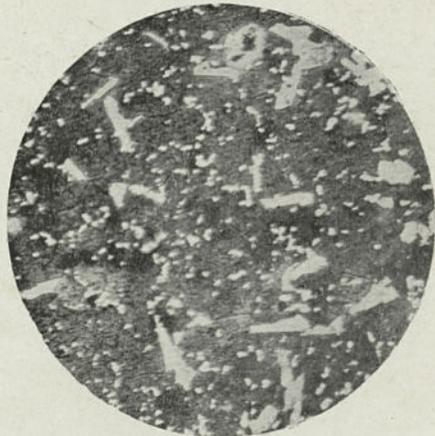
PHOT. 62. — C = 1,300, Cr = 40,2.
Normal.
Amas de grains blancs de carbure double.

Attaques à l'acide picrique.
G = 200 d.

Les aciers au chrome à carbure double ne sont transformés par trempe qu'au-dessus de 1.200°. Le carbure se dissout d'autant plus que la vitesse de refroidissement est plus grande. On voit apparaître de petits polyèdres blancs qui semblent être du fer γ .

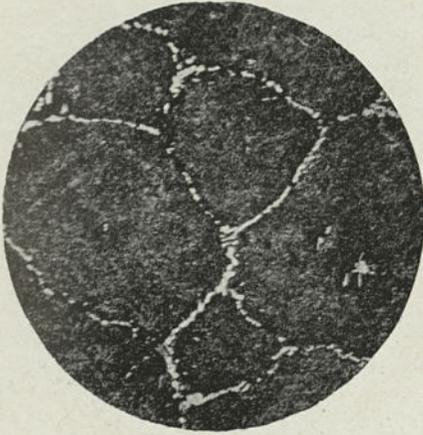


PHOT. 63. — Le même acier.
Trempe à 1.100° à l'air.
Les grains de carbure sont partiellement dissous.



PHOT. 64. — Le même acier.
Trempe à 1.100° dans l'eau à + 15°.
Les grains de carbure sont encore moins
abondants.
On voit des polyèdres blancs de fer γ .

ACIERS AU CHROME TRAITÉS



PHOT. 65. — C = 0,900, Cr = 18,6.

Recuit à 1.200° pendant huit heures.

Les grains de carbure forment le bord de polyèdres, tandis qu'avant recuit ils étaient dispersés dans la masse.



PHOT. 66. — C = 1,360, Cr = 40,2

Recuit à 1.300° pendant quatre heures.

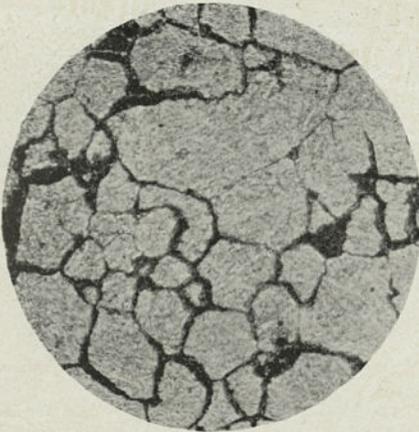
Le carbure, d'abord disséminé, paraît former ici un eutectique.

Attaques à l'eau régale.

G = 200 d.

Le recuit change la répartition du carbure double.

La cémentation fait apparaître les grains blancs de carbure dans des amas noirs de troostite.



PHOT. 67. — C = 0,380, Cr = 14,5.

Cémenté.

Vue prise un peu loin du bord, montrant la formation d'un liserai de troostite autour des polyèdres remplis de martensite.

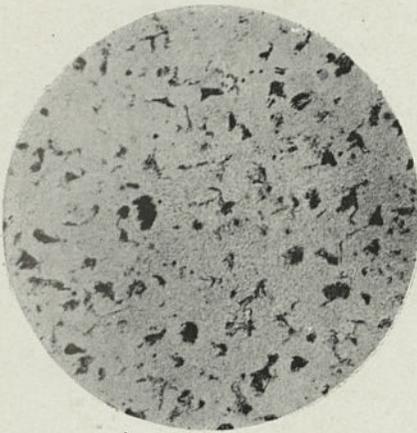


PHOT. 68. — Même acier.

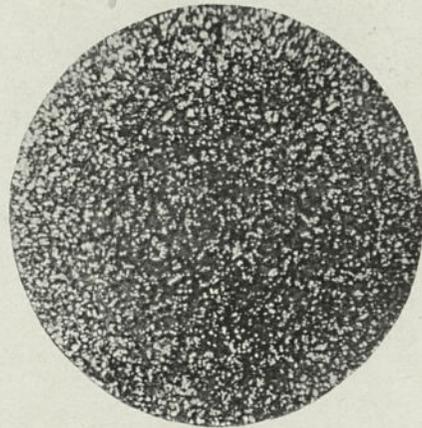
Cémenté.

Vue prise plus près du bord, montrant le carbure qui prend naissance au milieu de la troostite.

ACIERS AU TUNGSTÈNE NORMAUX



PHOT. 69. — C = 0,110, W = 0,94.
Normal.
Perlite et ferrite.
G = 200 d.



PHOT. 70. — C = 0,276, W = 27,75.
Normal.
Carbure double.
G = 200 d.

Attaques à l'acide picrique.

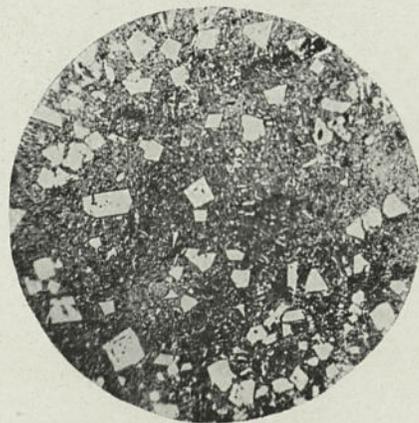
CONSTITUTION DES ACIERS AU TUNGSTÈNE

GROUPES	MICROSTRUCTURES	ACIERS A 0,200 C	ACIERS A 0,800 C
I	Perlite.....	$0 < W < 10$	$0 < W < 5$
II	Carbure.....	$10 < W$	$5 < W$

Le traitement mécanique respecte parfois les cristaux de carbure.

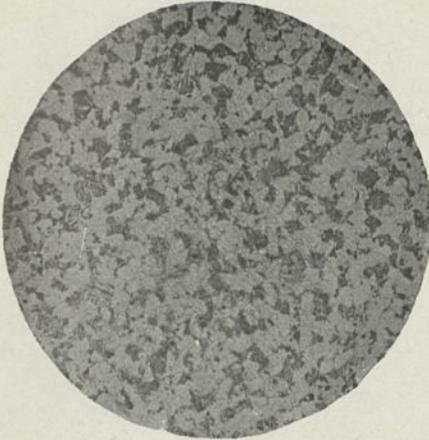


PHOT. 71. — C = 0,743, W = 23,27.
Normal.
Carbure double (cristaux respectés dans le traitement mécanique).
G = 450 d.

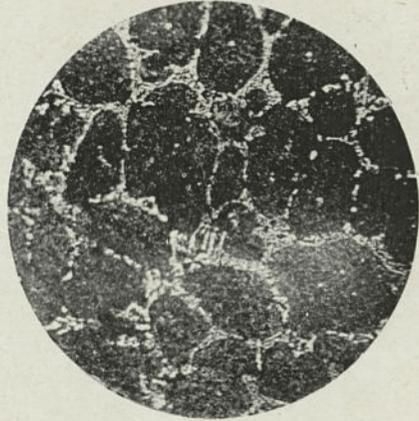


PHOT. 72. — C = 0,867, W = 39,96.
Cet acier n'a pas pu être laminé.
Cristaux de carbure double.
G = 200 d.

ACIERS AU MOLYBDÈNE NORMAUX



PHOT. 73. — C = 0,188, Mo = 0,45.
Normal.
Perlite et ferrite.
G = 200 d.

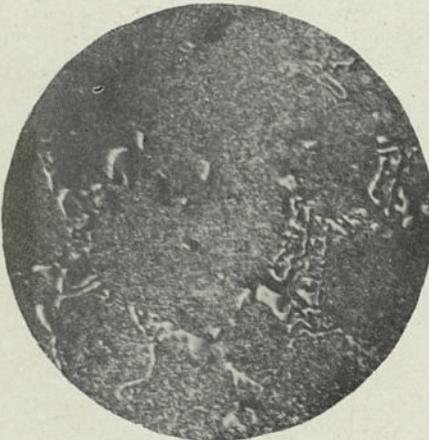


PHOT. 74. — C = 0,689, Mo = 9,54.
Normal.
Carbure double formant eutectique.
G = 200 d.

Attaques à l'acide picrique.

CONSTITUTION DES ACIERS AU MOLYBDÈNE

GROUPES	MICROSTRUCTURES	ACIERS A 0,200 C	ACIERS A 0,800 C
I	Perlite.....	0 < Mo < 2	0 < Mo < 1
II	Carbure.....	2 < Mo	1 < Mo

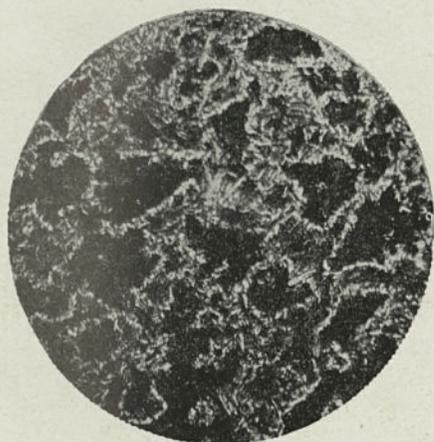


PHOT. 75. — Le même à plus fort grossissement.
Carbure double
en cristaux et formant eutectique.
G = 450 d.

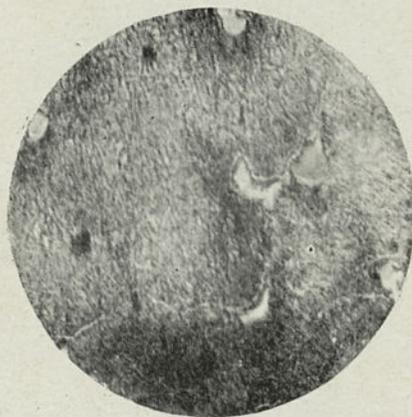


PHOT. 76. — C = 0,692, Mo = 14,64.
Normal.
Carbure double.
G = 450 d.

ACIERS AU MOLYBDÈNE DIVERS



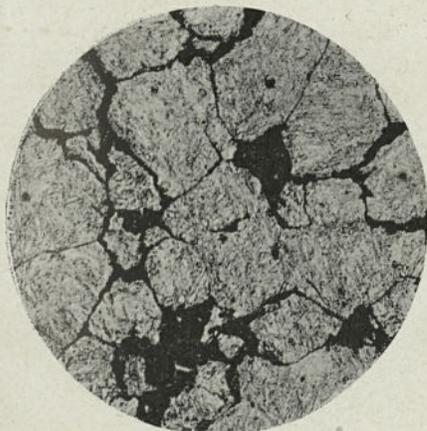
PHOT. 77. — C = 0,735, Mo = 0,50.
Normal.
Carbure double formant eutectique.
G = 200 d.



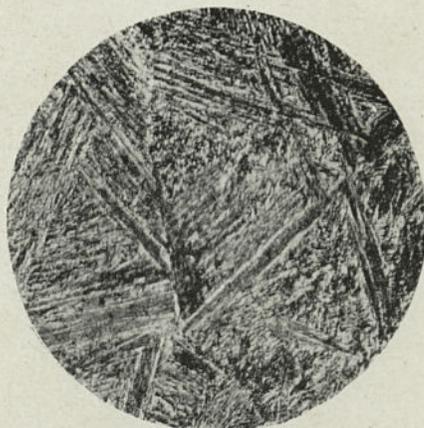
PHOT. 78. — C = 0,824, Mo = 5,750.
Normal.
Cristaux de carbure double.
G = 200 d.

Attaques à l'acide picrique.

*Le traitement mécanique respecte parfois quelques cristaux de carbure double.
Le recuit à haute température avec refroidissement à l'air fait naître de la troostite
et de la martensite grossière.*

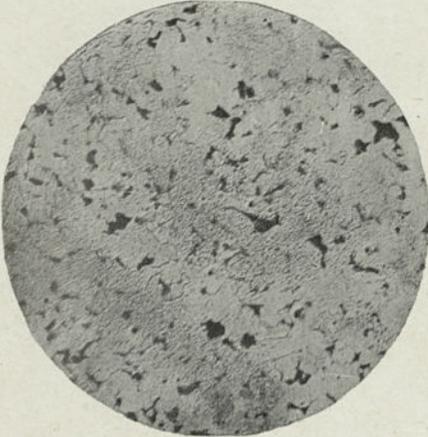


PHOT. 79. — C = 0,289, Mo = 4,50.
Recuit à 1.200° et refroidi à l'air.
Troostite.
G = 200 d.

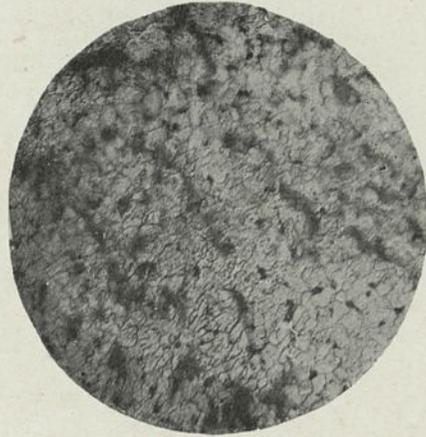


PHOT. 80. — C = 0,735, Mo = 0,50.
Recuit à 1.200° et refroidi à l'air.
Martensite grossière.
G = 200 d.

ACIERS AU VANADIUM NORMAUX



PHOT. 81. — C = 0,014, Va = 0,291.
Normal.
Perlite et ferrite.

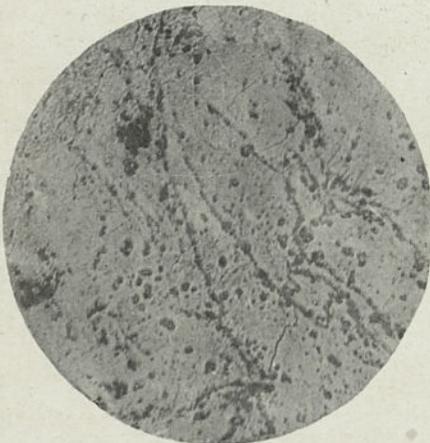


PHOT. 82. — C = 0,131, Va = 0,60.
Normal.
Perlite et ferrite sale.

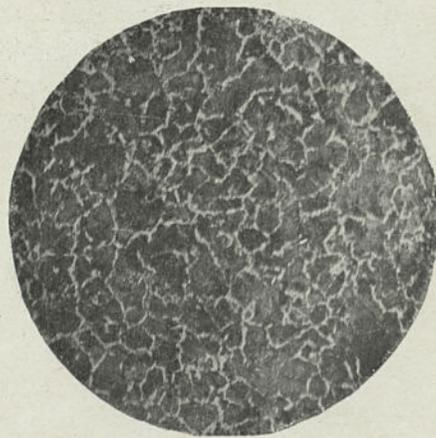
Attaques à l'acide picrique.
G = 200 d.

CONSTITUTION DES ACIERS AU VANADIUM

GROUPES	MICROSTRUCTURES	ACIERS A 0,100 C	ACIERS A 0,750 C.
I	Perlite.....	$0 < Va < 0,7$	$0 < Va < 0,5$
II	Perlite et carbure.....	$0,7 < Va < 3$	$0,5 < Va < 7$
III	Carbure.....	$3 < Va$	$7 < Va$

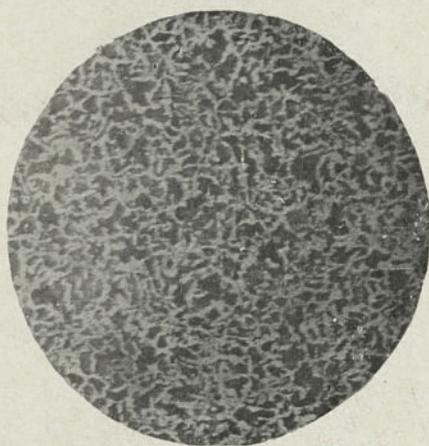


PHOT. 83. — C = 0,130, Va = 7,40.
Normal.
Grains de carbure.

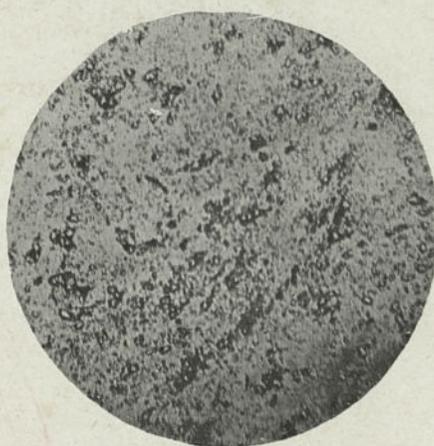


PHOT. 84. — C = 0,725, Va = 0,60.
Normal.
Perlite et ferrite.

ACIERS AU VANADIUM DIVERS



PHOT. 85. — C = 0,674, Va = 4,15.
Normal.
Pearlite qui est en quantité plus faible
que dans un acier à 0,674 C.



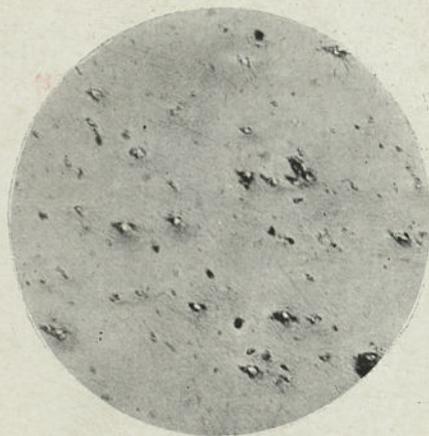
PHOT. 86. — C = 0,737, Va = 7,85.
Normal.
Carbure.

Attaques à l'acide picrique.

G = 200 d.

Le recuit et la trempe n'ont pas d'influence sur les aciers à carbure.

Le recuit peut, dans certains aciers perlitiques, précipiter le carbone à l'état de graphite.

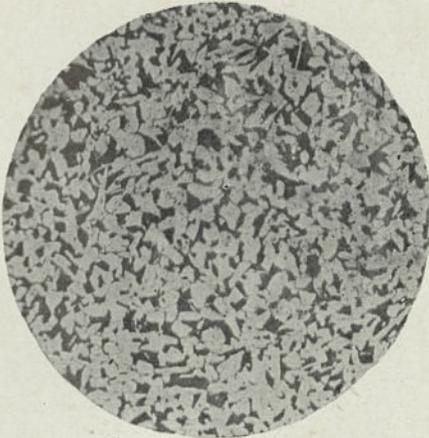


PHOT. 87. — C = 0,120, Va = 10,27.
Recuit à 1.200° pendant quatre heures,
ou trempé à 1.200°.
Carbure respecté.



PHOT. 88. — C = 0,950, Va = 2,89.
Acier perlitique à l'état normal.
Recuit à 1.200° pendant quatre heures.
Graphite précipité.

ACIERS AU SILICIUM NORMAUX



PHOT. 89. — C = 0,208, Si = 0,409.
Normal.
Pearlite et ferrite.

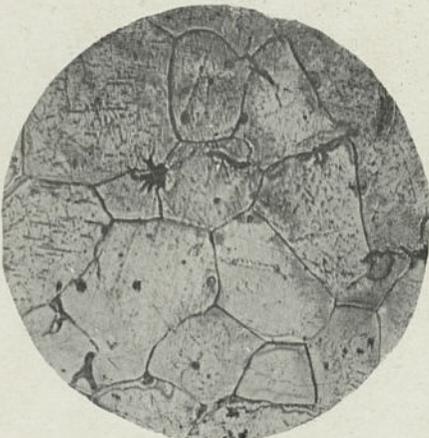


PHOT. 90. — C = 0,277, Si = 5,12.
Normal.
Pearlite et graphite.

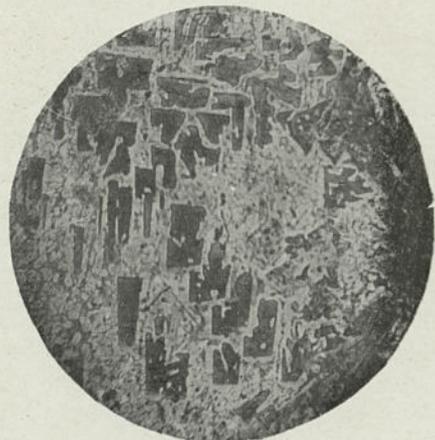
Attaques à l'acide picrique: Phot. 89 et 90.
Attaques à l'acide chlorhydrique: Phot. 91 et 92.
G = 200 d.

CONSTITUTION DES ACIERS AU SILICIUM

GROUPES	MICROSTRUCTURES	TENEUR EN Si
I	Pearlite.....	0 < Si < 5
II	Pearlite et graphite.....	5 < Si < 7
III	Graphite.....	7 < Si

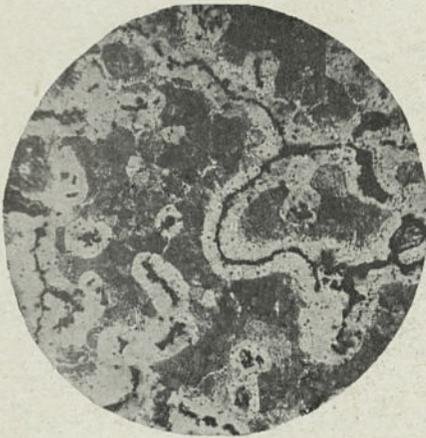


PHOT. 91. — C = 0,216, Si = 7,17.
Normal.
Graphite.

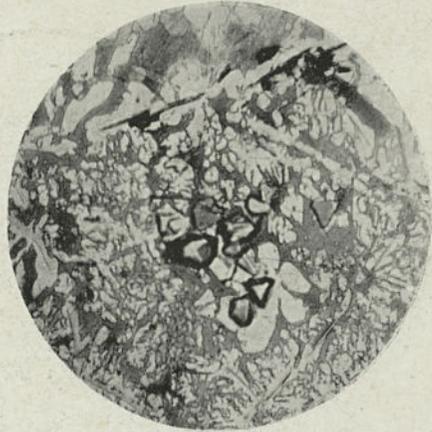


PHOT. 92. — C = 0,277, Si = 23,5.
Normal.
Cristaux FeSi.

ACIERS AU SILICIUM DIVERS



PHOT. 93. — C = 0,944, Si = 5,54.
Normal.
Perlite et graphite.



PHOT. 94. — C = 0,539, Si = 20,27.
Normal.
Cristaux de FeSi.

Attaques à l'acide picrique : Phot. 93, 95 et 96.

Attaque à l'acide chlorhydrique : Phot. 94.

G = 200 d.

Le recuit précipite le carbone des aciers au silicium perlitiques à l'état de graphite.

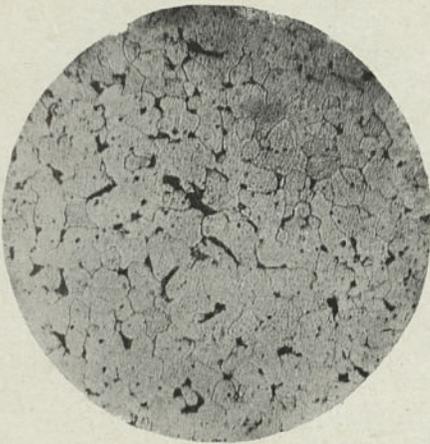


PHOT. 95. — C = 0,277, Si = 5,12.
Recuit pendant deux heures à 900°.
Graphite.

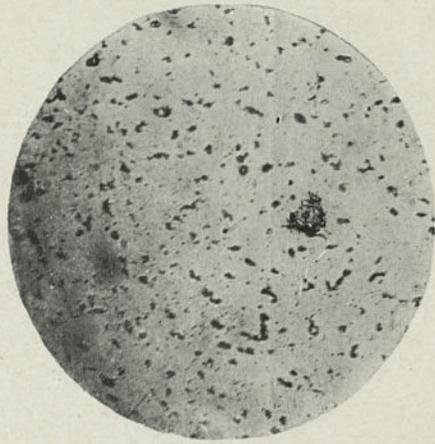


PHOT. 96. — C = 0,944, Si = 5,54.
Recuit pendant six heures à 900°.
Graphite précipité.
G = 200 d.

ACIERS A L'ALUMINIUM NORMAUX



PHOT. 97. — C = 0,085, Al = 0,50.
Normal.
Perlite et ferrite.



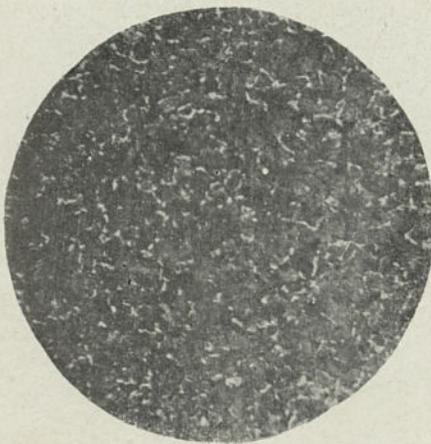
PHOT. 98. — C = 0,134, Al = 3,05.
Normal.
Perlite compacte et ferrite.

Attaques à l'acide picrique : Phot. 97, 98 et 99.

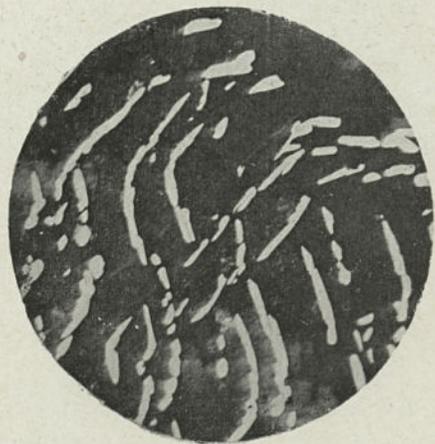
Attaque à l'eau régale : Phot. 100.

G = 200 d.

*Au fur et à mesure que Al augmente, la perlite devient plus compacte.
Pour des teneurs élevées, on a de la cémentite.*

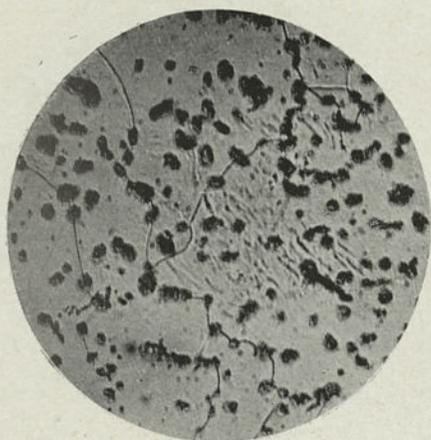


PHOT. 99. — C = 0,815, Al = 4,65.
Normal.
Perlite compacte et ferrite.

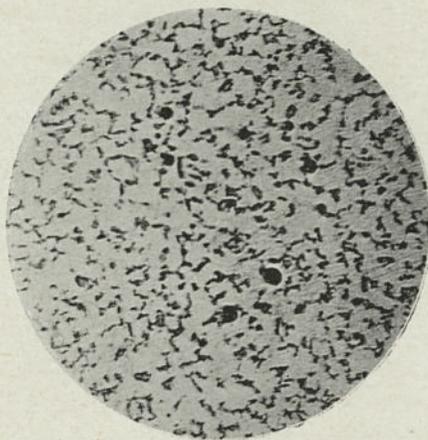


PHOT. 100. — C = 0,860, Al = 14,90.
Normal.
Cémentite.

ACIERS A L'ALUMINIUM TRAITÉS



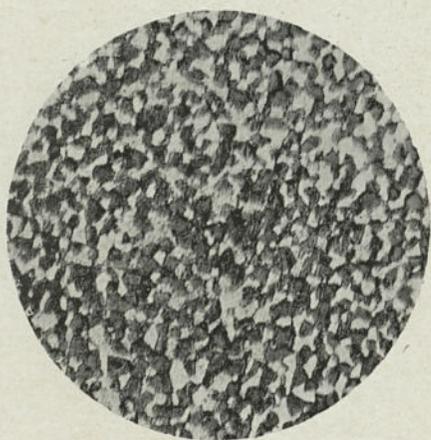
PHOT. 101. — C = 0,168, Al = 2,04.
Trempe à 850°, dans l'eau.
Amas de martensite et de troostite.



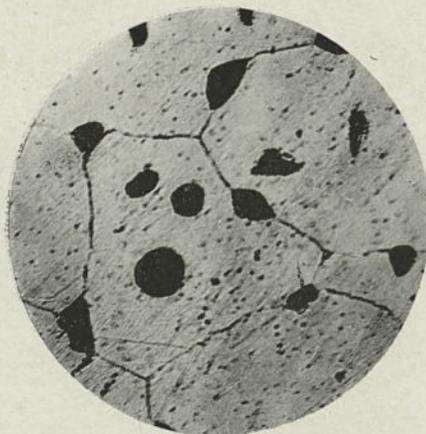
PHOT. 102. — C = 0,134, Al = 3,05.
Trempe à 850° dans l'eau.
Amas de troostite.

Attaques à l'acide picrique.
G = 200 d.

*La trempe produit de la martensite et de la troostite là seulement où se trouvait la perlite.
Le recuit augmente les dimensions des amas de perlite compacte, sans en différencier les éléments.*

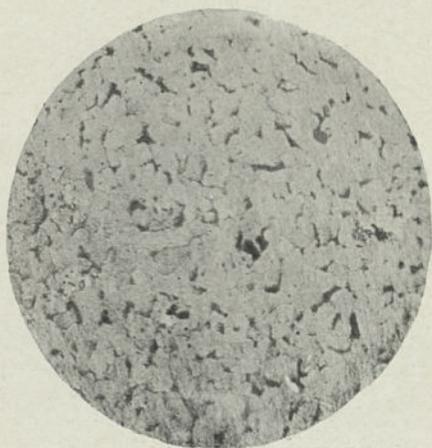


PHOT. 103. — C = 0,66%, Al = 9,15.
Trempe à 1.200° dans l'eau.
Amas de martensite et de troostite.

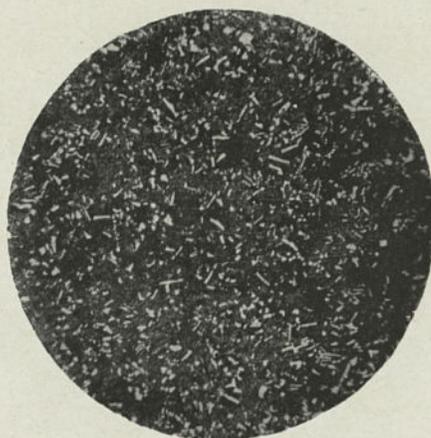


PHOT. 104. — C = 0,168, Al = 5,07.
Recuit à 1.200° pendant quatre heures.
Amas de perlite compacte ou de troostite.

DIVERS



PHOT. 105. — C = 0,120, Ti = 3,2.
Normal.
Perlite et ferrite.



PHOT. 106. — C = 0,830, Ti = 10,3.
Normal.
Perlite et ferrite.

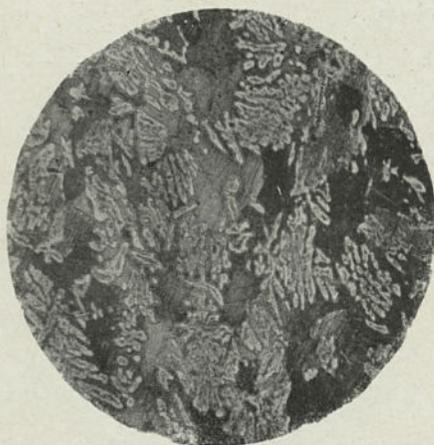
Attaques à l'acide picrique : Phot. 97 et 98.

Attaques à l'eau régale : Phot. 99 et 100.

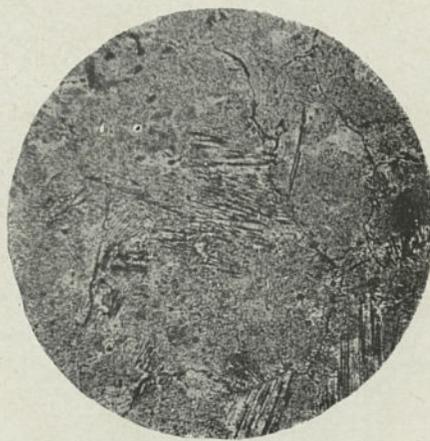
G = 200 d.

Les aciers au titane ou au cobalt sont perlitiques.

Les aciers à l'étain laissent voir, pour Sn > 5 0/0, un stannure de fer.

