

Sur la Fluidité des Métaux et des Alliages.

Par

MM. Daikichi Saito et Kénnosuké Hayashi.

(Le 3 Octobre 1923)

I. INTRODUCTION.

Nous avons publié dans notre rapport préliminaire⁽¹⁾ la manière de mesurer la fluidité des métaux et des alliages, ainsi que quelques résultats obtenus. Depuis, nous avons continué la recherche concernant

- 1) l'influence de la pression du métal fondu coulé sur la longueur de l'éprouvette,
- 2) l'influence de la température du métal coulé sur la fluidité du plomb et de l'aluminium,
- 3) l'influence du Phosphore sur la fluidité de la fonte,
- 4) l'influence de l'Étain et du Zinc sur la fluidité du Bronze.

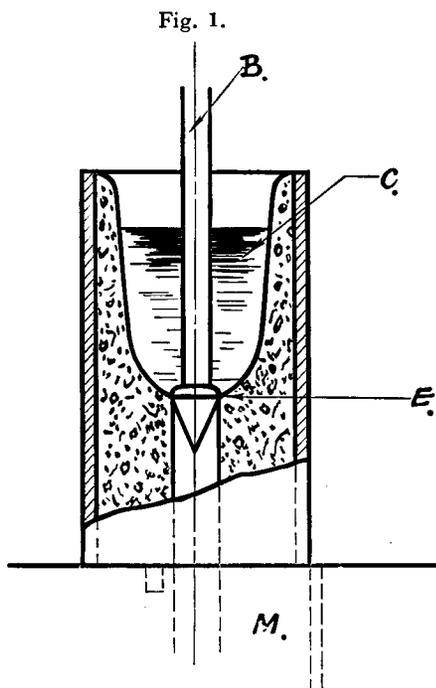
Toutes ces recherches dont les résultats obtenus étaient, à notre avis, assez intéressants, ont été faites à l'Arsenal d'Osaka et n'ont pas été publiées jusqu'à présent. Nous venons les exposer ici un peu tardivement.

Avant d'expliquer les résultats que nous avons obtenus, nous croyons utile de donner quelques conseils pratiques qui n'ont pas été mentionnés

⁽¹⁾ The memoirs of the college of Engineering, Kyoto Imperial University, Vol II, No. 4, p. 83.

dans le rapport antérieur et qui nous paraissent nécessaires pour l'exécution des expériences de notre méthode.

L'opération qui consiste, après avoir versé le métal fondu dans la



poche C (Fig. 1), à le couler dans notre moule sous une pression déterminée, en enlevant le bouchon, est assez délicate en pratique et exige beaucoup d'habileté du maître fondeur pour sa bonne manipulation. Il risque en effet de temps en temps de provoquer, en dehors de la poche, le jaillissement d'une partie du métal qui se trouve parfois en effervescence au moment de l'enlèvement du bouchon. Dans ce cas, la longueur de l'éprouvette est toujours moins longue et son extrémité présente une forme très irrégulière, causée par la formation d'une sorte de double entassement comme l'indique A de la Figure 2, tandis

que celle qui est coulée tranquillement, sans aucune agitation, montre en général l'extrémité arrondie en forme de bout de langue comme l'indique B de la Figure 2. Il va sans dire que l'on ne peut pas compter sur les résultats ainsi obtenus. Les éprouvettes de bronze et de laiton, indiquées dans notre rapport préliminaire,⁽¹⁾ et présentant des extrémités irrégulières, étaient un peu plus courtes qu'en coulée normale, et les résultats sont un peu trop faibles.

En outre, quand on a rempli la poche C avec le métal fondu, il faut prendre beaucoup de précautions afin que le métal ne s'infilte pas dans le moule à travers la surface de contact E (Fig. 1) du bouchon et

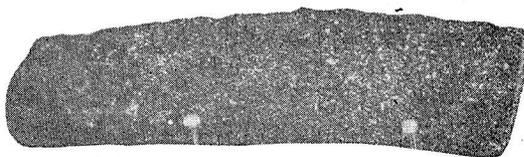
⁽¹⁾ The memoirs of college of Engineering, Kyoto Imperial University, Vol II. No. 4, p 91.

de la paroi avant que le bouchon se soit enlevé.

