

Etude hydrodynamique du soufflage du bain au convertisseur Thomas

Hydrodynamic investigations on the blowing operation in Thomas converters

PAR R. DURAND & G. COHEN DE LARA

INGÉNIEURS AUX ÉTABLISSEMENTS NEYRPIC

English synopsis, p. 812.

L'allure du soufflage au convertisseur Thomas est limitée par l'apparition du phénomène des projections. Elles se produisent lorsque le débit d'air insufflé dans la cornue dépasse une certaine valeur. Elles peuvent être très importantes et nécessiter l'arrêt provisoire de l'opération du soufflage. Des essais effectués à Homécourt par M. MALCOR montraient que le phénomène se pro-

duit particulièrement au cours de la première moitié de la période de décarburation lorsque le tiers du volume de vent nécessaire a déjà été insufflé. Les courbes de débit de vent admissible (fig. 1) présentent alors un minimum qui varie avec la teneur initiale de la fonte en silicium.

L'Institut de Recherches de la Sidérurgie Française nous a demandé en 1948 d'examiner l'aspect hydrodynamique du problème.

L'observation des mouvements du bain à l'intérieur du convertisseur est particulièrement difficile. Les étincelles, continuellement entraînées par l'air soufflé, ne permettent pas d'examiner de très près le bain à son niveau normal. On peut seulement distinguer des lames de métal en fusion qui viennent déferler sur la surface du garnissage intérieur de la cornue, à la façon de la houle sur une jetée verticale. Au cours d'une première visite en usine, nous avons pu constater que ces déferlements avaient une période voisine de deux secondes, ainsi que les grondements et les bouffées d'étincelles qui se produisent en période de décarburation. L'existence d'une telle périodicité pouvait donc laisser croire que les projections n'étaient pas liées uniquement à des phénomènes chimiques, mais bien à des mouvements du bain provenant d'une instabilité.

Nous avons d'abord réalisé un modèle schématique à l'échelle du dixième (photo 1) en respectant uniquement la similitude géométrique et en utilisant l'eau comme fluide à la place de la fonte liquide. Nous avons pu observer, pour des débits

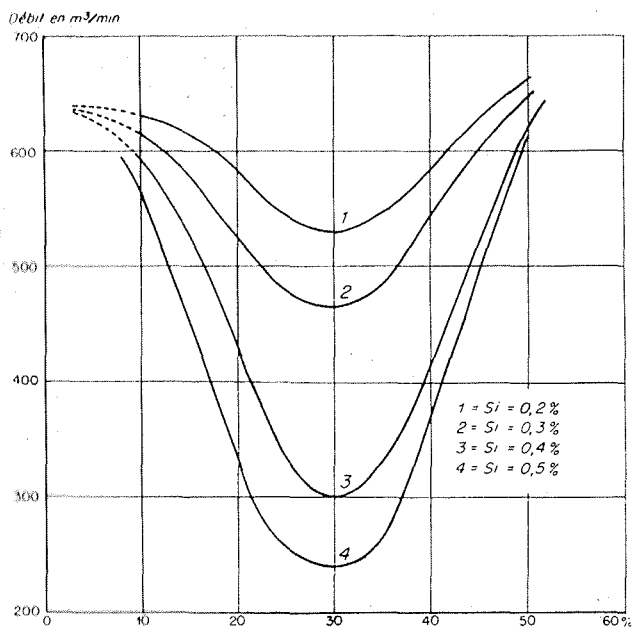


FIG. 1. — Variation du débit limite en fonction de la quantité totale de vent nécessaire.