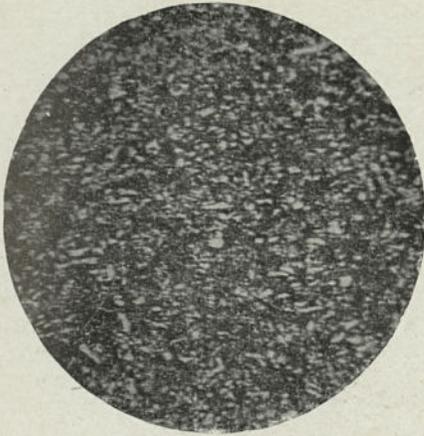


PHOT. 107. — C = 0,767, Sn = 9,75.
Normal.
Perlite et stannure de fer.

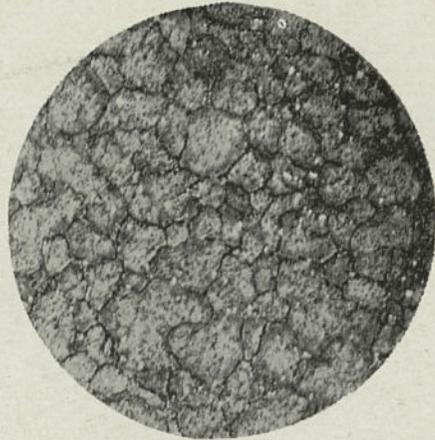


PHOT. 108. — C = 0,152, Sn = 5,0.
Normal.
Perlite et stannure de fer.

ACIERS A COUPE RAPIDE



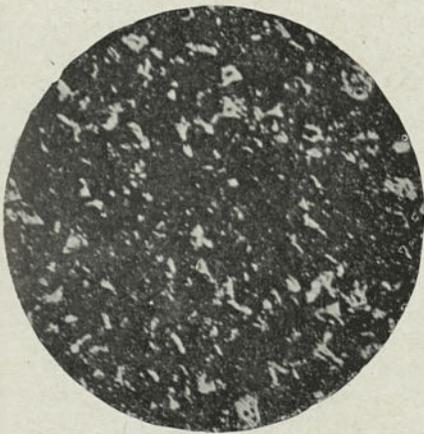
PHOT. 109. — Acier à coupe rapide.
Normal.



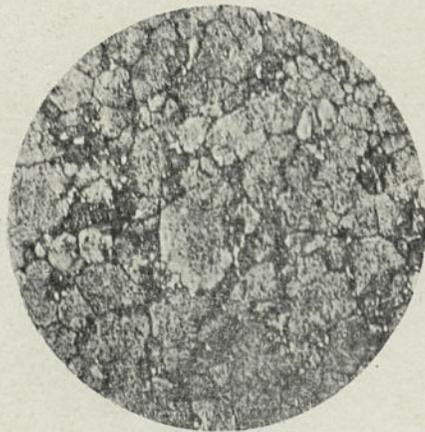
PHOT. 110. — Le même acier.
Trempe à l'air à 1.200°.

Attaques à l'acide picrique.
G = 200 d.

*La martensite créée par la trempe à l'air n'est pas visible.
Les grains de carbure sont dissous en presque totalité.*

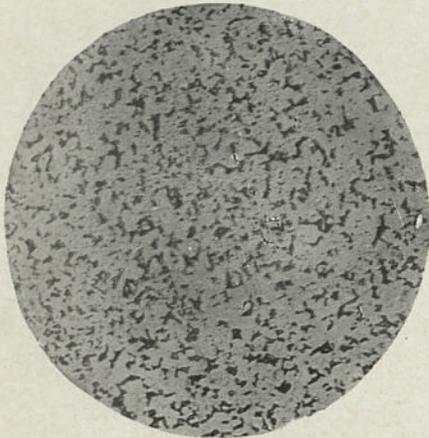


PHOT. 111. — Autre acier à coupe rapide.
Normal.

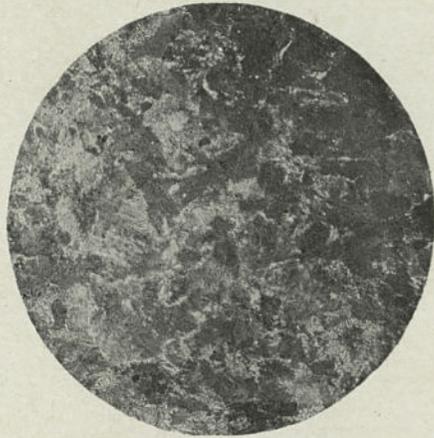


PHOT. 112. — Le même acier.
Trempe à l'air à 1.200°.

TYPES D'ACIERS SPÉCIAUX TERNAIRES



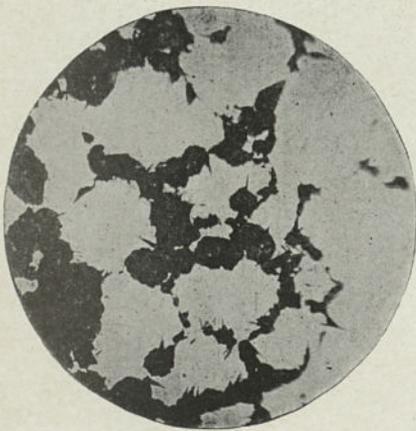
PHOT. 113. — Acier à perlite (carbone faible).



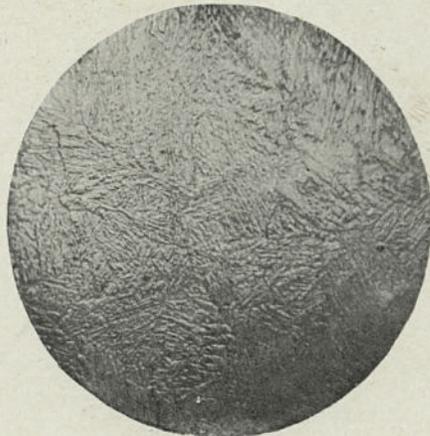
PHOT. 114. — Acier à perlite (carbone élevé).

Attaques à l'acide picrique.

G = 200 d.

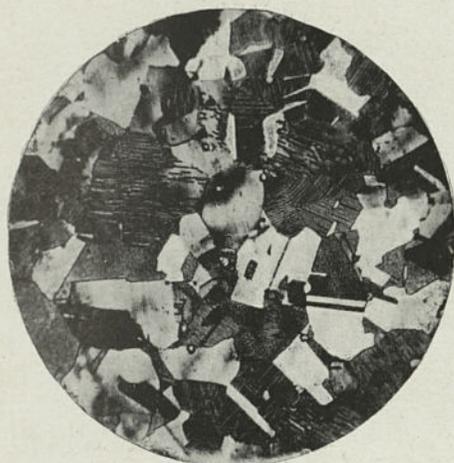


PHOT. 115. — Acier à troostite.

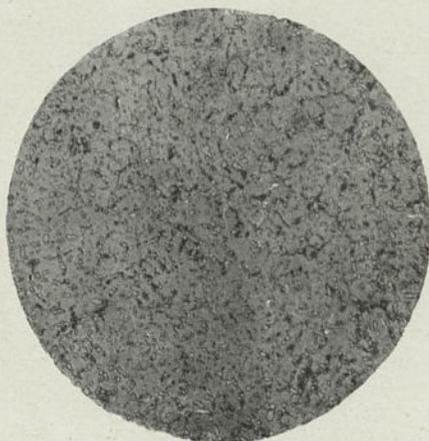


PHOT. 116. — Acier martensitique.

TYPES D'ACIERS SPÉCIAUX TERNAIRES

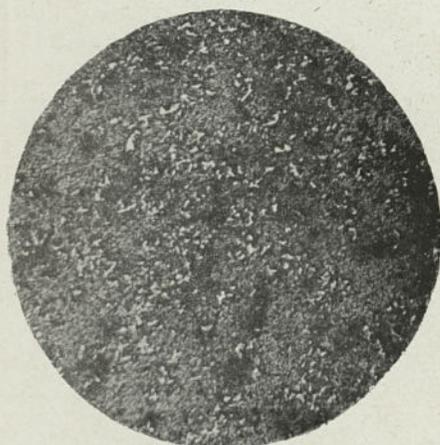


PHOT. 117. — Acier à fer γ .

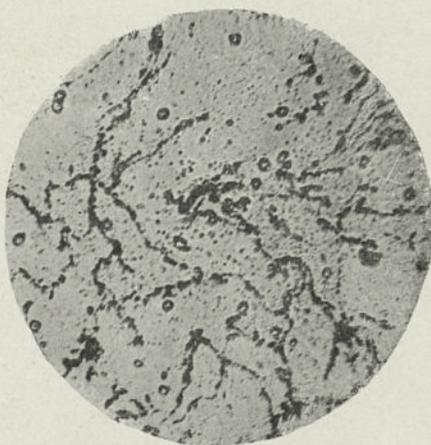


PHOT. 118. — Acier à carbure
(chrome, grains ronds).

Attaque à l'acide picrique : Phot. 117.
Attaques à l'eau régale : Phot. 118, 119 et 120.
G = 200 d.



PHOT. 119. — Acier à carbure
(tungstène ou molybdène, filaments).

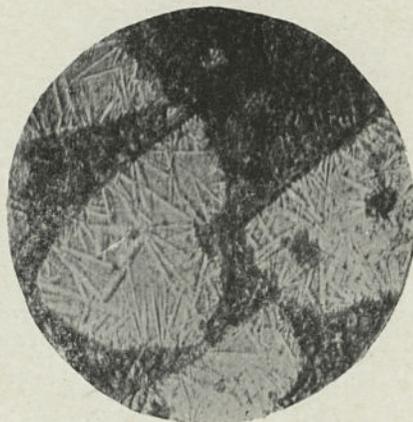


PHOT. 120. — Acier à carbure
(vanadium, grains triangulaires).

FERROSILICIUMS



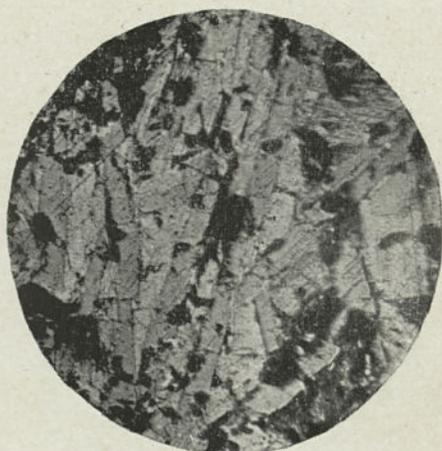
PHOT. 121. — Ferrosilicium : Si = 12 0/0.
Rognons de Fe^2Si et graphite.
G = 200 d.



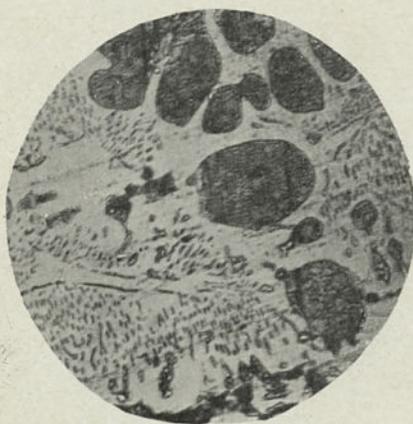
PHOT. 122. — Ferrosilicium : Si = 27 0/0.
Aiguilles de FeSi .
G = 200 d.

Attaques à l'acide chlorhydrique.

Il a été défini, dans les ferrosiliciums, trois combinaisons Fe^2Si , FeSi et FeSi^2 .

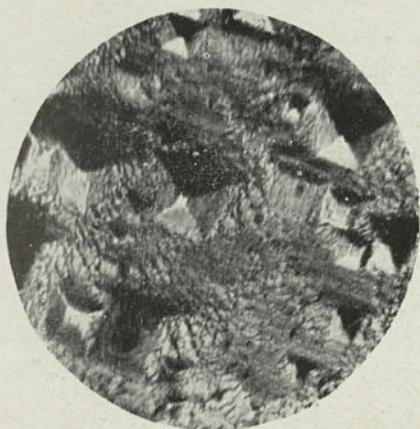


PHOT. 123. — Ferrosilicium : Si = 78.
Cristaux de FeSi^2 .
G = 50 d.



PHOT. 124. — Silicospiegel.
G = 200 d.

FERROCHROMES



PHOT. 125. — Cristaux de carbure double de fer et de chrome obtenus par attaque violente à l'eau régale d'un acier C = 0,800, Cr = 36.
G = 550 d.

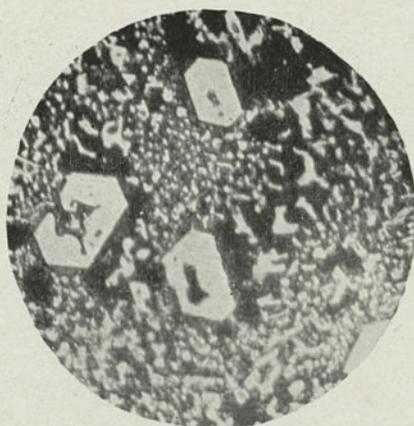


PHOT. 126. — Ferrochrome : C = 9 0/0, Cr = 64.
Cristaux de carbure double.
Polissage en bas-relief.
G = 50 d.

Les ferrochromes renferment un carbure double qui apparaît par polissage en bas-relief et se colore en noir par le picrate de soude lorsque la teneur en chrome est relativement faible. On le rencontre très souvent en cristaux très nets.

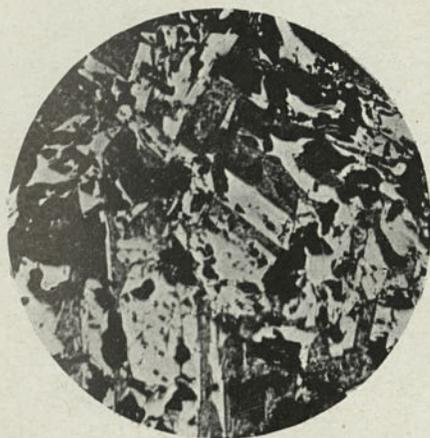


PHOT. 127. — Ferrochrome : C = 5, Cr = 65.
Cristaux de carbure double entourés d'eutectique.
Attaque à l'eau régale diluée.
G = 50 d.

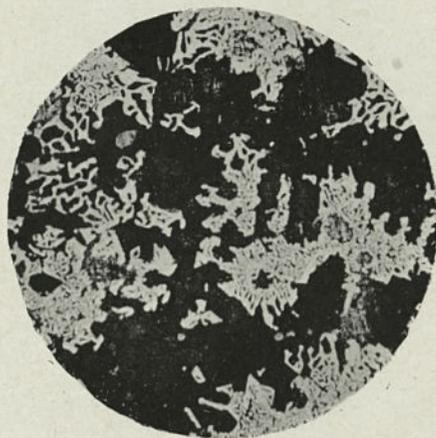


PHOT. 128. — Le même ferrochrome à un plus fort grossissement.
Attaque à l'eau régale diluée.
G = 200 d.

FERROCHROMES



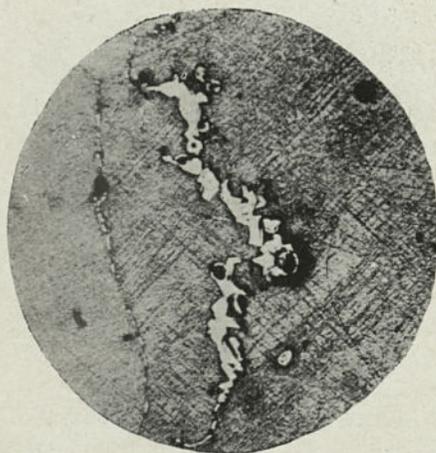
PHOT. 129. — Ferrochrome : C = 7,0, Cr = 65.
Cristaux très durs de carbure double.
Polissage en bas-relief.



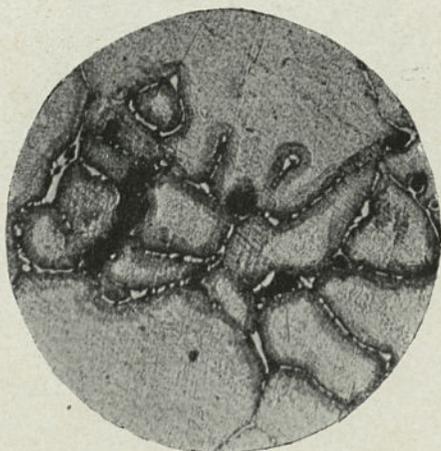
PHOT. 130. — Ferrochrome : C = 1,85, Cr = 67
Cet alliage paraît présenter un eutectique.
Attaque à l'eau régale diluée.

G = 50 d.

*Tous ces alliages possèdent de nombreuses cavités qui forment la plupart des parties noires.
Dans les alliages se rapprochant du chrome pur, on trouve de petits amas de carbure.
Les quantités de carbure double sont d'autant plus faibles que la teneur en carbone est plus petite,
toutes choses égales d'ailleurs.*

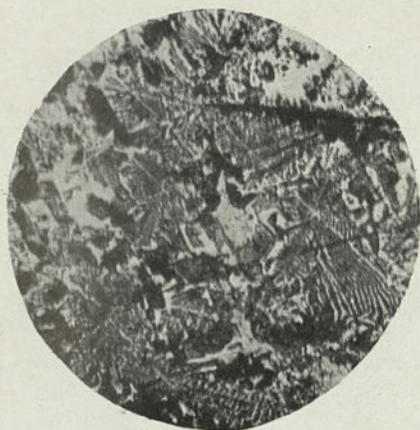


PHOT. 131. — Chrome : C = 0,21, Cr = 99.
Attaque à l'acide fluorhydrique.
Amas de carbure double.



PHOT. 132. — Autre vue du même alliage.

FERROTUNGSTÈNES

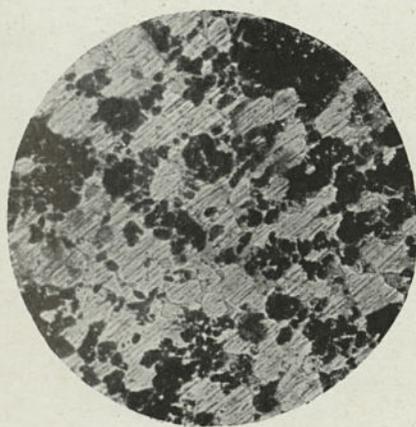


PHOT. 133. — Ferrotungstène : C = 1, W = 56.
Perlite et carbure double.
Attaque à l'eau régale.
G = 200 d.

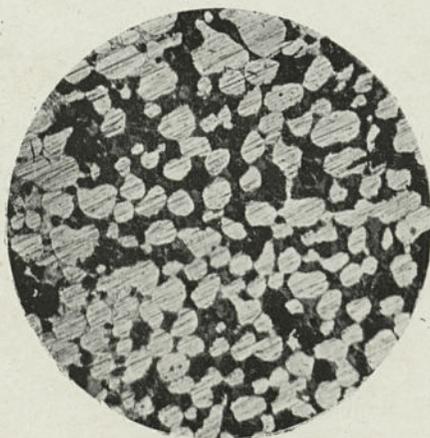


PHOT. 134. — Ferrotungstène : C = 1,32, W = 83.
Des grains se détachent en blanc sur un fond
noir, formé de cavités
et d'un carbure se colorant aisément.
Attaque au picrate de soude.
G = 50 d.

Les ferrotungstènes renferment un carbure double dont la composition paraît varier : suivant la teneur en tungstène, ce constituant se colore plus ou moins aisément par le picrate de soude. — Les raies que l'on voit (phot. 127 et 128) n'existent pas sur l'échantillon poli ; elles apparaissent dans l'attaque.

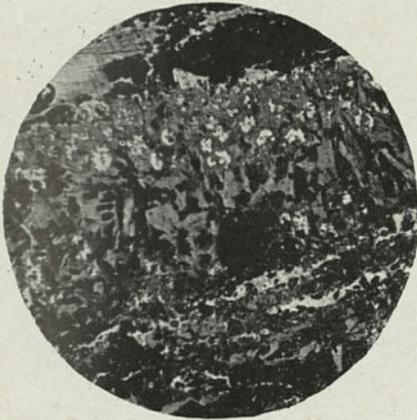


PHOT. 135. — Ferrotungstène : C = 0,38, W = 87.
Zone blanche dans laquelle on distingue des
cristaux de carbure qui sont très durs. Attaque
à l'eau régale.
G = 50 d.

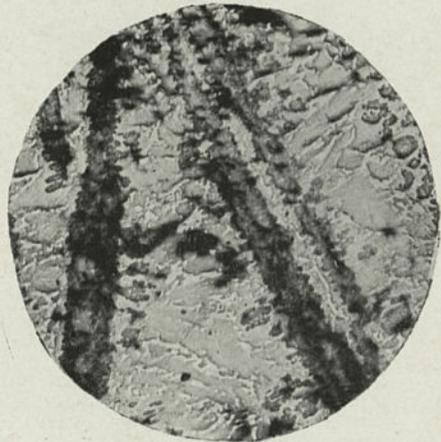


PHOT. 136. — Le même dans une autre attaque.
Une partie s'est colorée en noir.
Attaque au picrate de soude.
G = 50 d.

FERROMOLYBDÉNES



PHOT. 137. — Ferromolybdène : C = 1,87, Mo = 52.
Carbure double de fer et de molybdène
se colorant plus ou moins facilement.
Attaque au picrate de soude.
G = 50 d.

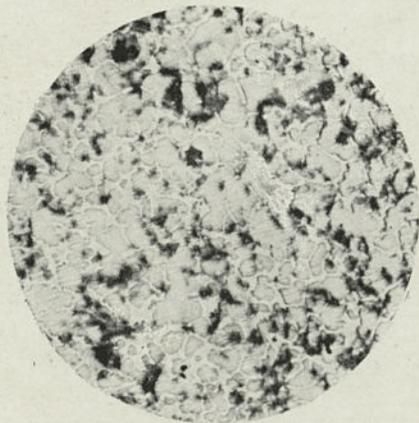


PHOT. 138. — Le même (autre attaque).
Zones blanches très dures.
Polissage en bas-relief.
G = 50 d.

Les ferromolybdènes ont une constitution analogue à celle des ferrotungstènes.



PHOT. 139. — Ferromolybdène : C = 0,34, Mo = 52.
Amas de carbure double.
Eau régale.
G = 200 d.

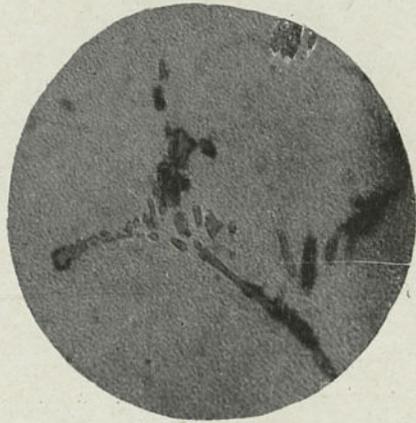


PHOT. 140. — Ferromolybdène : C = 2,27 Mo = 0,85.
Polissage en bas-relief.
Même microstructure que ci-dessus.
G = 50 d.

FERROVANADIUMS ET FERROTITANE



PHOT. 141. — Ferrovandium assez carburé.
Grains de carbure.
Attaque à l'eau régale.
G = 50 d.

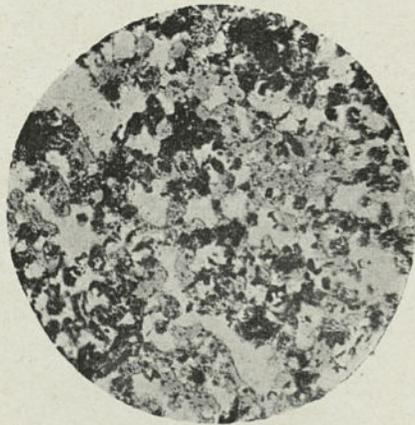


PHOT. 142. — Ferrovandium: C = 1,07, Va = 49.
Grains de carbure.
Polissage en bas-relief.
G = 50 d.

*Les ferrovandiums contiennent des grains de carbure.
Les ferrotitanes paraissent renfermer une combinaison fer-titane et des taches jaunes
d'azoture de titane.*

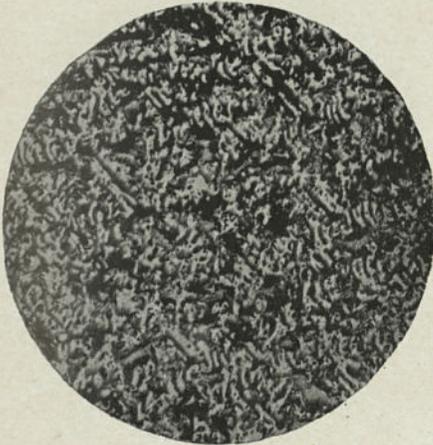


PHOT. 143. — Ferrotitane: C = 3,20, Ti = 52.
Cristaux blancs très durs et taches jaunes
(venues en noir) d'azoture de titane.
Attaque à l'eau régale.
G = 50 d.



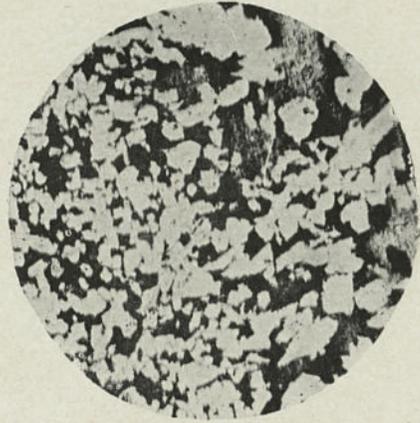
PHOT. 144. — Ferrotitane: C = 0,47, Ti = 56.
Cristaux blancs très durs.
Polissage en bas-relief.
G = 200 d.

Zn — Fe ; Sn — Fe ; P — Fe



PHOT. 145. — Alliage zinc-fer.
Fe = 4 0/0.

Attaque à l'acide chlorhydrique très étendu.
G = 200 d.



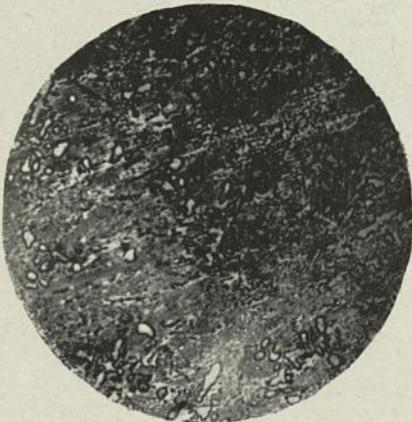
PHOT. 146. — Alliage étain-fer.
Fe = 50 0/0.

Cristaux très durs.
Attaque à l'acide picrique.
G = 50 d.

*Les alliages zinc-fer ne sont homogènes que pour Fe < 8 0/0 ; ils paraissent renfermer une combinaison.
Les alliages étain-fer ne sont pas suffisamment étudiés ; ils semblent contenir un stannure.*

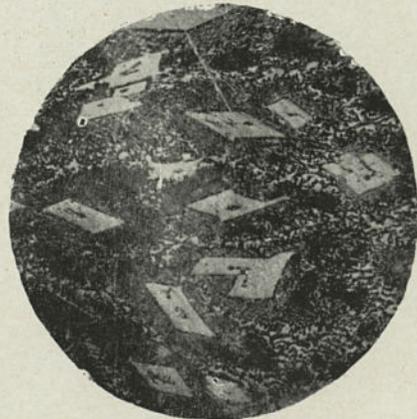
CONSTITUTION DES ALLIAGES FER-PHOSPHORE

GROUPES	MICROSTRUCTURES	COMPOSITION
I	Solution.....	0 < P < 1,70
II	Solution + eutectique....	1,70 < P < 10,20
III	eutectique + Fe ³ P.....	10,20 < P < 15,58
IV	Fe ³ P + Fe ² P.....	15,58 < P < 21,61
V	Fe ² P + ?	21,61 < P < 24



PHOT. 147. — Alliage fer-phosphore.
Fe = 92 0/0.

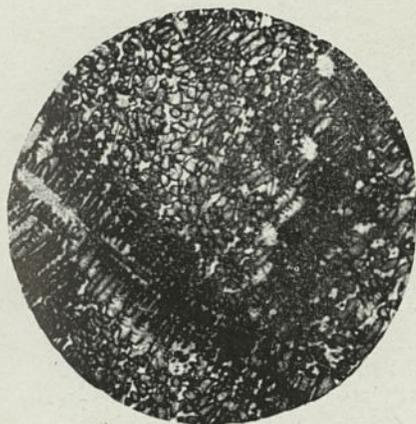
Alliage voisin de l'eutectique.
Attaque à l'acide azotique étendu.
G = 200 d.



PHOT. 148. — Alliage fer-phosphore
Fe = 88.

Cristaux très nets de Fe³P entourés d'eutectique
Attaque à l'acide azotique étendu.
G = 200 d.

FER. — CUIVRE



PHOT. 149. — Alliage fer-cuivre.
Fe = 60 0/0.
Attaque à l'acide picrique.
G = 200 d.

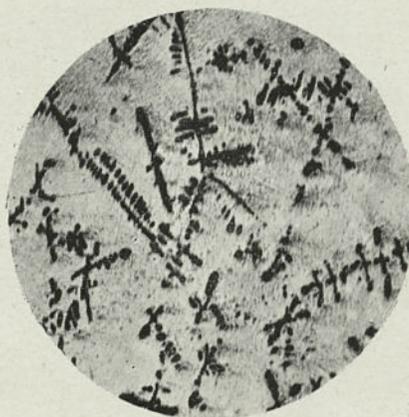


PHOT. 150. — Alliage fer-cuivre.
Fe = 40 0/0.
Attaque à l'acide picrique.
G = 200 d.

GROUPES	MICROSTRUCTURES	COMPOSITION
I	1 ^e Solution Cu-Fe.....	0 < Fe < 2,73
II	2 ^e Solution, dendrites.....	2,73 < Fe < 92
III	3 ^e Solution Fe-Cu.....	92 < Fe

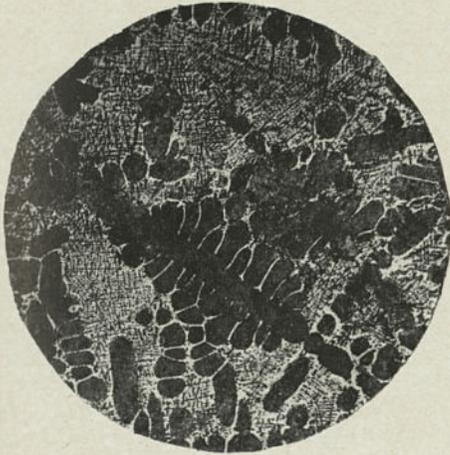


PHOT. 151. — Le même
vu à un plus fort grossissement.
G = 550 d.

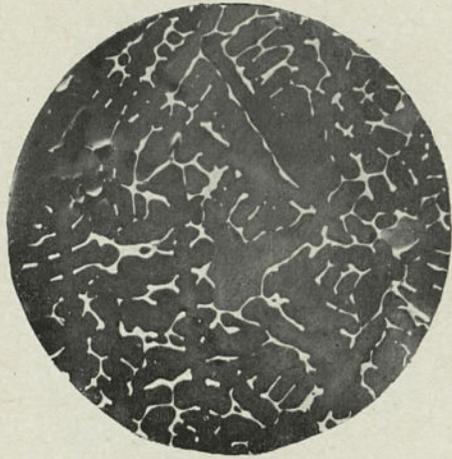


PHOT. 152. — Alliage fer-cuivre.
Fe = 15 0/0.
Attaque à l'acide picrique.
G = 200 d.

BRONZES ORDINAIRES



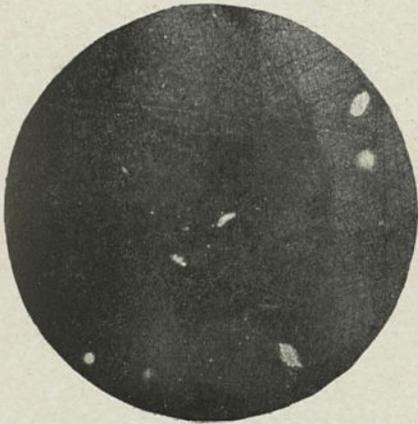
PHOT. 153. — Alliage cuivre-étain: Sn = 3,7.
Trempe à 1.025°.
Attaqué par HCl + FeCl³.
 α primaire noir.
G = 45 d.



PHOT. 154. — Alliage cuivre-étain: Sn = 3,7.
Trempe à 957°.
Attaqué par HCl + FeCl³.
 α noir dans liquide.
G = 10 d.

Se reporter au diagramme de MM. Heycock et Neville (texte, p. 456).

Ces micrographies sont dues à ces savants et ont été publiées dans le *Philosophical Magazine* (janvier 1904).