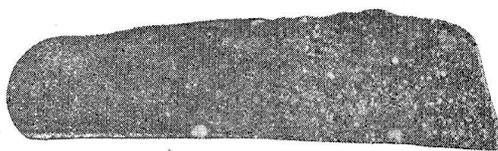
Dans notre première expérience, nous avons compté la longueur de l'éprouvette avec une approximation de l'ordre du millimètre. Cependant au cours de nos nombreuses expériences, nous nous sommes aperçus qu'avec notre méthode, il est indispensable d'admettre quelques erreurs de l'ordre du millimètre ; de sorte que nous n'avons compté cette fois qu'avec une approximation de l'ordre du centimètre.

Fig. 2.

A



B



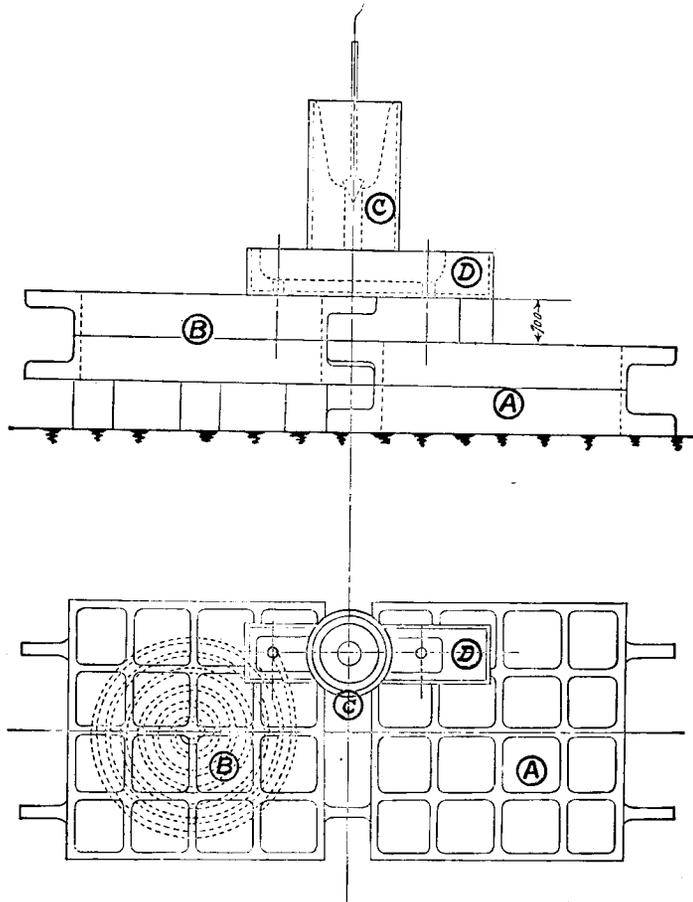
II. SUR LA FLUIDITÉ DU MÉTAL EN FONCTION DE LA PRESSION.

D'après notre méthode, la pression du métal coulé, c'est-à-dire, la hauteur de la surface du métal fondu dans la poche joue un rôle très importante pour obtenir une longue éprouvette. En pratique, cette pression a aussi une très grande importance pour obtenir un bon moulage et nous ne pouvons pas rester indifférents à ce phénomène.

Pour le démontrer d'une façon frappante, nous avons essayé de couler la fonte fondue dans des moules identiques avec des pressions différentes. Voici le dispositif que nous avons adopté.

Dans la figure 3, A et B sont deux moules identiques placés horizontalement, dont l'un B est situé 100 m/m. plus haut que A. Au dessus du trou de coulé des moules, un canal D est disposé horizontalement, et la poche C débouche juste au milieu de ce canal. De cette façon, après avoir enlevé le bouchon, le métal fondu s'écoule en même temps dans chacun des deux moules avec une pression différente, et très sensiblement à la même température. La figure 4 représente ces résultats : A dont la

Fig. 3.