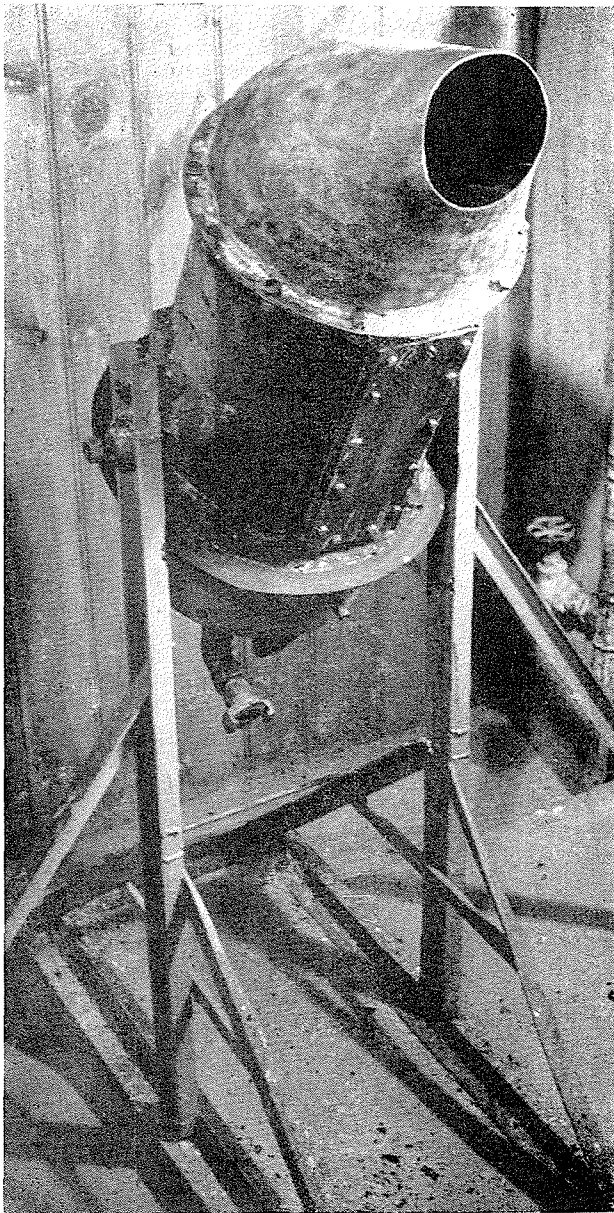


PHOTO N° 1. — MODÈLE AU 1/10°.

d'air insufflés croissants, les phénomènes suivants : aux faibles débits, un bouillonnement apparaît au-dessus de la zone de soufflage, au voisinage de l'axe autour duquel sont concentrées les tuyères de distribution de vent. Le bain émulsionné par l'air se gonfle avec formation d'une intumescence centrale de plus en plus marquée (fig. 2). Pour une certaine valeur du débit, que nous avons appelée débit critique, cette intumescence se met à osciller, puis à tourner en se rapprochant des parois. L'amplitude du mouvement s'accroît avec le débit d'air et la lame d'eau mobile finit par s'élever jusqu'au niveau du bec du convertisseur. Il y a alors projection

d'eau hors de l'appareil. Le débit d'air est dit « limite ». La période de rotation du jet et la période de deux secondes observée sur convertisseur grandeur sont entre elles dans un rapport égal à la racine carrée de l'échelle géométrique.

De même, si nous considérons un jet d'eau vertical débitant au centre d'un bassin circulaire plein d'eau, on observe en surface, aux faibles débits, une intumescence stable (fig. 3). Si l'on augmente progressivement le débit, la hauteur de l'intumescence s'accroît et, au-delà d'un débit cri-

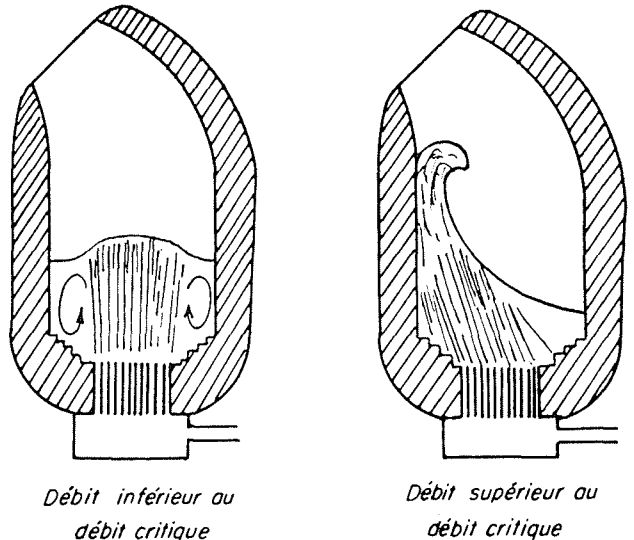
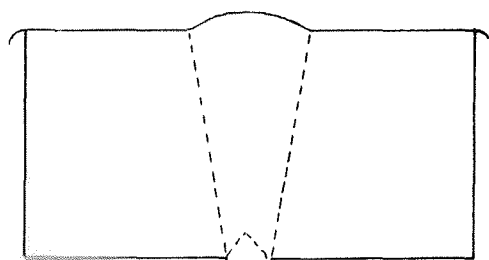


FIG. 2.

