

REVUE DE STATISTIQUE APPLIQUÉE

FRANCESCO GOTTARDI

AURELIO PALAZZI

Comparaison de trois réfractaires pour plaques de coulées du point de vue de leur comportement en service

Revue de statistique appliquée, tome 3, n° 3 (1955), p. 23-38

http://www.numdam.org/item?id=RSA_1955__3_3_23_0

© Société française de statistique, 1955, tous droits réservés.

L'accès aux archives de la revue « Revue de statistique appliquée » (<http://www.sfds.asso.fr/publicat/rsa.htm>) implique l'accord avec les conditions générales d'utilisation (<http://www.numdam.org/conditions>). Toute utilisation commerciale ou impression systématique est constitutive d'une infraction pénale. Toute copie ou impression de ce fichier doit contenir la présente mention de copyright.

NUMDAM

Article numérisé dans le cadre du programme
Numérisation de documents anciens mathématiques
<http://www.numdam.org/>

COMPARAISON DE TROIS RÉFRACTAIRES POUR PLAQUES DE COULÉES DU POINT DE VUE DE LEUR COMPORTEMENT EN SERVICE

par

Francesco GOTTARDI

et

Aurelio PALAZZI

Pour différencier des réfractaires de trois provenances différentes destinées à la coulée en source de l'acier, une expérience planifiée à grande échelle a été organisée, sans déranger la production.

On a mesuré des grandeurs empiriques, telles que l'érosion et le pourcentage des queues (1) de coulée défectueuses qui sont en relation avec la qualité de l'acier produit.

Les conclusions ont été testées chaque fois par des méthodes statistiques.

Deux marques de briques examinées, du type semiréfractaire, ont donné des résultats nettement inférieurs à la troisième du type classique pour fosse de coulée.

INTRODUCTION - BUT DE L'ÉTUDE

Les réfractaires des plaques sont des produits auxquels on ne demande pas d'habitude des caractéristiques de qualité très élevées, puisque toutes les pièces qui composent la plaque ne sont employées qu'une seule fois. Les briques doivent pratiquement résister pendant une coulée aux sollicitations chimiques et thermiques qui accompagnent le passage de l'acier. Elles doivent par conséquent posséder essentiellement:

a - une bonne résistance à l'abrasion chimico-mécanique provoquée par le métal liquide pour que des parcelles, qui constitueraient ensuite des inclusions non métalliques, ne se forment ou ne se détachent pas.

b - une bonne résistance aux écarts thermiques pour résister à l'élévation subite de la température au passage du métal, qui détermine des fêlures profondes entraînant des pertes plus ou moins grandes d'acier dans la fosse.

Pour satisfaire à ces exigences assez modestes les réfractaires des plaques sont constitués d'une matière silico-alumineuse à faible teneur en Al_2O_3 ; mais, dans les Aciéries, on a souvent l'impression que, pour réaliser une petite économie, qui se révèle souvent illusoire, on est enclin à exagérer lorsque l'on considère les réfractaires des plaques et particulièrement les canaux, produits à la qualité desquels il ne vaut guère la peine de faire attention.

Dans cette étude, nous nous proposons de comparer trois marques commerciales de réfractaires de plaques (pour canaux et colonnes); ces marques diffèrent remarquablement entre elles quant à leur composition et leurs propriétés conventionnelles ; le tableau 1 contient les caractéristiques les plus importantes, sensiblement valables soit pour les briques canaux soit pour les viroles.

(1) Queues de coulée : Cylindres d'acier qui restent dans les tubes réfractaires après la coulée en source.

TABEAU 1 - CARACTERISTIQUES CHIMIQUES ET PHYSIQUES DE TROIS MARQUES DE REFRACTAIRES DE PLAQUES EXAMINEES DANS CETTE ETUDE

Marque	Si O ₂	Al ₂ O ₃	Fe _{tot} comme Fe ₂ O ₃	Equivalent pyrométrique (Cône Seger)	Porosité apparente %	Porosité totale %	Poids spécifique apparent gr/cm ³
A	78,00	17,62	3,38	1520 (19)	26,5	28,0	1,83
B	77,88	18,87	2,63	1525 (19/20)	34,1	34,5	1,73
C	62,88	33,87	2,63	1630 (28)	18,9	24,5	1,97

On observera avant tout que la composition des marques A et B est très différente quant à la teneur en Al₂O₃, de celle des briques canaux habituelles. Les marques A et B présentent même des valeurs légèrement faibles de la porosité apparente et du poids spécifique apparent ; en outre, les éprouvettes se courbent à l'essai de dilatation à une température assez basse (ceci est vrai surtout pour la marque B).

