

V. — ALLIAGES AVEC LES MÉTAUX DU GROUPE DU FER.

(SÉRIES INCOMPLÈTES.)

Certaines portions des alliages de l'aluminium avec le fer, le manganèse et le nickel n'ont pas pu être étudiés à cause de leur grande fragilité ou de leur point de fusion très élevé.

Aluminium-fer.

Historique, Propriétés électriques et micrographie.

Des alliages fer-aluminium de composition très différente ont été isolés comme composés définis par des méthodes chimiques.

Calvert et Johnson ⁽¹⁾ trouvent les composés Al Fe^1 et $\text{Al}^2 \text{Fe}^3$.

MM. Wöhler et Michel ⁽²⁾ le composé $\text{Al}^2 \text{Fe}$.

M. Brunck ⁽³⁾ le composé $\text{Al}^3 \text{Fe}$.

M. Guillet ⁽⁴⁾ isola des lingots obtenus par l'aluminothermie les alliages de la composition $\text{Al}^3 \text{Fe}$ et $\text{Al}^3 \text{Fe}^2$; il admet comme probable l'existence du composé AlFe .

M. Gwyer ⁽⁵⁾ étudia la courbe de fusibilité des alliages aluminium-fer. Il confirme l'existence du composé $\text{Al}^3 \text{Fe}$, qui forme un mélange avec l'aluminium. Du côté du fer, une solution solide se présente jusqu'à 67 pour 100 de fer. La structure des alliages compris entre le composé

⁽¹⁾ CALVERT et JOHNSON, *Ann. de Chim. et de Phys.*, 3^e série, t. XLV, 1855, p. 454.

⁽²⁾ WOHLER et MICHEL, *Lieb. Ann.*, t. CXV, 1860, p. 102.

⁽³⁾ BRUNCK, *Ber. chem. Gesell.*, t. XXXIV, 1901, p. 2733.

⁽⁴⁾ GUILLET, *Bull. Soc. Encour.*, 2^e sem. 1902, p. 246.

⁽⁵⁾ GWYER, *Zs. anorg. Chem.*, t. LVII, 1908, p. 126.

Al_3Fe et la limite de la solution solide n'a pas été nettement établie.

MM. Barrett, Brown et Hadfield ⁽¹⁾ ainsi que M. Portevin ⁽²⁾ ont mesuré la résistance spécifique de quelques

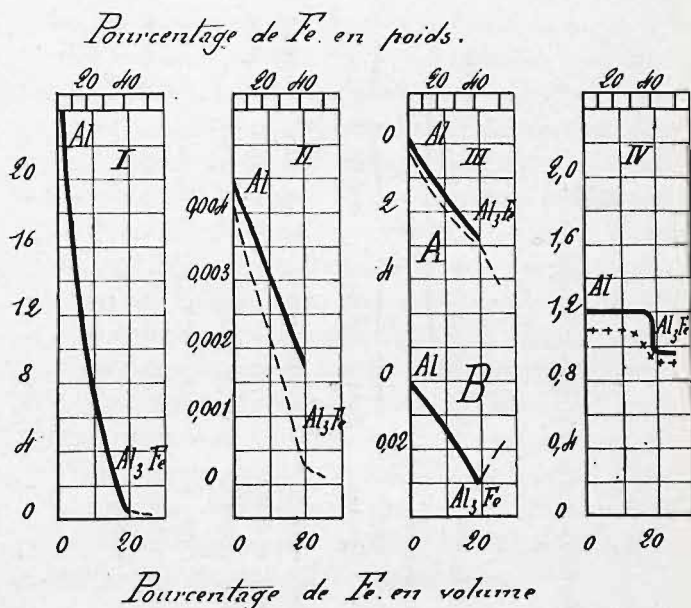


Fig. 75. — Al Fe. I Conductivité électrique; II. Coefficient de température; III. Pouvoir thermo-électrique; IV. F. e. m. de dissolution.

alliages fer-aluminium riches en fer. Ils trouvent que l'aluminium augmente fortement la résistance spécifique du fer et des aciers.

Dans cette étude a été employé le fer de Suède ne renfermant comme impureté que 0,08 pour 100 de carbone. Sa résistance spécifique était de 9,85 microhms-cm.