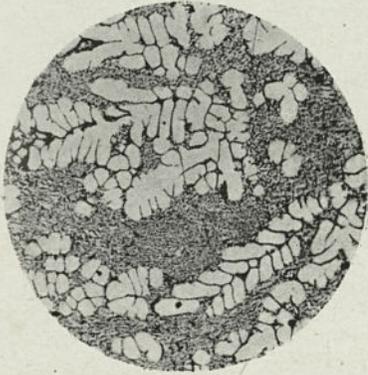


PHOT. 155. — Alliage cuivre-étain: Sn = 7,2.
Trempe à 800°.
Attaqué par HCl.
 α homogène.
G = 45 d.

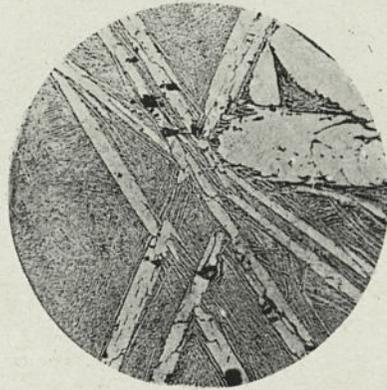


PHOT. 156. — Alliage cuivre-étain: Sn = 25,5.
Trempe à 750°.
Attaqué par HCl + FeCl³.
Cristaux primaires noirs de β .
G = 45 d.

BRONZES ORDINAIRES



PHOT. 157. — Alliage cuivre-étain : Sn = 47,9.
Trempe à 676°.
 γ primaire.
G = 45 d.

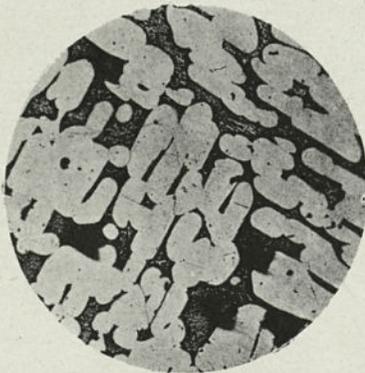


PHOT. 158. — Alliage cuivre-étain : Sn = 57,5
Trempe à 690°.
 γ primaire.
G = 18 d.

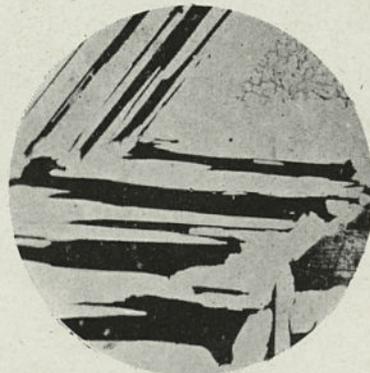
Attaques à HCl + FeCl³.

Se reporter au diagramme de MM. Heycock et Neville (texte, p. 456).

Ces micrographies sont dues à ces savants et ont été publiées dans le *Philosophical Magazine* (janvier 1904).

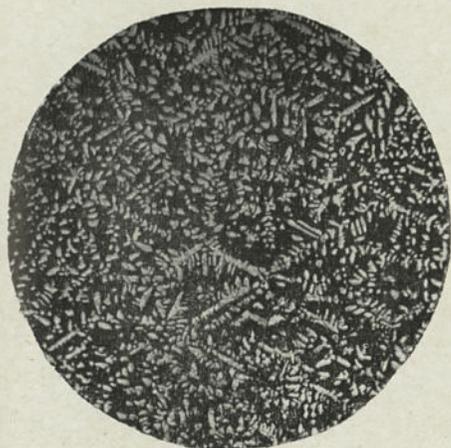


PHOT. 159. — Alliage cuivre-étain : Sn = 53,35.
 γ primaire après recuit à 445°
pendant 70 heures.
G = 45 d.

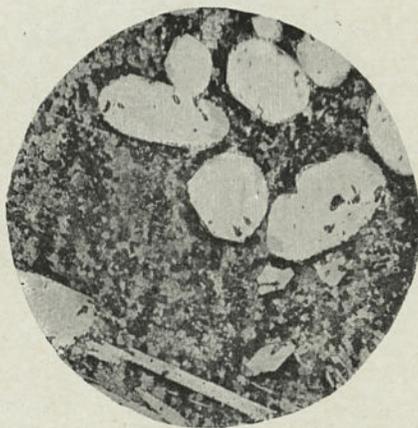


PHOT. 160. — Alliage cuivre-étain : Sn = 33,15
Trempe à 590°.
 γ noir, δ blanc.
G = 45 d.

ALLIAGES DE CUIVRE ET D'ÉTAIN PI. XLI
BRONZES ORDINAIRES

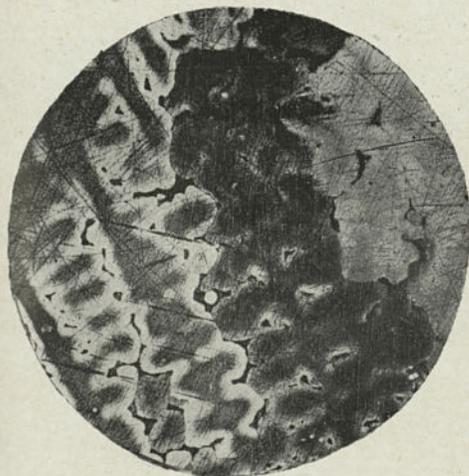


PHOT. 161. — Alliage cuivre-étain : Sn = 27,65.
Trempe à 450°.
ζ blanc dans C' complexe.
Attaque par HCl + FeCl³.
G = 250 d.



PHOT. 162. — Alliage cuivre-étain : Sn = 91,3.
Chauffé 21 jours, à 350°.
Deux types de cristaux de II dans l'eutectique
Attaque par HCl + FeCl³.
G = 43 d.

Se reporter au diagramme de MM. Heycock et Neville (texte, p. 456).
Ces micrographies sont dues à ces savants et ont été publiées dans le *Philosophical Magazine*
(janvier 1904).

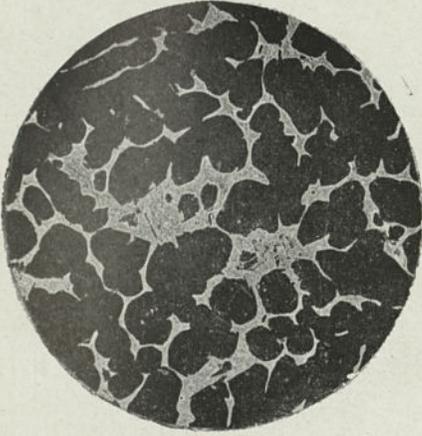


PHOT. 163. — Alliage cuivre-étain : Sn = 7,2.
Trempe à 800°.
Noyaux dans α.
Attaque à HCl.
G = 18 d.

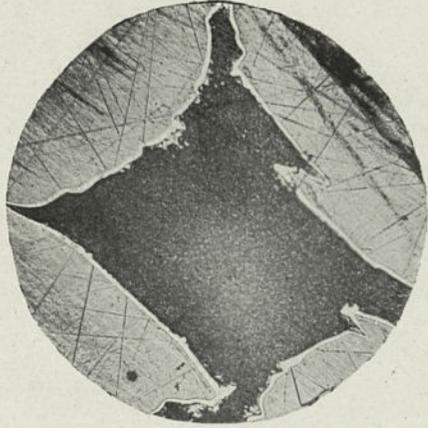


PHOT. 164. — Alliage cuivre-étain : Sn = 15,6.
Trempe à 880°.
α entouré de liquidus.
Attaque par HCl + FeCl³.
G = 120 d.

ALLIAGES DE CUIVRE ET D'ÉTAIN Pl. XLII
BRONZES ORDINAIRES



PHOT. 165. — Alliage cuivre-étain : Sn = 15,6.
Trempe à 470°.
 α noir et C complexe blanc.
G = 18 d.

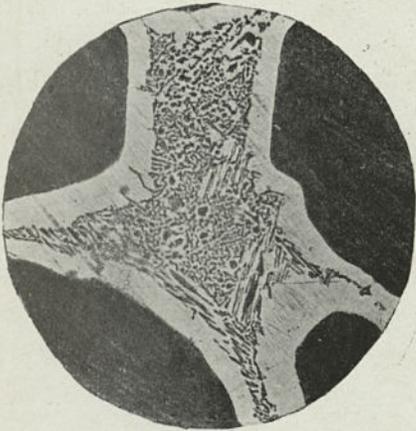


PHOT. 166. — Alliage cuivre-étain : Sn = 15,6
Trempe à 546°.
 β noir uniforme ; liserai blanc de δ .
 α en dehors.
G = 280 d.

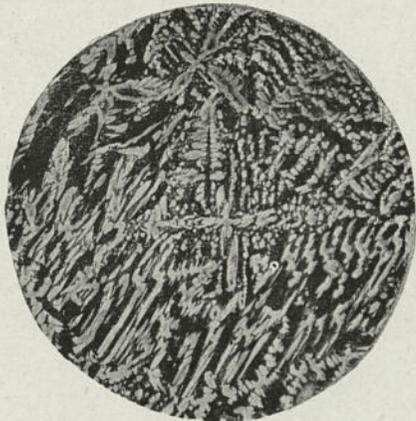
Attaques par HCl + FeCl³.

Se reporter au diagramme de MM. Heycock et Neville (texte, p. 456).

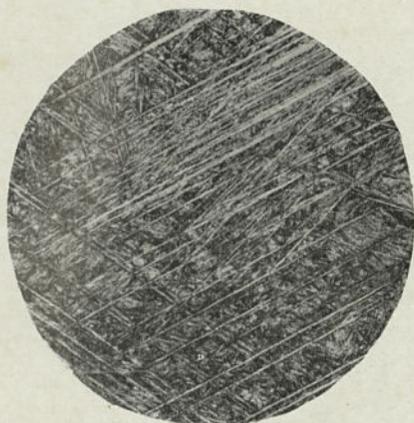
Ces micrographies sont dues à ces savants et ont été publiées dans le *Philosophical Magazine* (janvier 1904).



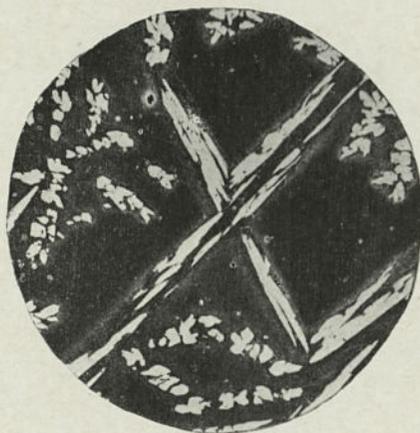
PHOT. 167. — Alliage cuivre-étain : Sn = 15,6.
Trempe à 470°.
Tache de C complexe, bordée de δ ,
 α en dehors.
G = 280 d.



PHOT. 168. — Alliage cuivre-étain : Sn = 22,5.
Trempe à 558°.
 α blanc nouveau, β noir.
G = 18 d.



PHOT. 169. — Alliage cuivre-étain : Sn = 23,3.
Trempe à 675°.
Attaqué par HCl + FeCl³.
β strié.

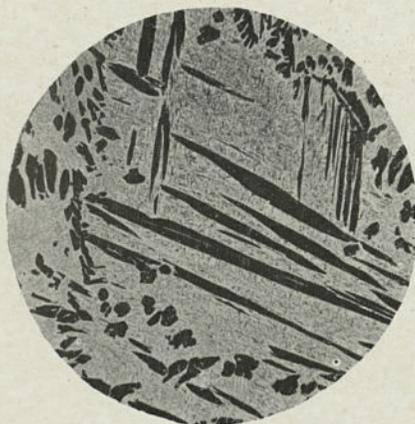


PHOT. 170. — Alliage cuivre-étain : Sn = 23,3.
Trempe à 530°.
Attaqué par HCl + FeCl³.
α blanc nouveau, β uniforme noir.

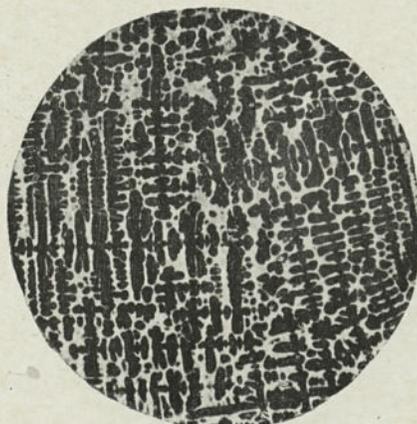
G = 18 d.

Se reporter au diagramme de MM. Heycock et Neville (texte, p. 456).

Ces micrographies sont dues à ces savants et ont été publiées dans le *Philosophical Magazine* (janvier 1904).

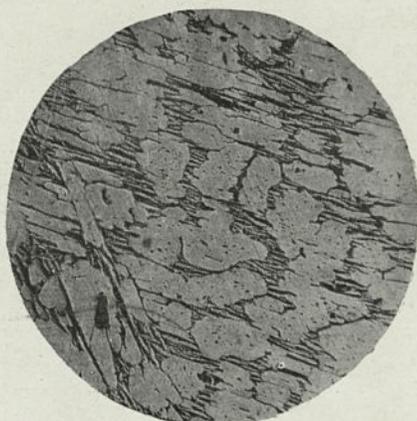
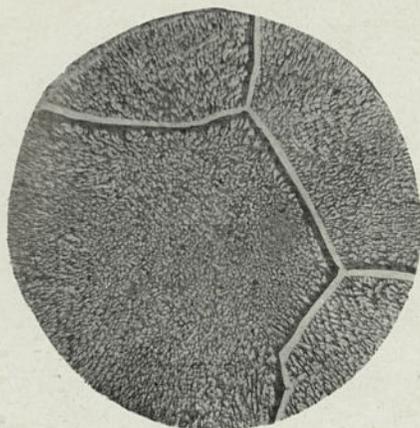


PHOT. 171. — Alliage cuivre-étain : Sn = 23,3.
Trempe à 470°.
Attaqué par HCl + FeCl³.
α noir, C' complexe blanc.



PHOT. 172. — Alliage cuivre-étain : Sn = 27,65.
Trempe à 731°.
Attaqué par AzH³.
β noir dans une matrice riche en étain.

BRONZES ORDINAIRES



PHOT. 173. — Alliage cuivre-étain : Sn = 29,03.
Trempe à 501°.

δ.

PHOT. 174. — Alliage cuivre-étain : Sn = 47,9.
Trempe à 628°.

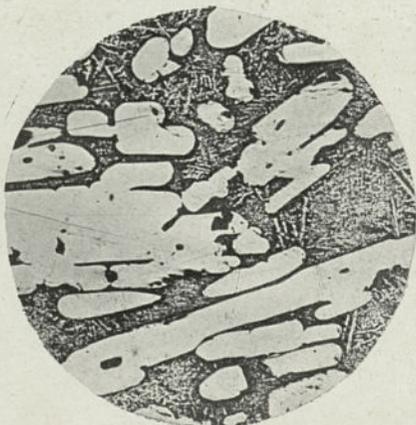
γ primaire.

Attaques par HCl + FeCl³.

G = 43 d.

Se reporter au diagramme de MM. Heycock et Neville (texte, p. 456).

Ces micrographies sont dues à ces savants et ont été publiées dans le *Philosophical Magazine* (janvier 1904).



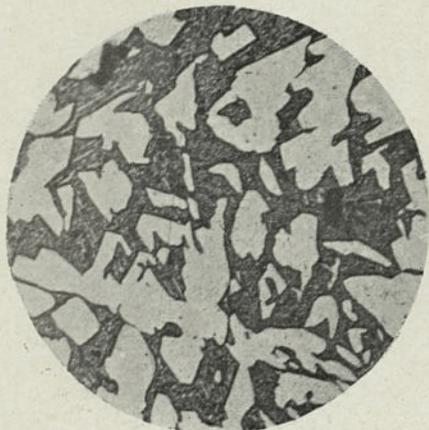
PHOT. 175. — Alliage cuivre-étain : Sn = 65,1.
Recuit à 443° pendant 70 heures.
η primaire.

PHOT. 176. — Alliage cuivre-étain : Sn = 83,5.
Trempe à 373°.

Plaques de η noir bordées de H blanc.

ALLIAGES DE CUIVRE ET D'ÉTAIN
BRONZES ORDINAIRES

PL. XLV



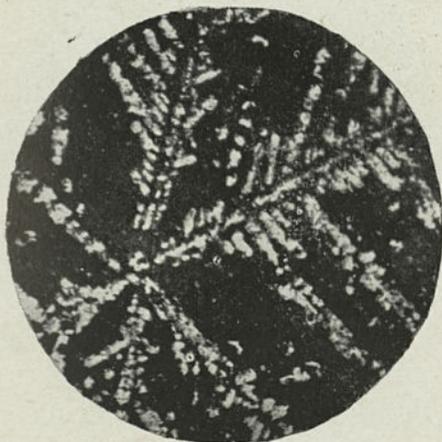
PHOT. 177. — Alliage cuivre-étain : Sn = 22.
Réfroidi lentement et attaqué au picrate de soude.
Le constituant δ apparaît en noir foncé.



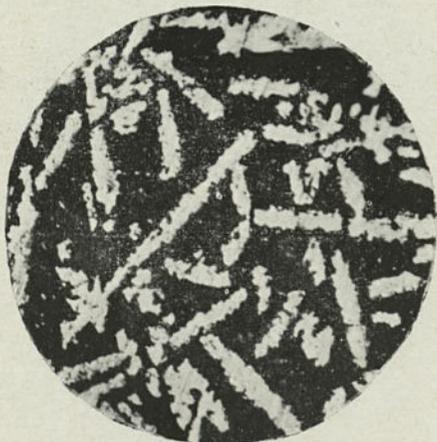
PHOT. 178. — Alliage cuivre-étain : Sn = 30.
Réfroidi lentement.
Attaque à HCl.

G = 200 d.

Le picrate de soude a été appliqué pour la première fois aux bronzes par M. Le Grix aux laboratoires des usines de Dion-Bouton.



PHOT. 179. — Alliage cuivre-étain : Sn = 70.
Réfroidi lentement.
Attaque à HCl.



PHOT. 180. — Alliage cuivre-étain : Sn = 90.
Réfroidi lentement.
Attaque à HCl.
G = 200 d.

TYPES INDUSTRIELS

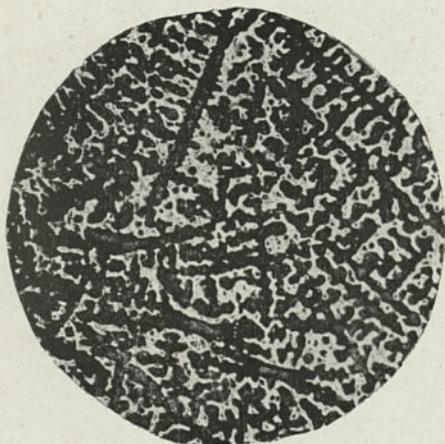


PHOT. 181. — Alliage de cuivre et d'étain : Sn = 30.
Refroidi lentement.
G = 200 d.



PHOT. 182. — Bronze des Compagnies P.-L.-M.
et Etat, 3^{me} titre.
Cu = 90, Sn = 8, Zn = 2.
Pour pièces non sujettes à frottement continu
(robinets, sifflets, etc.).
G = 200 d.

Attaques à la solution ammoniacale d'oxyde de cuivre.



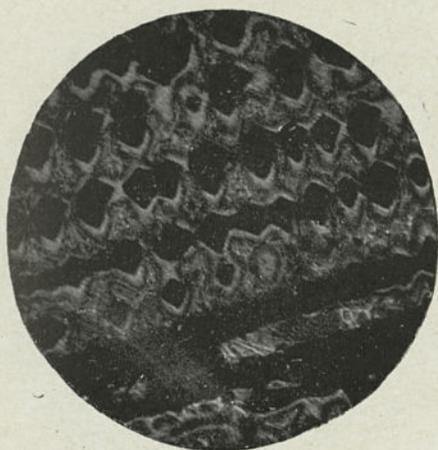
PHOT. 183. — Bronze de la Compagnie de l'Est.
Cu = 87,3, Pb = 1,32 Sn, = 9,13 Zn, = 2,25.
G = 50 d.



PHOT. 184. — Bronzes des C^{ies} P.-L.-M. et Etat,
2^{me} titre.
Cu = 84, Sn = 14, Zn = 2.
Bronzes pour pièces à frottement alternatif.
Pour tiroirs, bagues de presse-étoupes.
G = 200 d.

BRONZES ORDINAIRES

TYPES INDUSTRIELS



PHOT. 185. — Bronze de la Compagnie de l'Est.
Pour coussinets.

Cu = 84,20, Pb = 0,22, Sn = 13,46, Zn = 0,18.



PHOT. 186. — Bronzes des Compagnies P.-L.-M.
et Etat 1^{er} titre.

Cu = 82, Sn = 16, Zn = 2.
Pour pièces à frottement circulaire
(coussinets de boîtes à graisse,
colliers d'excentrique).

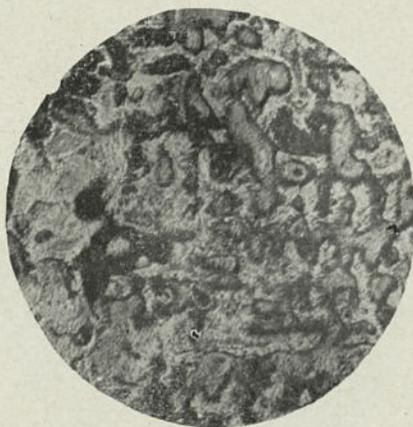
Attaques à la solution ammoniacale d'oxyde de cuivre.

G = 200 d.



PHOT. 187. — Bronze de la Compagnie du Nord,
3^{me} titre. Pour tiroirs, bagues, etc.

Cu = 81,70, Sn = 10,20, Pb = 0,40, Zn = 7,40.
A = 0,05, Ph = 0,24.



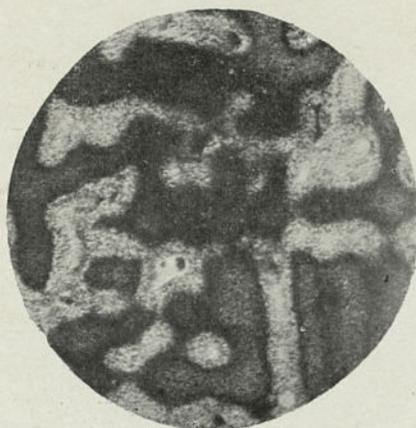
PHOT. 188. — Bronze Pensylvanie de la Compagnie
de l'Est au plomb.

Cu = 77,80, Pb = 14,46, Sn = 7,75.
G = 200 d.

BRONZES AU ZINC ; BRONZES AU PLOMB



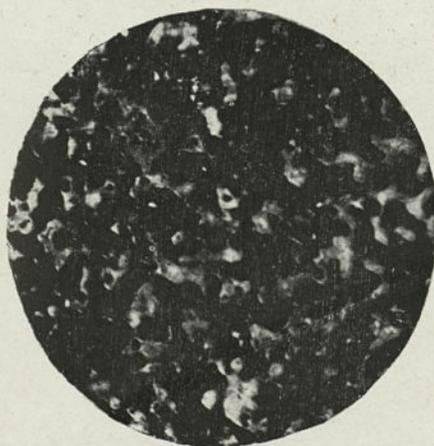
PHOT. 189. — Bronze au zinc.
Cu = 90, Sn = 9, Zn = 1.
G = 200 d.



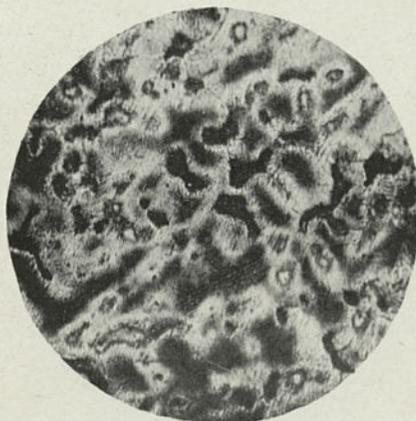
PHOT. 190. — Bronze au zinc.
Cu = 90, Sn = 3, Zn = 7.
G = 200 d.

Attaques à la solution ammoniacale d'oxyde de cuivre.

Dans les bronzes au plomb, ce métal ne se combine ni ne se dissout.

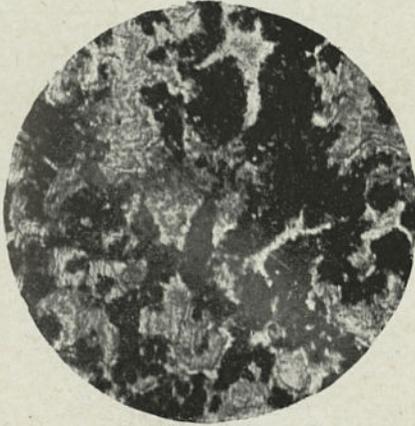


PHOT. 191. — Bronze au plomb pour frottement
(type industriel).
Cu = 84, Pb = 8, Sn = 8.
G = 100 d.

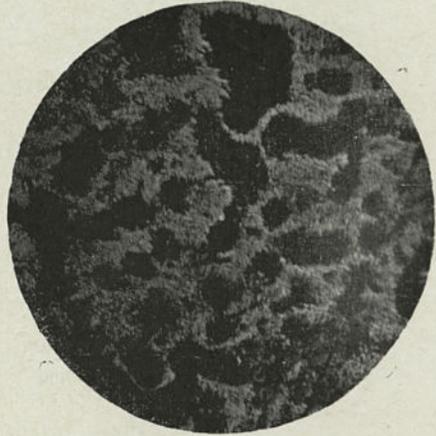


PHOT. 192. — Bronze au plomb.
Cu = 80,1, Sn = 9,5, Pb = 10, Zn = 0,9.
G = 100 d.

BRONZES AU PLOMB ET AU NICKEL; BRONZES PHOSPHOREUX



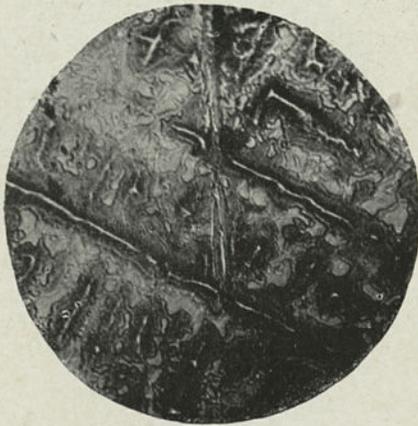
PHOT. 193. — Bronze au plomb et au nickel.
Cu = 64, Sn = 5, Pb = 30, Ni = 1.



PHOT. 194.
Cu = 66, Sn = 8, Pb = 25, Ni = 1.

Attaques à la solution ammoniacale d'oxyde de cuivre.

G = 200 d.

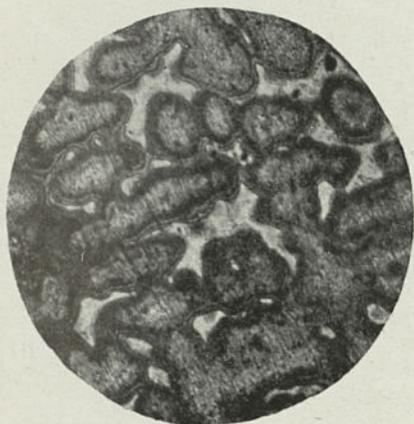


PHOT. 195. — Bronze de frottement phosphoreux.
Cu = 84, Sn = 16, P = traces.

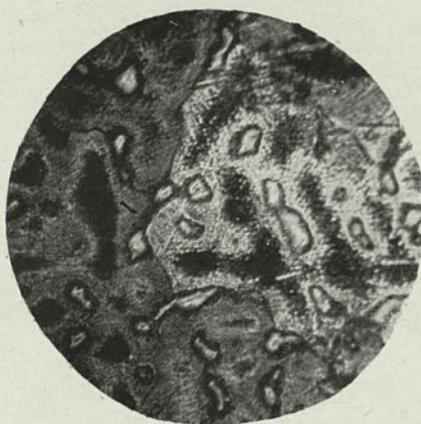


PHOT. 196. — Autre bronze phosphoreux.
Cu = 82, Sn = 18, P = traces.

BRONZES AU MANGANÈSE ; BRONZES A L'ALUMINIUM



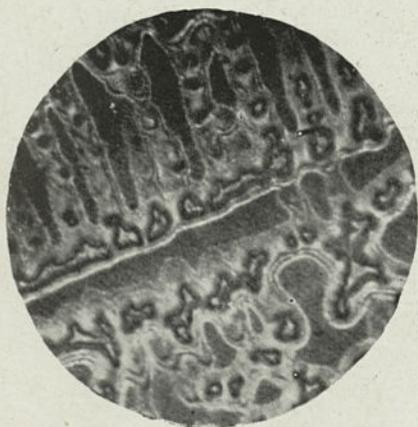
PHOT. 197. — Bronze au manganèse.
Cu = 89,4, Sn = 9,5, Zn = 0,9, Mn = 1,2.



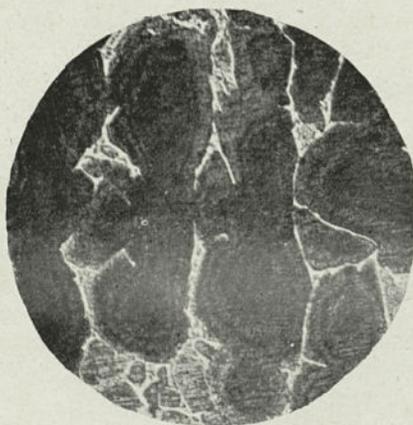
PHOT. 198. — Bronze au manganèse.
Cu = 86,0, Sn = 9,5, Zn = 0,9, Mn = 3,6.

Attaques à la solution ammoniacale d'oxyde de cuivre.

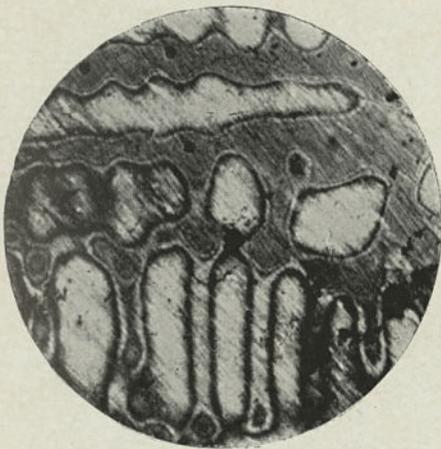
G = 200 d.



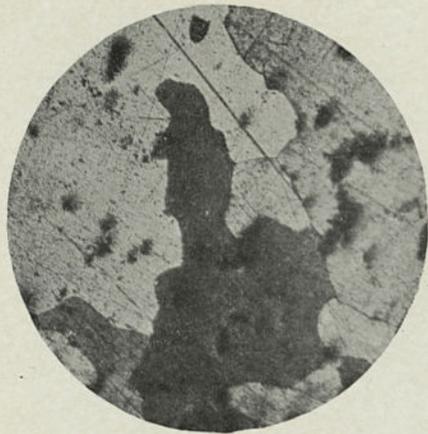
PHOT. 199. — Bronze à l'aluminium.
Cu = 90, Sn = 9,5, Al = 0,5.



PHOT. 200. — Bronze à l'aluminium.
Cu = 90, Sn = 9,3, Al = 0,7.



PHOT. 201. — Alliage cuivre-zinc: Cu = 92.
Pour décolletage, fausse bijouterie, etc.
Solution α .



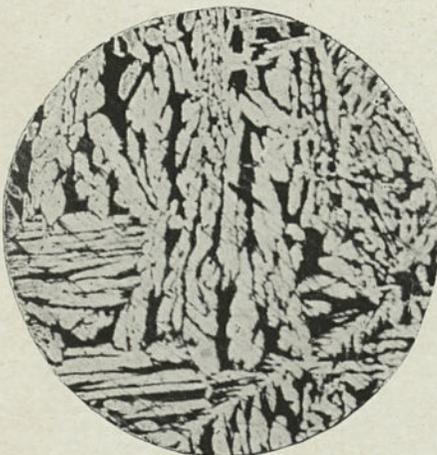
PHOT. 202. — Alliage cuivre-zinc: Cu = 67.
Pour plaques, tubes (laiton français de cartouche)
Solution α .

Attaques à la solution ammoniacale d'oxyde de cuivre.
G = 200 d.