La figure 1 rapporte ces courbes de dilatation pour les trois marques examinées; la situation se présente assez normalement. Dans la courbe de la marque B on remarque une perturbation évidente due à l'effet de la silice libre.

Les résultats des essais conventionnels indiquent que les briques des marques A et B doivent être considérées comme des semi-réfractaires, tandis que celles de la marque C sont des réfractaires de plaques du type classique.

La comparaison entre qualités a été effectuée en se basant sur des essais empiriques et sur des données sur le comportement en service (érosion et pourcentage de queues défectueuses) ; même si ces grandeurs n'ont aucune valeur absolue, la substitution de ces essais à d'autres de caractère plus objectif est tout à fait valable pour des conditions expérimentales identiques, que les briques des qualités à comparer soient ou non présentes ensemble dans la même plaque.

La validité de la comparaison est assurée, ainsi qu'il arrive dans les cas de ce genre, par la multiplicité des essais, par un plan de recherche opportun et enfin parce que les conclusions sont confirmées par des tests de signification statistique.

DISPOSITION DES BRIQUES DANS LA FOSSE DE COULÉE

a) Briques de canaux

La comparaison des briques des canaux des marques A, B et C a été faite pour des plaques à 8 lingots de 170 kg disposés selon le schéma de la figure 2.

Pour 20 coulées d'acier au carbone, du même type, destinées à la production commerciale, on a préparé une plaque expérimentale qui a toujours occupé le second rang dans l'ordre de la coulée afin qu'elle se trouve dans des conditions de sollicitation thermique poussées au maximum.

Il avait été possible d'établir au préalable que les effets d'érosion et d'usure des canaux étaient souvent indépendants, soit de la position dans les quatre branches de la plaque soit de la position dans chaque branche, qui a son tour en présente quatre, numérotées de 1 à 4 (fig.2).

Pour caractériser les briques des canaux d'après l'érosion, on a donc décidé d'en contrôler une de chaque marque dans chaque plaque, attribuant à chacune une position au hasard dans les branches et dans les 4 positions de chaque branche.

Pour l'évaluation des défauts il n'était pas nécessaire de projeter les essais avec des précautions excessives, étant donné leur caractère qualitatif, et l'on

