

Sur les alliages Aluminium-Silicium

par MM. BRONIEWSKI et SMIALOWSKI



PREMIERE PARTIE

Les alliages du silicium avec l'aluminium étaient connus déjà par Sainte-Claire Deville et par Woehler (1), mais leur application industrielle date surtout depuis que M. A. Pacz prit ses brevets pour l'affinage de ces alliages par des sels alcalins (2), en améliorant ainsi sensiblement leurs propriétés mécaniques. Les alliages voisins de l'eutectique furent alors employés dans la fonderie des métaux légers sous le nom de alpax en France et aux Etats-Unis et sous le nom de silumin dans les autres pays.

Le structure des alliages aluminium-silicium est simple : deux faibles solutions solides du côté de l'aluminium et du silicium et des mélanges formant eutectique. Seules les propriétés mécaniques des alliages, surtout au voisinage de l'eutectique, furent soigneusement étudiées, alors que l'étude des autres propriétés physiques, en fonction de la composition, fut négligée, à l'exception de l'analyse thermique.

L'étude présente a été faite au Laboratoire de Métallurgie à l'Ecole Polytechnique de Varsovie et comprend l'analyse thermique, la conductivité électrique, le coefficient de température de la résistance électrique, le pouvoir thermo-électrique, sa variation avec la température, la force électromotrice de dissolution, la dilatation, la dureté ainsi que quelques paramètres dérivant des essais mécaniques.

I. — PROPRIÉTÉS PHYSIQUES.

Pour la préparation des échantillons nous nous sommes servis de l'aluminium à 99,7 % provenant de l'Aluminium Industrie à Neuhausen, d'un alliage intermédiaire à 50 % de silicium avec 1,9 % de fer et de silicium à 97,3 % de pureté fourni par Geo Blackwell à Liverpool. Les impuretés du silicium étaient formées par 1,2 % de fer et 1,5 % d'aluminium.

Les alliages étaient fondus dans un four à cryptol et leur composition exacte déterminée par l'analyse. En ce qui concerne les échantillons destinés

aux mesures physiques, ils furent coulés dans des coquilles en fer de 5 mm. de diamètre. Après une série de mesures sur les alliages bruts de coulée, on les soumettait à un recuit de 50 heures, dans le vide d'une trompe à eau, à 520° suivie d'un lent refroidissement pendant 50 heures jusqu'à la température ordinaire.

Les méthodes de mesures ont été décrites dans les publications précédentes de notre laboratoire (1).

II. — ANALYSE THERMIQUE. — Les principaux points fixés par les nombreuses recherches sur la fusibilité des alliages aluminium-silicium se rapportent à la température et à la composition de l'eutectique ainsi qu'à la composition de la solution solide α , voisine de l'aluminium, à la température du solidus et à la température ordinaire. Le tableau ci-après donne les résultats des principales études à ce sujet.

Lorsque les alliages aluminium-silicium sont raffinés par les sels de sodium, leur courbe de fusibilité devient plus complexe, en rappelant celle d'un alliage ternaire. D'une façon générale, la composition de l'eutectique se déplace de 2 %. Ainsi un alliage à 11,7 % de silicium, montre à l'état brut des cristaux primaires de Si, alors qu'après affinage apparaissent des cristaux primaires d'aluminium sur fond d'eutectique (13). En même temps la structure de l'eutectique change sensiblement et devient très fine, alors que dans les alliages normaux elle est assez grossière. La solution solide du côté du silicium avait fort peu attiré l'attention. En se basant sur les données de Fraenkel on pourrait fixer ses limites aux environs de 2 % d'aluminium. A un résultat semblable arrivent aussi MM. Gwyer et Phillips (1927).

Il apparaît donc que la solution solide riche en aluminium dissout au solidus environ 1,5 % de silicium, mais se dissocie presque entièrement vers

(1) Broniewski et Sliwowski, Revue de Métallurgie, XXV, 312 et 397 (1928).

Broniewski et Hackiewicz, Revue de Métallurgie, XXV, 671 (1928); XXVI, 20 (1929).

Broniewski et Strasburger, Revue de Métallurgie, XXVIII, 19 et 79 (1931).

(1) Wöhler, Ann. Chem. u. Pharm. Lieb., LXXXIX, 266, 1856.

(2) Brevet des Etats-Unis, n° 1.387.900, du 16 août 1921.

Tableau des principales études sur la fusibilité des alliages aluminium-silicium.

Auteurs	Eutectique		Sol. sol. α % de Si	
	t	% de Si en poids	temp. eutect.	temp. ordin.
Fraenkel (1908) (1)	576	10,5	< 1,25	< 0,5
Czochralski (1913) (2)			< 1	
Roberts (1914) (3)	578	10,0	< 0,5	
Rosenhain, Archbutt et Hanson (1921) (4)		10,5	1,5	1,5
Hanson et Gayler (1921) (5)	570	10,5	1,5	1,5
Guillet (1922 et 1924) (6)		13,8	0,7	0,1
Edwards (1923) (7)	577	11,6		
Rassow (1923) (8)		13,8		
Wetzel (1923) (9)			1,0	0,5
Otani (1926) (10)	578	12,2	> 1,47	0,1
Gwyer et Phillips (1926 et 1927) (11)	577	11,7	1,25	0,15
Köster et Müller (1927) (12)			1,6	0,05

- (1) Fraenkel, Zs. anorg. Chem., LVIII, 154 (1908).
- (2) Czochralski, Zs. angew. Chem., XXV, 494 (1913).
- (3) Roberts, J. Chem. Soc., CV, 1383 (1914).
- (4) Rosenhain, Archbutt et Hanson, Eleventh Report to Alloys Research Committee of the Inst. Mech. Eng. (1921).
- (5) Hanson et Gayler, J. Inst. Met., XXVI, 323 (1921).
- (6) Guillet, Revue de Métallurgie, XIX, 303 (1922); C. R., CLXXVIII, 2081 (1924).
- (7) Edwards, Chem. a. Met. Eng., XXVIII, 165 (1923).
- (8) Rassow, Zs. f. Metallkunde, XV, 106 (1923).
- (9) Wetzel, Metallbörse, XIII, 737 (1923).
- (10) Otani, J. Inst. Met., XXXVI, 243 (1926).
- (11) Gwyer et Phillips, J. Inst. Met., XXXVI, 283 (1926); XXXVIII, 29 (1927).
- (12) Köster et Müller, Zs. f. Metallkunde, XXIX, 52 (1927).
- (13) Gwyer et Phillips, J. Inst. Met., XXXVI, 294 (1926), fig. 4 et 5.