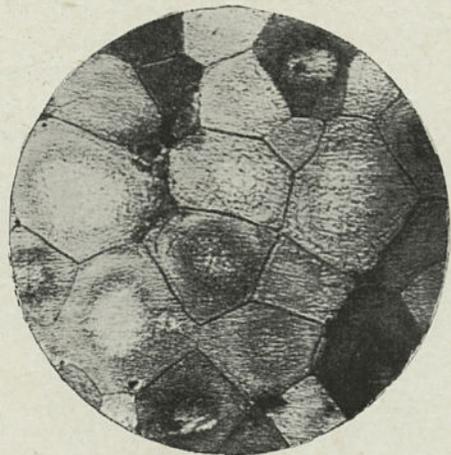
CONSTITUTION DES LAITONS

GROUPES	MICROSTRUCTURES	COMPOSITIONS
I	Solution α	0 < Zn < 36
II	Sol. α + sol. β	36 < Zn < 46,5
III	Sol. β	46,5 < Zn < 49
IV	Sol. β + sol. γ	49 < Zn < 60
V	Sol. γ	60 < Zn < 69
VI	Sol. γ + ϵ	69 < Zn < 81
VII	Sol. ϵ	81 < Zn < 87
VIII	Sol. ϵ + sol. ζ	87 < Zn < 97,5
IX	Sol. ζ	97,5 < Zn < 100

Il ne s'agit ici que d'alliages refroidis très lentement.

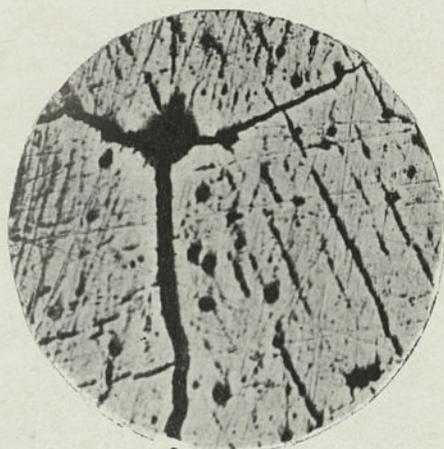


PHOT. 203. — Alliage cuivre-zinc : Cu = 59.
Laiton forgeable, alliage de Muntz,
Laiton de décolletage.
Solution α + solution β .

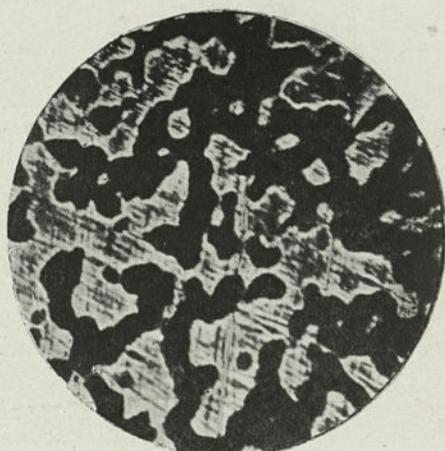


PHOT. 204. — Alliage cuivre-zinc : Cu = 52.
Solution β homogène.

LAITONS ORDINAIRES



PHOT. 205. — Alliage cuivre-zinc: Cu = 50.
Sol. β + traces de sol. γ .



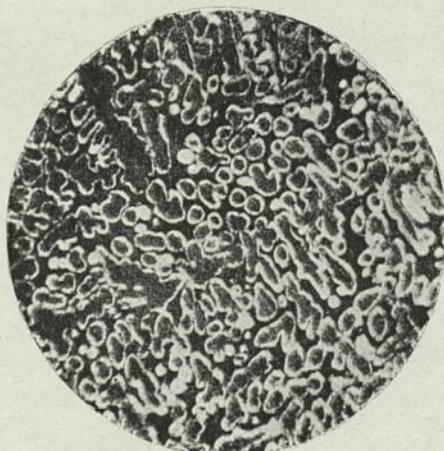
PHOT. 206. — Alliage cuivre-zinc: Cu = 20.
Sol. γ + sol. ϵ .

Attaques à la potasse étendue.
G = 200 d.

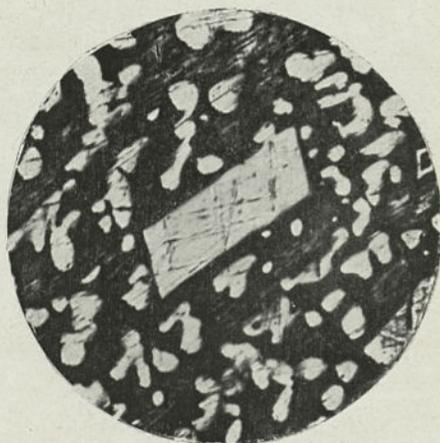
CONSTITUTION DES LAITONS.

GROUPES	MICROSTRUCTURES	COMPOSITIONS
I	Solution α	0 < Zn < 36
II	Sol. α + sol. β	36 < Zn < 46,5
III	Sol. β	46,5 < Zn < 49
IV	Sol. β + sol. γ	49 < Zn < 60
V	Sol. γ	60 < Zn < 69
VI	Sol. γ + ϵ	69 < Zn < 81
VII	Sol. ϵ	81 < Zn < 87
VIII	Sol. ϵ + sol. γ	87 < Zn < 97,5
IX	Sol. γ	97,5 < Zn < 100

Il ne s'agit ici que d'alliages refroidis très lentement.



PHOT. 207. — Alliage cuivre-zinc: Cu = 10,3.
Sol. ϵ + γ .



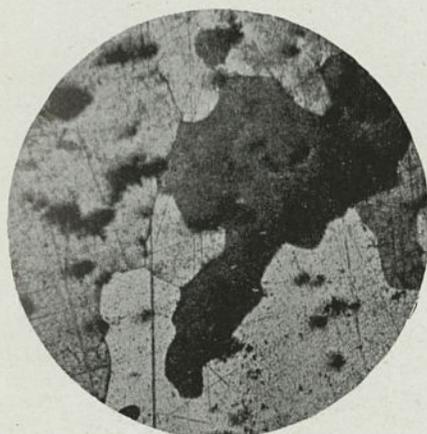
PHOT. 208. — Alliage cuivre-zinc: Cu = 7,6.
Sol. ϵ + γ .

LAITONS ORDINAIRES

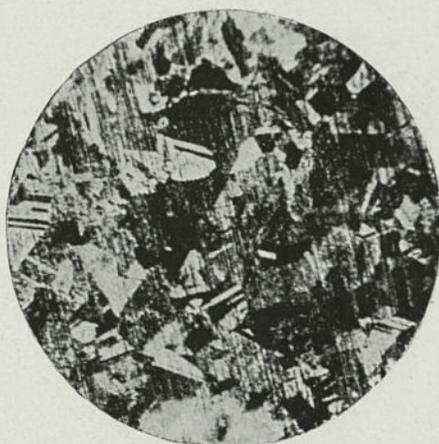
LAITON DE PLANCHES

Cu = 67; Zn = 33

Influence du recuit.



PHOT. 209. — Laiton de planches
Brut de coulée.



PHOT. 210. — Laiton de planches
Recuit à bonne température.

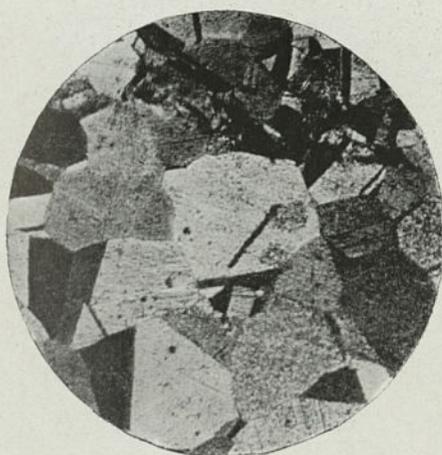
Attaques à la solution ammoniacale d'oxyde de cuivre.

G = 200 d.

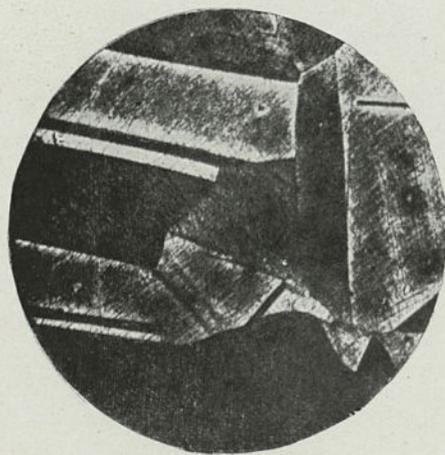
Le recuit uniformise la solution α et crée des polyèdres.

Plus la température de recuit est élevée, plus les polyèdres sont importants.

Quand leur surface augmente, les allongements augmentent et la résistance à la traction s'abaisse.



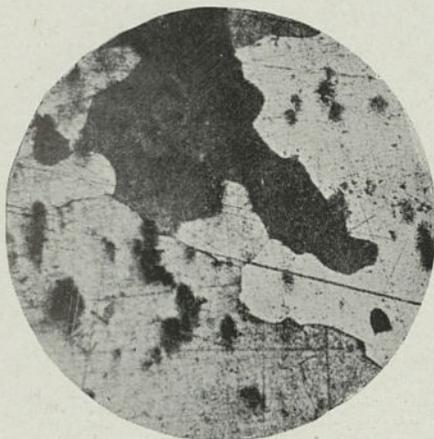
PHOT. 211. — Laiton de planches
Recuit à trop haute température.



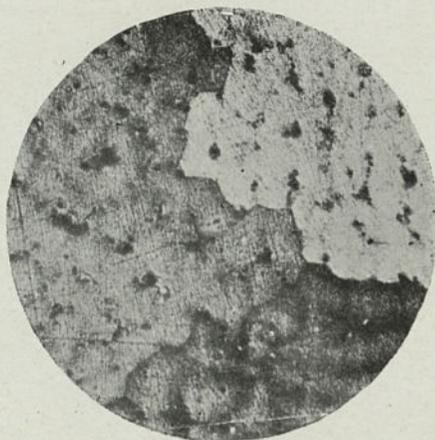
PHOT. 212. — Laiton de planches
Recuit à beaucoup trop haute température.

LAITONS ORDINAIRES

ÉTUDE DES LAITONS INDUSTRIELS



PHOT. 213. — Alliage cuivre-zinc : Cu = 67.
Solution α pure.
G = 200 d.



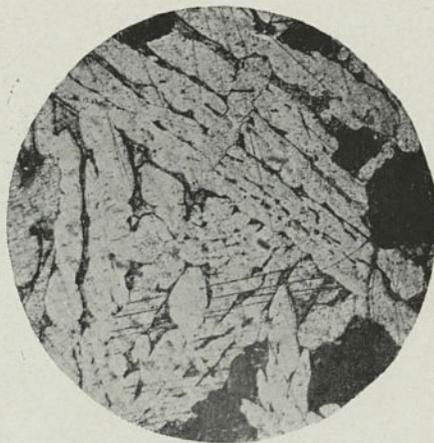
PHOT. 214. — Alliage cuivre-zinc : Cu = 65.
Solution α pure.
G = 50 d.

Attaques à la solution ammoniacale d'oxyde de cuivre.

Cette étude a pour but de montrer que, pour les laitons, l'analyse micrographique donne des résultats extrêmement précis et peut, en de nombreux cas, remplacer l'analyse chimique. Les quantités respectives des solutions α et β indiquent le pourcentage.



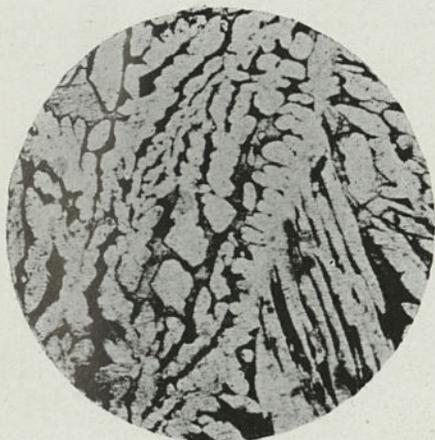
PHOT. 215. — Alliage cuivre-zinc : Cu = 63.
Solution α , traces de solution β .
G = 50 d.



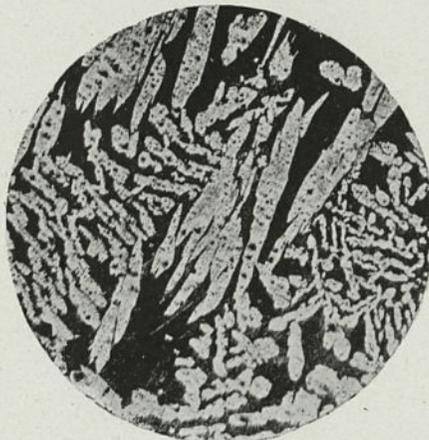
PHOT. 216. — Alliage cuivre-zinc : Cu = 62.
Solution α + un peu solution β .
G = 50 d.

LAITONS ORDINAIRES

ÉTUDE DES LAITONS INDUSTRIELS



PHOT. 217. — Alliage cuivre-zinc : Cu = 60.
Solution α + un peu de solution β .

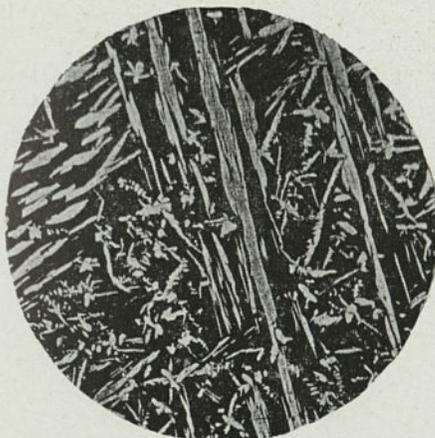


PHOT. 218. — Alliage cuivre-zinc : Cu = 58.
Solution α + solution β .

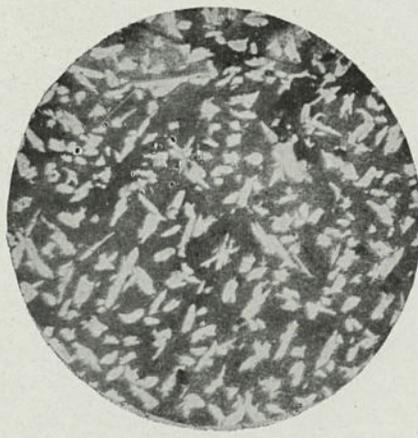
Attaques à la solution ammoniacale d'oxyde de cuivre.

G = 50 d.

*Cette étude a pour but de montrer que, pour les laitons, l'analyse micrographique donne des résultats extrêmement précis et peut, en de nombreux cas, remplacer l'analyse chimique.
Les quantités respectives des solutions α et β indiquent le pourcentage.*



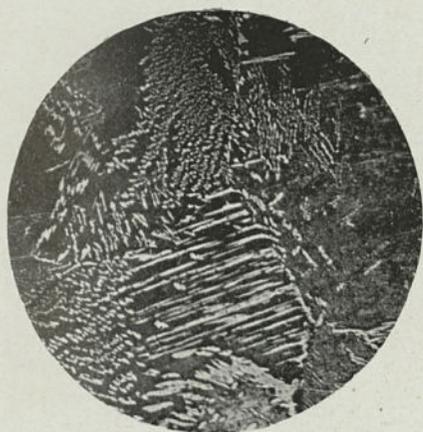
PHOT. 219. — Alliage cuivre-zinc : Cu = 56,5.
Solution α + solution β .



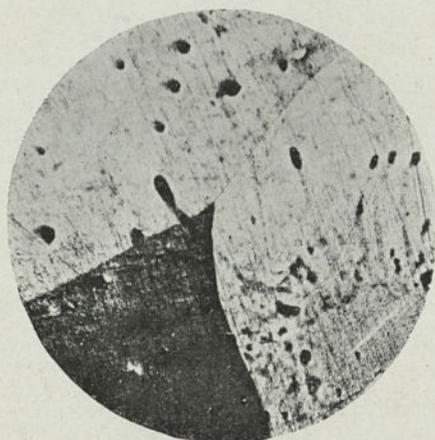
PHOT. 220. — Alliage cuivre-zinc : Cu = 55,5.
Solution α + solution β .

LAITONS ORDINAIRES

ÉTUDE DES LAITONS INDUSTRIELS



PHOT. 221. — Alliage cuivre-zinc : Cu = 54,7.
Solution β + traces de sol. α .



PHOT. 222. — Alliage cuivre-zinc : Cu = 54,7 à 51.
Solution β .

Attaques à la solution ammoniacale d'oxyde de cuivre.

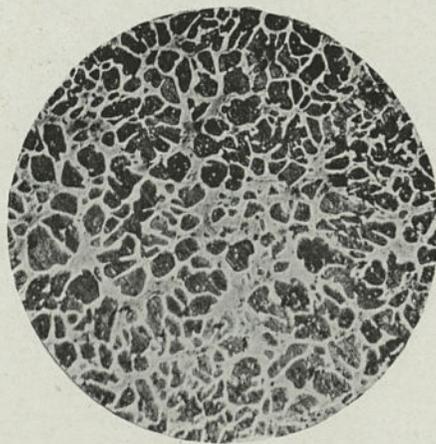
G = 50 d.

Cette étude a pour but de montrer que, pour les laitons, l'analyse micrographique donne des résultats extrêmement précis et peut, en de nombreux cas, remplacer l'analyse chimique.

Les quantités respectives des solutions α et β indiquent le pourcentage.

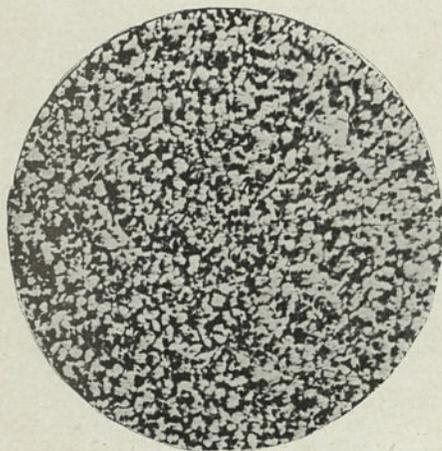


PHOT. 223. — Alliage cuivre-zinc : Zn = 50.
Solution β + un peu de sol. γ .



PHOT. 224. — Alliage cuivre-zinc : Zn = 48.
Solution γ .

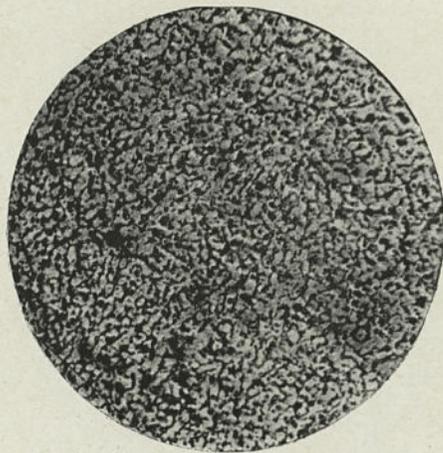
LAITONS AU PLOMB



PHOT. 225. — Laiton au plomb.

Cu = 59, Zn = 40, Pb = 1.

Laiton de décolletage, laminé, étiré et recuit.



PHOT. 226. — Laiton au plomb.

Cu = 57, Zn = 40, Pb = 3.

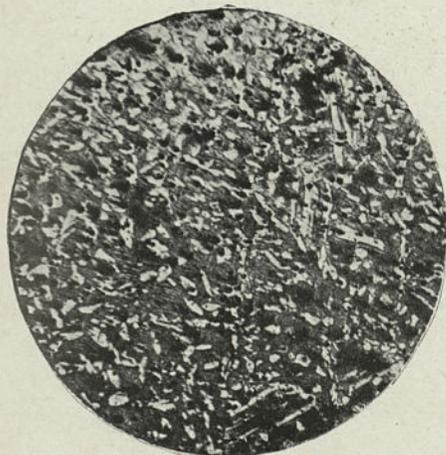
Laiton de décolletage, laminé, étiré et recuit.

Attaques à la solution ammoniacale d'oxyde de cuivre.

G = 50 d.

*Dans les laitons renfermant la solution α et la solution β , le plomb entoure la solution α .
Il facilite ainsi considérablement le travail de décolletage.*

*Dans les laitons formés de la solution α , le plomb forme des globules isolés (phot. 228) ;
il est, dans ce cas, des plus nuisibles dès qu'il dépasse 0,5 à 0,7 0/0.*



PHOT. 227. — Laiton au plomb.

Cu = 53, Zn = 40, Pb = 5.

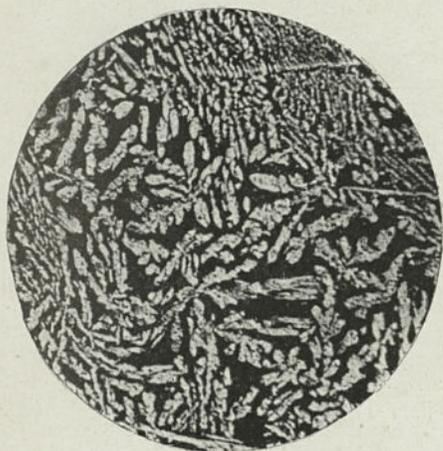
Laiton laminé, étiré et recuit.



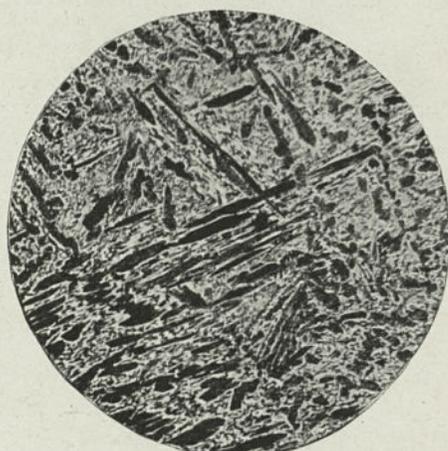
PHOT. 228. — Laiton au plomb.

Cu = 67, Zn = 30, Pb = 3.

LAITONS A L'ÉTAIN



PHOT. 229. — Laiton à l'étain.
Cu = 60, Zn = 39,5, Sn = 0,5.
Laiton pour constructions navales.

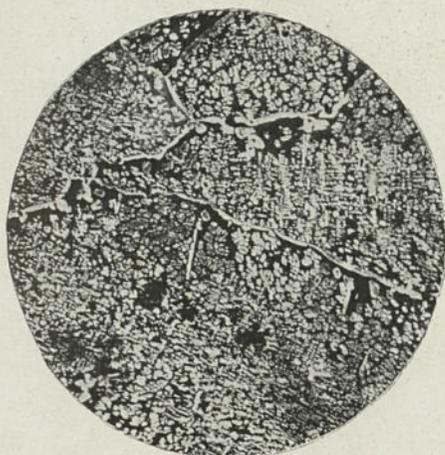


PHOT. 230. — Laiton à l'étain.
Cu = 60, Zn = 39, Sn = 1.
Laiton pour constructions navales.

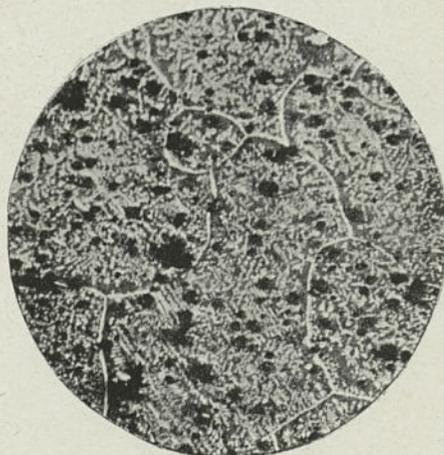
Attaques à la solution ammoniacale d'oxyde de cuivre.

G = 50 d.

L'étain forme un constituant spécial et fait disparaître la solution γ .

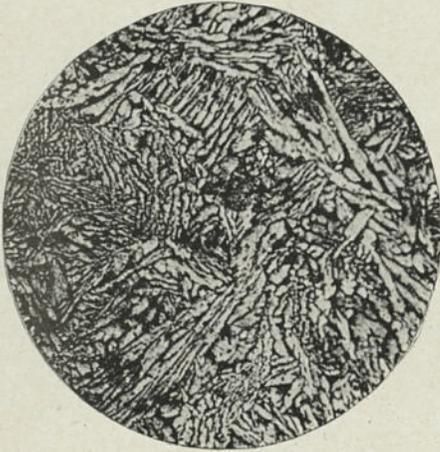


PHOT. 231. — Laiton à l'étain.
Cu = 54, Zn = 40, Sn = 6.



PHOT. 232. — Laiton à l'étain.
Cu = 60, Zn = 30, Sn = 10.

LAITONS AU MANGANÈSE



PHOT. 233. — Laiton au manganèse.
Cu = 59, Zn = 40, Mn = 1.
Bronze industriel à haute résistance.



PHOT. 234. — Laiton au manganèse.
Cu = 52, Zn = 40, Mn = 6.

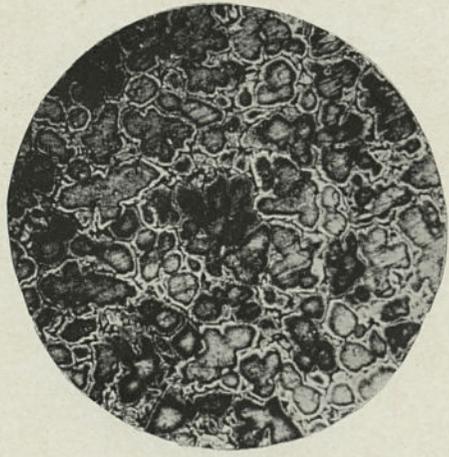
Attaques à la solution ammoniacale d'oxyde de cuivre.

G = 50 d.

Le manganèse amène l'alliage à un titre fictif supérieur à son titre réel.

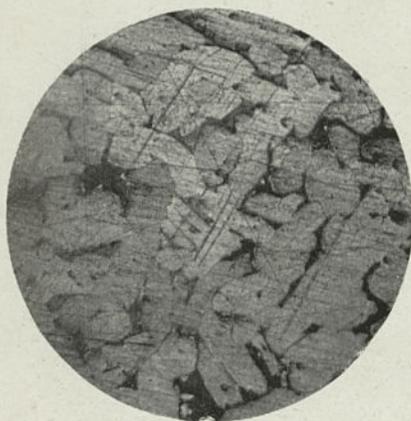


PHOT. 235. — Laitons au manganèse.
Cu = 63, Zn = 30, Mn = 5.

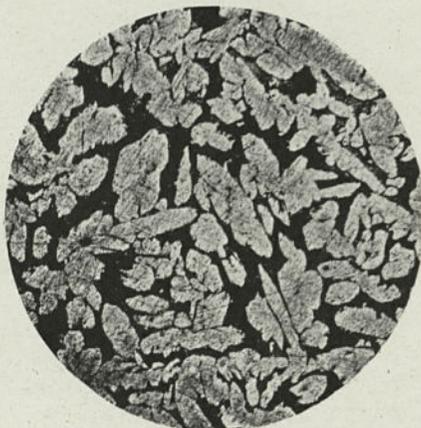


PHOT. 236. — Laitons au manganèse.
Cu = 60, Zn = 30, Mn = 10.

LAITONS AU MANGANÈSE



PHOT. 237. — Laiton au manganèse.
Cu = 62, Zn = 35,6, Mn = 2,4.



PHOT. 238. — Laiton au manganèse.
Cu = 57, Zn = 40,4, Mn = 2,6.

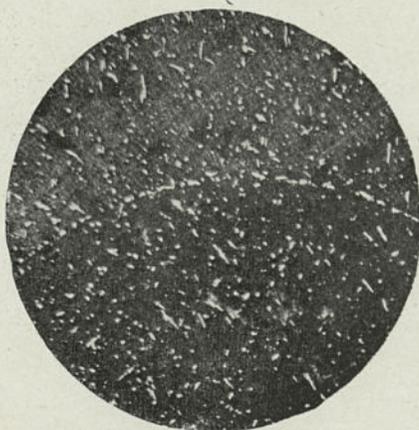
Attaques à la solution ammoniacale d'oxyde de cuivre.

G = 30 d.

Le manganèse amène l'alliage à un titre fictif supérieur à son titre réel.

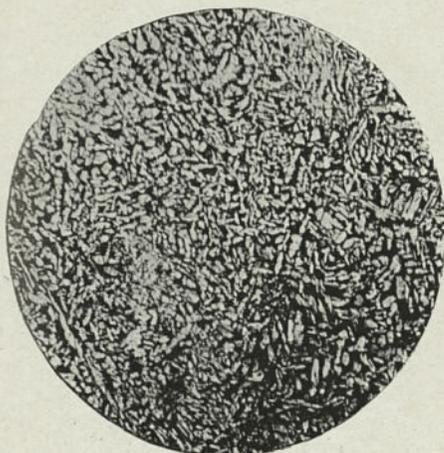


PHOT. 239. — Laiton au manganèse.
Cu = 54, Zn = 44,8, Mn = 1,2.

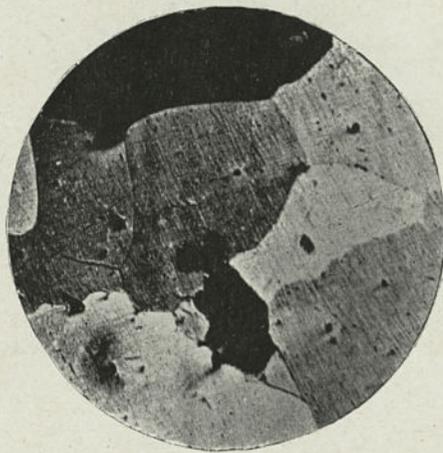


PHOT. 240. — Laiton au manganèse.
Cu = 54,6, Zn = 44,9, Mn = 0,5.

LAITONS A L'ALUMINIUM



PHOT. 241. — Laiton à l'aluminium.
Cu = 60, Zn = 39,5, Al = 0,5.

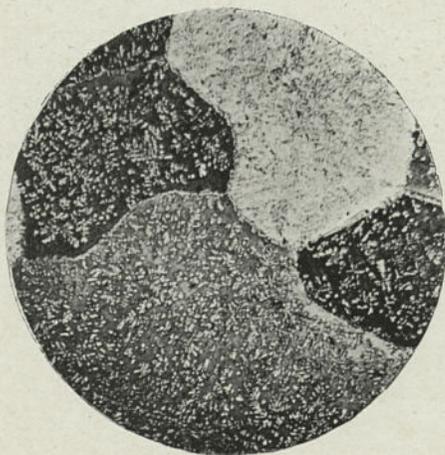


PHOT. 242. — Laiton à l'aluminium.
Cu = 60, Zn = 36, Al = 4.

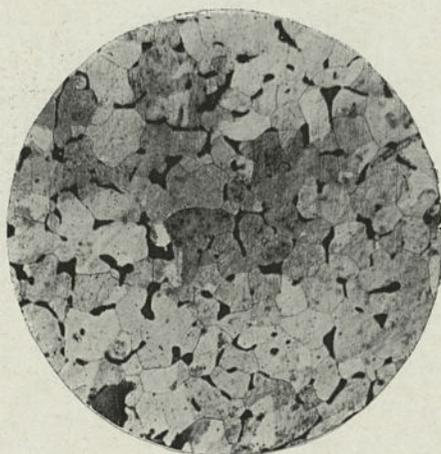
Attaques à la solution ammoniacale d'oxyde de cuivre.

G = 50 d.

L'aluminium amène l'alliage à un titre fictif inférieur à son titre réel.



PHOT. 243. — Laiton à l'aluminium.
Cu = 60, Zn = 34, Al = 6.

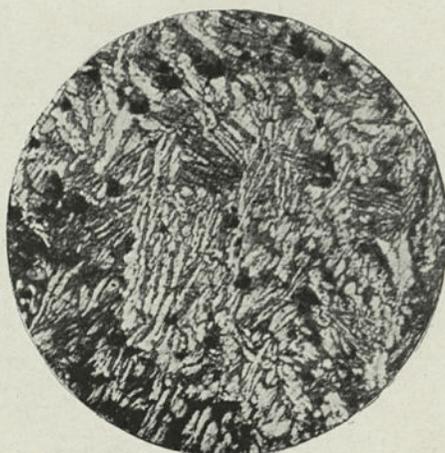


PHOT. 244. — Laiton à l'aluminium.
Cu = 60, Zn = 33, Al = 7.

LAITONS A L'ALUMINIUM



PHOT. 245. — Laiton à l'aluminium.
Cu = 70, Zn = 27, Al = 3.

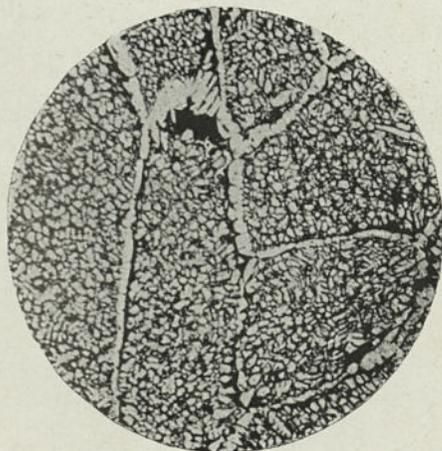


PHOT. 246. — Laiton à l'aluminium.
Cu = 70, Zn = 25, Al = 5.