⁽¹⁾ BARRETT, BROWN et HADFIELD, *Sc. Trans. Dublin Soc.*, 2^e série, t. VII, 1900, p. 67; BARRETT, *Proc. Roy. Soc.*, t. LXIX, 1902, p. 480.

⁽²⁾ PORTEVIN, *Revue de Métall.*, t. VI, 1909, p. 1304.

Propriétés électriques des alliages aluminium-fer.

Composition		Conductivité $\times 10^3$.	Coefficient de température.		Pouvoir thermo-électrique.		$\frac{dE}{dt} = A + Bt$.		F. c. m. de dissolution.		
For- mules. en volume.	pour 100 de Fe		Recuit.	Trempe.	Recuit.	Trempe.	A.		B.		Max.
		Recuit.					Trempe.	Recuit.	Trempe.		
Al.....	0	40,1	38,5	0,00425	0,00410	-0,07	-0,04	-0,0002	-0,0006	1,20	1,10
»	1,85	15,4	14,8	0,00351	0,00296	-0,65	-1,07	-0,0053	-0,0039	1,21	1,10
»	9,90	7,50	7,06	0,00319	0,00226	-1,46	-2,04	-0,0137	-0,0126	1,20	1,10
»	14,9	2,31	2,23	0,00256	0,00153	-2,13	-2,45	-0,0203	-0,0190	1,20	0,96
Al ³ Fe..	19,1	0,71	0,60	0,00168	0,00023	-2,65	-2,85	-0,0314	-0,0286	1,06	0,92
» ..	25,7	»	0,12	»	0,00010	»	-4,17	»	-0,0198	0,95	0,90

Pour le calcul des pourcentages en volume la densité du fer a été admise égale à 7,80.

Les nombres obtenus dans l'étude des propriétés électriques sont indiqués dans le Tableau *que nous* avons et ont servi à la construction des courbes reproduites sur la figure 75. Ces nombres confirment l'existence du composé Al^3Fe .

L'existence de ce composé est manifestée le plus nettement par la force électromotrice de dissolution (*fig. 75-IV*). Les autres propriétés électriques sont représentées par des lignes droites entre l'aluminium et le composé Al^3Fe ce qui montre que les deux constituants forment entre eux un mélange mécanique. L'eutectique se rapproche beaucoup de l'aluminium, mais ne se confond pas avec lui, comme le montre la figure 82 où l'on voit par polissage en relief les cristaux de Al^3Fe sur un fond d'eutectique.

La figure 83 représente la structure d'un alliage se rapprochant de la composition Al^3Fe (polissage en relief). Nous voyons donc que, dans les limites où l'étude des propriétés électriques a été faite, l'existence du composé Al^3Fe a été confirmée. Ce composé ne forme qu'un mélange mécanique avec l'aluminium.

Aluminium-manganèse.

Historique. Propriétés électriques et Micrographie.

Les alliages aluminium-manganèse dépassant 40 pour 100 de manganèse sont très fragiles. Ils paraissent subir au refroidissement des transformations moléculaires et se brisent même hors de la lingotière.

MM. Wöhler et Michel ⁽¹⁾ trouvent par voie chimique le composé Al^3Mn .

M. Brunck ⁽²⁾ isole un alliage de la composition Al^7, Mn^2 .

(1) WÖHLER et MICHEL, *Lieb. Ann.*, t. CXV, 1860, p. 102.

(2) BRUNCK, *Ber. Chem. Gesell.*, t. XXXIV, 1901, p. 2733.

M. Guillet ⁽¹⁾ isole des lingots obtenus par l'aluminothermie les alliages de la composition Al^3Mn et Al^3Mn^2 ; il admet comme probable l'existence du composé AlMn .

M. Hindrichs ⁽²⁾ trouve que par l'étude de la courbe de fusibilité, on ne peut pas déterminer avec certitude les composés définis des alliages aluminium-manganèse à cause de leur décomposition avant la fusion. Il admet comme probable l'existence des composés Al^3Mn et AlMn^3 .

Le manganèse que j'ai employé avait été obtenu par l'aluminothermie et n'était pur qu'à 96,8 pour 100. Il renfermait comme impuretés 1,8 pour 100 d'Al, 0,9 pour 100 de Si et 0,5 pour 100 de Fe. L'aluminium contenu dans le manganèse en a été déduit dans le calcul de la composition. Pour le calcul du pourcentage en volume, la densité du manganèse a été prise égale à 7,4.