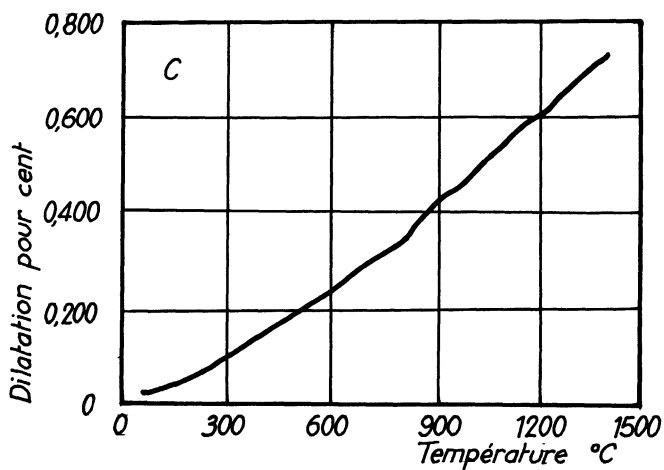
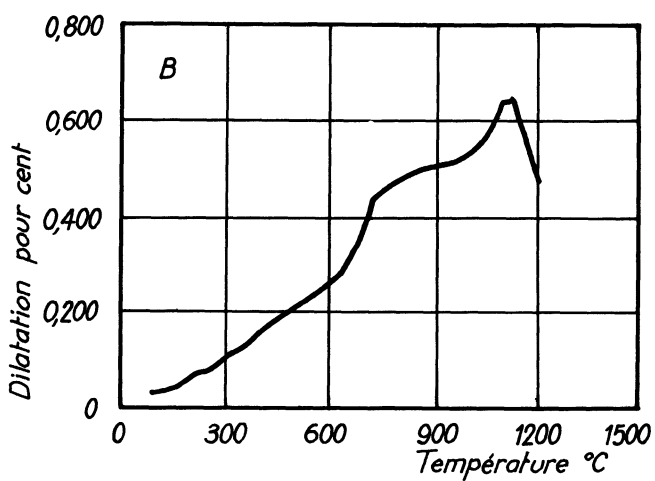
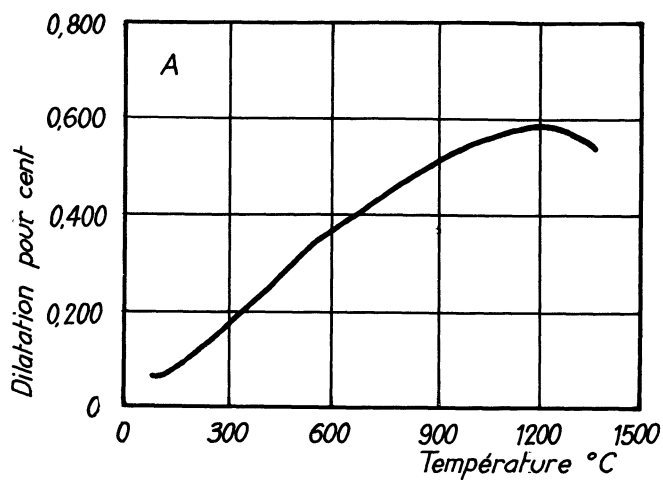


Fig. 1. - Courbes de dilatation pour les 3 marques examinées

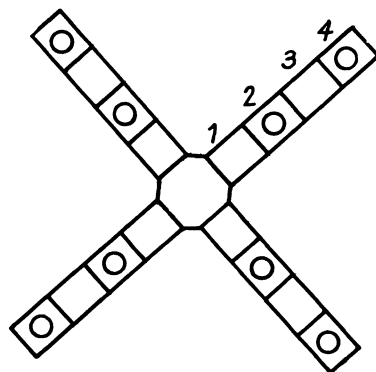


Fig. 2. - Plaque à 8 lingots de 170 Kg

s'est servi d'autres branches, et d'autres positions dans les branches que celles qui ont servi à la comparaison des trois réfractaires.

Sur l'ensemble des tubes on a pu, par conséquent, déterminer la relation entre défauts et marques sans que d'autres précautions fussent nécessaires.

b) Viroles des colonnes

Les colonnes préparées contenaient chacune six viroles de la même marque et sont représentées par le schéma de la figure 3 ; elles ont été numérotées à partir du bas de 1 à 6.

Les colonnes étaient destinées à la coulée d'acier au carbone sur des plaques à 4 lingots (1.300 kg).

Pour 20 coulées d'acier du même type (différentes de celles qui ont permis la comparaison des briques de canaux) on a préparé trois plaques expérimentales, première, deuxième et troisième, chacune ayant une colonne constituée de viroles d'une des trois marques.

Les trois marques étaient donc présentes dans chaque coulée, dans un ordre au hasard.

Pour évaluer l'érosion et le pourcentage de briques endommagées, on n'a employé que celles des colonnes expérimentales, les distinguant selon leur position dans la colonne.

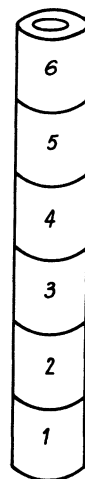


Fig. 3. - Type de colonne expérimentale

ÉROSION

Il est très commode d'exprimer la partie de réfractaire emportée chimiquement ou mécaniquement pendant le passage de l'acier, par la différence entre le diamètre final et le diamètre initial du tube, ou encore par la différence entre le diamètre de la queue de coulée et le diamètre initial du tube, puisqu'il existe dans ces deux cas, des relations de proportionnalité entre les deux grandeurs.

Pour comparer les qualités d'emploi des différents types de réfractaires nous nous sommes basés surtout sur la différence entre le diamètre moyen de la queue mesurée à froid et le diamètre initial du tube réfractaire correspondant.