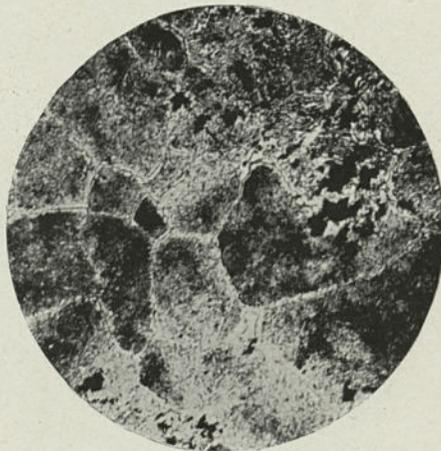
Attaques à la solution ammoniacale d'oxydure de cuivre.

G = 50 d.

L'aluminium amène l'alliage à un titre fictif inférieur à son titre réel.

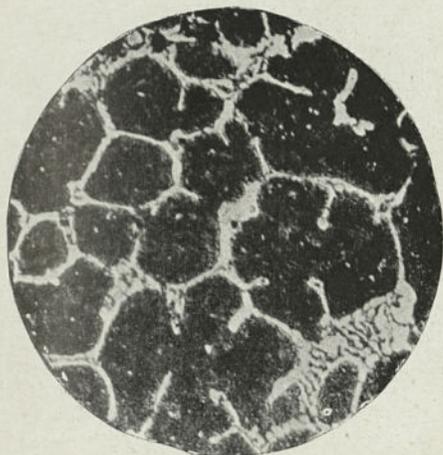


PHOT. 247. — Laiton à l'aluminium.
Cu = 70, Zn = 22, Al = 8.



PHOT. 248. — Laiton à l'aluminium.
Cu = 70, Zn = 20, Al = 10.

LAITONS PHOSPHOREUX



PHOT. 249. — Laiton phosphoreux
Cu = 60, Zn = 39,5, P = 0,5.

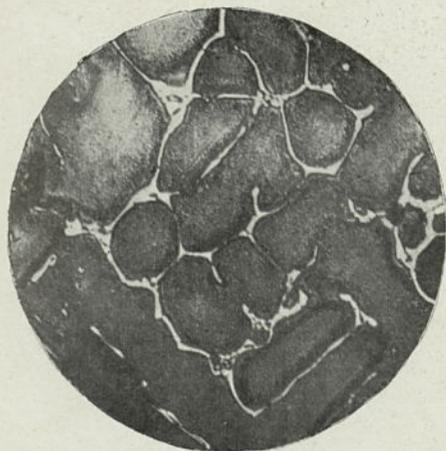


PHOT. 250. — Laiton phosphoreux.
Cu = 70 ; Zn = 29,7 ; P = 0,3.

Attaques à l'oxyde de cuivre ammoniacal.

G = 200 d.

Le moindre excès de phosphore dans les alliages cuivre-zinc (laitons) se traduit par un composé bleuté qui amène une très grande fragilité.

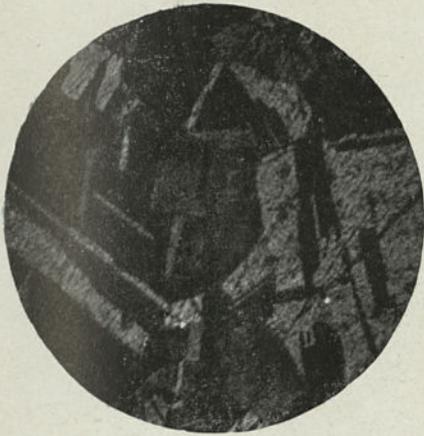


PHOT. 251. — Laiton phosphoreux.
Cu = 70, Zn = 29,5, P = 0,5.



PHOT. 252. — Laiton phosphoreux.
Cu = 70, Zn = 28,5, P = 1,2.

ALLIAGES DE CUIVRE ET D'ALUMINIUM PI. LXIV
BRONZES D'ALUMINIUM



PHOT. 253. — Alliage cuivre-aluminium : Al = 3.
Solution α .
G = 200 d.

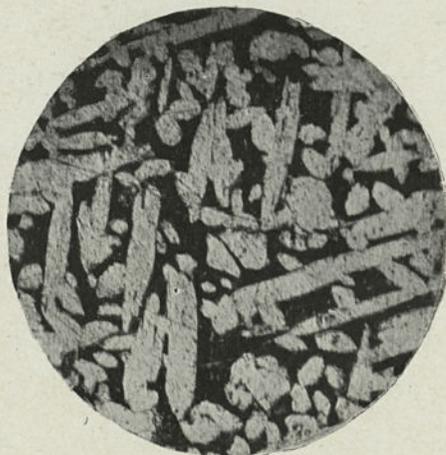
PHOT. 254. — Alliage cuivre-aluminium : Al = 6
Bronze industriel.
Solution α .
G = 200 d.

Attaques au perchlorure de fer en solution chlorhydrique.

CONSTITUTION DES ALLIAGES CUIVRE-ALUMINIUM

GROUPES	MICROSTRUCTURES	COMPOSITIONS
I	Sol. α	0 < Al < 8,6
II	Sol. α + sol. β	8,6 < Al < 11,8
III	Sol. β + sol. δ	11,8 < Al < 15,5
IV	Sol. δ	15,5 < Al < 30
V	ϵ + η_1	30 < Al < 44,5
VI	η_1	44,5 < Al < 50
VII	η + eutectique η -H.	50 < Al < 66
VIII	H + eutectique η -H.	66 < Al < 100

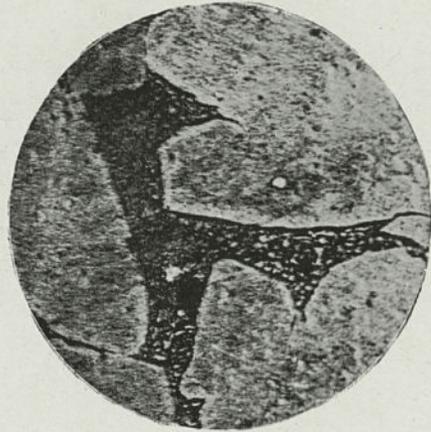
Il ne s'agit ici que d'alliages refroidis lentement.



PHOT. 255. — Alliage cuivre-aluminium : Al = 8,2.
Bronze industriel.
Solution α avec un peu du constituant β .
G = 100 d.

PHOT. 256. — Alliage cuivre-aluminium : Al = 9,8.
Bronze industriel.
Solution α + solution β .
G = 100 d.

ALLIAGES DE CUIVRE ET D'ALUMINIUM Pl. LXV
BRONZES D'ALUMINIUM



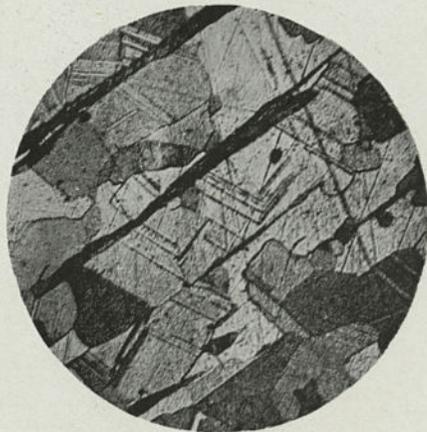
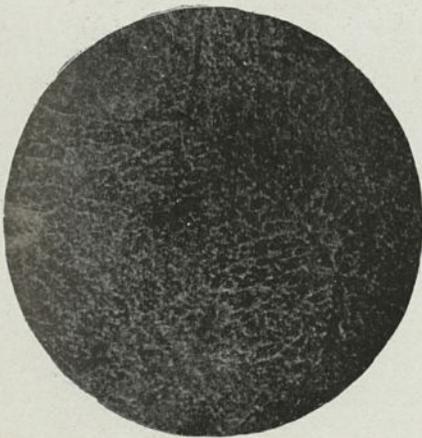
PHOT. 257. — Alliage cuivre-aluminium : Al = 10,5. PHOT. 258. — Alliage cuivre-aluminium : Al = 9,8.
Constituant α + constituant β . Constituant β à fort grossissement.
G = 100 d. G = 200 d.

Attaques au perchlorure de fer en solution chlorhydrique.

CONSTITUTION DES ALLIAGES CUIVRE-ALUMINIUM

GROUPES	MICROSTRUCTURES	COMPOSITIONS
I	Sol. α	0 < Al < 8,6
II	Sol. α + sol. β	8,6 < Al < 11,8
III	Sol. β + sol. δ	11,8 < Al < 15,5
IV	Sol. δ	15,5 < Al < 30
V	ϵ + τ_1	30 < Al < 44,5
VI	τ_1	44,5 < Al < 50
VII	τ + eutectique τ -H.....	50 < Al < 66
VIII	H + eutectique τ -H.....	66 < Al < 100

Il ne s'agit ici que d'alliages refroidis lentement.

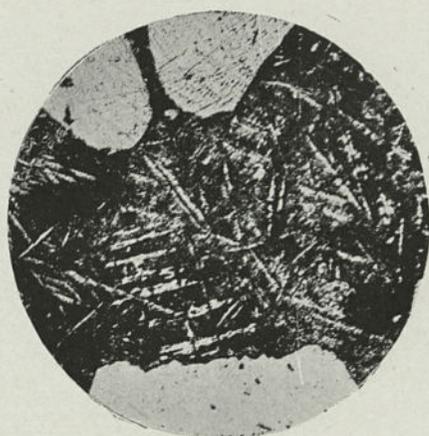


PHOT. 259. — Alliage cuivre-aluminium : Al = 11,9. PHOT. 260. — Alliage cuivre-aluminium : Al = 9,2.
Constituant β pur. Recuit à 800°, pendant quatre heures.
Constituant α (polyèdres) et constituant β (en bandes).

ALLIAGES DE CUIVRE ET D'ALUMINIUM Pl. LXVI
BRONZES D'ALUMINIUM



PHOT. 261. — Alliage cuivre-aluminium: Al = 9,8.
Trempe à 600°.
Constituant γ provenant de la transformation
du constituant β .
G = 50 d.



PHOT. 262. — Le même
à un plus fort grossissement.
G = 200 d.

Attaques au perchlorure de fer en solution chlorhydrique.

CONSTITUTION DES ALLIAGES CUIVRE-ALUMINIUM

GROUPES	MICROSTRUCTURES	COMPOSITIONS
I	Sol. α	0 < Al < 8,6
II	Sol. α + sol. β	8,6 < Al < 11,8
III	Sol. β + sol. δ	11,8 < Al < 15,5
IV	Sol. δ	15,5 < Al < 30
V	ε + η_1	30 < Al < 44,5
VI	η_1	44,5 < Al < 50
VII	η_1 + eutectique η -H	50 < Al < 66
VIII	H + eutectique η -H	66 < Al < 100

Il ne s'agit ici que d'alliages refroidis lentement.

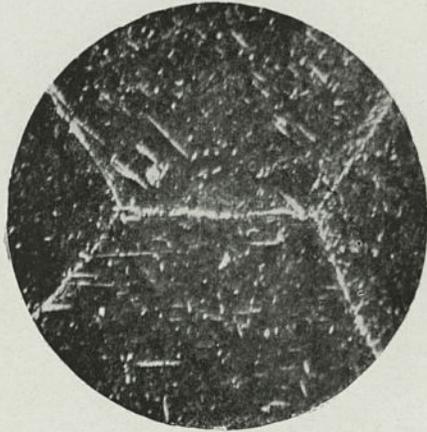
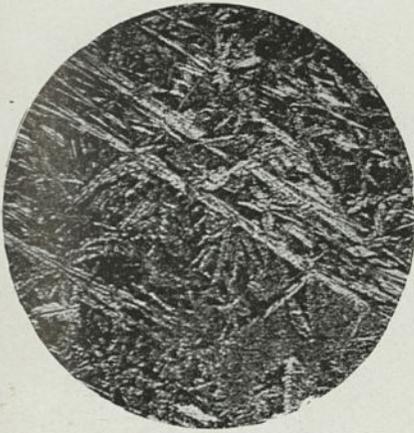


PHOT. 263. — Alliage cuivre-aluminium: Al = 9,8.
Trempe à 750°.
Constituant γ + constituant α .
G = 50 d.



PHOT. 264. — Alliage cuivre-aluminium: Al = 9,8.
Trempe à 900°.
Constituant γ avec encore un peu du constituant α .
G = 50 d.

ALLIAGES DE CUIVRE ET D'ALUMINIUM PL. LXVII
BRONZES D'ALUMINIUM



PHOT. 265. — Alliage cuivre-aluminium: Al = 9,8.
Trempe à 950°.
Constituant γ à peu près pur.
G = 200 d.

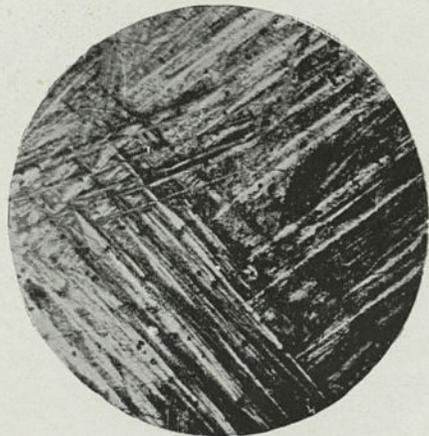
PHOT. 266. — Alliage cuivre-aluminium: Al = 11,9.
Trempe à 600°.
Constituant γ + constituant β .
G = 200 d.

Attaques au perchlorure de fer.

CONSTITUTION DES ALLIAGES CUIVRE-ALUMINIUM

GROUPES	MICROSTRUCTURES	COMPOSITIONS
I	Sol. α	0 < Al < 8,6
II	Sol. α + sol. β	8,6 < Al < 11,8
III	Sol. β + sol. δ	11,8 < Al < 15,5
IV	Sol. δ	15,5 < Al < 30
V	ϵ + τ_1	30 < Al < 44,5
VI	τ_1	44,5 < Al < 50
VII	τ_1 + eutectique τ_1 -H....	50 < Al < 66
VIII	H + eutectique τ_1 -H....	66 < Al < 100

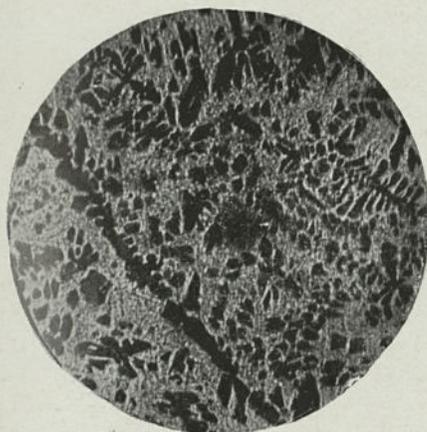
Il ne s'agit ici que d'alliages refroidis lentement.



PHOT. 267. — Alliage cuivre-aluminium: Al = 11,9.
Trempe à 750°.
Constituant γ .
G = 200 d.

PHOT. 268. — Alliage cuivre-aluminium: Al = 11,9.
Trempe à 900°.
Constituant γ .
G = 50 d.

ALLIAGES DE CUIVRE ET D'ALUMINIUM Pl. LXVIII
BRONZES D'ALUMINIUM



PHOT. 269. — Alliage cuivre-aluminium: Al = 14,0.
Refroidi lentement.
Constituant β + constituant δ .
G = 50 d.



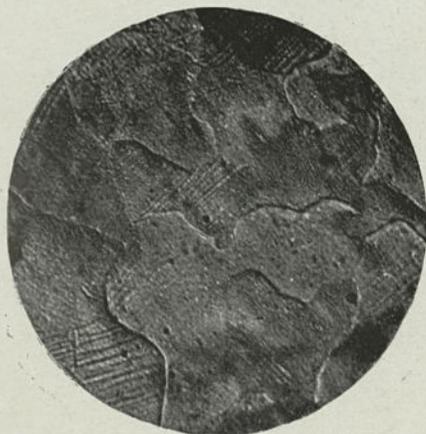
PHOT. 270. — Alliage cuivre-aluminium: Al = 14,0.
Trempé à 800°.
Constituant γ + constituant δ .
G = 100 d.

Attaques au perchlorure de fer en solution chlorhydrique : Phot. 269 et 270.
Attaques à l'acide azotique étendu : Phot. 271.
Attaques à la potasse (phot. 272).

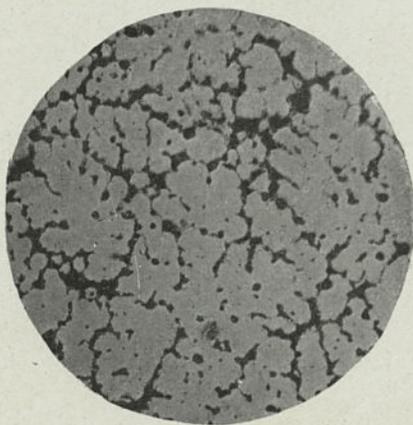
CONSTITUTION DES ALLIAGES CUIVRE-ALUMINIUM

GROUPES	MICROSTRUCTURES	COMPOSITIONS
I	Sol. α	0 < Al < 8,6
II	Sol. α + sol. β	8,6 < Al < 11,8
III	Sol. β + sol. δ	11,8 < Al < 15,5
IV	Sol. δ	15,5 < Al < 30
V	ε + γ_1	30 < Al < 44,5
VI	γ_1	44,5 < Al < 50
VII	γ_1 + eutectique γ -H....	50 < Al < 66
VIII	H + eutectique γ -H.....	66 < Al < 100

Il ne s'agit ici que d'alliages refroidis lentement.



PHOT. 271. — Alliage cuivre-aluminium: Al = 22.
Constituant δ .
G = 200 d.

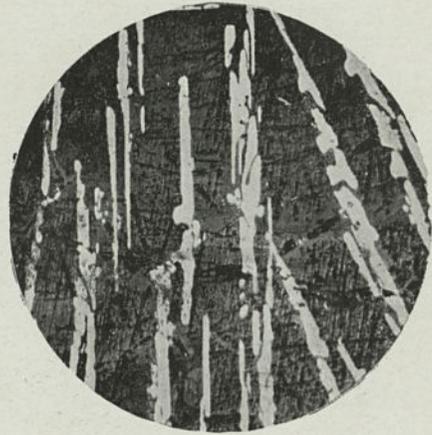


PHOT. 272. — Alliage cuivre-aluminium: Al = 32.
Constituant ε + constituant γ_1 .
G = 50 d.

ALLIAGES DE CUIVRE ET D'ALUMINIUM PI. LXIX
BRONZES D'ALUMINIUM



PHOT. 273. — Alliage cuivre-aluminium: Al = 37.
Constituant ε + constituant γ_1 .
G = 50 d.



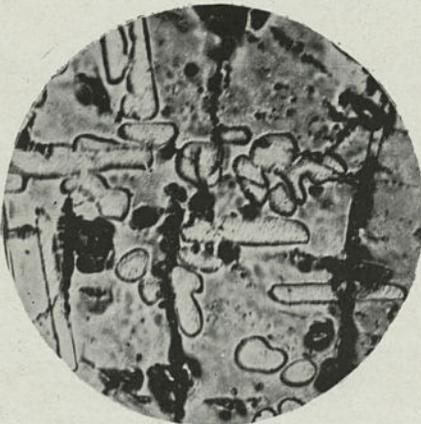
PHOT. 274. — Alliage cuivre-aluminium: Al = 42.
Constituant ε en aiguilles et constituant γ_1 .
G = 50 d.

Attaques à la potasse : Phot. 273, 274. — Attaques à l'acide azotique : Phot. 273.
Attaque à l'acide chlorhydrique : Phot. 276.

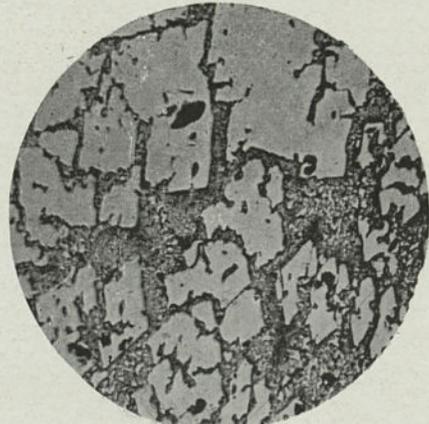
CONSTITUTION DES ALLIAGES CUIVRE-ALUMINIUM

GROUPES	MICROSTRUCTURES	COMPOSITIONS
I	Sol. α	0 < Al < 8,6
II	Sol. α + sol. β	8,6 < Al < 11,8
III	Sol. β + sol. δ	11,8 < Al < 15,5
IV	Sol. δ	15,5 < Al < 30
V	ε + γ_1	30 < Al < 44,5
VI	γ_1	44,5 < Al < 50
VII	γ + eutectique γ -H.....	50 < Al < 66
VIII	H + eutectique γ -H.....	66 < Al < 100

Il ne s'agit ici que d'alliages refroidis lentement.

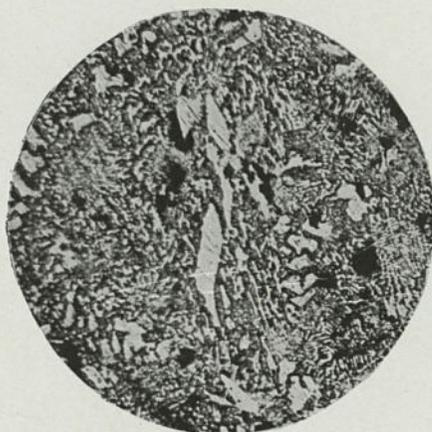


PHOT. 275. — Alliage cuivre-aluminium: Al = 46.
Constituant ε en aiguilles et cristallites rondes.
G = 200 d.



PHOT. 276. — Alliage cuivre-aluminium: Al = 55.
Constituant γ_1 (Al²Cu) + eutectique Al-Al²Cu.
G = 50 d.

ALLIAGES DE CUIVRE ET D'ALUMINIUM Pl. LXX
BRONZES D'ALUMINIUM



PHOT. 277. — Alliage cuivre-aluminium : Al = 60.
Constituant η (Al²Cu) + eutectique Al-Al²Cu.
G = 200 d.

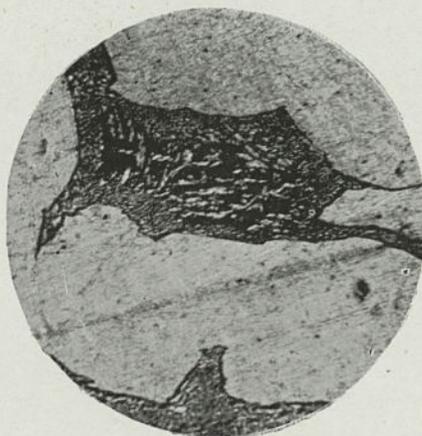
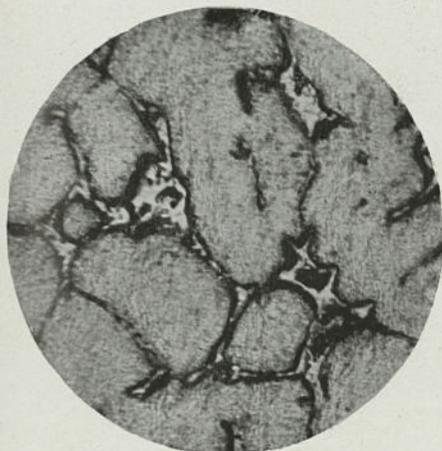
PHOT. 278. — Alliage cuivre-aluminium : Al = 65.
Constituant H (Al) + eutectique Al-Al²Cu.
G = 50 d.

Attaques à l'acide chlorhydrique très étendu : Phot. 277, 278 et 279.
Attaques au perchloreure de fer en solution chlorhydrique : Phot. 280.

CONSTITUTION DES ALLIAGES CUIVRE-ALUMINIUM

GROUPES	MICROSTRUCTURES	COMPOSITIONS
I	Sol. α	0 < Al < 8,6
II	Sol. α + sol. β	8,6 < Al < 11,8
III	Sol. β + sol. δ	11,8 < Al < 15,5
IV	Sol. δ	15,5 < Al < 30
V	ε + η_1	30 < Al < 44,5
VI	η_1	44,5 < Al < 50
VII	η + eutectique η -H....	50 < Al < 66
VIII	H + eutectique η -H....	66 < Al < 100

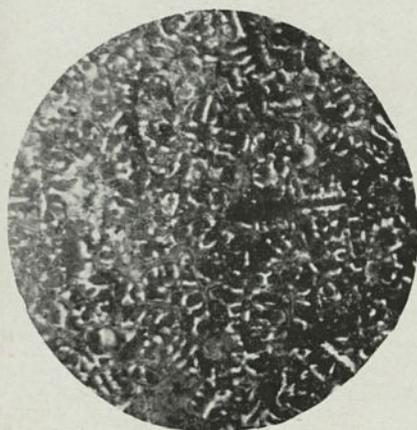
Il ne s'agit ici que d'alliages refroidis lentement.



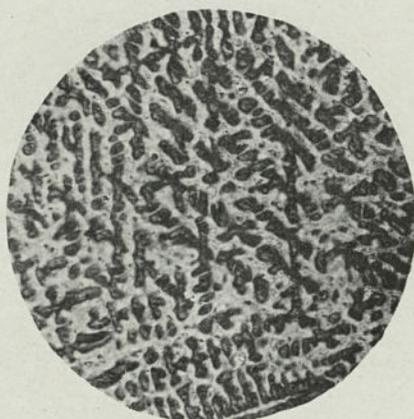
PHOT. 279. — Alliage cuivre-aluminium : Al = 95.
Aluminium avec un peu d'eutectique.
G = 100 d.

PHOT. 280. — Alliage cuivre-aluminium : Al = 2.
Constituant α + constituant β + constituant γ .
Trempe à 600° et revenu à 300°.
G = 200 d.

Cu-Mn ; Cu-Pb



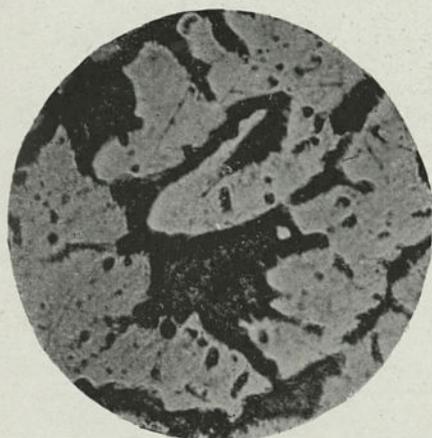
PHOT. 281. — Alliage cuivre-manganèse : Cu = 30.
Cristaux durs.
G = 50 d.



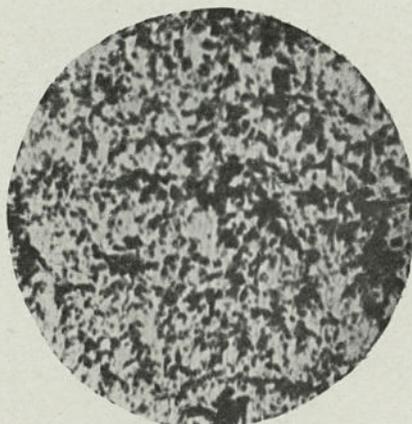
PHOT. 282. — Alliage cuivre-manganèse : Cu = 40
Deux solutions.
G = 50 d.

Attaques à la solution ammoniacale d'oxyde de cuivre : Phot. 281 et 282.
Simple polissage : Phot. 283 et 283.

Les alliages cuivre-manganèse ne sont pas suffisamment étudiés (texte, p. 752).
Les alliages cuivre-plomb, du moins ceux qui sont homogènes, sont formés de cuivre et de plomb
la vitesse de refroidissement a une influence énorme sur la répartition du plomb.



PHOT. 283. — Alliage cuivre-plomb : Cu = 80.
Refroidi lentement.
G = 200 d.



PHOT. 284. — Le même alliage
refroidi lentement.
G = 200 d.

CUIVRE-ANTIMOINE



PHOT. 285. — Alliage cuivre-antimoine : Sb = 53.
Refroidi rapidement.



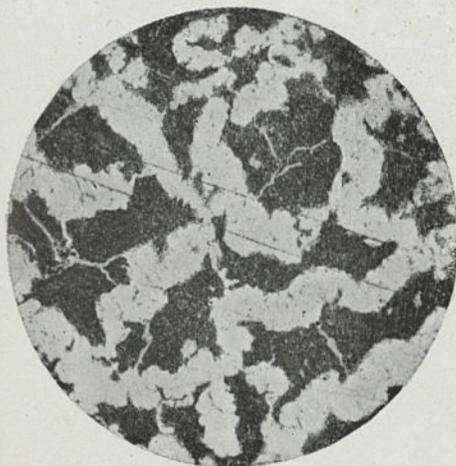
PHOT. 286. — Le même refroidi
lentement.

Attaque à l'eau régale.

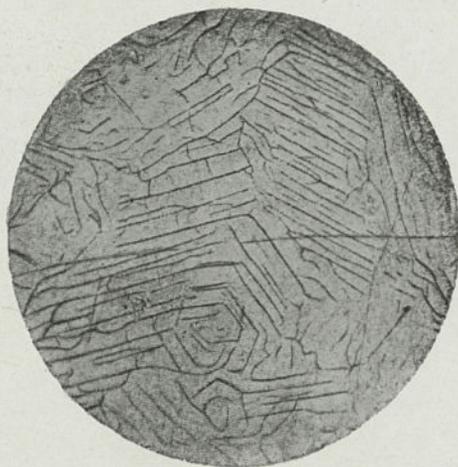
G = 100 d.

Ces photographies sont dues à M. Baykoff, qui a publié sur ce sujet un très important travail dans le *Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale* (1904).

Se reporter au texte, p. 758.

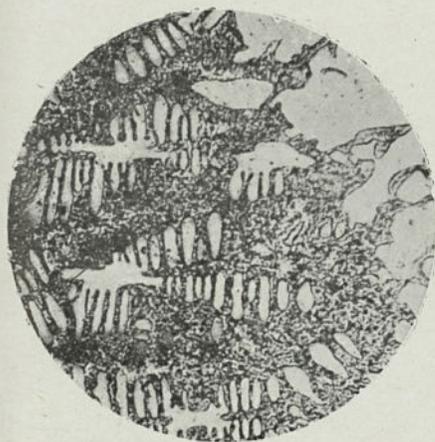


PHOT. 287. — Alliage cuivre-antimoine : Sb = 43.
Refroidi lentement.



PHOT. 288. — Alliage cuivre-antimoine : Sb = 39.
Refroidi lentement.

CUIVRE-PHOSPHORE



PHOT. 289. — Alliage hétérogène Cu-Ph.
En haut, à droite, dendrites de cuivre.
Dans les autres parties, Cu + eutectique :
Cu-Cu³P.
G = 50 d.



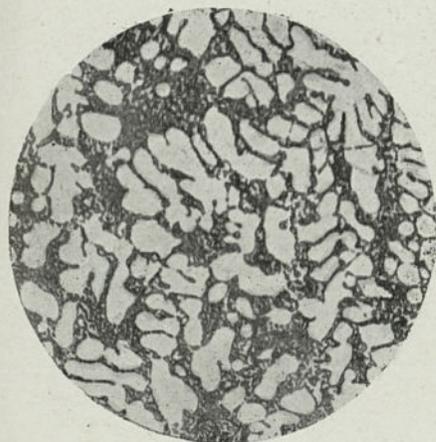
PHOT. 290. — Alliage cuivre-phosphore : Cu = 90.
Eutectique : Cu-Cu³P.
G = 200 d.

Attaques à l'acide azotique dilué.

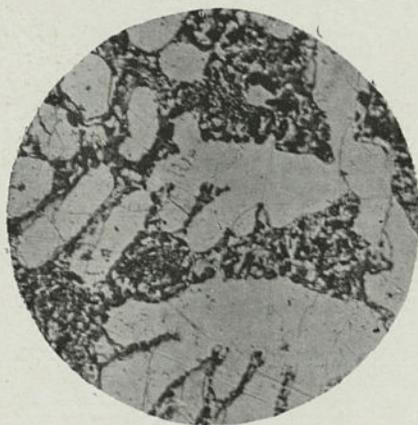
CONSTITUTION DES ALLIAGES DE CUIVRE ET DE PHOSPHORE

GROUPES	MICROSTRUCTURES	COMPOSITIONS
I	Cu + eutectique Cu-Cu ³ P.	0 < Ph < 10
II	Cu ³ P + eutectique Cu-Cu ³ P	10 < Ph < 15,3

Il se peut qu'il existe une solution Cu-Ph à teneur en Ph < 0.7 0/0.

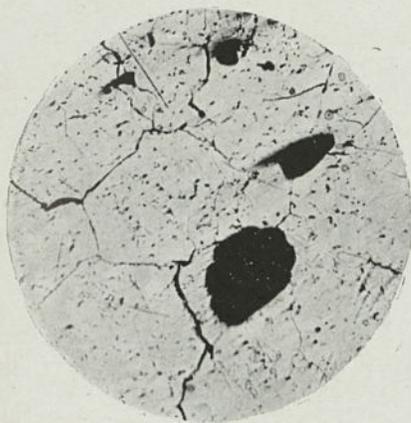


PHOT. 291. — Alliage cuivre-phosphore : Cu = 92.
Phosphore commercial.
Cristaux Cu³P + eutectique Cu-Cu³P.
G = 50 d.