200° et que la composition de la solution solide riche en silicium n'avait pas été suffisamment étudiée.

Dans nos recherches, l'analyse thermique avait été faite à l'échauffement par enregistrement photographique à l'aide de l'appareil Le Chatelier-Broniewski. Les échantillons avaient été recuits préalablement pendant 50 heures à 520° et lentement refroidis ensuite.

Les données obtenues sont indiquées au tableau I et sur la figure 1.

Dans sa partie riche en aluminium, notre diagramme montre des points d'arrêt eutectique pour les alliages à 0,66 et 0,90 % atom. de Si, ce qui est dû probablement au fait que le silicium de la solution solide dissociée n'a pas eu le temps de se redissoudre à la vitesse d'échauffement qui était de 8° par minute environ. Par contre, lorsque l'analyse thermique était faite au refroidissement à une vitesse de 3° par minute, les premiers arrêts eutectiques n'étaient visibles qu'à une teneur de

2 % atom. de Si. L'eutectique apparaît sur notre diagramme vers 575° et au voisinage de 11,5 % atom. de Si (11,1 % en poids).

Du côté du silicium on voit le dernier arrêt eutectique se manifester dans l'échantillon à 90,6 % atom. de Si (90,9 en poids) alors que l'échantillon à 96,6 % atom. de Si (96,7 en poids) montre un point singulier à 869°, propre aux solutions solides. La solubilité de l'aluminium dans le silicium apparaît

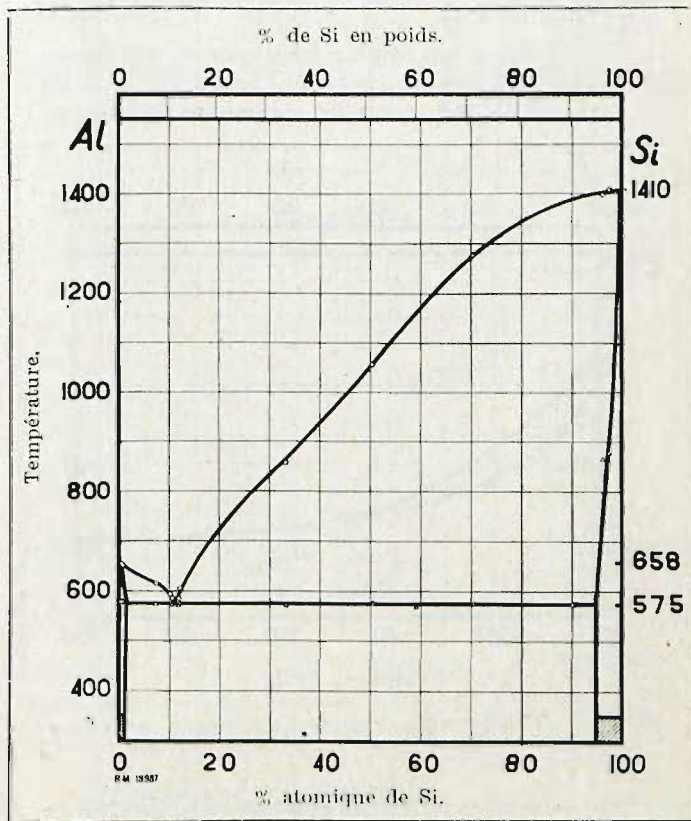


Fig. 1. — Courbe de fusibilité. Les solutions solides sont indiquées par des hachures.

Tableau I. — Analyse thermique.

% de Si		Fusion		% de Si		Fusion	
en poids	atom.	com.	fin	en poids	atom.	com.	fin
0/Al/	0	648	658	34,4	33,6	573	829
0,69	0,66	578	656	51,8	50,9	577	1059
0,94	0,90	578	654	60,6	59,5	570	—
7,91	7,60	575	616	71,7	70,9	575	1280
10,9	10,5	580	505	90,9	90,6	575	—
11,2	10,8	573	586	96,7	96,6	869	1400
12,7	12,2	572	586	97,3	92,2	878	1410
12,9	12,4	575	605				

donc plus grande qu'on ne l'avait signalée jusqu'à présent.

Résistance électrique. — La résistance électrique des alliages aluminium-silicium n'avait été étudiée jusqu'à présent que pour les faibles teneurs en silicium, afin de déterminer la limite de la solution solide du silicium dans l'aluminium à différentes températures.

Ainsi M. Otani étudie la résistance électrique des alliages de 0,35 à 2,10 % de silicium qu'il trempe à 360°, 460° et 550°.

MM. Koester et Müller mesurent la résistance électrique des alliages contenant jusqu'à 1,03 % de Si auxquels ils font subir un traitement thermique.