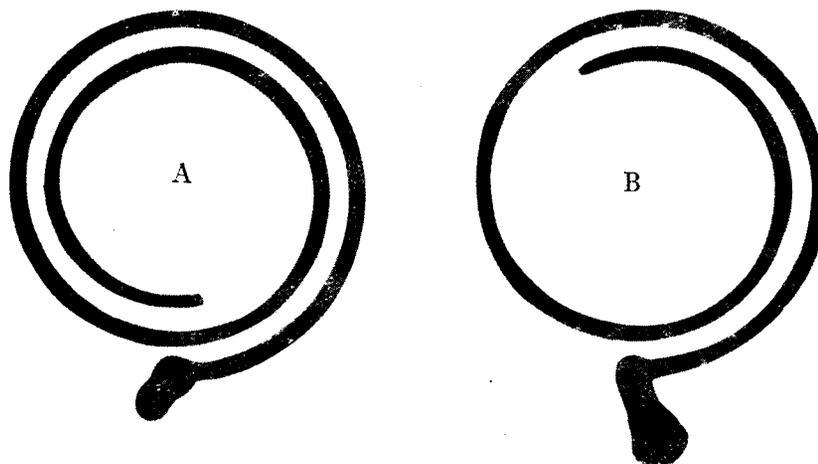


longueur est 2490 m/m a été coulée avec une surface libre de métal en fusion à un niveau de 100 m/m plus élevé que celui de B dont la longueur est 2010 m/m. Ces résultats nous indiquent que la différence de 100 m/m de la hauteur de la colonne du métal fondu correspondrait à une différence de 480 m/m de la longueur de l'éprouvette.

On ne pourrait cependant pas appliquer ce raisonnement à tous les cas ; car, si la différence de la hauteur était trop grande, la température du métal fondu au fond de l'orifice de coulée n'étant pas pareille, il se produirait des cas où la longueur de l'éprouvette ne serait plus proportionnelle à la hauteur de la colonne du métal. Mais, on peut toujours dire

que, toutes choses égales d'ailleurs, plus grande est la pression, plus longue est l'éprouvette.

Fig. 4.



III. FLUIDITÉ DU PLOMB ET DE L'ALUMINIUM EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE.

Nous avons appliqué notre méthode pour avoir une idée de l'influence de la température sur la fluidité du plomb et du l'Aluminium.

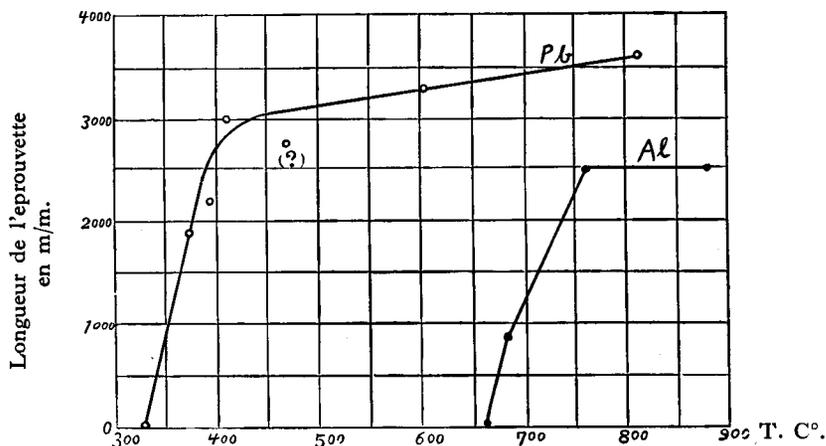
Les résultats obtenus sont les suivants :

Plomb		Aluminium	
température de coulée oC	longueur de l'éprouvette m/m	température de coulée oC	longueur de l'éprouvette m/m
330	0	660	0
370	1900	680	900
390	2200	740	2100
410	3000	760	2500
470 [§]	2700	880	2500
600	3300		
810	3600		

§— Il nous semble qu'il y ait eu un échappement du métal avant que le bouchon ne soit enlevé.