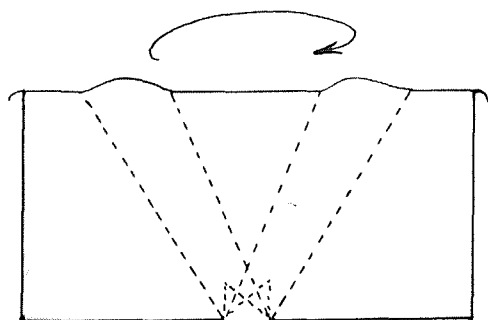
tique, le jet se met à battre, puis à tourner, entraînant la rotation de l'eau du bassin. L'amplitude du phénomène va croissant, passe par un maximum et, pour les forts débits, l'instabilité disparaît et le jet « crève » la surface libre. Des essais nous ont montré que la vitesse critique du jet était proportionnelle à la hauteur de l'eau dans le bassin. Il semble qu'il y ait résonance entre les périodes propres d'oscillation de ce dernier et une période associée au jet et variable avec sa vitesse. Si nous remplaçons le jet d'eau par un jet d'air, le phénomène se conserve. Dans le convertisseur, l'ensemble des jets sortant des tuyères se comporte comme un jet global unique. Comme les tuyères sont habituellement rassemblées au centre du fond du convertisseur (voir fig. 2), ce jet global peut osciller librement à l'intérieur de la cornue; les instabilités disparaîtraient évidemment si l'on distribuait les tuyères uniformément sur le fond.

Le modèle réduit permet ainsi d'expliquer la cause du phénomène des projections et, par suite, d'étudier les modifications éventuelles de formes à donner aux convertisseurs pour améliorer les conditions de soufflage.

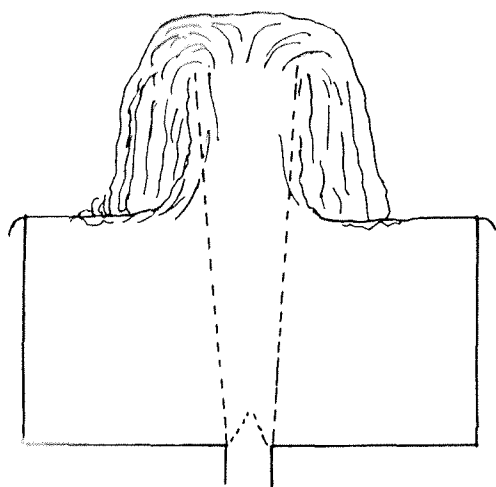
Un modèle à plus grande échelle (1/7,5) a été



Intumescence stable aux faibles vitesses.



Jet tournant.



Le jet « crève » aux grandes vitesses.

FIG. 3. — Instabilité d'un jet d'eau dans un bassin circulaire.

réalisé pour permettre une représentation plus exacte (photo 2). La chaux, ajoutée à la fonte à raison de 40 % en volume environ, a été schématisée par le liège, de façon à garder vis-à-vis de l'eau le même rapport des masses spécifiques qu'entre la chaux et la fonte liquide. La présence de cette chaux joue, dans une certaine mesure, un rôle d'amortisseur des oscillations en masse du bain.