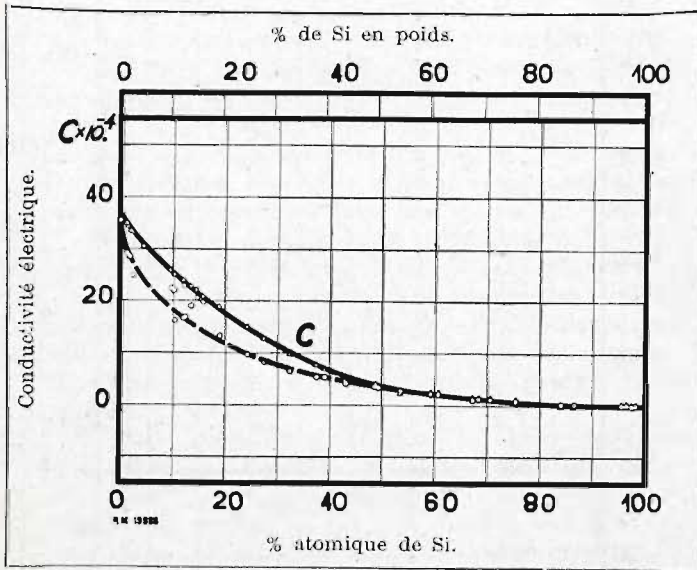


Fig. 2. — Conductivité électrique à 0° pour les alliages bruts (ligne interrompue) et pour les alliages recuits (ligne continue).

MM. Guillet et Ballay (1) étudient ainsi l'influence de la teneur en fer sur la limite de la solution solide à 500° en faisant subir un traitement thermique aux alliages contenant jusqu'à 2,56 % de silicium.

La résistance électrique de nos échantillons était mesurée à 0° et à 100°, ce qui permettait d'établir la conductivité électrique et le coefficient de température de la résistance.

Les résultats sont indiqués sur le tableau II et sur les figures 2 et 3.

Nous voyons sur les diagrammes (fig. 2 et 3) que les courbes correspondant aux alliages recuits passent sensiblement au-dessus de celles pour les alliages bruts, ce qui est dû à la dissociation par le recuit de la solution solide riche en aluminium.

(1) Guillet et Ballay, Revue de Métallurgie, XXVII, 398 (1930).

Les alliages riches en silicium ont une très forte résistance électrique et un coefficient de température négatif. L'alliage à 94 % de silicium a un coefficient de température voisin de 0. Pour le

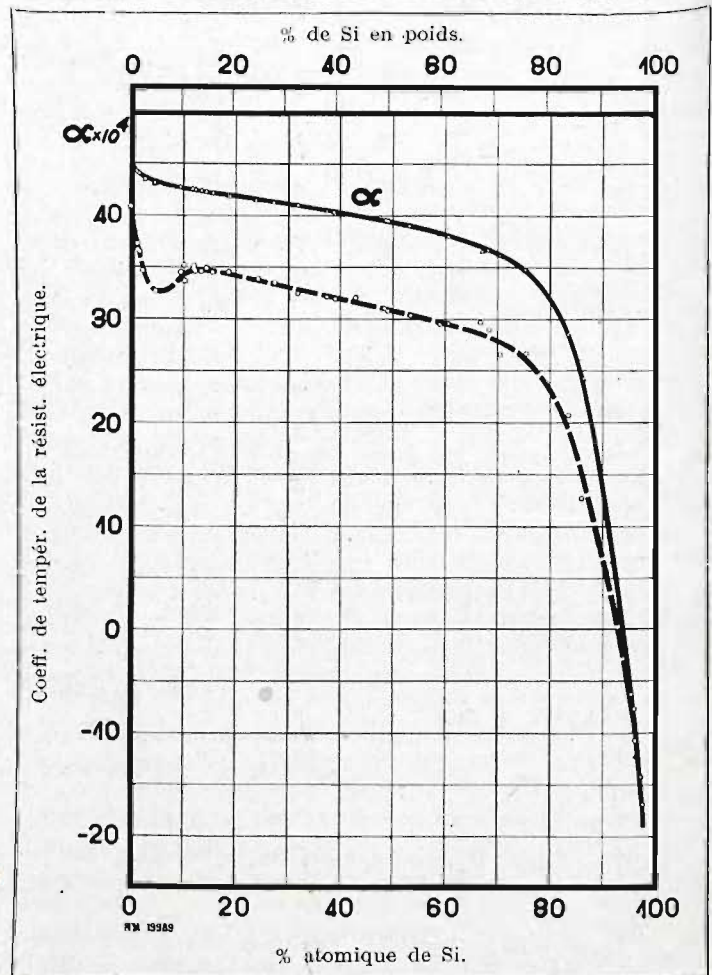


Fig. 3. — Coefficient de température de la résistance électrique entre 0° et 100° pour les alliages bruts (ligne interrompue) et pour les alliages recuits (ligne continue).

silicium qui fut employé nous trouvons une résistance spécifique de 0,127 ohms/cm³ et un coefficient de température $\alpha = 0,00179$, alors que M. Bedel (1) indique pour le silicium à 0,1 % de fer une résistance spécifique de 0,267, et pour le silicium à 1,4 % de fer une résistance spécifique de 0,069

M. Schulze (2) trouve que le coefficient de température négatif du silicium est dû au liant des cristaux et que la résistance électrique d'un cristal unique de silicium augmente avec la température comme pour les métaux.

(1) Bedel, C. R., CLXXXII, 802 (1931).

(2) Schulze, Zs. f. Metallkunde, XXIII, 261 (1931).

Tableau II

C — conductivité électrique à 0° comme inverse de la résistance spécifique en ohms.
 α — coefficient de température de la résistance électrique entre 0° et 100°.