D'où, nous avons eu les courbes représentées dans la figure 5, prenant la température en abscisse et la longueur de l'éprouvette en ordonnée.

Fig. 5.



Il est très intéressant de noter que les diagrammes sont en forme concave du côté de l'abscisse et que la fluidité monte rapidement jusqu'à une température qui est à peu près 100 °C au dessus du point de fusion. A partir de ce point elle n'augmente plus que très lentement. Examinons maintenant de plus près chacun des diagrammes.

Le Plomb :— La fluidité s'élève très rapidement jusqu'à 400 °C, presque suivant une ligne droite ; après, elle ne monte que très lentement. Il y a cependant un anomalie à 470 °C qui, d'après la forme de l'extrémité de l'éprouvette, vient très probablement, croyons nous, de la manipulation défectueuse.

L'Aluminium :— La fluidité monte subitement jusqu'à 750 °C et après, elle ne varie plus jusqu'à 880 °C.

Tous ces résultats coïncident très sensiblement avec les avis des maîtres fondeurs concernant la température de coulée : " Couler les métaux à une température qui soit à peu près 100 °C au dessus du point de fusion ".

Il est aussi intéressant de remarquer que la proportion de l'augmentation de la fluidité du métal s'abaisse à partir d'un certain point à mesure que la température s'élève. Est-ce que cela vient de l'oxydation du métal par le surchauffage ? Nous croyons qu'il serait utile d'en préciser la cause.

IV. INFLUENCE DE PHOSPHORE SUR LA FLUIDITÉ DE AL FONTE.

Nous connaissons empiriquement l'influence de phosphore sur la fluidité de la fonte. Le phosphore augmente la fluidité de la fonte et nous préférons de la fonte très phosphoreuse quand il s'agit de moulages délicats, minces qui ont la forme très complexe et qui n'exigent pas une grande résistance. Cependant, les moulages de fonte très phosphoreuse sont très fragiles de sorte que l'on évite en général de dépasser 0,3 % de phosphore pour les moulages de bonne qualité. Si la proportion est plus forte, on considère que la résilience du métal ne sera pas suffisante pour les moulages des appareils mécaniques.

Mais, nous ignorons numériquement quelle est l'influence du phosphore sur la fluidité du métal ; c'est ce que nous avons essayé de déterminer.

Prenant comme base de la fonte Pen-Chi-Fu, nous avons ajouté petit à petit le phosphore sous forme de fonte phosphoreuse en cinq proportions ; savoir : 0.1 %, 0.5 %, 1.0 %, 2.0 %, 3.0 %.

La fonte Pen-Chi-Fu, employée dans notre première expérience, avait beaucoup de Silicium (2.76 %), mais ne pouvant plus trouver le même matériel, nous avons employé d'autres lots de Pen-Chi-Fu qui étaient beaucoup moins riches en Silicium.

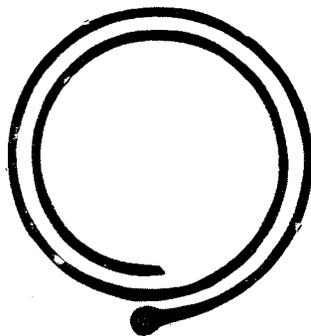
Les résultats obtenus sont les suivants :

No.	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5
Longueur de l'éprouvette m/m	2500	2740	3050	3210	3420
Température de coulée C	1310	1290	1300	1280	1290
Température de moule C	28	36	38	39	38
G.C	3.126	3.270	2.486	2.848	2.794
C.C	0.159	0.042	0.047	0.207	0.371
T.C	3.285	3.312	2.957	3.055	3.165
Si	1.416	1.651	1.750	1.467	1.752
P	0.072	0.511	1.254	1.824	2.751
S	0.032	0.029	0.075	0.045	0.062
Mn	0.359	0.347	0.347	0.347	0.280
Cu	0.042	0.055	0.030	0.027	0.040

La figure 6 représente les photographies des pièces coulées.