Les nombres obtenus dans l'étude des propriétés électriques et indiqués dans le Tableau suivant, ainsi que les courbes reproduites sur la figure 76, confirment l'existence du composé Al^3Mn .

Les courbes du coefficient de température (*fig. 76-II*) et de la force électromotrice de dissolution (*fig. 76-IV*) indiquent le plus nettement l'existence de ce composé.

Le composé Al^3Mn forme une solution solide dans l'aluminium, comme l'indique la conductivité, le coefficient de température et le pouvoir thermo-électrique. Cette solution solide est peu étendue, car la structure de l'alliage renfermant 2 pour 100 de Mn en volume est déjà nettement hétérogène, comme nous le montre la figure 84 (polissage en relief).

Les courbes du pouvoir thermo-électrique et de sa variation ainsi que la courbe du coefficient de température,

(¹) GUILLET, *Bull. Soc. Encour.*, 2^e sem. 1902, p. 249; *Comptes rendus*, t. CXXXIV, 1902, p. 236.

(²) HINDRICHs, *Zs. anorg. Chem.*, t. LIX, 1908, p. 414.

Propriétés électriques des alliages aluminium-manganèse.

Composition pour 100 de Mn For- mules. en volume.	Conductivité $\times 10^5$.		Coefficient de température.		Pouvoir thermo-électrique.		$\frac{dE}{dt} = A + Bt$.		F. e. m. de dissolution.	
	Recuit	Trempe.	Recuit.	Trempe.	Recuit.	Trempe.	Recuit.	Trempe.	Max.	Min.
Al.....	40,1	38,5	0,00425	0,00410	— 0,07	— 0,04	— 0,0002	— 0,0006	1,20	1,10
».....	7,01	6,92	0,00026	0,00024	— 5,04	— 5,17	— 0,0046	— 0,0080	1,20	1,10
».....	4,98	4,84	0,00034	0,00041	— 4,93	— 4,68	— 0,0091	— 0,0097	1,19	1,11
».....	2,80	2,89	0,00042	0,00070	— 4,81	— 4,62	— 0,0071	— 0,0112	1,19	1,11
».....	1,19	1,04	0,00066	0,00082	— 4,53	— 4,47	— 0,0058	— 0,0108	1,20	1,10
Al ¹³ Mn.	0,20	0,34	0,00110	0,00122	— 0,56	— 1,62	— 0,0148	— 0,0166	0,88	0,82
»	0,05	0,14	— 0,00063	0,00042	+ 27,3	+ 3,44	+ 0,0259	— 0,0021	0,88	0,81

montrent que l'aluminium est soluble à une faible teneur dans le composé Al^3Mn . L'existence de cette solution

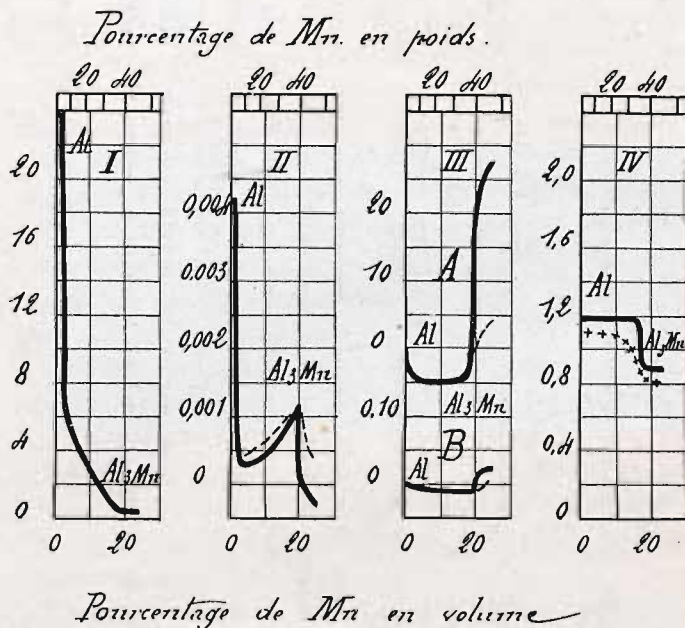


Fig. 76. — Al Mn. I. Conductivité électrique; II. Coefficient de température; III. Pouvoir thermo-électrique; IV. P. e. m. de dissolution.

solide n'est au contraire pas manifestée par la courbe de conductivité. Ceci provient probablement de la résistance spécifique très grande du composé Al^3Mn (500 microhms-cm) vis-à-vis de laquelle la résistance complémentaire, qui caractérise les solutions solides, apparaît comme très petite. La diminution de la conductivité par la solution solide est alors négligeable et disparaît facilement dans les erreurs de mesures.