% de Si		C. 10 ⁻⁴		α 10 ⁴	
en poids	atom.	bruts	recuits	bruts	recuits
0/Al/	0	35,43	37,24	40,68	44,65
1,3	1,25	29,06	34,99	37,06	44,26
1,5	1,4	28,84	34,38	36,58	44,18
2,0	1,9	28,46	33,44	36,50	44,04
2,4	2,3	24,87	33,16	34,70	43,80
4,8	4,6	17,53	30,53	32,68	43,30
10,0	9,6	22,34	25,73	34,45	42,70
10,3	10,1	21,97	25,44	35,08	42,61
10,7	10,3	16,17	25,22	33,67	42,55
12,5	12,1	22,96	23,95	34,90	42,46
12,6	12,2	16,56	23,91	35,08	42,42
12,9	12,5	16,83	23,73	34,70	42,30
14,1	13,6	18,97	22,77	34,69	42,26
15,1	14,6	20,62	22,01	34,94	42,21
16,4	15,9	19,59	20,94	34,53	42,12
19,6	19,0	13,35	18,05	34,52	41,77
25,1	24,5	9,577	15,17	33,78	41,48
28,4	27,6	8,352	12,76	33,45	41,22
33,3	32,4	6,626	9,822	32,39	40,82
38,6	37,7	5,428	7,399	32,08	40,39
40,0	39,1	5,279	6,977	31,91	40,30
44,1	43,2	4,016	4,388	32,05	—
49,6	48,6	3,507	4,260	31,00	39,42
50,4	49,4	3,362	3,344	30,68	39,38
54,5	53,6	2,938	2,439	30,26	39,06
60,3	59,4	2,126	2,459	29,27	38,05
61,7	60,8	2,076	2,391	29,49	37,80
68,2	67,4	1,122	1,326	29,65	36,42
69,4	68,6	1,207	1,421	28,82	36,61
71,7	70,9	1,169	1,253	26,50	36,08
76,3	75,6	0,795	0,842	26,68	34,67
84,7	84,2	0,241	0,244	20,71	28,52
87,1	86,6	0,148	0,143	12,36	24,18
95,8	95,7	11,82	12,25	-6,36	-6,82
96,6	96,5	10,05	10,01	-7,59	-9,90
96,8	96,7	9,531	9,473	-10,71	-12,45
97,9	97,8	8,438	—	-14,23	—
97,3	97,2	7,832	7,674	-17,03	-17,88

Pouvoir thermo-électrique. — Les mesures étaient faites entre 0° et 100° et entre 0° et -78°, ce qui permettait de déterminer par rapport au plomb le pouvoir thermo-électrique à 0° (A) et sa variation avec la température (2 B).

Les résultats de ces mesures sont reproduits dans le tableau III et sur la figure 4.

Nous voyons sur le diagramme (fig. 4) le pouvoir thermo-électrique (A) croître jusqu'à 95,7 % atom. de Si et descendre ensuite très rapidement. La même allure est manifestée par la courbe de la variation du pouvoir thermo-électrique (2 B). C'est donc au voisinage de ce maximum qu'il faut fixer la limite de la solution solide de l'aluminium dans le silicium.

Il est intéressant de constater qu'un thermocouple formé par les alliages à 95,7 et 97,2 % atom. de silicium, dont la soudure chaude serait mainte-

nue vers 1.000° et la soudure froide à la température ordinaire, donnerait une force électromotrice

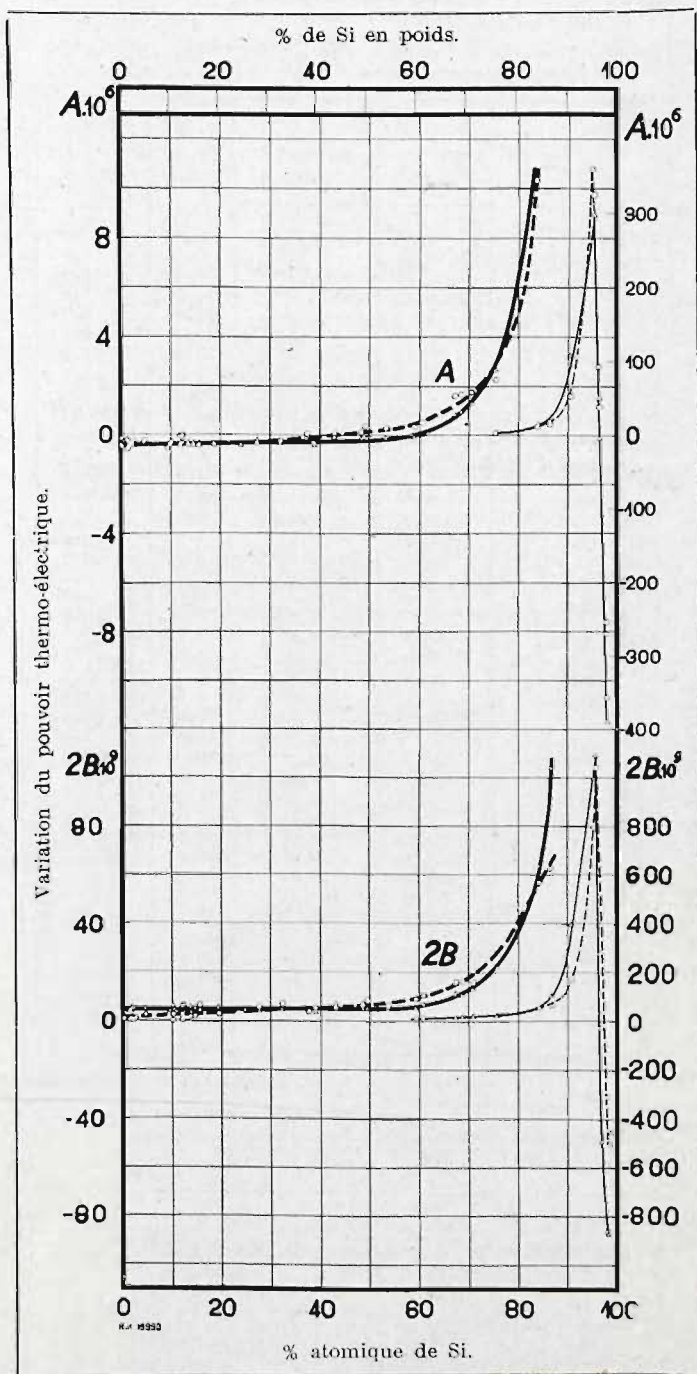


Fig. 4. — Pouvoir thermo-électrique A et sa variation avec la température 2 B. La ligne continue s'applique aux alliages recuits, l'interrompue aux alliages bruts. La partie des courbes correspondant aux alliages riches en silicium est construite à une échelle réduite.

Tableau III

A. — Pouvoir thermo-électrique par rapport au plomb à 0° en volts.
 2 B. — Variation du pouvoir thermo-électrique avec la température entre - 78 et + 100°.