Fig 6.

No. 1.



No. 2.

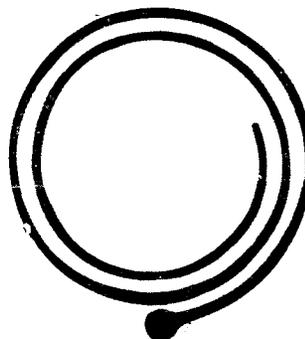
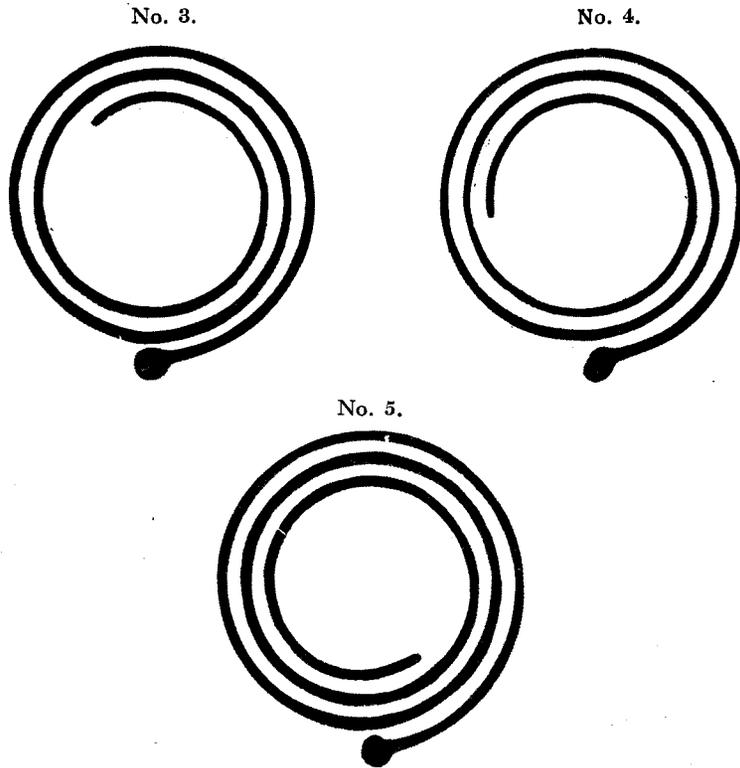


Fig 6.



Il ne serait pas rationnel de dessiner une courbe d'après les résultats d'expériences dans lesquelles les température de moule et de coulée ne sont pas tout à fait les mêmes dans tous les cas ; puisque cette différence n'est cependant pas très grande, nous avons essayé de tracer la courbe de la

Fig. 7.

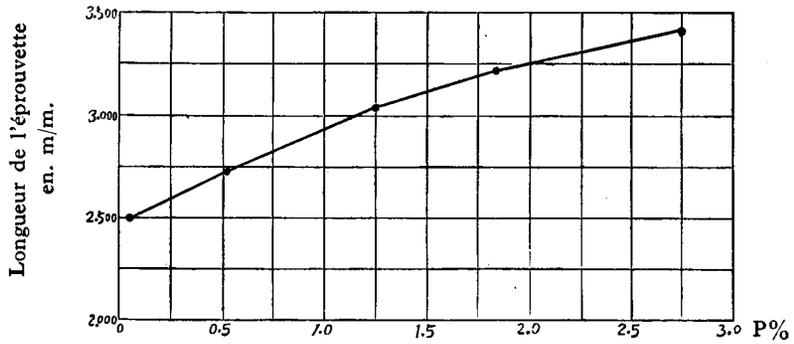


figure 7 représentant en abscisse la teneur en phosphore et en ordonnée la longueur de l'éprouvette. Examinons maintenant minutieusement la composition du métal, la température du moule et du métal coulé et cherchons la relation entre eux.