PHOT. 292. — Le même alliage
à un plus fort grossissement.
G = 200 d.

Cu-Ph ; Cu-Bi ; Cu-Si.



PHOT. 293. — Alliage cuivre-phosphore : Cu = 84,73.
Phosphure commercial.
Combinaison Cu^3P
(les points noirs sont des soufflures).
G = 50 d.



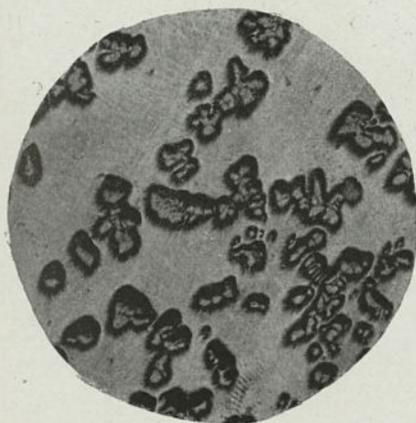
PHOT. 294. — Alliage cuivre-bismuth : Bi = 10.
Cristallites de cuivre dans une solution Cu-Bi.
G = 50 d.

Attaqués à l'acide azotique : Phot. 293 et 296.

Polissages en bas-relief : Phot. 294 et 295.

Les alliages cuivre-bismuth n'ont pas été suffisamment étudiés : la micrographie et la courbe de fusibilité sont en désaccord.

Voir à la page suivante pour les alliages cuivre-silicium.

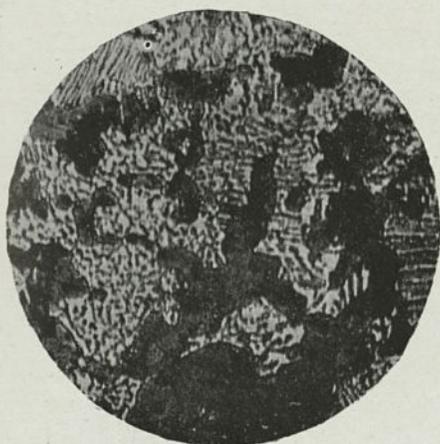


PHOT. 295. — Alliage cuivre-bismuth : Bi = 40.
Cristallites de cuivre dans une solution Cu-Bi.
G = 50 d.

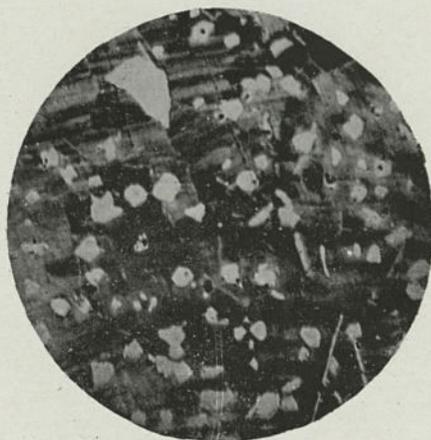


PHOT. 236. — Alliage cuivre-silicium : Si = 7.
Deux solutions Cu-Si.
G = 200 d.

Cu-Si



PHOT. 297. — Alliage cuivre-silicium : Si = 12.
Cuprosilicium commercial.
Eutectique : Cu-Cu²Si.
G = 200 d.



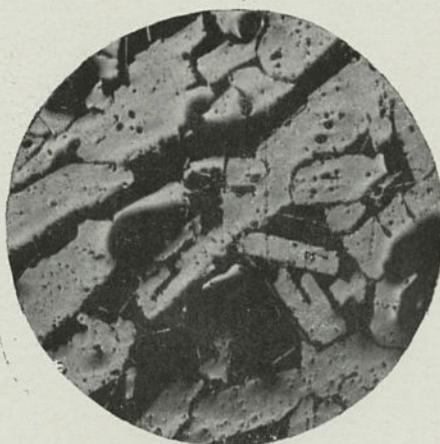
PHOT. 298. — Alliage cuivre-silicium : Si = 15.
Cuprosilicium commercial.
Cristaux durs de Cu²Si.
G = 200 d.

Attaques à l'eau régale.

L'étude des alliages Cu-Si n'est pas achevée. Il existe une solution Cu-Si pour Si < 7, un eutectique (Cu-Cu²Si) pour Si = 12 et la combinaison Cu²Si.

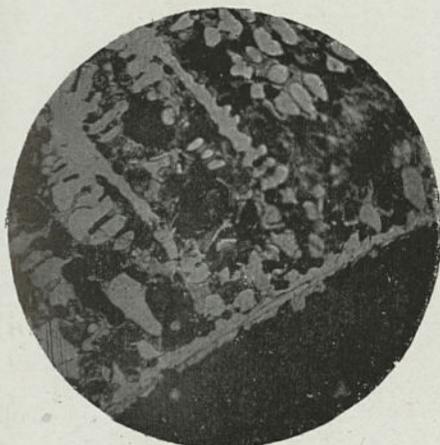


PHOT. 299. — Alliage cuivre-silicium : Si = 25.
Cuprosilicium commercial.
Cristaux développés de Cu²Si.
G = 50 d.



PHOT. 300. — Alliage cuivre-silicium : Si = 55.
Cuprosilicium commercial.
Cristaux très développés de Cu²Si.
G = 50 d.

Cu-Va.



PHOT. 301. — Alliage cuivre-vanadium: Va=250/0.
Hétérogène.
Solution Cu-Va et corps non déterminé.
G = 200 d.

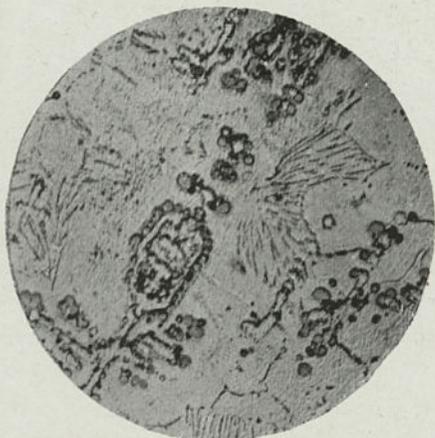


PHOT. 302. — Le même alliage.
Dans une autre zone.
G = 200 d.

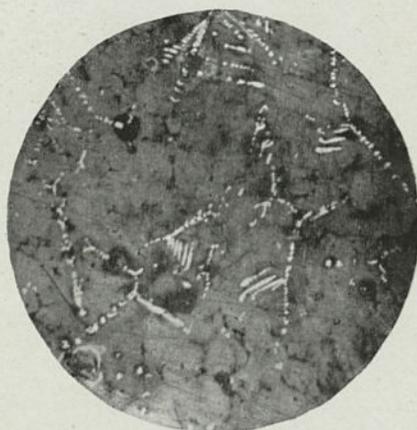
Attaques à l'acide azotique.

Les alliages cuivre-vanadium sont formés :

- 1° D'une solution Cu-Va pour $Va < 7$;
- 2° De cette solution et d'un composé non déterminé et très léger qui tend à remonter à la surface pour $7 < Va < 13$;
- 3° De deux culots superposés, l'un à $Va = 10$ à 13 environ, l'autre gris pour $Va > 13$.

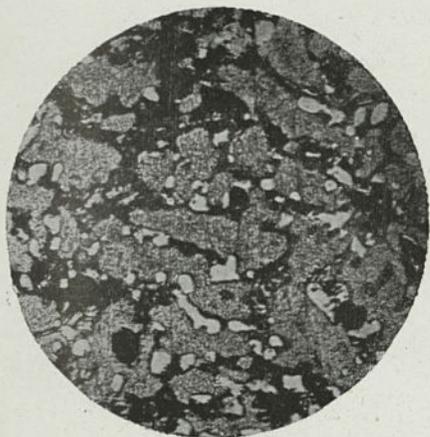


PHOT. 303. — Alliage cuivre-vanadium: Va = 70/0.
Solution Cu-Va et apparition d'un composé.
G = 50 d.

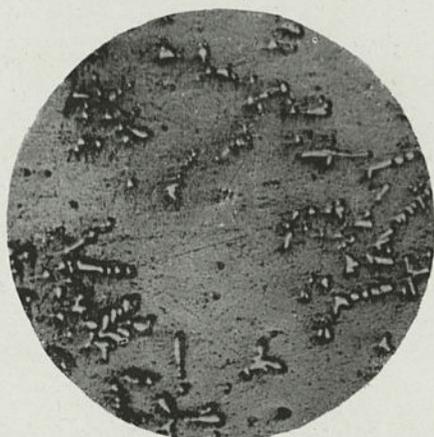


PHOT. 304. — Alliage cuivre-vanadium: Va=100/0.
Solution Cu-Va et composé non déterminé.
G = 50 d.

Cu-Va; Cu-Cr; Cu-W; Cu-O.

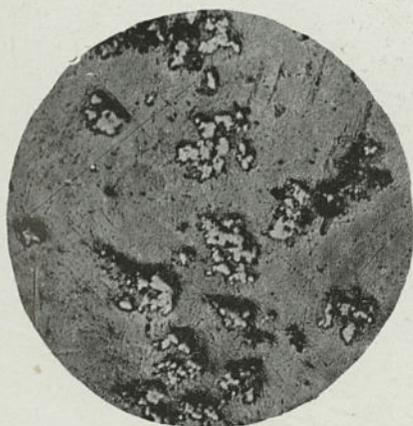


PHOT. 305. — Alliage cuivre-vanadium : Va = 22.
Partie centrale du culot.
Attaque à l'acide azotique.
G = 50 d.

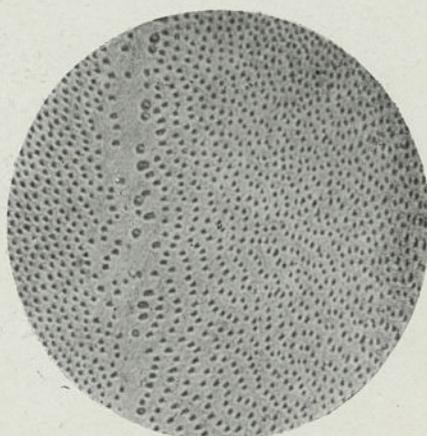


PHOT. 306. — Alliage cuivre-chrome : Cr = 15.
Chrome libre dans le cuivre.
Polissage en bas-relief.
G = 50 d.

*Les alliages de cuivre et de chrome, que nous avons observés, sont formés de chrome libre et de cuivre¹.
Les alliages de cuivre et de tungstène, que nous avons observés, sont formés de tungstène libre
et de cuivre.*



PHOT. 307. — Alliage cuivre-tungstène : W = 18.
Tungstène libre dans le cuivre.
Polissage en bas-relief.
G = 50 d.



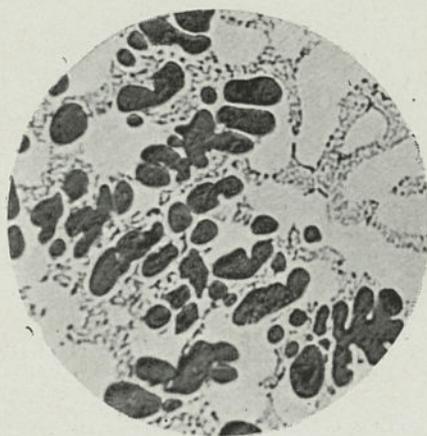
PHOT. 308. — Cuivre et oxygène.
Cu + eutectique Cu-Cu²O.

1. Au dernier moment, nous avons observé un cupro-chrome dans lequel le chrome est dissous.

CUIVRE ET OXYGÈNE



PHOT. 309. — Cuivre et oxydure de cuivre, sans eutectique.

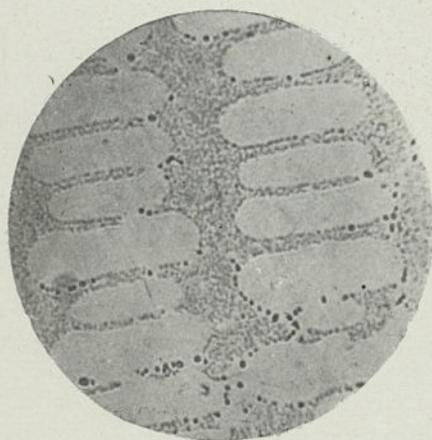


PHOT. 310. — Cuivre, oxydure et eutectique Cu-Cu²O.

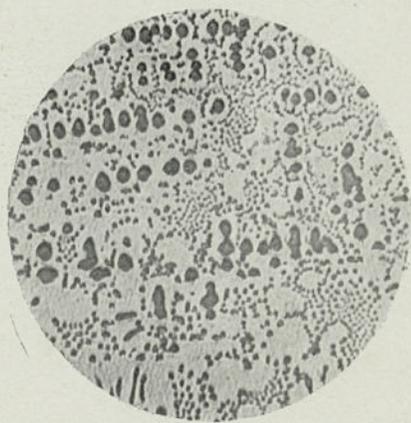
Les photographies 308 à 312 sont dues à M. Giraud, qui a publié une étude sur la constitution du cuivre oxydé dans la *Revue de Métallurgie* (avril 1905).

GROUPES	MICROSTRUCTURES	COMPOSITIONS
I	Cu + eutectique Cu-Cu ² O.	0 < Cu ² O < 3,5
II	Cu ² O + eutectique Cu-Cu ² O	3,5 < Cu ² O

Cependant on peut avoir Cu + oxydure, sans eutectique, ou Cu + oxydure + eutectique (texte, p. 752).



PHOT. 311. — Cuivre et eutectique Cu-Cu²O.

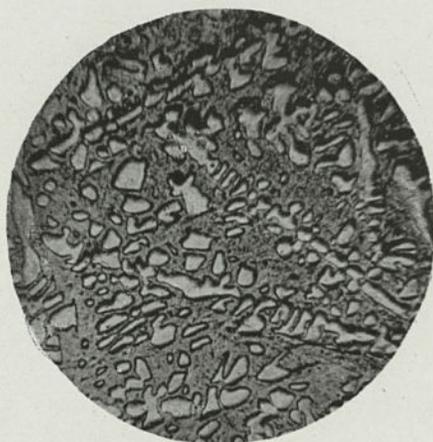


PHOT. 312. — Oxydure et eutectique Cu-Cu²O (cristallisations peu nettes).

ÉTAIN-ZINC ; ÉTAIN-PLOMB



PHOT. 313. — Alliage étain-zinc : Zn = 1.
Étain avec traces d'eutectique.
G = 200 d.



PHOT. 314. — Alliage étain-zinc : Zn = 50.
Zn entouré d'eutectique.
G = 50 d.

Polissages en bas-relief : Phot. 313 et 314.

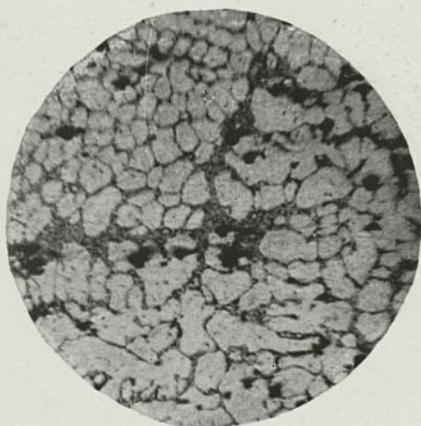
Attaques à l'acide chlorhydrique étendu : Phot. 313 et 316.

CONSTITUTION DES ALLIAGES ÉTAIN-ZINC

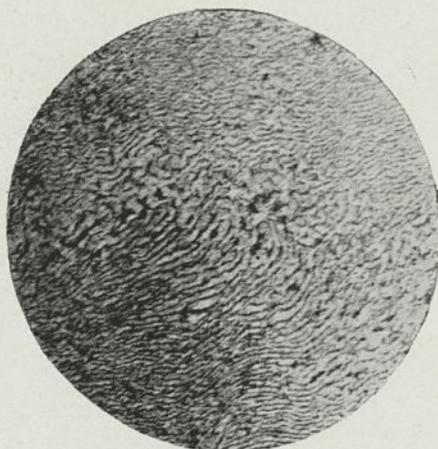
GROUPE	MICROSTRUCTURES	COMPOSITIONS
I	Sn + eutectique Sn-Zn..	0 < Zn < 8
II	Zn + eutectique Sn-Zn..	8 < Zn < 100

CONSTITUTION DES ALLIAGES ÉTAIN-PLOMB

GROUPE	MICROSTRUCTURES	COMPOSITIONS
I	Sn + eutectique Sn-Pb..	0 < Pb < 37
II	Pb + eutectique Sn-Pb..	37 < Pb < 100



PHOT. 315. — Alliage étain-plomb : Pb = 8.
Étain entouré d'eutectique.
G = 50 d.



PHOT. 316. — Alliage étain-plomb : Pb = 37.
Eutectique Sn-Pb.
G = 200 d.

ÉTAIN-CADMIUM ; ÉTAIN-ANTIMOINE



PHOT. 317. — Alliage étain-cadmium : Cd = 10.
Étain entouré d'eutectique Sn - Cd.
G = 200 d.



PHOT. 318. — Alliage étain-cadmium : Cd = 60.
Cadmium entouré d'eutectique Sn-Cd.
G = 50 d.

Attaques à l'acide chlorhydrique étendu : Phot. 317 et 318.
Polissages en bas-relief : Phot. 319 et 320.

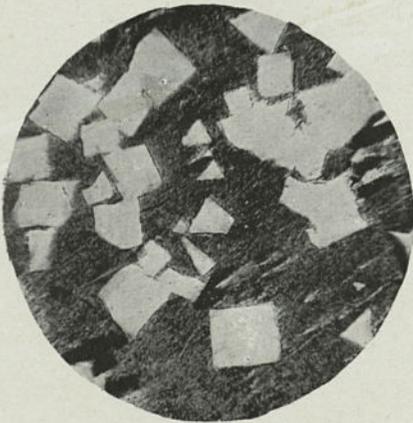
CONSTITUTION DES ALLIAGES ÉTAIN-CADMIUM

GROUPE	MICROSTRUCTURES	COMPOSITIONS
I	Sn + eutectique Sn-Cd.	0 < Cd < 50
II	Cd + eutectique Sn-Cd.	50 < Cd < 100

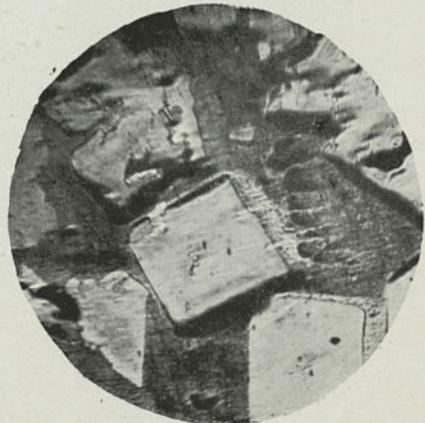
CONSTITUTION DES ALLIAGES ÉTAIN-ANTIMOINE

GROUPE	MICROSTRUCTURES	COMPOSITIONS
I	0 < Sb < 8	Solution solide
II	8 < Sb < 50	Cristaux SbSn
III	50 < Sb < 100	Solution solide Sb-SbSn

Il y a contradiction entre les recherches de divers auteurs, et la constitution de ces alliages n'est pas encore parfaitement établie.

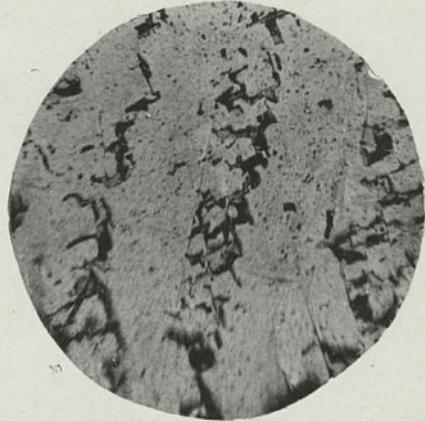
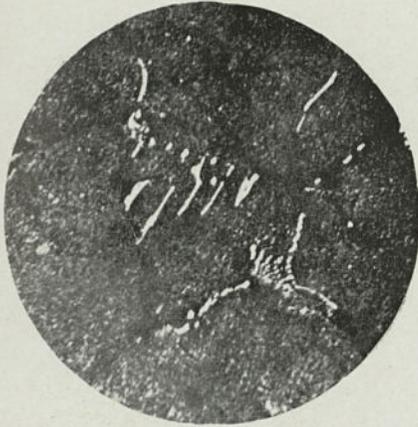


PHOT. 319. — Alliage étain-antimoine : Sb = 20.
Cristaux de la combinaison SbSn.
G = 50 d.



PHOT. 320. — Alliage étain-antimoine : Sb = 30.
Cristaux très développés de la combinaison SbSn.
G = 50 d.

ÉTAIN-ANTIMOINE ; ÉTAIN-BISMUTH



PHOT. 321. — Alliage étain-antimoine : Sb = 9.
Un peu de SbSn.
G = 50 d.

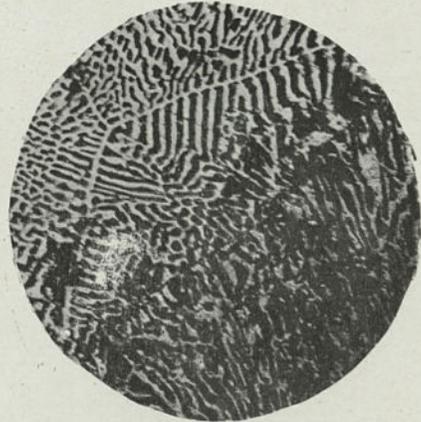
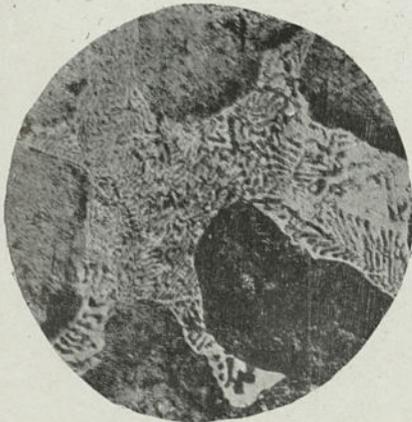
PHOT. 322. — Alliage étain-antimoine : Sb = 90.
Solution solide Sb-SbSn.
G = 50 d.

Polissages en bas-relief : Phot. 321 et 322.

Attaques à l'eau régale très faible : Phot. 323 et 324.

CONSTITUTION DES ALLIAGES ÉTAIN-BISMUTH

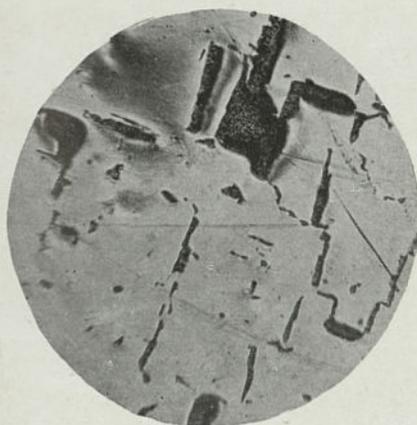
GROUPES	MICROSTRUCTURES	COMPOSITIONS
I	Sn + eutectique Sn-Bi.....	0 < Bi < 55
II	Bi + eutectique Sn-Bi.....	55 < Bi < 100



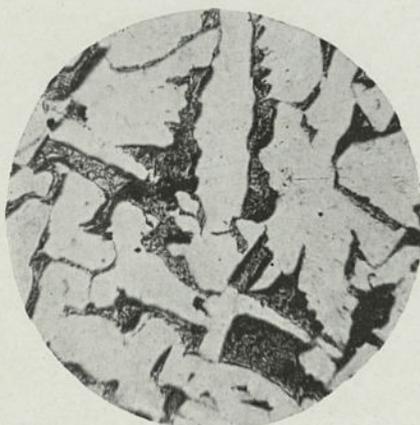
PHOT. 323. — Alliage étain-bismuth : Bi = 30.
Étain entouré d'eutectique Sn-Bi.
G = 200 d.

PHOT. 324. — Alliage étain-bismuth : Bi = 55.
Eutectique Sn-Bi.
G = 200 d.

PLOMB-ANTIMOINE



PHOT. 325. — Alliage plomb-antimoine : Sb = 90.
Cristaux d'antimoine, avec un peu d'eutectique.
G = 50 d.



PHOT. 326. — Alliage plomb-antimoine : Sb = 75.
Cristaux d'antimoine, avec quantité plus importante d'eutectique.
G = 50 d.

Polissages en bas-relief.

CONSTITUTION DES ALLIAGES PLOMB-ANTIMOINE

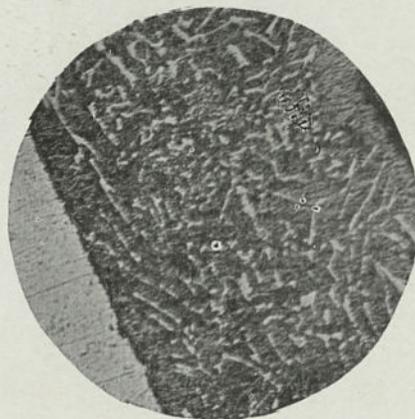
GROUPES	MICROSTRUCTURES	COMPOSITIONS
I	Pb + eutectique Pb-Sb.....	0 < Sb < 13
II	Sb + eutectique Pb-Sb.....	13 < Sb < 100

Ces micrographies sont données pour montrer l'augmentation de l'eutectique quand l'antimoine diminue de 90 à 13 0/0.

C'est le cas général d'alliages formés de deux métaux qui donnent un eutectique et ne présentent pas de combinaison.

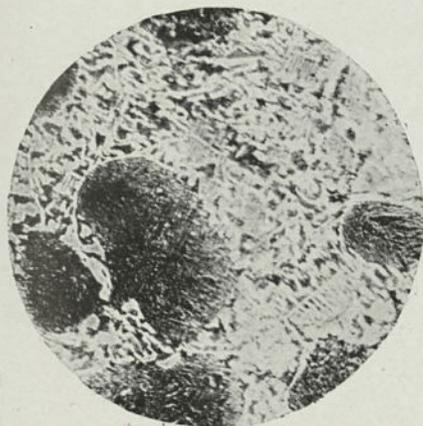


PHOT. 327. — Alliage plomb-antimoine : Sb = 65.
Cristaux d'antimoine, avec quantité importante d'eutectique.
G = 50 d.

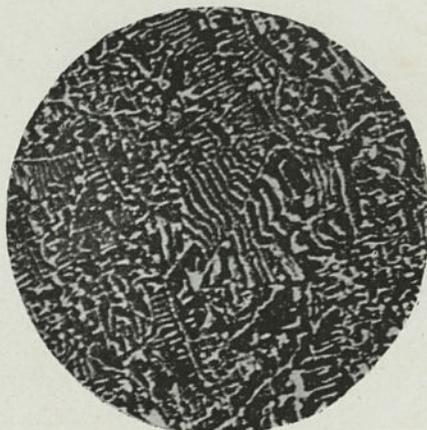


PHOT. 328. — Le même à plus fort grossissement
Antimoine (partie blanche) avec eutectique.
G = 200 d.

PLOMB-BISMUTH



PHOT. 329. — Alliage plomb-bismuth : Bi = 45.
Plomb (parties noires) entouré d'eutectique.
G = 200 d.



PHOT. 330. — Alliage plomb-bismuth : Bi = 55.
Eutectique.
G = 200 d

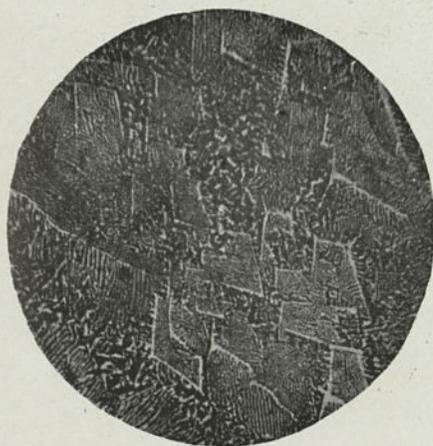
Polissage en bas-relief : Phot. 329.

Attaques à l'acide chlorhydrique : Phot. 330, 331 et 332.

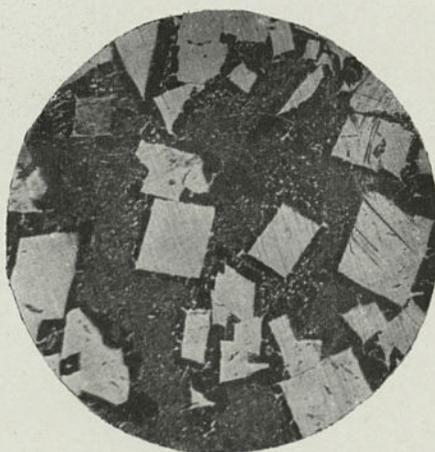
CONSTITUTION DES ALLIAGES PLOMB-BISMUTH

GROUPES	MICROSTRUCTURES	COMPOSITIONS
I	Pb + eutectique Pb-Bi.....	0 < Bi < 55
II	Bi + eutectique Pb-Bi.....	55 < Bi < 100

On notera, sur la phot. 331, la forme spéciale de l'eutectique qui paraît remplir de grands cristaux.

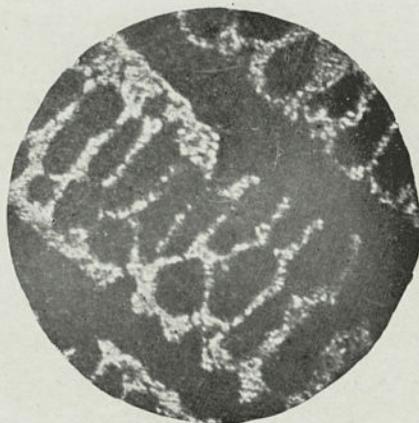


PHOT. 331. — Alliage plomb-bismuth : Bi = 60.
Eutectique avec un peu de bismuth en excès.
G = 200 d.



PHOT. 332. — Alliage plomb-bismuth : Bi = 70.
Cristaux de bismuth entourés d'eutectique.
G = 50 d.

PLOMB-CADMIUM

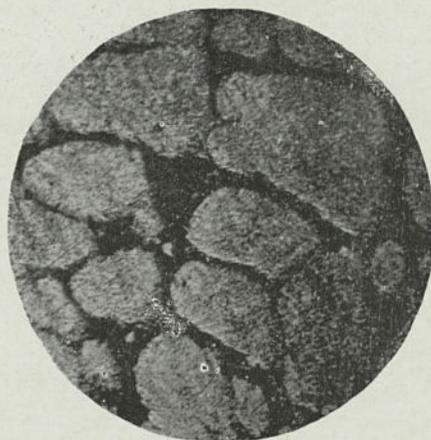


PHOT. 333. — Alliage plomb-cadmium : Cd = 10.
Plomb (zones noires) entouré d'eutectique.

Polissages en bas-relief.
G = 200 d.

CONSTITUTION DES ALLIAGES PLOMB-CADMIUM

GROUPES	MICROSTRUCTURES	COMPOSITIONS
I	Pb + eutectique Pb-Cd.....	0 < Cd < 25
II	Cd + eutectique Pb-Cd.....	25 < Cd < 100



PHOT. 334. — Alliage plomb-cadmium : Cd = 40.
Cadmium (zones noires) entouré d'eutectique.

ZINC-ANTIMOINE



PHOT. 335. — Alliage zinc-antimoine : Sb = 8.
Cristaux d'une combinaison Zn-Sb entourés
d'eutectique.



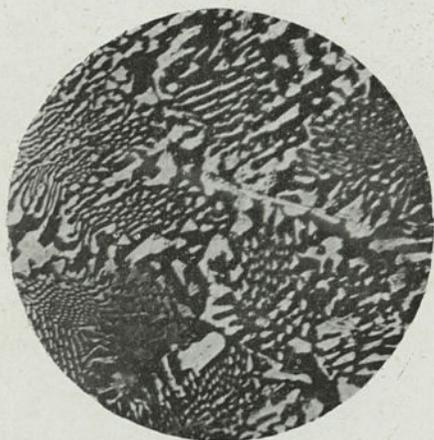
PHOT. 336. — Alliage zinc-antimoine : Sb = 40.
Cristaux de la même combinaison Zn-Sb
avec autre eutectique.

Attaques à l'acide chlorhydrique étendu
G = 200 d.