La figure 85 montre la structure du composé Al^3Mn (polissage en relief).

Dans les limites où l'étude des propriétés électriques a été faite, l'existence du composé Al^3Mn a été confirmée,

Entre ce composé et l'aluminium ont lieu deux faibles solutions solides limites et un mélange de ces solutions. L'existence du composé Al^7Mn^2 n'a pas été confirmée.

Aluminium-nickel.

Historique. Propriétés électriques et micrographie.

Les alliages aluminium-nickel sont moins fragiles dans leurs parties moyennes que les autres alliages du groupe du fer, et ce n'est que la haute température de fusion, supérieure à 1600° des alliages entourant le composé AlNi , qui a empêché l'étude complète.

Wöhler et Michel ⁽¹⁾ admettent, d'après une étude chimique, l'existence du composé Al^6Ni .

M. Brunck ⁽²⁾ trouve, par voie chimique, le composé Al^3Ni .

M. Guillet ⁽³⁾ isola des lingots obtenus par l'aluminothermie les alliages de composition Al^2Ni , AlNi^2 et AlNi^3 . Il admet aussi comme possible l'existence du composé AlNi^4 .

M. Gwyer ⁽⁴⁾ trouve par l'analyse thermique les composés Al^3Ni , Al^2Ni et AlNi , dont les deux premiers se décomposent avant la fusion. La courbe de fusibilité obtenue par M. Gwyer est reproduite sur la figure 77.

Le nickel que j'ai employé provenait des usines de L. Monde, où il était obtenu par la décomposition du nickel-carbonil; il ne renfermait comme impureté que des traces de fer. Pour le calcul des pourcentages en volume, la densité du nickel a été admise égale à 8,80.

(1) WÖHLER et MICHEL, *Lieb. Ann.*, t. CXV, 1860, p. 102.

(2) BRUNCK, *Ber. chem. Gesell.*, t. XXXIV, 1901, p. 2733.

(3) GUILLET, *Bull. Soc. Encour.*, 2^e semestre 1902, p. 259.

(4) GWYER, *Zs. anorg. Chem.*, t. LVII, 1908, p. 133.

Les nombres obtenus dans l'étude des propriétés électriques sont indiqués dans le Tableau suivant et ont servi

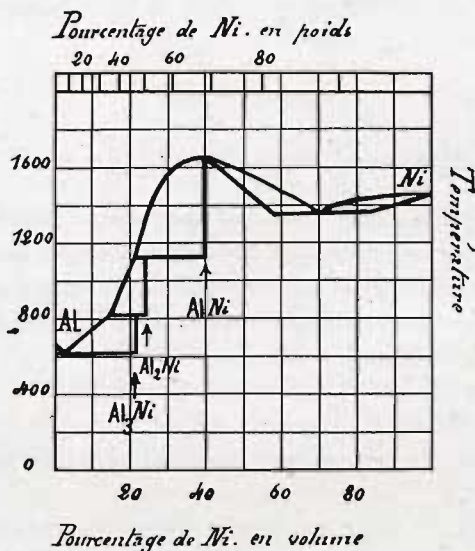
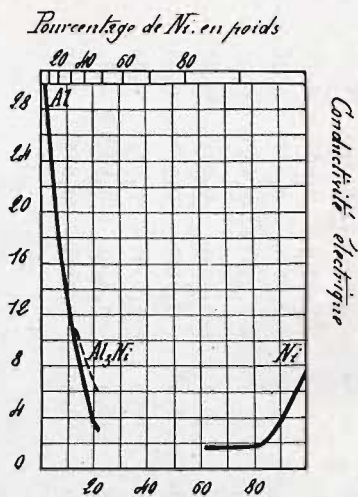


Fig. 77. — Fusibilité de AlNi suivant M. Gwyer (1908).