Nous avons pu étudier l'influence de l'usure du garnissage (fig. 4), de la répartition, du nombre et du diamètre des tuyères. Nous ne nous étendrons pas, ici, sur les résultats pratiques obtenus. On peut dire que l'on a intérêt à distribuer aussi uniformément que possible les tuyères sur le fond, pour augmenter la valeur du débit critique d'apparition des oscillations, et, par suite, le débit limite d'apparition des projections, car ces deux débits caractéristiques varient parallèlement, toutes choses égales d'ailleurs. Mais il faut également tenir compte de la hauteur de la cornue, du diamètre du bec et des formes de

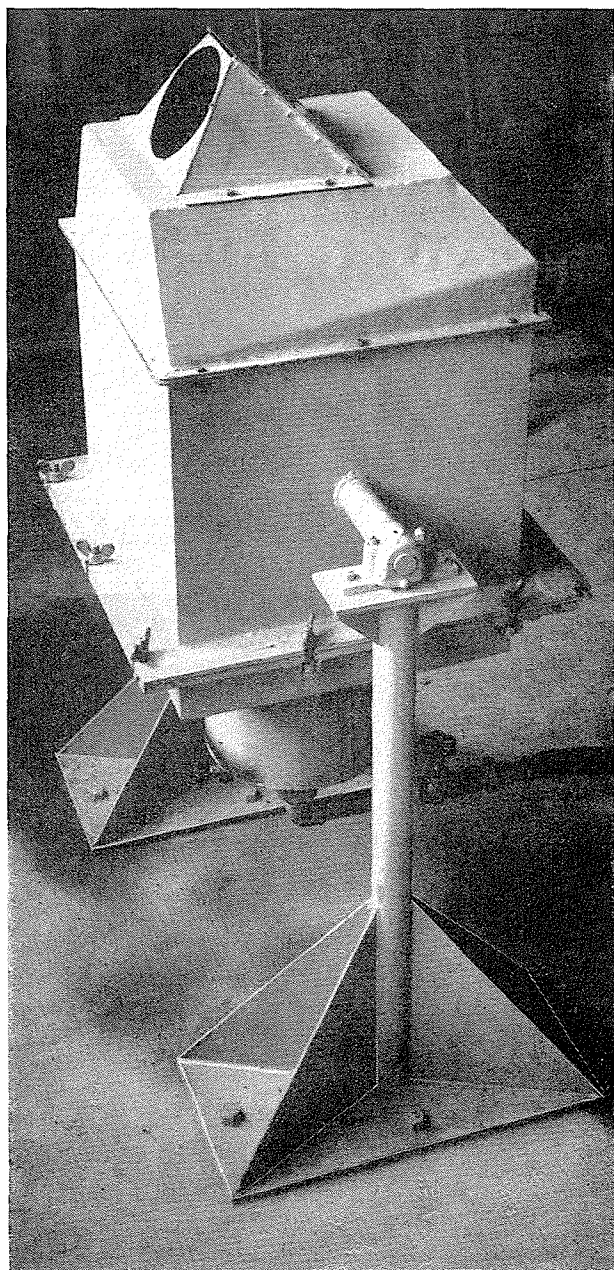


PHOTO N° 2. — MODÈLE AU 1/7,5°.



PHOTO N° 3. — VUE INTÉRIEURE DU CONVERTISSEUR RABATTU.
On aperçoit le liège schématisant la chaux et un fond spécial dépourvu de tuyère au centre.