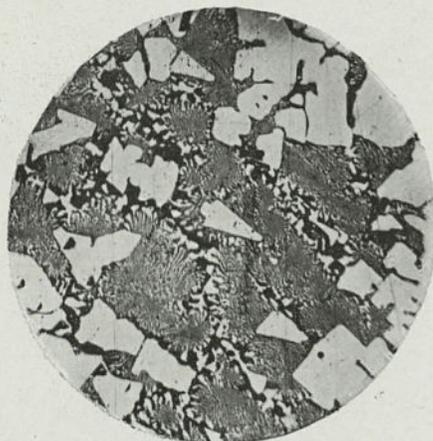
CONSTITUTION DES ALLIAGES ZINC-ANTIMOINE (ÉTUDE RÉCENTE DE M. MONKEMEYER).

GROUPES	MICROSTRUCTURES	COMPOSITIONS
I	Zn + 1 ^{er} eutectique.....	0 < Sb < 2,5
II	1 ^{re} combinaison + 1 ^{er} eutectique..	2,5 < Sb < 55
III	1 ^{re} combinaison + 2 ^e eutectique..	55 < Sb < 62,5
IV	2 ^e combinaison + 2 ^e eutectique..	62,5 < Sb < 64,5
V	2 ^e combinaison + 3 ^e eutectique..	64,5 < Sb < 79
VI	Sb + 3 ^e eutectique.....	79 < Sb < 100

La deuxième combinaison doit être SbZn.

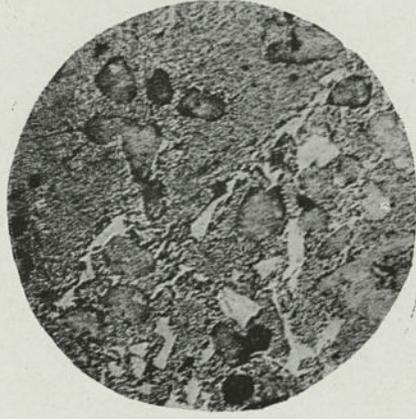


PHOT. 337. — Alliage zinc-antimoine : Sb = 62.
Eutectique Sb-deuxième combinaison.



PHOT. 338. — Alliage zinc-antimoine : Sb = 90.
Cristaux d'antimoine et eutectique
Sb-deuxième combinaison.

ALLIAGES DE ZINC. ALLIAGES FUSIBLES PL. LXXXVI



PHOT. 339. — Alliage zinc-bismuth: Bi = 15 0/0.
Combinaison non miscible avec le zinc.

PHOT. 340. — Alliage de Darcet fondant à 96°.
voisin d'un eutectique.

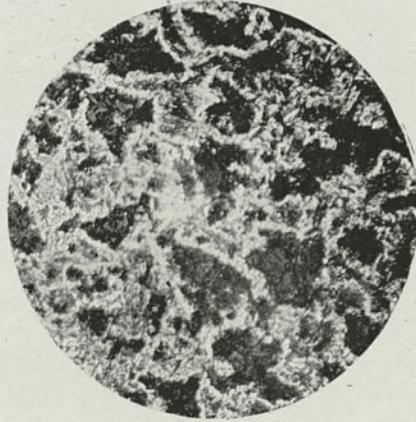
Attaques à l'acide chlorhydrique étendu.

G = 200 d.

CONSTITUTION DES ALLIAGES ZINC-BISMUTH

GROUPES	CONSTITUTION	COMPOSITION
I	Zn + eutectique.....	0 < Zn < 4
II	Combinaison + eutectique.....	4 < Zn < 18
III	Alliages hétérogènes.....	18 < Zn < 100

Les alliages fusibles ne correspondent pas absolument aux eutectiques. On peut donc obtenir avec les mêmes métaux des alliages à points de fusion plus bas.



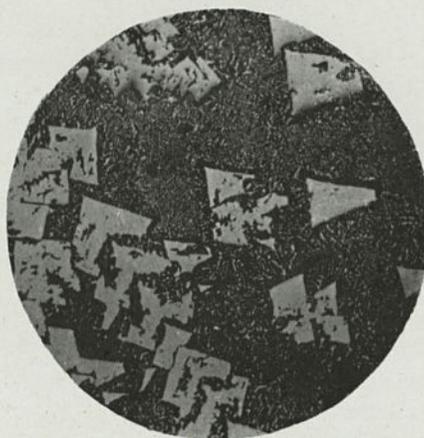
PHOT. 341. — Alliage de Wood fondant à 88°,
voisin de l'eutectique.

PHOT. 342. — Alliage de Rose fondant à 75°.

TYPES INDUSTRIELS ÉTAIN-PLOMB-ANTIMOINE



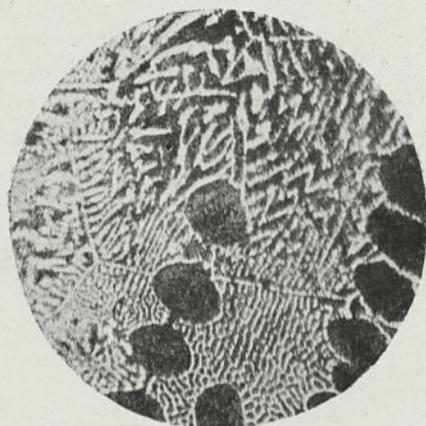
PHOT. 343. — Antifriction de la Compagnie P.-L.-M.,
1^{er} titre, et de la Compagnie de l'Est.
Sn = 10, Pb = 70, Sb = 20.
Garnitures d'intérieur de coussinets de bielles,
des colliers d'excentrique, etc.
G = 50 d.



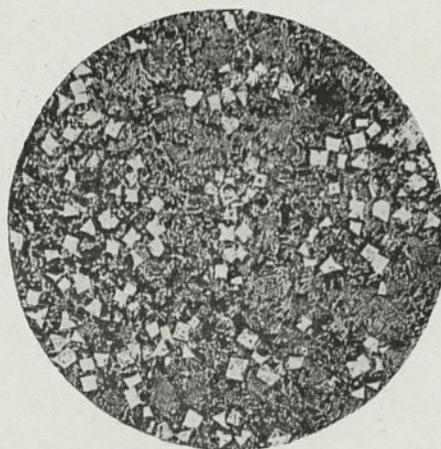
PHOT. 344. — Antifriction de la Compagnie du Nord
Sn = 11,60, Sb = 15,50, Pb = 72,80, Zn = traces.
G = 50 d.

Attaques à l'acide chlorhydrique.

Dans les antifrictions renfermant étain-plomb-antimoine, on trouve les cristaux très nets SbSn entourés d'eutectiques.



PHOT. 345. — Antifriction de la Compagnie de l'Est,
correspondant sensiblement à l'eutectique
ternaire.
Garnitures de tiges de piston.
Sn = 12; Sb = 8; Pb = 80.
G = 200 d.

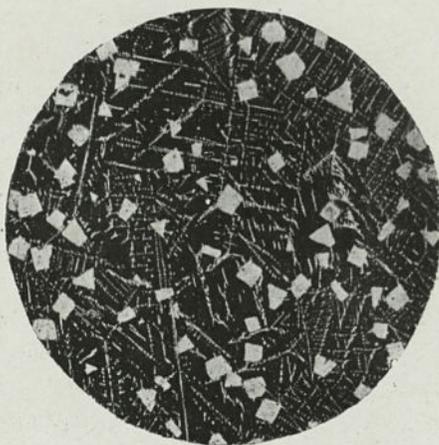


PHOT. 346. — Antifriction de la Compagnie P.-L.-M.,
4^e titre.
Sn = 14, Pb = 76, Sb = 10.
Garnitures pour tiges de piston,
tiroirs, régulateurs, etc.
G = 200 d.

TYPES INDUSTRIELS



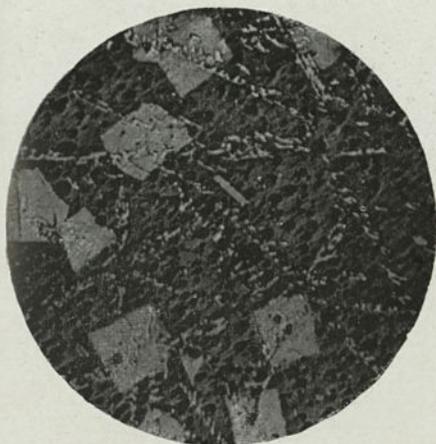
PHOT. 347. — Antifriction étain, antimoine, cuivre.
 Sn = 83, Sb = 5,5, Cu = 11,5,
 G = 200 d.



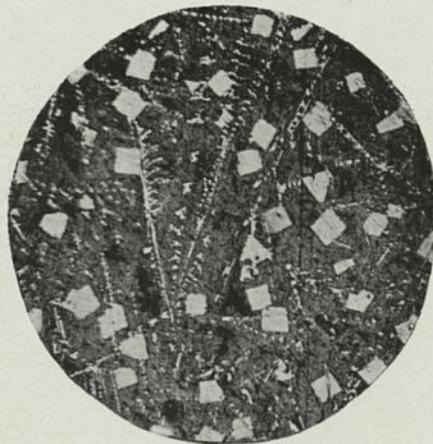
PHOT. 348. — Antifriction de la Compagnie de l'Est.
 Sn = 82,22, Sb = 11,36, Pb = 0,77, Cu = 5,58,
 G = 50 d.

Attaques à l'acide chlorhydrique.

*Dans les antifrictions formés de plomb, étain, antimoine, on distingue les cristaux SbSn cubiques.
 Dans les antifrictions renfermant du cuivre, on voit en plus des aiguilles de Cu_3Sn .*

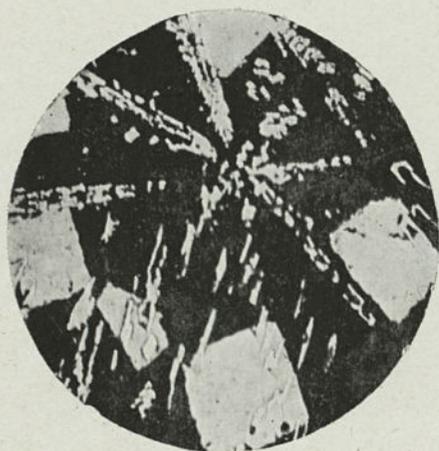


PHOT. 349. — Antifriction de la Compagnie du Nord.
 Cu = 7,30, Sn = 82,30, Sb = 9,60, Pb = 0,40.
 Coussinets de locomotive, têtes de bielle,
 garniture de colliers d'excentrique.
 G = 50 d.

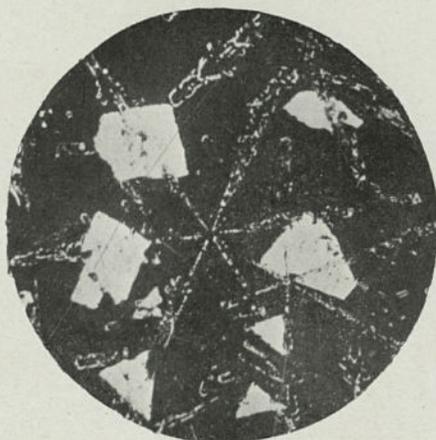


PHOT. 350. — Antifriction de la Compagnie P.-L.-M.
 2^e titre, et métal Wohler de la Compagnie de l'Est.
 Cu = 5,555, Sn = 83,333, Sb = 11,111.
 Garniture de coussinets de boîtes à huile.
 G = 50 d.

TYPES INDUSTRIELS



PHOT. 351. — Même antifriction que le précédent
à plus fort grossissement.
G = 200 d.



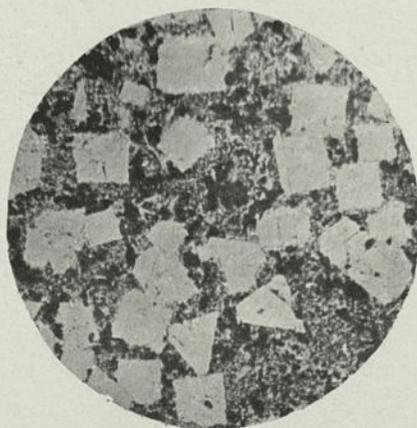
PHOT. 352. — Antifriction industriel.
Sn = 83, Sb = 5,5, Cu = 11,5.
G = 50 d.

Attaques à l'acide chlorhydrique étendu.

*Fort souvent le composé Cu^3Sn se présente en étoiles. On voit nettement (phot. 351, 352 et 353)
la solidification successive des différents constituants :
d'abord les aiguilles Cu^3Sn , puis les cubes $SbSn$ et enfin le fond formé par l'eutectique.*

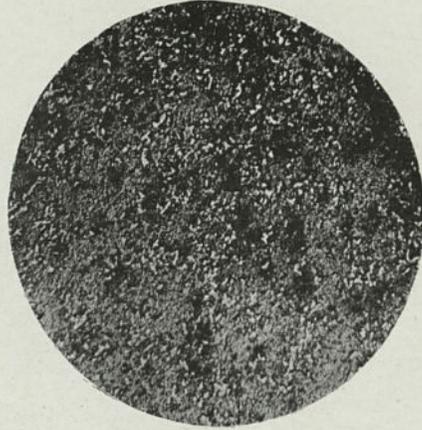
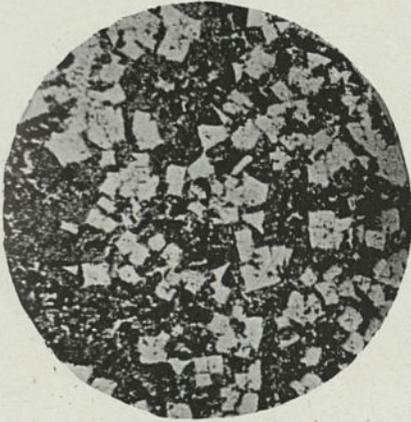


PHOT. 353. — Antifriction industriel.
Sn = 85, Sb = 12, Cu = 3.
G = 50 d.



PHOT. 354. — Antifriction industriel : Tandem A
pour fortes charges.
G = 50 d.

TYPES INDUSTRIELS

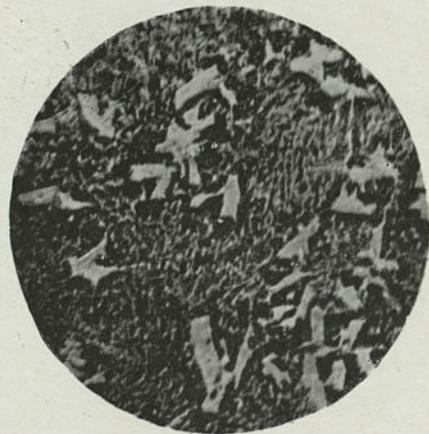


PHOT. 355. — Antifricition industriel : Tandem B.
Pour charges moyennes.
G = 50 d.

PHOT. 356. — Antifricition industriel : Tandem C.
Pour charges faibles.
G = 50 d.

Attaques à l'acide chlorhydrique étendu.

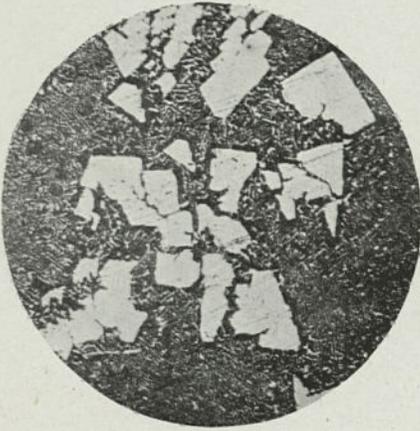
A vitesse de refroidissement constante, en changeant les proportions des métaux, on fait varier les proportions des constituants et, par là même, leurs applications (phot. 354, 355 et 356).



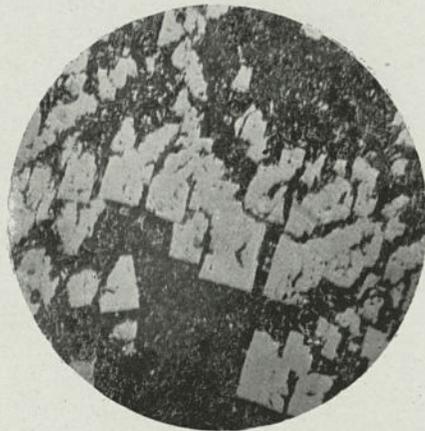
PHOT. 357. — Antifricition industriel : Magnolia.
G = 200 d.

PHOT. 358. — Antifricition industriel : Glacier.
G = 200 d.

TYPES INDUSTRIELS



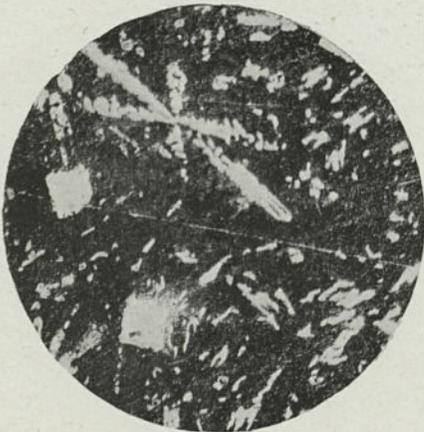
PHOT. 359. — Antifricition industriel.
Synovia n° 1.



PHOT. 360. — Antifricition industriel.
Synovia n° 1 (autre vue).

Attaques à l'acide chlorhydrique étendu.

G = 200 d.



PHOT. 361. — Antifricition industriel.
Synovia n° 2.

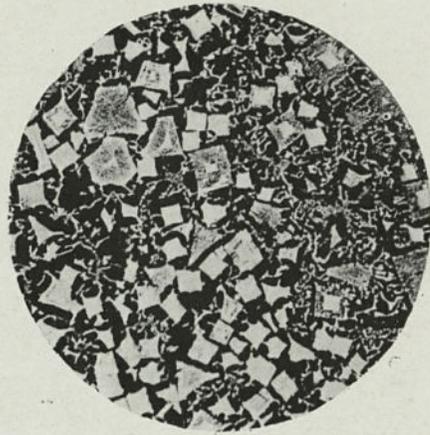


PHOT. 362. — Antifricition industriel.
Synovia n° 2 (autre vue).

ÉTUDE DU REFROIDISSEMENT.



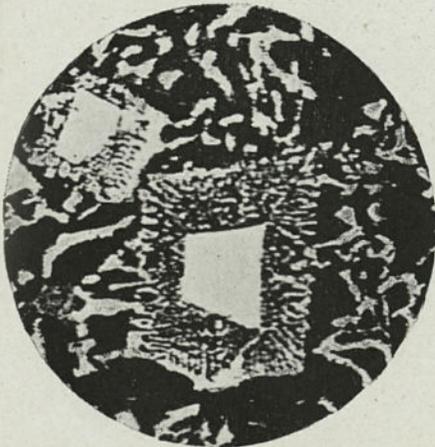
PHOT. 363. — Même antifriiction que celui de la photographie 346, à plus fort grossissement, pour montrer des cristaux mal formés et remplis partiellement d'eutectique.



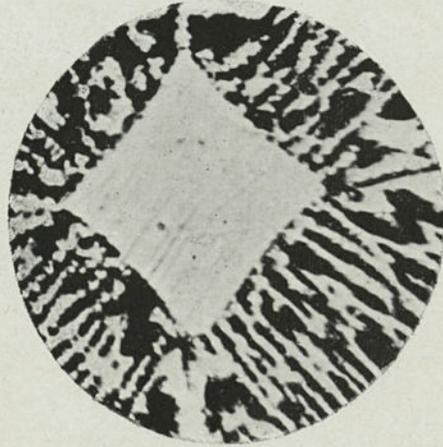
PHOT. 364. — Antifriiction du type. Plomb-étain-antimoine. Cristaux SbSn entourés d'eutectique. G = 50 d.

Attaques à l'acide chlorhydrique étendu.

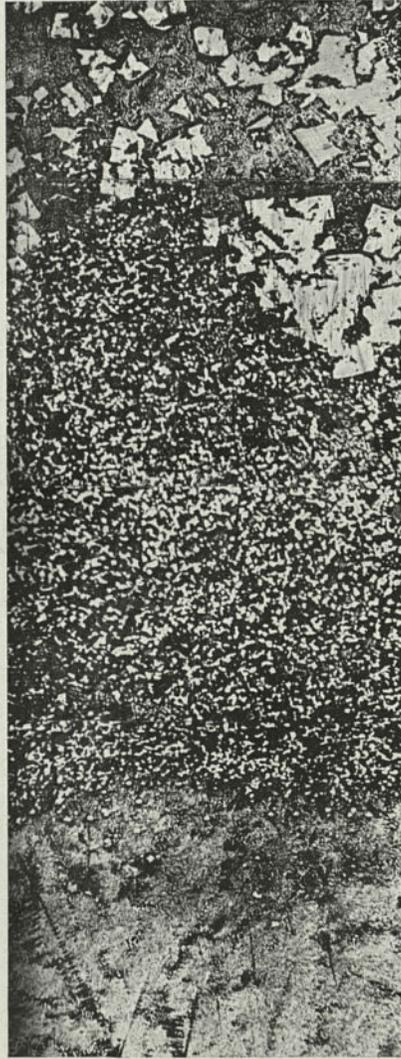
Les photographies 364, 365 et 366, montrent la formation des cristaux SbSn au milieu de l'eutectique secondaire et de l'eutectique tertiaire.



PHOT. 365. — Le même à plus fort grossissement. Eutectique secondaire et tertiaire. G = 200 d.

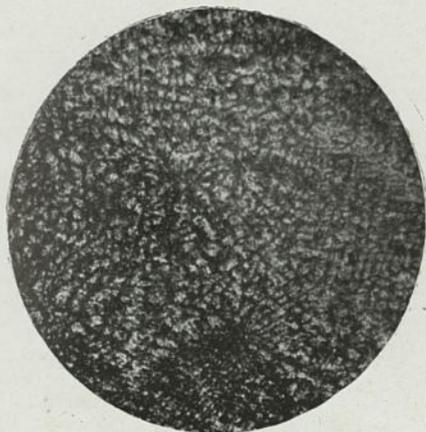


366. — Le même à très fort grossissement. Eutectique secondaire. G = 400 d.

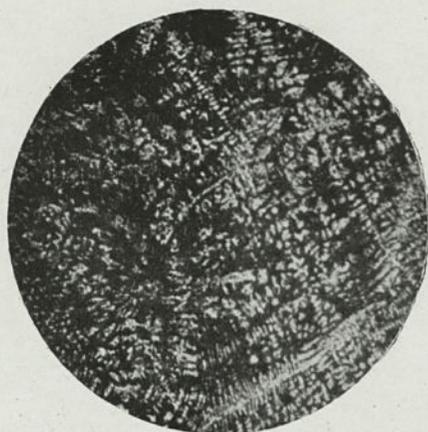


Plor. 367. — Bande représentant la coupe d'un antifriction coulé dans un moule métallique refroidi à la partie inférieure (à $+ 10^{\circ}$) et chauffé à la partie supérieure ($+ 100^{\circ}$). On voit l'influence de la vitesse de refroidissement.

CUIVRE-NICKEL



PHOT. 368. — Alliage cuivre-nickel : Ni = 5.

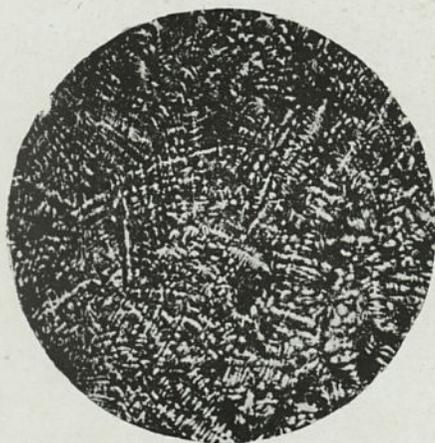


PHOT. 369. — Alliage cuivre-nickel : Ni = 10.

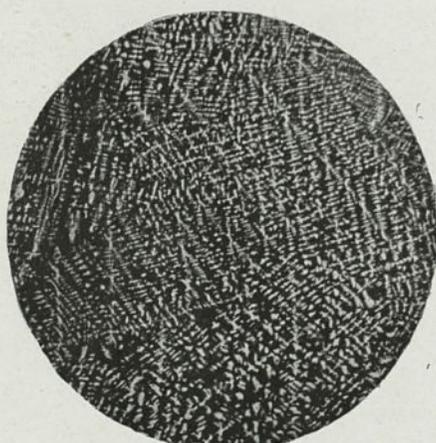
Attaques au perchlorure de fer.

G = 50 d.

*Les alliages cuivre-nickel n'ont pas encore été assez étudiés.
Ils renferment deux solutions solides.*

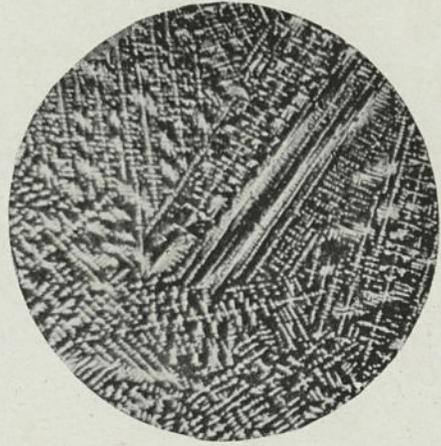
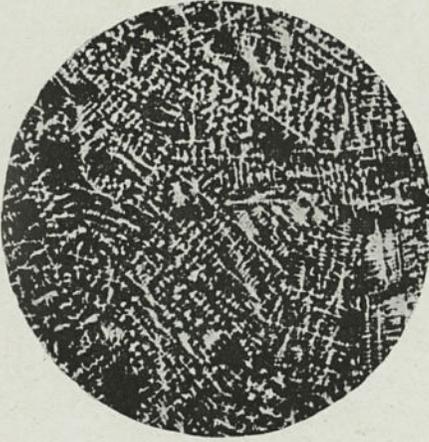


PHOT. 370. — Alliage cuivre-nickel : Ni = 15.



PHOT. 371. — Alliage cuivre-nickel : Ni = 20.

CUIVRE-NICKEL



PHOT. 372. — Alliage cuivre-nickel : Ni = 23.

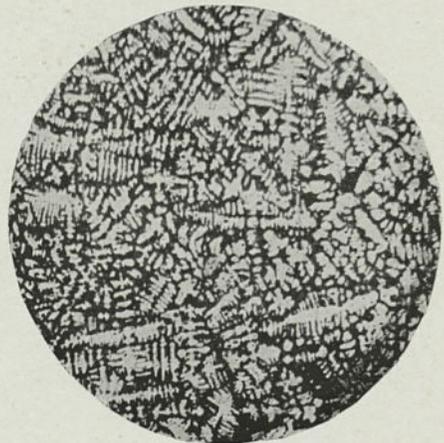
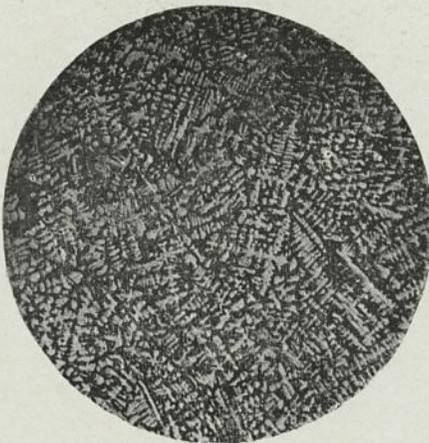
PHOT. 373. — Alliage cuivre-nickel : Ni = 30.

Attaques au perchlorure de fer.

G = 50 d.

Les alliages cuivre-nickel n'ont pas encore été assez étudiés.

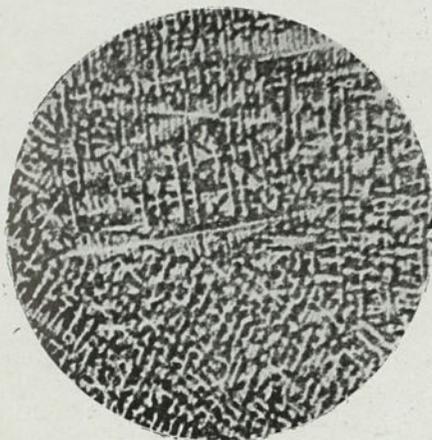
Ils semblent formés de deux solutions solides.



PHOT. 374. — Alliage cuivre-nickel : Ni = 45.

PHOT. 375. — Alliage cuivre-nickel : Ni = 50.

MAILLECHORTS; NICKEL-ÉTAIN



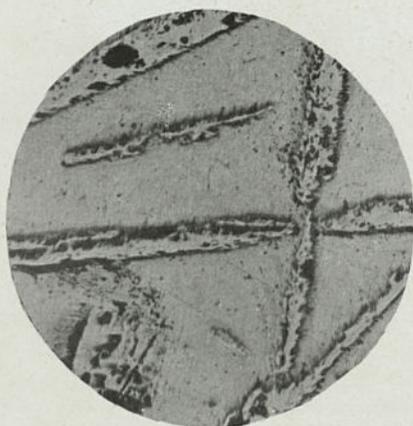
Phot. 376. — Maillechort de la Compagnie P.-L.-M.,
3^e titre.
Cu = 58, Zn = 24, Ni = 18.
Pour pièces moulées.
G = 50 d.

Phot. 377. — Maillechort de la Compagnie de l'Est.
Cu = 59,68, Ni = 18,59, Zn = 20,82, Fe = 0,40,
Pb = 0,81.
G = 50 d.

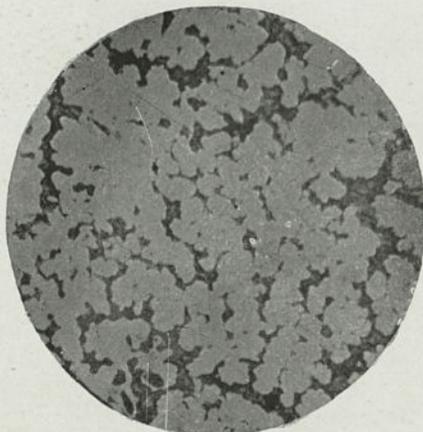
Attaques par l'oxyde de cuivre ammoniacal : Phot. 372 et 373.

Polissage en bas-relief : Phot. 374 et 375.

Ces alliages ont été très peu étudiés.

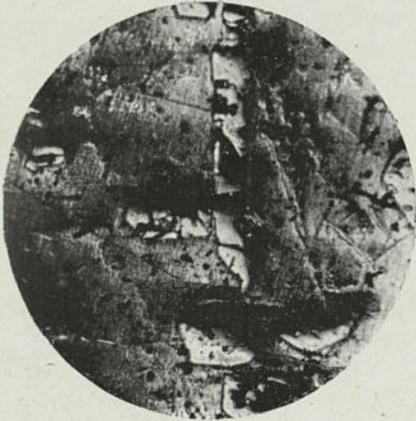


Phot. 378. — Alliage nickel-étain : Ni = 90.
Combinaison Ni-Sn.
G = 200 d.

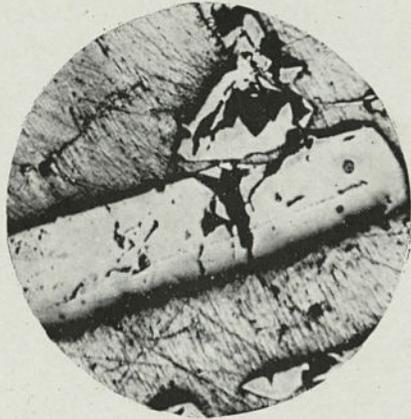


Phot. 379. — Alliage nickel-étain : Ni = 40.
Combinaison Ni-Sn.
G = 200 d.

ALUMINIUM-FER ; ALUMINIUM-ANTIMOINE ; ALUMINIUM-TUNGSTÈNE

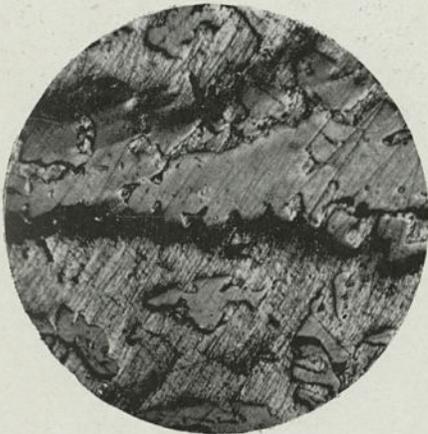


PHOT. 380. — Alliage aluminium-fer.
Montrant le composé $FeAl^3$.
G = 50 d.

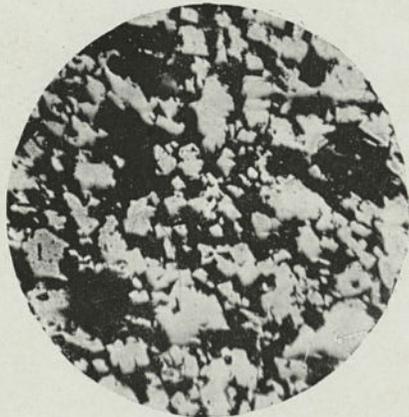


PHOT. 381. — Le même à un plus
fort grossissement.
G = 100 d.

Polissage en bas-relief.
Se reporter au texte, p. 929.