Nous avons convenu d'appeler érosion cette différence; en réalité, cette grandeur n'a aucune signification absolue, particulièrement parce que les jeux des dilatations et des contractions qui ont lieu, dans la brique et dans la queue sont négligés, tandis que la température varie pendant le passage du métal et son refroidissement ; cependant ces variations sont sans aucun doute systématiques et n'influencent pas l'évaluation relative.

Dans le cas des colonnes, les jeux de dilatation et de contraction sont très sensibles, surtout à cause de l'importance des masses d'acier et de réfractaire ; les valeurs de l'érosion sont alors en partie négatives, et parfois même nulles, tandis que pour les canaux, toutes les valeurs sont positives.

En réalité, pour une recherche technologique il est cependant suffisant de supposer que des variations de l'érosion ainsi définie correspondent à des variations concomitantes de la quantité de réfractaire emportée.

a) Briques des canaux

Pour la comparaison des canaux des trois marques A, B et C le tableau 2 rapporte les données originales d'érosion (mm), les moyennes par coulée, les moyennes par marque et la moyenne générale.

TABLEAU 2 - DONNEES D'EROSION DES CANAUX DE PLAQUES A 8 LINGOTS -

Coulée	Marque			Moyenne par coulée
	A	B	C	
1	0,8	0,9	0,9	0,87
2	0,6	0,9	0,2	0,57
3	0,9	1,5	0,3	0,90
4	1,3	1,1	0,8	1,07
5	1,9	1,1	0,3	1,10
6	1,6	1,1	0,2	0,97
7	1,2	1,4	0,5	1,03
8	1,1	1,2	0,7	1,03
9	1,2	1,2	0,7	1,03
10	1,2	1,5	1,4	1,37
11	1,0	1,2	0,8	1,00
12	1,0	1,0	0,3	0,77
13	1,2	0,9	0,5	0,87
14	1,0	0,8	0,3	0,70
15	0,4	0,4	0,2	0,33
16	0,7	0,6	0,5	0,60
17	0,4	0,4	0,5	0,43
18	0,8	0,8	0,5	0,70
19	0,8	1,4	0,6	0,93
20	0,7	0,5	0,8	0,67
Moyenne par marque	0,99	1,00	0,52	Moyenne générale 0,83

Lorsque l'on effectue l'analyse de la variance, dont les détails sont rapportés dans le tableau 3, on trouve que l'érosion varie pour les trois marques ; pour la marque C (moyenne 0,52 mm) l'érosion est bien plus faible que pour les deux autres A (moyenne 0,99 mm) et B (moyenne 1,00 mm) qui ne diffèrent pas entre elles.

Entre les différentes coulées, il existe aussi des différences non négligeables ; tandis que la moyenne générale est 0,83 mm, les moyennes extrêmes par coulée sont 0,33 et 1,37 mm, ce qui prouve qu'il est nécessaire d'éliminer l'effet de coulée si l'on veut une bonne estimation de la différence de comportement des marques.

TABLEAU 3 - ANALYSE DE LA VARIANCE POUR LES DONNEES DU TABLEAU 2 -

Source de variation	Degrés de liberté	$\sum q$	Carré moyen	F _{calculé}	Signification
Coulées	19	3,4698	0,1826	2,148	°
Marques	2	2,9770	1,4885	17,512	° °
Erreur	38	3,2297	0,0850		
TOTAL	59	9,6765			