% atom. de Si	A. 10 ⁶		2 B. 10 ²	
	bruts	recuits	bruts	recuits
0/Al/	- 0,48	- 0,16	0,3	2,0
1,25	- 0,62	- 0,26	0,1	3,9
1,4	- 0,57	- 0,31	0,4	4,9
1,9	- 0,45	- 0,38	0,1	3,8
2,3	- 0,27	- 0,42	5,7	4,7
4,6	- 0,25	- 0,34	2,2	4,8
10,0	- 0,59	- 0,40	3,2	3,9
10,1	- 0,38	- 0,43	0,5	5,7
10,3	- 0,37	- 0,37	2,4	4,6
12,1	- 0,45	- 0,35	2,0	6,0
12,2	- 0,07	- 0,36	0,2	6,4
12,5	- 0,06	- 0,37	0,8	5,5
13,6	- 0,44	- 0,40	1,2	5,0
14,6	- 0,38	- 0,40	1,5	4,1
15,9	- 0,49	- 0,44	6,1	5,3
19,0	- 0,42	- 0,41	2,4	4,4
24,4	- 0,43	- 0,29	4,3	4,0
27,6	- 0,35	- 0,36	5,4	3,9
32,4	- 0,28	- 0,29	6,5	4,0
37,7	0,03	- 0,13	3,2	4,7
39,1	- 0,32	- 0,40	5,12	3,5
43,2	0,00	- 0,06	5,09	6,8
48,6	0,08	- 0,16	6,98	5,2
49,4	0,31	- 0,12	8,31	5,0
53,6	0,27	- 0,14	6,27	4,9
59,4	0,33	- 0,09	8,6	5,0
66,8	0,51	0,05	10,3	6,8
67,4	1,60	0,83	15,8	10,1
68,6	1,63	0,95	15,8	10,7
70,9	1,72	1,29	15,6	12,9
75,6	2,24	2,65	21,7	21,8
84,2	10,30	12,03	56,6	63,7
86,6	16,20	18,85	62,7	103
90,9	53,1	107,3	165	396
95,3	359	261	798	991
95,7	325	300	1037	1088
96,5	93,6	38,7	272	273
96,7	38,5	- 4,6	- 3,4	- 49,5
97,8	- 270	- 253	- 311	- 865
97,2	- 356	- 389	- 510	- 877

d'une quinzaine de volts, si les données établies peuvent être extrapolées à cette température.

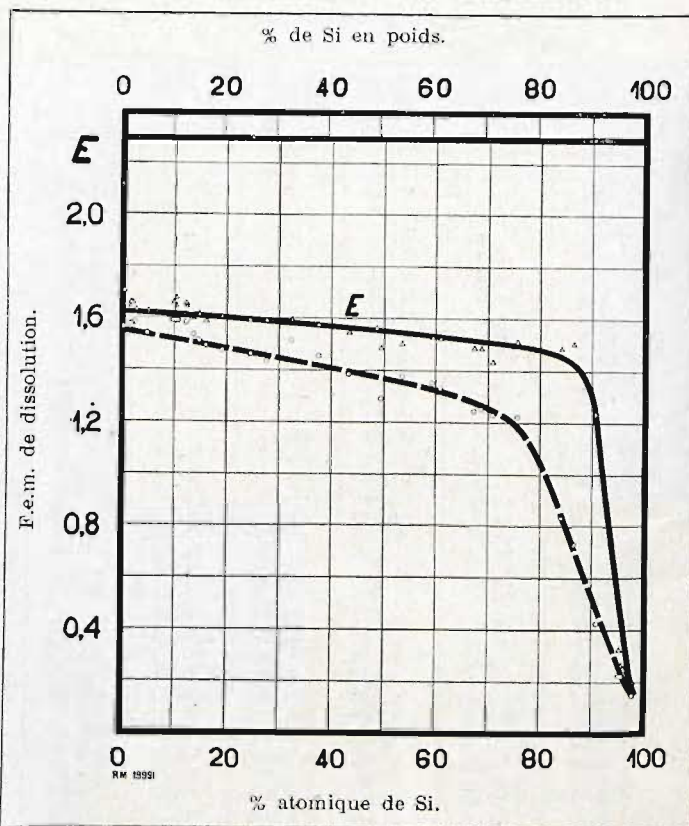


Fig. 5. — Force électro-motrice de dissolution. La ligne continue correspond aux valeurs maxima, l'interrompue aux valeurs minima.

MM. Fischer et Baerwind (1) trouvent pour le silicium cristallisé dans l'aluminium un pouvoir thermo-électrique moyen entre la température am-

(1) Fischer et Baerwind, Zs. anorg. Chem., III C, 56 (1916).

Tableau IV. — Force électromotrice de dissolution en volts.

% atom. de Si	F. e. m.		% atom. de Si	F. e. m.		% atom. de Si	F. e. m.	
	max.	min.		max.	min.		max.	min.
0/Al/	1,705	1,565	14,6	1,618	1,517	60,8	1,521	1,324
1,25	1,648	1,578	15,9	1,589	1,493	67,4	1,487	1,242
1,4	1,655	1,577	19,0	1,605	1,477	68,6	1,478	1,250
1,9	1,655	1,569	24,4	1,593	1,461	70,9	1,434	1,233
2,3	1,631	1,587	27,6	1,589	1,432	75,6	1,515	1,221
4,6	1,628	1,541	32,4	1,594	1,513	84,2	1,487	0,838
9,6	1,660	1,590	37,7	1,578	1,455	86,6	1,506	0,732
10,1	1,678	1,590	39,1	1,572	1,464	90,9	3,238	0,423
10,3	1,648	1,500	43,2	1,549	1,388	95,3	0,327	0,226
12,1	1,655	1,585	48,6	1,561	1,476	95,7	0,264	0,222
12,2	1,648	1,593	49,4	1,481	1,291	96,7	0,233	0,226
12,5	1,640	1,593	53,6	1,505	1,372	97,2	0,263	0,149
13,6	1,601	1,537	59,4	1,529	1,352			

Tableau V. — a—coefficient de dilatation à 0°; 2b—variation du coefficient de dilatation entre —186 et +218°.