PHOT. 382. — Alliage aluminium-antimoine.
Cristallites de $SbAl^{10}$.
G = 100 d.

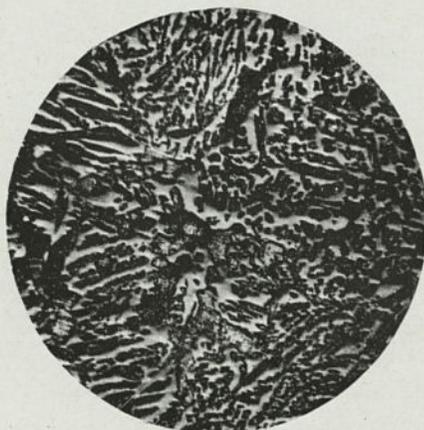


PHOT. 383. — Alliage aluminium-tungstène.
Montrant le composé WAl^4 .
G = 100 d.

ALUMINIUM-NICKEL ; ALUMINIUM-COBALT



PHOT. 384. — Alliage aluminium-nickel.
Montrant le composé NiAl_6 .

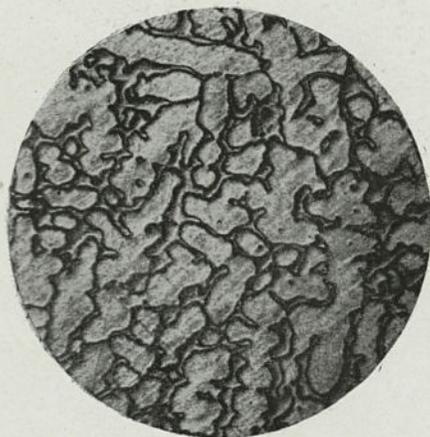


PHOT. 385. — Alliage aluminium-cobalt.
Eutectique $\text{Co-Co}_2\text{Al}$.

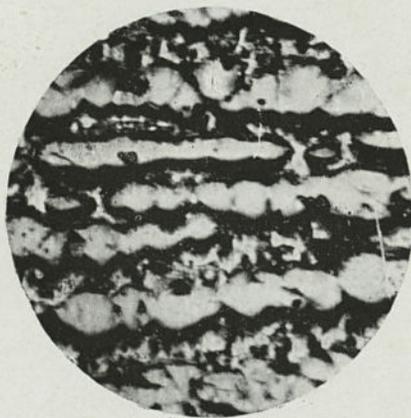
Polissages en bas-relief: Phot. 384 et 387.
Attaques à l'acide azotique: Phot. 385 et 386.

G = 100 d.

Se reporter au texte p. 929.



PHOT. 386. — Alliage aluminium-cobalt.
Montrant des dendrites de Co_2Al .



PHOT. 387. — Alliage aluminium-cobalt.
Montrant des cristaux de CoAl_6 .

ALUMINIUM-MAGNÉSIUM



PHOT. 388. — Alliage aluminium-magnésium.
Montrant le composé Al^4Mg .



PHOT. 389. — Alliage aluminium-magnésium.
Montrant le composé Al^4Mg .

Polissage en bas-relief: Phot. 388.

Attaque à la potasse étendue: Phot. 389.

Attaque à l'acide chlorhydrique étendu: Phot. 390.

Attaque au chlorhydrate d'ammoniaque: Phot. 391.

G = 120 d.

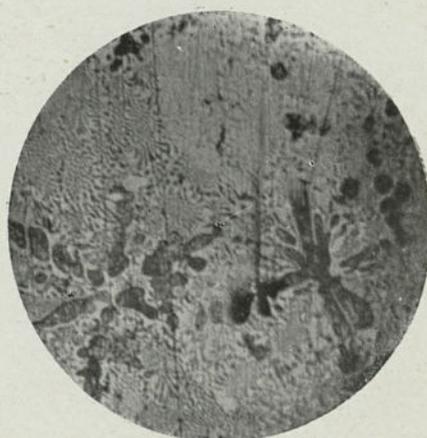
CONSTITUTION DES ALLIAGES ALUMINIUM-MAGNÉSIUM

GROUPES	CONSTITUTIONS	COMPOSITIONS
I	Al + eutectique Al-AlMg.....	0 < Mg < 30
II	AlMg + eutectique Al-AlMg.....	30 < Mg < 55
III	AlMg + eutectique AlMg-AlMg ² ...	55 < Mg < 60
IV	AlMg ² + eutectique AlMg-AlMg ² ..	60 < Mg < 67
V	AlMg ² + eutectique AlMg ² -Al.....	67 < Mg < 75
VI	Al + eutectique AlMg ² -Al.....	75 < Mg < 100

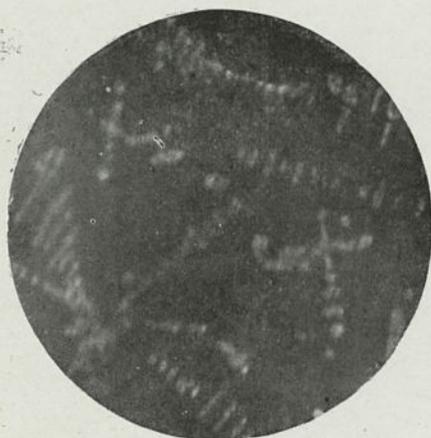
Ces micrographies sont dues à M. Boudouard.



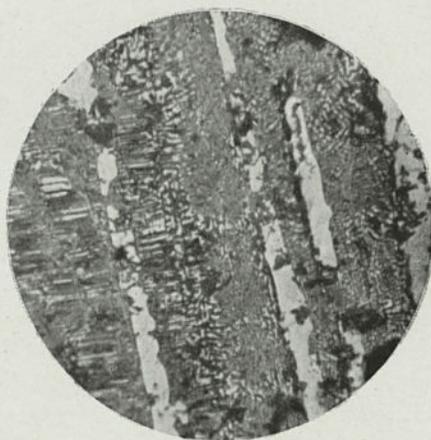
PHOT. 390. — Alliage aluminium-magnésium.
Montrant le composé Al^4Mg .



PHOT. 391. — Alliage aluminium-magnésium
Montrant le composé $AlMg^2$.



PHOT. 392. — Alliage cuivre-magnésium.
Montrant la combinaison Cu^2Mg .
G = 120 d.



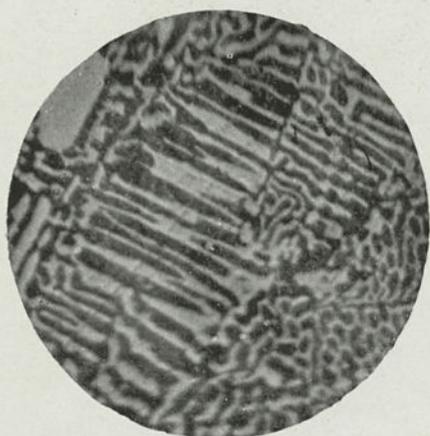
PHOT. 393. — Alliage cuivre-magnésium.
Montrant la combinaison CuMg .
G = 123 d.

Attaque à l'acide azotique étendu : Phot. 392.
Polissage en bas-relief : Phot. 393, 394 et 395.

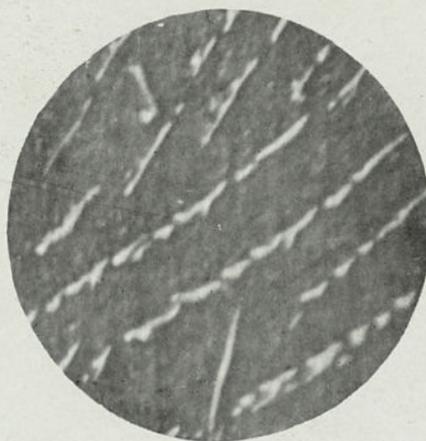
CONSTITUTION DES ALLIAGES CUIVRE-MAGNÉSIUM

GROUPES	CONSTITUTIONS	COMPOSITIONS
I	$\text{Cu} + \text{eutectique Cu-Cu}^2\text{Mg}$	$0 < \text{Mg} < 10$
II	$\text{Cu}^2\text{Mg} + \text{eutectique Cu-Cu}^2\text{Mg}$	$10 < \text{Mg} < 20$
III	$\text{Cu}^2\text{Mg} + \text{eutectique Cu}^2\text{Mg-CuMg}$	$20 < \text{Mg} < 25$
IV	$\text{CuMg} + \text{eutectique Cu}^2\text{Mg-CuMg}$	$25 < \text{Mg} < 29$
V	$\text{CuMg} + \text{eutectique CuMg-CuMg}^2$	$29 < \text{Mg} < 31$
VI	$\text{CuMg}^2 + \text{eutectique CuMg}^2\text{-CuMg}^2$	$31 < \text{Mg} < 48$
VII	$\text{CuMg}^2 + \text{eutectique Mg-Cu}^2\text{Mg}$	$48 < \text{Mg} < 70$
VIII	$\text{Mg} + \text{eutectique CuMg}^2\text{-Mg}$	$70 < \text{Mg} < 100$

Ces photographies sont dues à M. Boudouard.

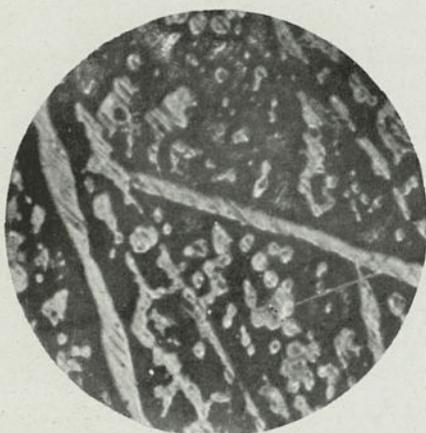


PHOT. 394. — Alliage cuivre-magnésium.
Montrant un eutectique.
G = 650 d.

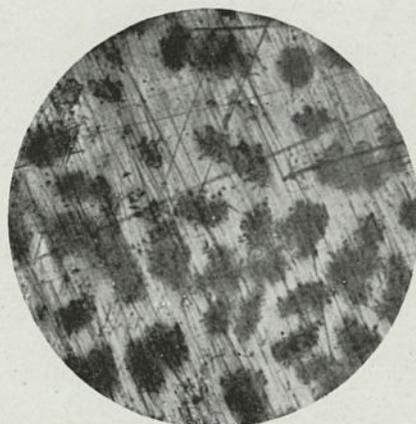


PHOT. 395. — Alliage cuivre-magnésium.
Montrant la combinaison CuMg^2 .
G = 125 d.

MAGNÉSIUM-CADMIUM ; MAGNÉSIUM-ZINC



Phot. 396. — Alliage magnésium-cadmium.
Montrant le composé CdMg.
G = 125 d.



Phot. 397. — Alliage magnésium-cadmium.
Montrant le composé CdMg⁴.
G = 125 d.

Attaque à l'acide azotique étendu : Phot. 396.
Polissages en bas-relief : Phot. 397 et 399.
Attaque à la potasse étendue : Phot. 398.

CONSTITUTION DES ALLIAGES MAGNÉSIUM-CADMIUM

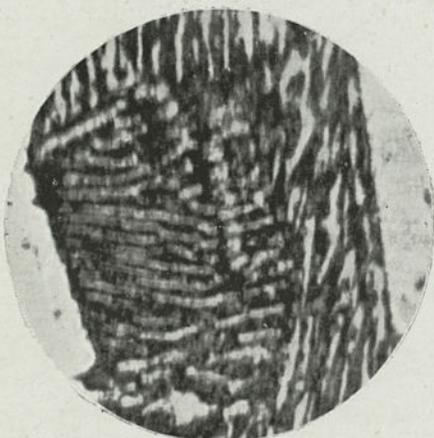
GROUPES	MICROSTRUCTURES	COMPOSITIONS
I	Solution solide.....	0 < Mg < 10
II	CdMg + solution solide.....	10 < Mg < 15
III	CdMg + eutectique CdMg-CdMg ⁴	15 < Mg < 25
IV	CdMg ⁴ + eutectique CdMg ⁴ -CdMg ³⁰ ..	25 < Mg < 45
V	CdMg ⁴ + eutectique CdMg ⁴ -CdMg ³⁰ ..	45 < Mg < 49
VI	CdMg ³⁰ + eutectique CdMg ⁴ -CdMg ³⁰ ..	49 < Mg < 85
VII	Solution solide.....	85 < Mg < 100

Il semble exister d'autres solutions solides non définies.

CONSTITUTION DES ALLIAGES MAGNÉSIUM-ZINC

GROUPES	MICROSTRUCTURES	COMPOSITIONS
I	Zn + eutectique Zn-Zn ² Mg.....	0 < Mg < 5
II	Zn ² Mg + eutectique Zn-Zn ² Mg.....	5 < Mg < 17
III	Solution solide non définie et combinaison ZnMg ⁴	7 < Mg < 42
IV	Mg + eutectique Zn ⁴ Mg-Mg.....	42 < Mg < 100

Ces photographies sont dues à M. Boudouard.



Phot. 398. — Alliage magnésium-zinc.
Montrant l'eutectique Zn²Mg-Zn.
G = 650 d.

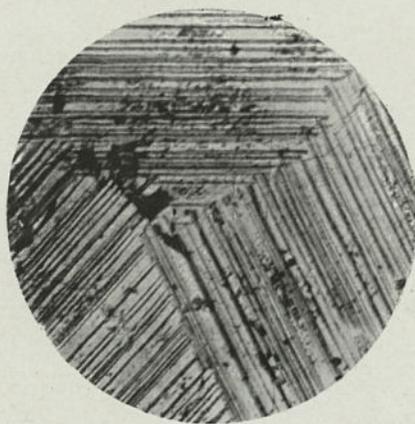


Phot. 399. — Alliage magnésium-zinc.
Montrant la combinaison ZnMg⁴.
G = 125 d.

MANGANÈSE-ALUMINIUM



PHOT. 400. — Alliage manganèse-aluminium :
Al = 10.
Montrant une combinaison aluminium-manganèse.

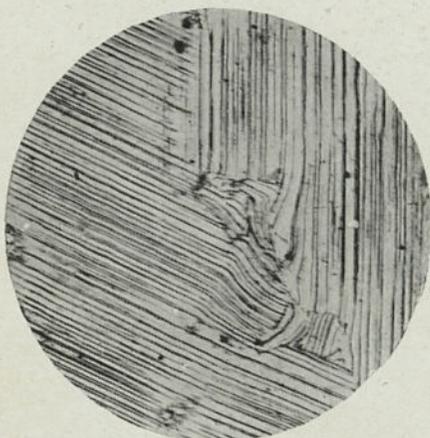


PHOT. 401. — Alliage manganèse-aluminium :
Al = 43.
Montrant une solution solide.

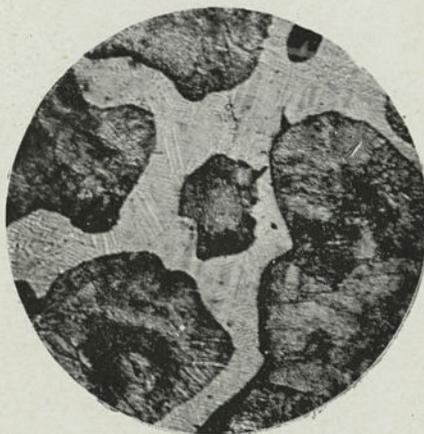
Attaques à la potasse.

G = 200 d.

*La constitution des alliages manganèse-aluminium n'est pas encore entièrement établie.
Il semble cependant exister une combinaison à teneur très élevée en Mn, environ 90 0/0,
et deux solutions solides :
l'une à teneur de Mn variant entre 45 et 60 ;
l'autre à teneur de Mn variant entre 10 et 0.*



PHOT. 402. — Alliage manganèse-aluminium :
Al = 65.
Montrant une solution solide.



PHOT. 403. — Alliage manganèse-aluminium.
Al = 25.
Montrant un peu de solution solide.

TABLE DES MICROGRAPHIES

Alliages de fer et de carbone

(Pl. I à pl. IX)

	Nos de photos.
Scories dans le fer doux.....	1 à 4
Alliages fer-carbone renfermant de plus en plus de carbone.....	5 à 14
Acier à 0,03 0/0 de carbone.....	5
Acier à 0,036 0/0 de carbone.....	6
Acier à 0,090 0/0 de carbone.....	7
Acier à 0,085 0/0 de carbone.....	8
Acier à 0,400 0/0 de carbone.....	9
Acier à 0,750 0/0 de carbone.....	10
Acier à 0,850 0/0 de carbone.....	11
Acier à 1,05 0/0 de carbone.....	12
Acier à 2,20 0/0 de carbone (coupe perpendiculaire au sens du laminage).....	13
Acier à 2,20 0/0 de carbone (coupe suivant le sens du laminage).....	14
Acier à 2,20 0/0 de carbone (cémentite colorée au picrate).....	15
Cémentite colorée au picrate.....	16
Alliages de fer et de carbone très carburés.....	17 à 20
Acier cémenté à bords perlitiques.....	21
Acier cémenté avec aiguilles de cémentite.....	22
Acier cémenté avec aiguilles de cémentite.....	23
Acier trempé à bonne température (martensite).....	24
Acier trempé à trop basse température (troostite).....	25
Austénite et troosto-sorbite.....	26
Troostite, martensite et troosto-sorbite.....	27
Troostite, martensite et troosto-sorbite.....	28
Fonte grise.....	29 à 33
Spiegel.....	34
Fonte blanche.....	35
Fonte malléable.....	36

Aciers spéciaux

(Pl. X à pl. XXX)

Aciers au nickel normaux.....	37 à 42
— — trempés.....	43 et 44
— — recuits.....	45 et 46
— — écrouis.....	47 et 48
— — refroidis.....	49 à 52
— manganèse normaux.....	53 à 56
— chrome normaux.....	57 à 62
— — trempés.....	63 et 64
— — recuits.....	65 et 66

	Nos des photos.	
Aciers au chrome cémentés	67 et	68
— tungstène normaux	69 à	72
— molybdène —	73 à	78
— — recuits	79 et	80
— vanadium normaux	81 à	86
— — recuits	87 et	88
— silicium normaux	89 à	94
— — recuits	95 et	96
— à l'aluminium normaux	97 à	100
— — trempés	101 à	104
— — recuits	105 et	106
— au titane normaux	107 et	108
— à l'étain normaux	109 à	112
— à coupe rapide	113 à	120
Types d'aciers ternaires		

Alliages de fer utilisés en sidérurgie

(Pl. XXXI à pl. XXXVI)

Ferro-siliciums	121 à	123
Silico-spiegel		123
Ferro-chromes	125 à	132
Ferro-tungstènes	133 à	136
Ferro-molybdènes	137 à	140
Ferro-vanadiums	141 et	142
Ferro-titanes	143 et	144

Autres alliages de fer

(Pl. XXXVII et pl. XXXVIII)

Alliages zinc-fer		145
Alliages étain-fer		146
Alliages fer-phosphore	147 et	148
Alliages fer-cuivre	149 à	152

Alliages de cuivre et d'étain

(Pl. XXXIX à pl. XLVII)

Alliages de cuivre et d'étain. Recherches de M. Heycock et Neville.		
Différents constituants	153 à	176
Alliage de cuivre-étain attaqué au picrate de soude		177
Divers alliages cuivre-étain	178 à	181
Bronzes ordinaires, types industriels	182 à	188

Bronzes spéciaux

(Pl. XLVIII à pl. L)

Bronzes au zinc	189 et	190
— au plomb	191 à	194
— phosphoreux	195 et	196
— au manganèse	197 et	198
— à l'aluminium	199 et	200

Alliages de cuivre et de zinc. — Laitons ordinaires

(Pl. LI à pl. LVI)

	Nos des photos	
Laitons ordinaires. — Différents constituants.....	201 à	208
— de planches. — Influence du recuit.....	209 à	212
— industriels; analyse micrographique.....	213 à	224

Laitons spéciaux blancs

(Pl. LVII à pl. LXIII)

Laitons au plomb.....	225 à	228
— à l'étain.....	229 à	232
— au manganèse.....	233 à	240
— à l'aluminium.....	241 à	248
— phosphoreux.....	249 à	252

Alliages de cuivre et d'aluminium. — Bronzes d'aluminium

(Pl. LXIV à pl. LXX)

Bronzes d'aluminium. — Différents constituants.....	253 à	280
— — Influence de la trempe.....	261 à 268 et	270
— — Influence du recuit.....	260 et	280

Autres alliages de cuivre

(Pl. LXXI à pl. LXXVIII)

Alliages de cuivre-manganèse.....	281 et	282
— — plomb.....	283 et	284
— — antimoine. Recherches de Baikoff.....	285 à	288
— — phosphore.....	289 à	293
— — bismuth.....	294 et	295
— — silicium.....	296 à	300
— — vanadium.....	301 à	305
— — chrome.....		306
— — tungstène.....		307
— — oxygène. Travaux de M. Giraud.....	308 à	312

Alliages d'étain

(Pl. LXXXIX à pl. LXXXI)

Alliages étain-zinc.....	313 et	314
— — plomb.....	315 et	316
— — cadmium.....	317 et	318
— — antimoine.....	319 à	322
— — cadmium.....	323 et	324

Alliages de plomb

(Pl. LXXXI à pl. LXXXIV)

	N ^o des photos.	
Alliages plomb-antimoine.....	325 à	328
— — bismuth.....	329 à	332
— — cadmium.....	333 et	334

Alliages de zinc

(Pl. LXXXV à Pl. LXXXVI)

Alliages zinc-antimoine.....	325 à	338
— — bismuth.....		338
Alliage de Darcet.....		340
— de Wood.....		341
— de Rose.....		342

Antifrictions

(Pl. LXXXVII à pl. XCIII)

Antifrictions. — Types industriels étain-plomb-antimoine.....	343 à	346
— — — étain-antimoine-cuivre.....	347 à	353
— Tandem.....	354 à	356
Antifriction Magnolia.....		357
— Glacier.....		358
— Synovia.....	359 à	362
— Etude du refroidissement.....	363 à	366

Alliages de nickel

(Pl. XCIV à pl. XCVI)

Alliages cuivre-nickel.....	368 à	375
Maillechorts (Alliages cuivre-nickel-zinc).....	376 et	377
Alliages nickel-étain.....	378 et	379

Alliages d'aluminium

(Pl. XCVII et pl. XCVIII)

Alliages aluminium-fer.....	380 et	381
— — antimoine.....		382
— — tungstène.....		383
— — nickel.....		384
— — cobalt.....	385 à	388

Alliages de magnésium

(Pl. IC à pl. CI)

Alliages aluminium-magnésium. Travaux de Boudouard.....	388 à	391
— cuivre-magnésium. — —.....	392 à	395
— magnésium-cadmium. — —.....	396 et	397
— magnésium-zinc. — —.....	398 et	399

Alliages de manganèse

Alliages manganèse-aluminium.....	400 à	403
-----------------------------------	-------	-----

TABLE ALPHABÉTIQUE

	Nos des photos.
Aciers à 0,03 0/0 de carbone.....	5
— à 0,056 0/0 —	6
— à 0,090 0/0 —	7
— à 0,085 0/0 —	8
— à 0,400 0/0 —	9
— à 0,750 0/0 —	10
— à 0,850 0/0 —	11
— à 1,05 0/0 —	12
— à 2,20 0/0 — (cémentite colorée au picrate).....	15
— à 2,20 0/0 — (coupe suivant le sens du laminage).....	14
— à 2,20 0/0 — (coupe perpendiculaire au sens du laminage).....	13
Aciers à l'aluminium normaux.....	97 à 100
— — recuits.....	104
— — trempés.....	101 à 103
— à coupe rapide.....	109 à 112
— au chrome cémentés.....	67 et 68
— — normaux.....	57 à 62
— — recuits.....	65 et 66
— — trempés.....	63 et 64
— à l'étain normaux.....	107 et 108
— au manganèse normaux.....	53 à 56
— au molybdène —	73 à 78
— — recuits.....	79 et 80
— nickel écrouis.....	47 et 48
— — normaux.....	37 à 42
— — recuits.....	45 et 46
— — refroidis.....	49 à 52
— — trempés.....	43 et 44
— silicium normaux.....	89 à 94
— — recuits.....	95 et 96
— titane normaux.....	105 et 106
— tungstène normaux.....	69 à 72
— vanadium —	81 à 86
— — recuits.....	87 et 88
Acier cémenté avec aiguilles de cémentite.....	22
— — —	23
— — à bords perlitiques.....	21
Aciers spéciaux (Pl. X à pl. XXX) :	
Aciers trempés à bonne température (martensite).....	24

	N ^{os} des photos.
Alliages d'aluminium (Pl. XCVII et pl. XCVIII) :	
Alliages d'aluminium-antimoine.....	382
— — cobalt.....	385 à 387
— — fer.....	380 et 381
— — magnésium. Travaux de Boudouard.....	388 à 391
— — nickel.....	384
— — tungstène.....	383
Alliages de cuivre et d'aluminium (Pl. LXIV à pl. LXX) :	
Alliages de cuivre-antimoine. Recherches de Baykoff.....	285 à 288
— — bismuth.....	294 et 295
— — chrome.....	306
Alliages de cuivre et d'étain (Pl. XXXIX à pl. XLVII) :	
Alliages de cuivre et d'étain. Recherches de MM. Heycock et Neuville.....	153 à 176
Alliages de cuivre et d'étain attaqués au picrate de soude.....	177
— — manganèse.....	281 et 282
— — magnésium. Travaux de Boudouard.....	392 à 393
— — oxygène. Travaux de M. Giraud.....	308 à 312
— — phosphore.....	289 à 293
— — plomb.....	283 et 284
— — silicium.....	296 à 300
— — tungstène.....	307
— — vanadium.....	301 à 305
Alliages de cuivre et de zinc (Pl. LI à pl. LVI) :	
Alliage de Darset.....	340
Alliages d'étain (Pl. LXXIX à pl. LXXXI) :	
Alliages étain-antimoine.....	319 à 322
— — bismuth.....	323 et 324
— — cadmium.....	317 et 318
— — plomb.....	315 et 316
— — zinc.....	313 et 314
Alliages fer-carbone (Pl. I à pl. IV) :	
Alliages fer-carbone très carburés.....	17 à 20
Alliages fer-carbone renfermant de plus en plus de carbone..	149 à 152
Alliages fer-cuivre.....	149 à 152
— fer-étain.....	146
— fer-phosphore.....	147 et 148
— fer-zinc.....	145
Alliages de fer utilisés en sidérurgie (Pl. XXXI à pl. XXXVI) :	
Alliages de magnésium (Pl. IC à pl. CI) :	
Alliages magnésium-cadmium. Travaux de Boudouard.....	396 et 397
— — zinc — —.....	398 et 399
Alliages de manganèse (Pl. CII) :	
Alliages manganèse-aluminium.....	400 à 403

	Nos des photos.	
Alliages de nickel (Pl. XCIV à pl. XCVI) :		
Alliages nickel-cuivre.....	368 à	375
— — étain.....	378 et	379
Alliages de plomb (Pl. LXXXII à pl. LXXXIV) :		
Alliages plomb-antimoine.....	325 à	328
— — bismuth.....	329 à	332
— de Rose.....		342
— de Wood.....		341
Alliages de zinc (Pl. LXXXV et pl. LXXXVI) :		
Alliages zinc-antimoine.....	335 à	338
— — bismuth.....		339
Antifrictions (Pl. LXXXVII à pl. XCIII) :		
Antifrictions. Etude du refroidissement.....	363 à	367
— Glacier.....		358
— Magnolia.....		357
— Synovia.....	359 à	362
— Tandem.....	354 à	356
— Types industriels. Etain-antimoine-cuivre.....	347 à	353
— — Etain-plomb-antimoine.....	343 à	346
Austénite et troosto-sorbite.....		26
Autres alliages de cuivre (Pl. LXXI à pl. LXXVI) :		
Autres alliages de fer (Pl. XXXVII à pl. XXXVIII) :		
Bronzes à l'aluminium.....	199 et	200
— au manganèse.....	197 et	198
— au plomb.....	191 à	194
— au zinc.....	189 et	190
Bronzes d'aluminium (Pl. LXIV à pl. LXXII) :		
Bronzes d'aluminium. Différents constituants.....	253 à	280
— — Influence de la trempe.....	261 à	268 et 270
— — — du recuit.....		260 et 280
— ordinaires. Types industriels.....	182 à	188
— phosphoreux.....	195 et	196
Bronzes spéciaux (Pl. XLVIII à pl. L) :		
Cémentite colorée au picrate.....		16
Divers alliages de cuivre-étain.....	178 à	181
Ferro-chromes.....	125 à	132
Ferro-molybdènes.....	137 à	140
Ferro-siliciums.....	121 à	123
Ferro-titanes.....	143 et	144
Ferro-tungstène.....	133 à	136
Ferro-vanadiums.....	141 et	142
Fonte blanche.....		35
— grise.....	29 à	33
— malléable.....		36

	Nos des photos.	
Laitons à l'aluminium.....	241 à	248
— à l'étain.....	229 à	232
— au manganèse.....	233 à	240
— au plomb.....	225 à	228
— de planches. Influence du recuit.....	209 à	212
— industriels. Analyse micrographique.....	213 à	224
Laitons ordinaires (Pl. LI à pl. LVI) :		
Laitons ordinaires. Différents constituants.....	201 à	208
Laitons phosphoreux.....	249 à	252
Laitons spéciaux (Pl. LVII à pl. LXIII) :		
Martensite.....		24
Scories dans le fer doux.....	1 à	4
Silico-spiegel.....		124
Spiegels.....		34
Troostite, martensite et troosto-sorbite.....		27
— — —.....		28
Types d'aciers spéciaux ternaires.....	413 à	420

En vente à la Librairie H. DUNOD et E. PINAT, Éditeurs

49, Quai des Grands-Augustins, PARIS (VI^e)

Agenda Dunod 1906 : Mines et Métallurgie. Géologie. Exploitation des mines, traitement des minerais, par D. LEVAT. 27^e édit., tirée sur caractères neufs. In-12 10 × 15 de 355 pages. Reliure de luxe en peau souple, tranches dorées..... 2 fr. 50

Revue de métallurgie, publiée sous la direction de M. Henry LE CHATELIER, professeur à l'École supérieure des Mines, par livraisons mensuelles d'environ 100 pages, grand format, comprenant de nombreuses figures. Prix des abonnements annuels partant du 1^{er} janvier : France, 36 fr. ; étranger... 40 fr.

Les alliages métalliques. T. I : *Étude théorique*, par L. GUILLET, docteur ès sciences, ingénieur des Arts et Manufactures, lauréat de la Société des Ingénieurs civils de France. In-8^o 16 × 26 de 240 pages, avec 117 fig. Br., 7 fr. 50 ; cartonné..... 9 fr.

Fabrication de l'acier, par H. NOBLE, ingénieur des Arts et Manufactures. In-8^o 16 × 25 de X-604 p. avec 94 fig. et 9 pl. Broché 25 fr., carton. 26 fr. 50

Les aciers spéciaux, par Léon GUILLET, docteur ès sciences, ingénieur A. M., avec préfaces de H. LE CHATELIER, ingénieur en chef des Mines. Ces 2 volumes se vendent séparément.

T. I. *Aciers au nickel. — Aciers au manganèse. — Aciers au silicium.* In-4^o 22 × 28 de 100 pages avec 28 fig..... 10 fr.

T. II. *Aciers au chrome, au tungstène, au molybdène, à l'étain, au titane, au vanadium, à l'aluminium, au cobalt.* In-4^o 22 × 28 de 133 pages, avec 170 fig..... 10 fr.

Recherches sur les aciers au nickel à hautes teneurs, par L. DUMAS, ing. des Arts et Manufactures, ing.-conseil, ancien chef du service métallurgique de la Société de Commentry-Fourchambault et Decazeville. In-8^o 16 × 26 de 208 pages avec 13 figures..... 6 fr.

Recherches physiques et physico-chimiques sur l'acier au carbone, par Carl BENEDICKS. In-8^o 16 × 27 de 230 pages avec 41 figures et 13 planches de photogrammes..... 12 fr. 50

Album de 127 planches lithographiées concernant la fabrication de la fonte. Hauts fourneaux et accessoires, chaudières. Machines et appareils divers, par PAVLOFF, prof. à l'École supérieure des Mines d'Ekaterinoslav. La légende des planches est en français, en anglais et en russe. In-folio oblong 34 × 26..... 25 fr.

Album de dessins concernant la fabrication de l'acier Martin. 1^{er} fascicule. Fours Martin, par H. PAVLOFF, professeur à l'École supérieure des Mines d'Ekaterinoslav. Atlas in-4^o de 52 planches de format oblong, avec légende explicative en français, anglais et russe..... 15 fr.

Métallurgie du zinc, par A. LODIN, ingénieur en chef des Mines. In-8^o 16 × 25 de 810 pages avec 25 planches et 275 figures. Broché 35 fr

TOURS, IMPRIMERIE DES LIS FRÈRES.