TABLEAU 4 a. - DONNEES D'EROSION SUR LES COLONNES, MOYENNES PAR COULEE ET PAR POSITION X PAR MARQUE

Coulee	Marques	A						B						C						Moyenne par coulee
		1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	
1	-0,5	-1,3	-2,7	-1,1	-3,5	-2,0	-2,0	1,8	0,0	-0,7	-1,2	-0,6	-1,8	-0,7	-1,0	-0,6	-1,1	-3,2	-0,7	-1,16
2	-0,5	-2,9	-2,3	-1,2	1,2	-2,1	-2,1	1,1	1,6	0,5	1,5	-0,7	0,6	1,4	1,0	0,6	-1,3	-0,9	-0,6	-0,11
3	-2,0	2,3	3,3	2,3	-1,1	0,5	0,5	0,8	-0,3	-0,5	1,4	0,7	-0,4	0,6	-0,4	-0,9	2,0	-0,3	-0,1	0,44
4	6,2	4,3	4,1	2,2	1,9	0,3	0,3	3,4	3,0	1,2	1,2	1,2	2,2	2,1	0,8	-1,1	0,8	0,6	-0,3	1,78
5	0,7	0,0	-1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	-1,6	-0,3	0,5	-1,8	-0,4	2,2	2,4	1,4	1,2	0,2	2,0	0,5	0,52
6	0,6	0,6	2,3	-1,1	0,4	-1,1	-1,1	1,1	-1,6	-1,1	-0,8	-1,2	-0,7	-1,6	-1,6	-1,0	0,6	-1,0	0,2	-0,39
7	0,1	1,5	2,8	1,2	0,0	-0,2	-0,2	-0,2	0,2	0,5	1,0	-0,8	0,4	3,8	0,4	0,7	-1,2	1,0	1,2	0,69
8	0,9	1,0	0,8	0,2	0,8	1,4	1,4	1,2	0,8	0,0	0,6	-0,6	-0,8	1,0	0,0	-0,4	0,4	-0,4	0,6	0,37
9	0,7	0,5	1,4	0,4	0,7	0,5	0,5	0,1	-0,5	0,7	1,0	0,4	0,2	0,3	-0,3	0,0	-1,1	-0,6	0,8	0,29
10	2,0	0,6	2,4	1,3	-0,1	-1,1	-1,1	2,0	2,9	1,4	1,1	0,3	2,0	0,5	0,3	-0,2	0,3	-0,9	-0,1	0,82
11	2,2	2,6	2,9	0,9	1,2	0,8	0,8	0,8	0,8	2,1	0,5	0,7	1,7	0,4	0,6	-0,7	0,2	-0,1	0,3	0,96
12	0,9	-0,8	-0,1	0,2	-0,2	0,0	0,0	0,4	1,0	-0,4	0,1	-0,4	-0,2	0,2	-0,2	-0,6	-0,6	-0,1	-0,4	-0,07
13	2,2	0,8	0,4	-0,2	-0,6	0,5	0,5	0,8	-0,2	1,2	-0,1	0,2	-0,2	0,6	0,0	-0,5	4,2	-0,4	0,2	0,52
14	1,7	1,4	2,1	1,7	0,6	0,5	0,5	0,6	-0,2	1,0	1,2	0,9	-0,1	0,3	0,1	-0,1	0,2	0,3	-0,4	0,77
15	1,7	1,3	0,8	1,3	-0,2	1,4	1,4	-0,2	0,0	0,6	-1,2	0,6	-0,3	1,1	1,7	-0,5	1,4	2,0	1,2	0,71
16	1,4	1,5	1,6	0,5	0,9	1,2	1,2	0,4	0,4	0,4	0,7	0,2	1,0	0,4	-0,3	0,1	0,9	1,1	-0,3	0,67
17	1,6	0,9	0,8	1,6	1,4	1,4	1,4	0,9	-0,4	0,6	0,1	0,2	1,1	0,6	0,7	-0,2	0,1	0,5	-0,2	0,65
18	2,4	2,8	1,4	0,3	1,2	-0,4	-0,4	0,6	1,7	1,5	0,4	0,4	-0,4	0,6	0,7	0,6	0,9	-0,5	-0,5	0,76
19	1,3	0,5	0,6	1,2	0,7	0,6	0,6	0,5	-0,7	0,6	2,1	0,6	0,5	-0,4	0,6	-0,1	-0,3	0,4	-0,8	0,44
20	0,9	2,3	0,5	1,0	-1,2	0,7	0,7	4,5	3,2	2,7	1,3	1,0	0,6	-1,6	-1,5	-1,8	-2,2	-1,2	0,2	0,52
Moyennes par position et par marque	1,28	1,00	1,10	0,69	0,26	0,20	0,20	0,95	0,60	0,64	0,46	0,14	0,28	0,56	0,15	-0,28	0,22	-0,08	0,01	Moy. gén. 0,45

TABLEAU 4 b. - MOYENNES PAR POSITION

Positions	1	2	3	4	5	6
Moyennes	0,93	0,58	0,49	0,46	0,10	0,16

TABLEAU 4 c. - MOYENNES PAR MARQUES

Marques	A	B	C
Moyennes	0,76	0,51	0,10

Au point de vue méthodologique, l'analyse des données aurait dû être faite, à la rigueur non sur les différences entre diamètres de la queue et du trou, mais sur la mesure de la queue corrigée par celle du trou au moyen de l'analyse de la covariance. Dans notre cas, cependant, cette deuxième méthode a donné les mêmes résultats et pour simplifier nous avons par conséquent exposé l'analyse des données d'érosion.