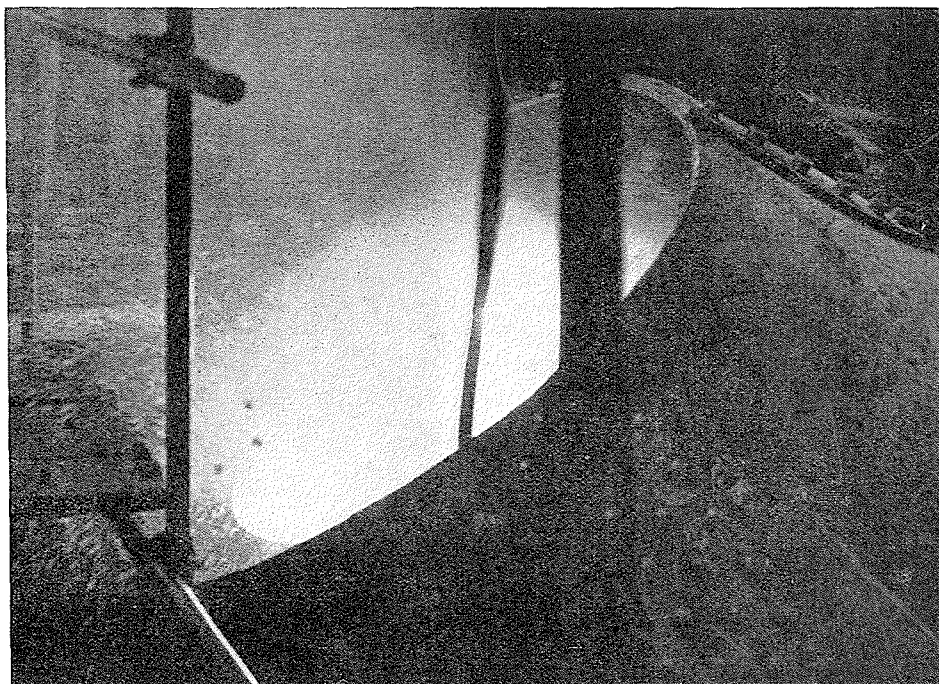


PHOTO N° 4. — VUE EXTÉRIEURE EN COURS DE SOUFFLAGE.

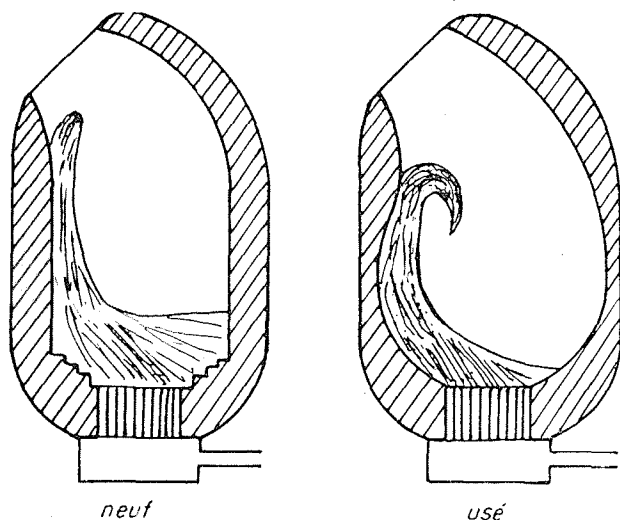


Fig. 4. — Influence schématique de l'usure du garnissage.

garnissage latéral, qui tendent, plus ou moins, à rabattre vers le fond les lames créées par les oscillations en masse.

On peut aussi expliquer le fait bien connu en aciérie qu'un convertisseur usé en fin de campagne projette moins qu'un convertisseur dont le garnissage est neuf. Les formes évoluent comme l'indique la figure 4. Le débit critique est plus faible lorsque le convertisseur est usé, mais la forme en surplomb du haut du garnissage tend alors à rabattre les lames. Le débit limite d'apparition des projections s'en trouve finalement augmenté, malgré l'instabilité plus grande du bain. Il n'en reste pas moins que l'on a intérêt à répartir le plus uniformément possible les tuyères sur le fond du convertisseur neuf. De l'amélioration du soufflage avec l'usure, les aciéristes allemands avaient, au contraire, déduit à tort qu'il valait mieux concentrer les tuyères au centre.

Etude de la similitude du phénomène.

On peut distinguer une similitude géométrique et une similitude de fluide.

L'influence de l'échelle géométrique a pu être étudiée complètement en utilisant l'eau comme fluide. Des essais complémentaires ont été effectués sur modèle à l'échelle de 1/5,2 et à l'échelle grandeur, sur un convertisseur de l'usine de Mondeville, près de Caen (photos 3 et 4). Non seulement l'aspect du phénomène reste le même aux diverses échelles, mais les débits critiques suivent la similitude de Froude (fig. 5) et la période des oscillations à l'échelle grandeur est la même avec l'eau qu'avec la fonte. Aussi, bien que nous ayons affaire à une émulsion air-eau, les relations classiques permettant le passage du modèle à la réalité demeurent valables. Il est en

outre normal que la période soit indépendante de la densité du fluide, puisqu'il s'agit d'oscillations en masse.