Prenons No. 1 de 0.07 % P comme base,

- No. 2:— Température du métal coulé inférieure de 20 °C ; donc ce point doit être un peu plus élevé que si la fonte était coulée à la même température que celle de No. 1.
- No. 3:— Moins de carbone total, un peu plus de Si, température de coulée 10 °C inférieure à la température de coulée du No. 1 ; donc ce point aussi doit être un peu élevé.
- No. 4:— Moins de carbone, température de coulée inférieure de 30 °C ; donc ce point doit être aussi un peu élevé.
- No. 5:— Un peu moins de carbone, un peu plus de Si, température de coulée inférieure de 20 °C ; donc ce point doit être aussi un peu élevé.

Si nous tenons compte des ces remarques, nous pouvons conclure que la fluidité de la fonte s'élève presque suivant une ligne droite au fûr et à mesure que la teneur au phosphore augmente ; ceci est exact pour des teneurs en phosphore au dessous de 3 % de phosphore et pour une longueur d'éprouvette de 45 m/m correspondant à 0,1 % de phosphore.

La fonte " Kamaishi " avait 2440 m/m à 1290 °C⁽¹⁾. Pour en pousser jusqu'à 3000 m/m de longueur par exemple, il faudrait y ajouter 1,2 % de phosphore. Voici le résultat obtenu, 1,2 % de P sous forme de fonte phosphoreuse, dans la fonte " Kamaishi ".

	T.C	Si	P	S	Mn	Cu
A) ⁽²⁾	2,91	3,89	0,197	0,058	1,34	0,36
B)	2,728	3,298	1,202	0,115	0,429 [§]	0,302
Longueur de l'éprouvette	m/m		température de coulée		température de moule C	
			C			
A) ⁽²⁾	2440		1300		38	
B)	2980		1310		40	

⁽¹⁾ The memoirs of the college of Engineering, Kyoto Imperial University, Vol II, No. 4, P. 94.

⁽²⁾ Ditto. P. 94.

§—Il faut noter qu'il y a une grande différence de la teneur de Mn dans les deux cas.

Cette expérience confirme avec suffisamment de netteté nos résultats.

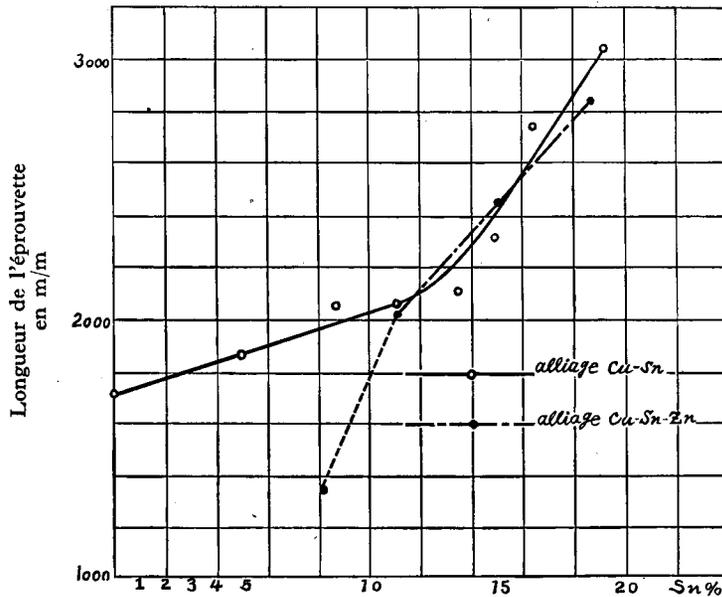
V. INFLUENCE DE L'ETAIN SUR LA FLUIDITÉ DU CUIVRE.
(FLUIDITÉ DU BRONZE)

Voici les résultats obtenus :

Composition		Température de moule °C	Température de coulée °C	Longueur de l'éprouvette m/m
Cu %	Sn %			
95,10	4,81	35	1140	1890
91,23	8,65	38	1130	2070
88,89	11,03	35	1120	2070
86,30	13,51	40	1130	2120
84,35	14,78	43	1150	2330
83,21	16,26	41	1150	2760
80,77	19,92	38	1150	3060

De là, nous avons eu la courbe de figure 8.