% atom. de Si	Coefficient de dilatation		% atom. de Si	Coefficient de dilatation		% atom. de Si	Coefficient de dilatation	
	a. 10 ⁶	2b. 10 ⁹		a. 10 ⁶	2b. 10 ⁹		a. 10 ⁶	2b. 10 ⁹
0/Al/	21,90	29,5	12,2	17,71	2,80	39,1	11,17	2,71
1,25	21,57	28,7	12,5	17,72	2,69	49,4	9,04	1,80
1,4	21,43	30,5	13,6	17,42	2,76	59,4	6,87	1,66
1,9	21,20	28,5	14,6	17,21	2,79	60,8	6,64	1,73
2,3	20,90	29,7	15,9	16,91	2,71	70,9	5,03	1,54
4,6	20,29	29,7	19,0	16,04	2,70	75,6	4,33	1,48
9,6	18,55	28,9	24,4	14,36	2,55	84,2	3,16	1,32
10,1	18,24	28,5	27,6	13,41	2,23	95,7	2,11	0,98
10,3	18,16	28,4	32,4	12,41	2,23	96,7	1,86	0,82
12,1	17,77	28,2	37,7	11,37	2,29	97,2	1,68	0,82

biante et 230° égal à +509,10⁻⁶ volts, alors que le silicium précipité dans l'argent donne dans les mêmes conditions un pouvoir thermo-électrique négatif de -317,10⁻⁶ volts. Les auteurs expliquent ce fait par la présence plus ou moins grande de SiO₂ dans le silicium, alors qu'il paraît probable qu'ils n'ont pas eu affaire à du silicium pur, mais aux solutions solides limites du métal dans le silicium.

Ainsi, en dissolvant l'alliage aluminium-silicium à 50 % de Si dans l'acide chlorhydrique, nous avons pu constater dans les cristaux de silicium séparés une proportion de 2,8 % d'aluminium, alors que MM. Fischer et Baerwind indiquent que les cristaux de silicium qu'ils avaient séparés à chaud de l'aluminium contenaient 0,5 % de ce métal.

FORCE ÉLECTROMOTRICE DE DISSOLUTION.

Les mesures étaient faites sur les alliages recuits formant électrode dans une solution 0,1 normale de NaOH par rapport au charbon dépolarisé par du bioxyde de manganèse. Les résultats sont indiqués sur le tableau IV et sur la figure 5.

Nous voyons sur le diagramme (fig. 5) un abaissement lent des valeurs maxima de la force électromotrice de dissolution jusqu'à 85 % de silicium environ et une chute plus rapide pour les teneurs en silicium plus élevées causée probablement par l'épuisement de l'électrode. Une autre étude, faite dans une solution normale d'azotate d'ammonium, nous a donné une forte dispersion de points rendant difficile la construction des courbes correspondantes.

DILATATION.

MM. Portevin et Chevenard (1) ont étudié la dilatation de huit échantillons d'alliages contenant jusqu'à 25 % de silicium et ont exprimé les résultats par une série d'isothermes.

(1) Portevin et Chevenard, Revue de Métall., XXVII, 434 (1930).

Nos mesures ont porté sur les alliages recuits qui furent étudiés entre la température d'ébullition de la naphthaline et celle de l'air liquide. La température d'ébullition de la naphthaline était déterminée

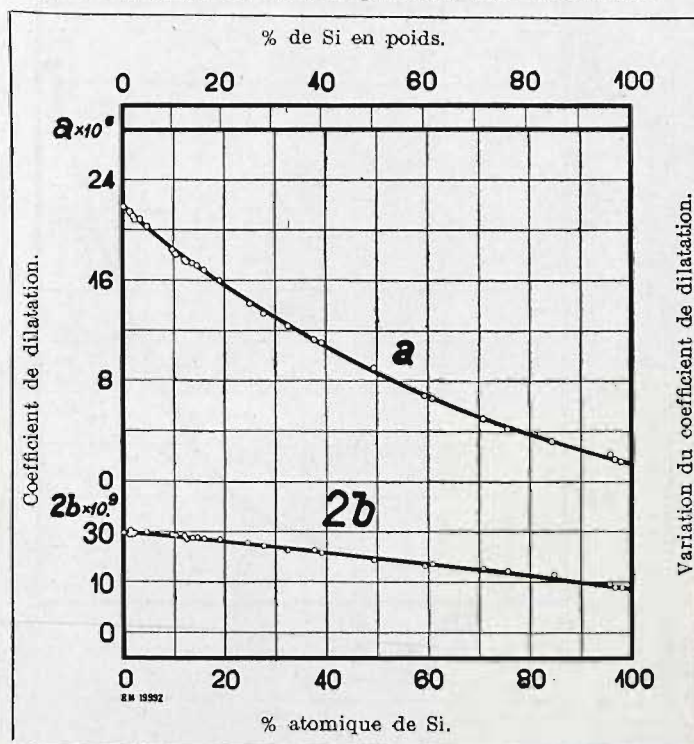


Fig. 6. — Coefficient de dilatation a et sa variation avec la température 2b pour les alliages recuits.

en fonction de la pression barométrique, celle de l'air liquide était mesurée par un thermomètre à résistance électrique. Le coefficient de dilatation est exprimé par la formule a + 2bt, les deux coefficients sont indiqués dans le tableau V et par la figure 6.

Pour la dilatation de notre silicium, nous trou-

vons à 0° le coefficient $1,68 \times 10^{-6}$, alors que MM. Portevin et Chevenard admettent pour le silicium pur un coefficient voisin de 2.10^{-6} . Comme la dilatation du silicium est augmentée par les impuretés, nous croyons qu'à l'état pur sa dilatation est plutôt voisine de $1,5.10^{-6}$.

DURETÉ.