Pour préciser néanmoins l'influence des caractéristiques physiques du fluide sur le phénomène, nous avons étudié un grand nombre de liquides différents sur modèle réduit : alcool, acide acétique, glycérine, huiles, alliage lourd de densité 9 fusible à 70° C (plomb, cadmium, bismuth, étain).

En opérant avec des fluides ayant tous sensiblement même densité et même tension superficielle, nous avons pu mettre nettement en évidence l'influence de la viscosité (fig. 6). La viscosité n'intervient pas pour les valeurs voisines de celles de l'eau, ce qui est le cas de la fonte aux températures normales d'enfournement. Pour les fortes viscosités, apparaît un type de projections tout à fait différent, analogue à ce que l'on peut obtenir en laissant sur le feu une casserole de purée de pois ou de pommes de terre. On rencontre parfois de telles projections en aciérie, par exemple avec des fontes trop froides.

L'alliage lourd étudié, qui possédait une tension superficielle très élevée comme tous les métaux liquides, nous a donné des débits critiques un peu inférieurs à ceux donnés par l'eau. On peut penser qu'il en est de même avec la fonte

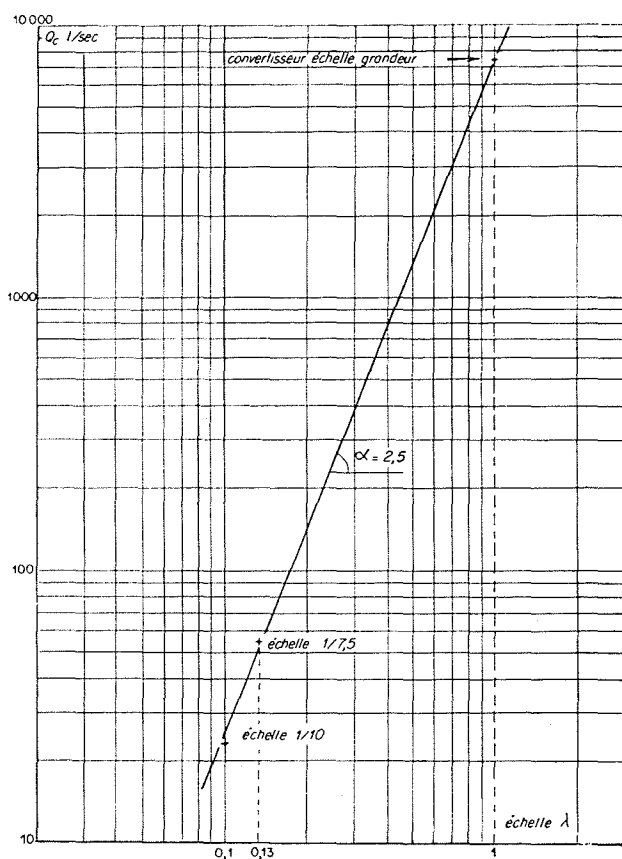
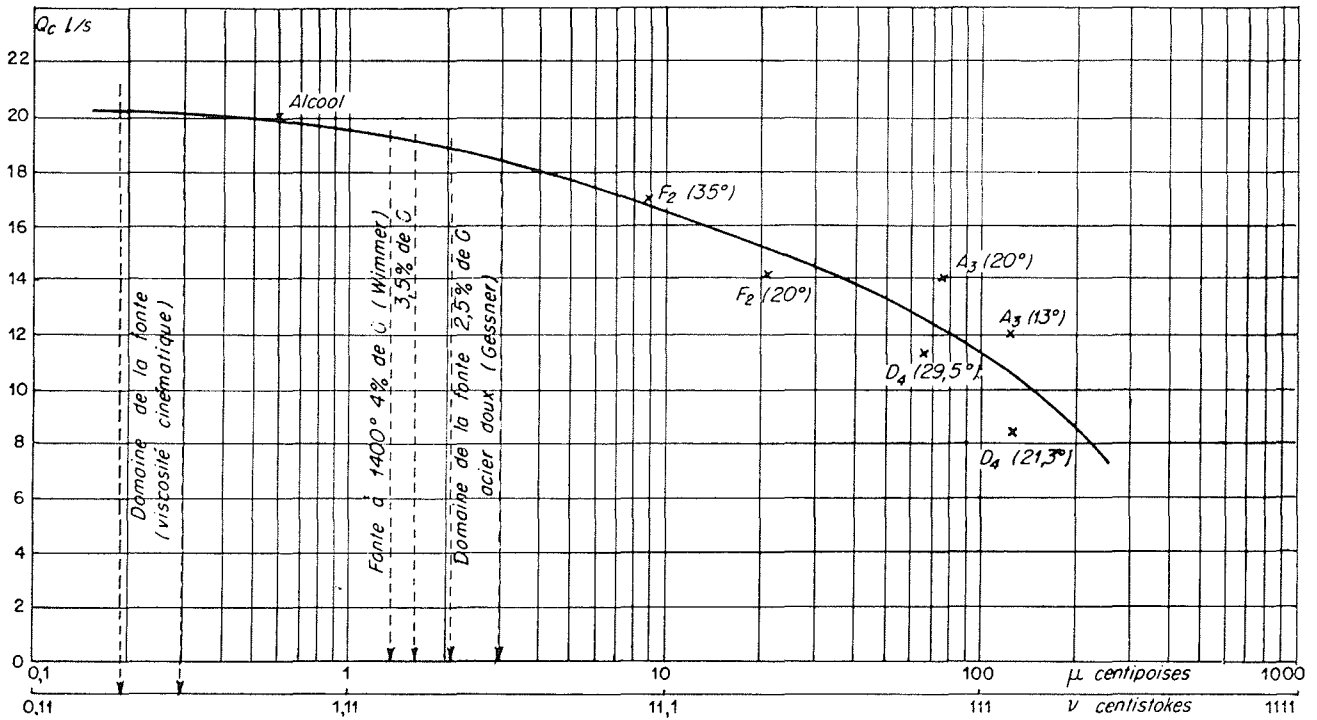