à la construction des courbes reproduites sur les figures 78, 79, 80 et 81.

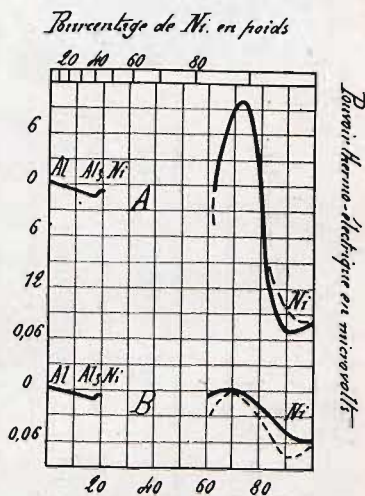
Ces données nous indiquent dans les alliages à faible teneur de nickel l'existence d'un composé défini Al^3Ni . Dans les alliages à forte teneur de nickel, l'existence d'aucun composé défini n'a été constatée.

Les courbes du coefficient de température (fig. 79) et de la force électromotrice de dissolution (fig. 81) indiquent le plus nettement l'existence du composé Al^3Ni . La courbe du coefficient de température indique que ce composé est entouré d'une faible solution solide, mais les autres propriétés électriques ne corroborent qu'imparfaitement cette indication et nous font admettre que les alliages entre l'aluminium et le composé Al^3Ni sont for-



Pourcentage de Ni. en volume

Fig. 78. — Al Ni. Conductivité électrique.



Pourcentage de Ni. en volume

Fig. 80. — Al Ni. Pouvoir thermo-électrique.

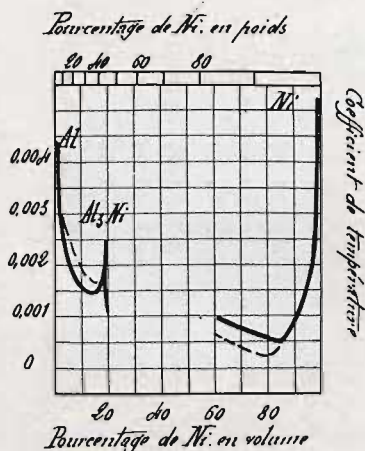


Fig. 79. — Al Ni. Coefficient de température.

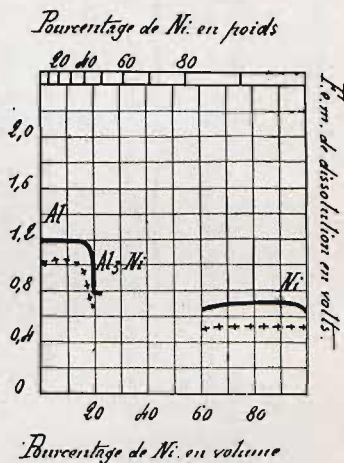


Fig. 81. — Al Ni. F. c. m. de dissolution.

més entièrement ou presque entièrement par des mélanges mécaniques.

La figure 86 nous montre la structure de l'alliage correspondant à la composition Al^6Ni . Cette structure est nettement hétérogène et ne peut pas répondre à un composé défini.

La figure 87 montre la structure du composé Al^3Ni . La différence dans la coloration des cristaux est due à leur orientation différente. Dans les deux cas, la structure a été mise en évidence par une attaque au perchlorure de fer.

Pour les alliages à forte teneur de nickel, les courbes du pouvoir thermo-électrique et de sa variation (*fig. 80*) indiquent l'existence de deux solutions solides et leur mélange mécanique en prenant la forme F' de notre classification (*voir p. 30*). Les courbes de conductivité (*fig. 78*) et du coefficient de température (*fig. 79*) montrent nettement la solution solide du côté du nickel, mais ne manifestent pas, ou presque pas, la deuxième solution solide indiquée par les courbes du pouvoir thermo-électrique. Ceci provient probablement de ce que dans les limites où l'étude a été faite, on n'aperçoit sur les courbes qu'une partie de la solution solide, notamment la partie à faible courbure, qui touche au mélange mécanique, alors que la partie caractéristique des éléments représentant les solutions solides c'est la partie voisine du constituant où l'on voit une descente rapide et une courbure accentuée. Dans la courbe du pouvoir thermo-électrique (*fig. 80*), les deux éléments représentant les solutions solides sont dirigés en sens inverse et leur limite peut être nettement établie, alors que dans les courbes de conductivité et du coefficient de température où ces éléments sont toujours dirigés dans le même sens, les limites de la solution solide se confondent souvent sur la courbe représentative avec le commencement des mélanges.