Les mesures de dureté n'avaient été faites d'une façon systématique que sur des alliages affinés dont la composition ne dépassait pas 20 % de silicium.

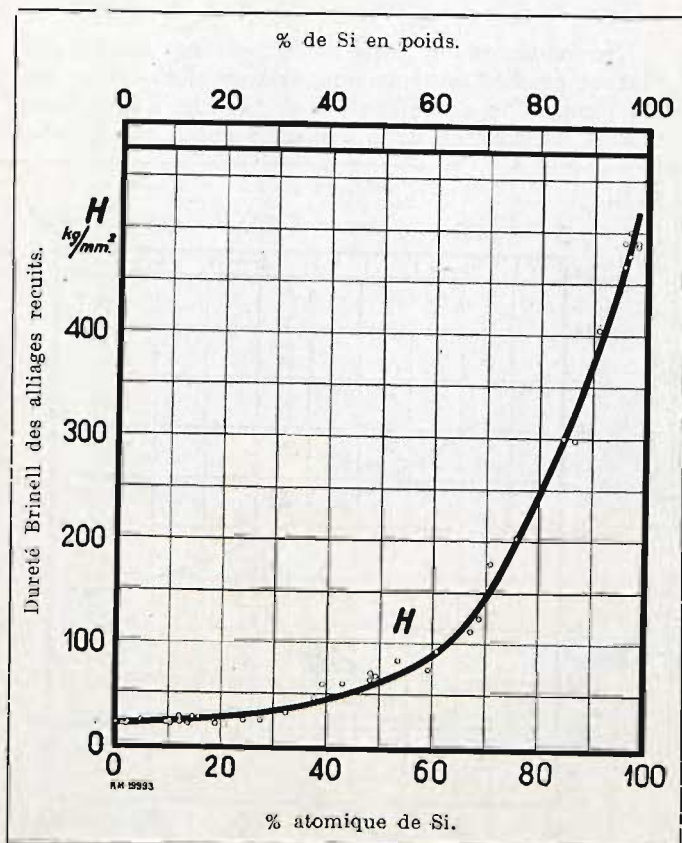


Fig. 7. — Dureté Brinell.

Notre étude se rapporte aux alliages normaux recuits. Une pression uniforme de 62,5 kgs a été appliquée sur une bille de 5 mm. pour les alliages mous riches en aluminium et sur une bille de 3 mm. pour les alliages riches en silicium, lorsque leur dureté avait dépassé 150. La mesure de l'empreinte se faisait au microscope et une correction était faite pour ramener ces nombres aux conditions normales de 500 kgs de pression sur une bille de 10 mm.

Tableau VI. — Dureté Brinell.

% atom. de Si	Dureté	% atom. de Si	Dureté	% atom. de Si	Dureté	% atom. de Si	Dureté
0/Al/	20,3	12,2	21,1	39,1	59,4	75,6	203
1,25	19,8	12,5	21,7	43,2	61,5	84,2	299
1,4	19,9	13,6	19,8	48,6	66,2	86,6	296
1,9	18,3	14,6	26,2	49,4	68,0	90,9	405
2,3	20,3	15,9	25,9	53,6	86,2	95,3	491
4,6	24,3	19,0	19,0	59,4	74,9	95,7	465
9,6	20,3	24,4	24,3	60,8	93,0	96,5	488
10,1	24,3	27,6	23,2	67,4	113	96,7	477
10,3	19,0	32,4	30,8	68,6	124	97,8	486
12,1	25,1	37,7	46,3	70,9	178	97,2	488

Les valeurs obtenues sont indiquées sur le tableau VI et la figure 7.

Nous voyons (fig. 7) que l'ascension de la dureté, en fonction de la composition, s'accroît pour les alliages riches en silicium qui atteignent une dureté comparable à celle des aciers trempés. La grande dureté du silicium ne permet d'envisager l'emploi des alliages aluminium-silicium comme alliages anti-friction (1) que pour des essieux plus durs que le silicium ayant, par exemple, subi une cémentation par l'azote.

MICROGRAPHIE.

La micrographie des alliages recuits voisins de l'eutectique nous montre l'apparition des cristaux primaires de silicium dans l'échantillon à 12,2 % atom. de Si (fig. 9), alors que l'échantillon à 10,3 % de Si (fig. 8) n'en manifeste pas de trace. En ce qui concerne les alliages riches en silicium, l'échantillon à 90,9 % atom. de Si (fig. 10) montre encore des restes d'eutectique, par contre celui de 95,3 % (fig. 11) paraît être formé uniquement par une solution solide avec quelques inclusions d'impuretés pareilles à celles du silicium à 97 % de pureté (fig. 12) qui nous avait servi de matière première. La figure 13 (a à d) montre sur une filiation l'ensemble de la structure des alliages aluminium-silicium. On y voit successivement les dendrites claires de l'aluminium, puis l'eutectique, sur le fond duquel apparaissent ensuite de grands cristaux de silicium de plus en plus nombreux et qui finissent, enfin, par occuper toute la surface.

CONCLUSIONS.

En ce qui concerne la structure des alliages aluminium-silicium n'ayant pas subi d'affinage, nous arrivons dans notre étude aux résultats suivants :

(1) Boehvar, J. Inst. Met., XLIV, 637 (1930).



Fig. 8. — Alliage à 10,3 % atom. de Si après polissage.
Gr.=200.



Fig. 9. — Alliage à 12,2 % atom. de Si après polissage
Gr.=200.

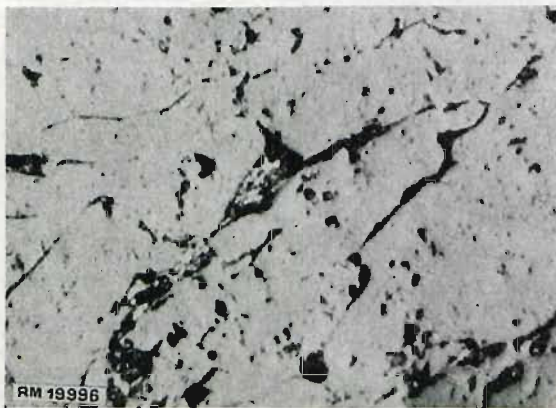


Fig. 10. — Alliage à 90,2 % atom. de Si attaqué par
l'acide fluorhydrique dilué. Gr.=200.