Fig. 5. — Variation du débit critique en fonction de l'échelle.



	d	μ	ν	A
Alcool méthylique.....	0,85	0,6	0,71	21,3
Huile D ₄ , 4,04° Engler à 50°, $\theta = 29,5^\circ$	0,88	66	75	29,9
Huile D ₄ , 4,04° Engler à 50°, $\theta = 21,3^\circ$	0,88	128	148	29,9
Huile A ₃ , 3° Engler à 50°, $\theta = 20^\circ$	0,885	78	88	30,6
Huile A ₃ , 3° Engler à 50°, $\theta = 13^\circ$	0,885	126,5	145	30,6
Huile F ₂ , 1,5° Engler à 50°, $\theta = 35^\circ$	0,9	9	10	29
Huile F ₂ , 1,5° Engler à 50°, $\theta = 20^\circ$	0,9	21,6	24	29

Fig. 6. — Variation du débit critique avec la viscosité.

liquide et que cet écart est dû à la variation énorme de tension superficielle entre les métaux liquides et les liquides usuels, variation qui modifie la finesse de l'émulsion.

Des essais de recouplement ont été effectués récemment en usine à Moyeuve avec de la fonte. On a pu comparer avec les résultats de l'étude sur modèle l'influence sur les projections de la forme du garnissage, de la charge de fonte et de la répartition des tuyères. Le recouplement obtenu est très satisfaisant.

L'étude sur modèle a ainsi permis d'expliquer la nature du phénomène des projections difficilement observable en usine. Elle fournit un instrument de recherche commode pour l'amélioration des formes intérieures des cornues.

Si nous avons cru devoir signaler cette étude, c'est qu'elle nous semblait présenter un double intérêt : d'une part, elle nous a donné l'occasion d'appliquer à un cas concret nos observations antérieures sur le comportement d'un jet vertical noyé, problème hydrodynamique délicat et relativement mal connu; d'autre part, elle constitue, à notre avis, un témoignage éclatant de l'extrême fécondité que l'on peut attendre d'une étroite collaboration entre des techniciens venus, en apparence, d'horizons tout à fait différents. A l'aciériste qui lui donnait la matière de ses turbines et de ses vannes, l'hydraulicien avait coutume de rendre les kWh de ses centrales; il ne fut pas le moins surpris d'avoir à le faire bénéficier directement de sa science de l'eau et autres fluides.