Nous voyons donc que dans les limites où l'étude des

propriétés électriques a été faite, l'existence du composé défini Al^3Ni a pu être confirmée. Ce composé paraît former un mélange mécanique avec l'aluminium. Les alliages à forte teneur de nickel sont formés par deux solutions solides limites et un mélange de ces solutions. L'existence des composés Al^6Ni , AlNi^4 , et AlNi^8 n'a pas été confirmée.



Fig. 82. — 5 Fe, 95 Al en volume.
Gr. 60.

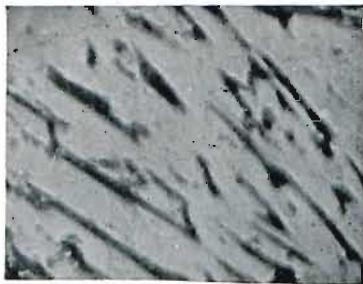


Fig. 83. — Composé $Al^3 Fe$.
Gr. 60.

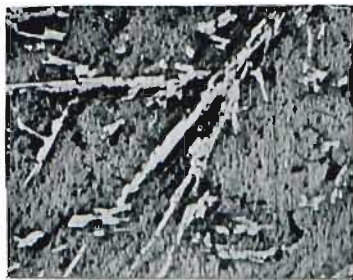


Fig. 84. — 2 Mn, 98 Al en volume.
Gr. 60.



Fig. 85. — Composé $Al^3 Mn$.
Gr. 60.



Fig. 86. — Composition $Al^6 Ni$.
Gr. 60.

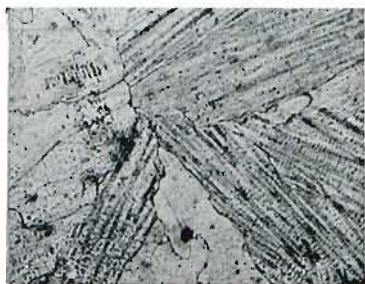


Fig. 87. — Composé $Al^3 Ni$.
Gr. 60.



Fig. 88. — Composé AlCu_3 recuit.
Gr. 500.

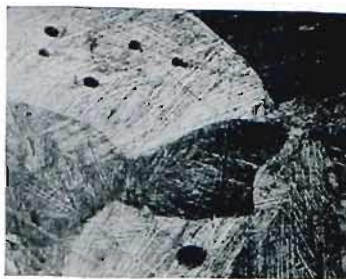


Fig. 89. — Composé AlCu_3 trempé.
Gr. 60.

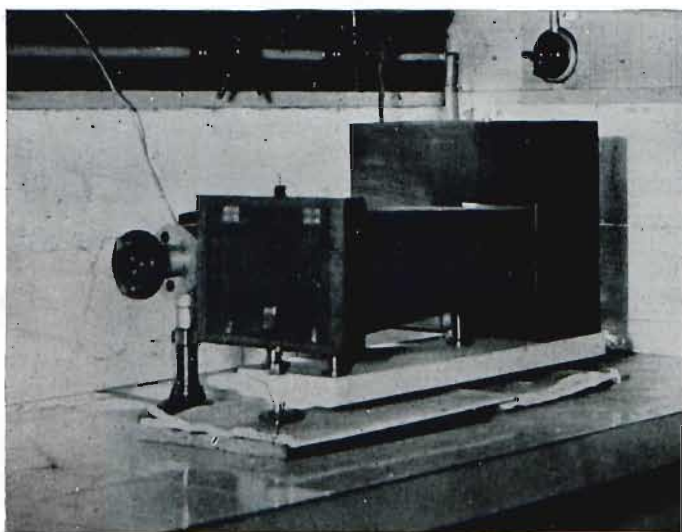


Fig. 90. — Enregistreur photographique de MM. H. Le Chatelier et W. Broniewski.