Fig. 11. — Alliage à 95,3 % atom. de Si attaqué par
un mélange dilué d'acides fluorhydrique et azoti-
que. Gr.=150.

SUR LES ALLIAGES

ALUMINIUM-SILICIUM

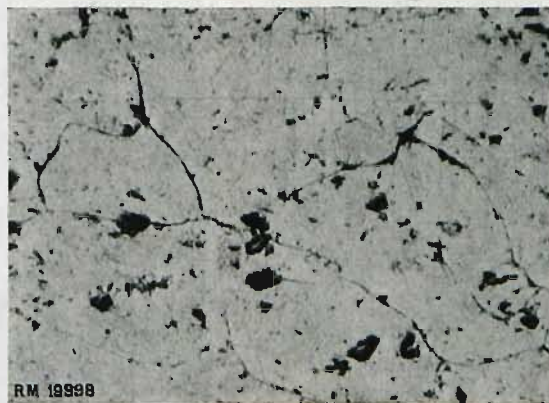


Fig. 12. — Alliage à 97 % atom. de Si attaqué par
un mélange dilué d'acides fluorhydrique et azoti-
que. Gr.=150.

SUR LES ALLIAGES ALUMINIUM-SILICIUM

Aluminium.

Eutectique.



Fig. 13 a.

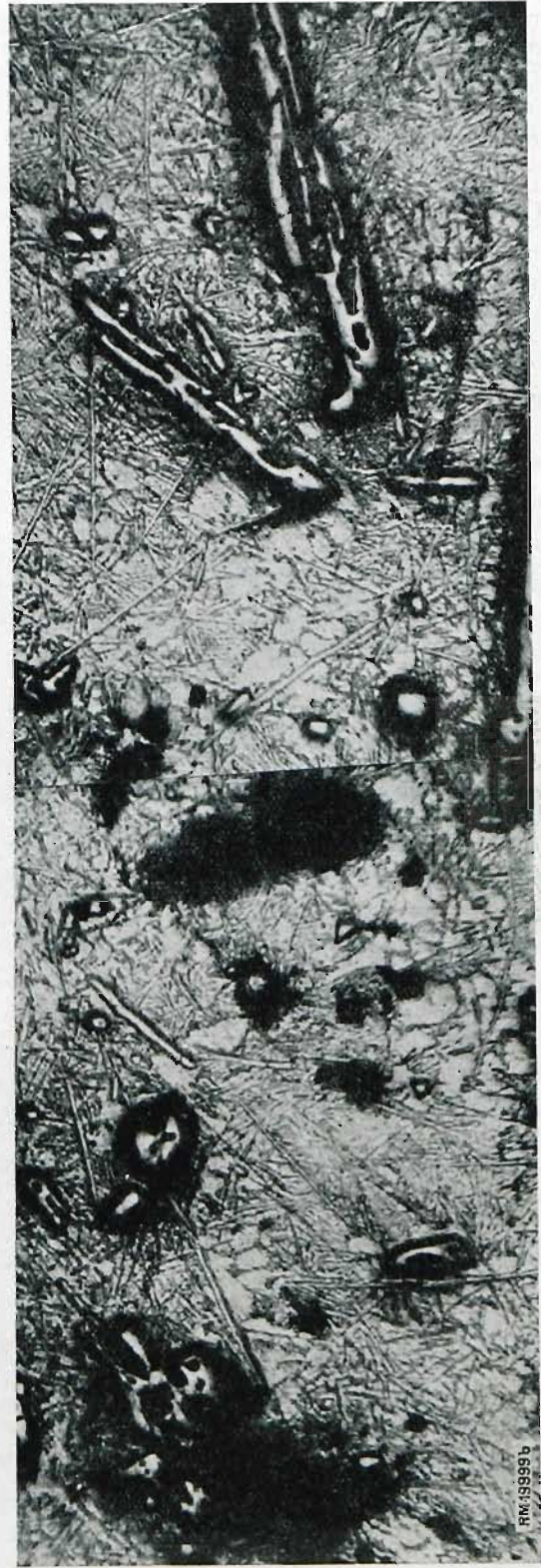


Fig. 13 b.



Fig. 13 c.

Silicium.



Fig. 13 d.

Fig. 13 a à d. — Filiation aluminium-silicium. Gr. = 100. — Des renaissances assez nombreuses (en nombre sur la filiation) sont produites par une contraction inégale des constituants de l'alliage à la solidification.

1. L'eutectique aluminium-silicium a été fixé par l'analyse thermique et la micrographie à 575° et à 11,5 % atom. de Si.

2. La solution solide limite riche en silicium paraît contenir environ 96 % atom. de Si au solidus, comme l'indique l'analyse thermique, le pouvoir thermo-électrique et la micrographie, et 97 % environ à la température ordinaire.

3. Les alliages à 94 % environ de silicium montrent une résistance spécifique de 0,07 ohms/cm² et un coefficient de température voisin de 0. Malgré leur fragilité, ils pourraient être utilisés comme résistances électriques.

4° Un couple thermo-électrique composé d'alliages à 96 et 97 % environ de silicium donne

une force thermoélectrique : $E \cdot 10^6 = 656 t + 0,98 t^2$. Ce couple est des plus forts qu'on connaisse jusqu'à présent.

5° Les alliages hypereutectiques pourraient être employés comme alliages antifriction légers, lorsque les essieux ont une dureté supérieure à 500, acquise, par exemple, au moyen de la cémentation par l'azote.

6. D'une façon générale, nous avons pu constater que les méthodes indirectes, employées à établir la structure des alliages aluminium-silicium, donnent des courbes normales, malgré les propriétés assez singulières du silicium.

(à suivre)