Fig. 8.



On voit que la fluidité de bronze n'augmente que très lentement jusqu'à peu près 11 % d'Étain et après elle monte très rapidement, ayant la forme convexe du côté de l'abscisse, contrairement à la courbe figurant l'influence du phosphore sur la fluidité de la fonte.

Si l'on y ajoute 2 % du zinc, quelle est la variation de la fluidité du bronze ? Voici nos résultats :

Composition			Température de moule °C	Température de coulé °C	Longueur de l'éprouvette m/m
Cu %	Sn %	Zn %			
89,52	8,19	2,19	46	1120	1360 [§]
86,71	11,29	1,94	45	1150	2030
83,16	15,01	1,81	35	1140	2470
79,29	18,68	1,46	37	1140	2880

§—Il nous semble qu'il y a eu échappement du métal avant la coulée.

Le zinc n'augmenterait pas, contrairement à ce que nous croyions, la fluidité du bronze. Est ce que vraiment le zinc n'améliore pas la fluidité du bronze ? Nous pensons utile de renouveler les essais pour les préciser.

VI. CONCLUSION.

Si nous prenions la longueur de l'éprouvette de l'aluminium à 100°C au dessus de son point de fusion, c'est-à-dire 2500 m/m comme étalonnant la base de la fluidité des métaux et si nous lui donnions le chiffre 100 au lieu de 2500, les chiffres caractéristiques de la fluidité des métaux et des alliages seraient les suivants :

Nom	Longueur de l'éprouvette m/m	Chiffre de la fluidité.
Pb à 370 °C	1900	76
" 390 °C	2200	88
" 410 °C	3000	120
" 600 °C	3300	132
" 810 °C	3600	144
Zn à 480 °C	2970	119
Sn à 250 °C	3070	128
Sb à 650 °C	1880	75
Al à 680 °C	900	40
" 740 °C	2100	84
" 760 °C	2500	100
" 880 °C	2500	100
Cu à 1150 °C	1720	69
Bronze (4,8%Sn) à 1140 °C	1890	76
" (8,7%Sn) à 1130 °C	2070	80
" (11%Sn) à 1120 °C	2070	80
" (13,5%Sn) à 1130 °C	2120	85
" (14,8%Sn) à 1150 °C	2330	93
" (16,3%Sn) à 1150 °C	2760	110
" (19,9%Sn) à 1150 °C	3060	122
Fonte (Kamaishi No. 3) à 1300 °C	2440	98
" (" , avec 1,2%P) à 1310 °C	2980	119
" (Red car) à 1320 °C	3250	130
" (Pen-chi-fu) à 1290 °C	2820	113
" " 0,07%P à 1310 °C	2500	100
" " 0,5%P à 1290 °C	2740	110
" " 1,3%P à 1300 °C	3050	122
" " 1,8%P à 1280 °C	3210	128
" " 2,8%P à 1290 °C	3420	137
" (blanche) à 1255 °C	433	17
Acier au creuset à 1600 °C	1140	46

A l'aide de ces chiffres de la fluidité, nous croyons pouvoir comparer d'une façon à peu près nette la fluidité des métaux et des alliages.

Dans le domaine de la fluidité des métaux, il'y a encore de nombreux points qu'il serait très intéressant de préciser, tels que l'influence du

silicim, du manganèse et du soufre sur la fluidité de la fonte. Les points que nous avons essayé de préciser jusqu'à présent n'en sont qu'une partie. Nous espérons avoir l'occasion de continuer ces études.