L'érosion la plus forte a été obtenue, comme il fallait s'y attendre, pour les deux marques caractérisées par de faibles teneurs en alumine et par des propriétés réfractaires moins marquées.

b) Colonnes

Pour la comparaison des viroles des trois marques A, B et C le tableau 4 rapporte les données originales d'érosion (mm), les moyennes par coulée, les moyennes par position et par marque, les moyennes par position, les moyennes par marque et la moyenne générale.

L'analyse de la variance (tableau 5) est naturellement du type à deux erreurs puisque les six positions de chaque colonne sont occupées par des briques de la même marque ; la comparaison entre les différentes marques est basée sur un nombre de degrés de liberté bien plus petit que celui qui correspond à la comparaison entre les différentes positions.

Après avoir effectué les calculs et vérifié si les différences sont significatives on trouve que l'érosion est différente selon la marque ; pour la marque C l'érosion (moyenne 0,10mm) est plus faible que pour la marque A (moyenne 0,76mm) tandis que la marque B (moyenne 0,51mm) ne diffère pas des deux précédentes ; à cause de la grande dispersion des données les différences sont à peine au-dessous (P est environ 0,02) du niveau de signification habituel.

Le facteur position est significatif par sa composante linéaire c'est-à-dire que de bas en haut de la colonne, il y a une diminution linéaire de l'érosion (moyennes

TABLEAU 5 - ANALYSE DE LA VARIANCE POUR LES DONNEES DU TABLEAU 4

Source de variation	Degrés de liberté	$\sum q$	Carré moyen	F _{calculé}	Signification
Coulées	19	116,242	6,118	2,102	°
Marques	2	26,642	13,321	4,576	°
Erreur I	38	110,633	2,911		
TOTAL I	59	253,517			
Positions	5	26,762	5,354	8,075	° °
Comp.linéaire	1	23,820	23,820	35,928	° °
Reste	4	2,942	0,736	1,110	
M × P	10	62,958	6,296	9,496	
Erreur II	285	189,088	0,663		
TOTAL II	300	278,808			
TOTAL	359	532,325			

extrêmes : en bas 0,93, en haut 0,16 mm) ; les viroles inférieures de la colonne sont donc bien plus exposés que les supérieures à l'influence chimique et thermique du métal.

L'interaction entre marques et positions étant significative, l'effet décrit n'est pas le même pour toutes les marques ; si l'on divise l'expérience en trois parties correspondant à chaque marque et que l'on effectue de nouveau les analyses de la variance (tableau 6), on en déduit en effet que, pour les marques A et B, la diminution de l'érosion est linéaire de bas en haut tandis que cela ne se vérifie plus pour la marque C (voir le graphique de la figure 4).

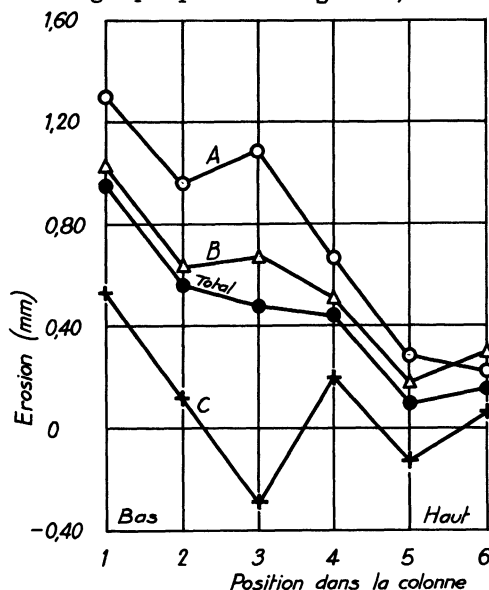


Fig. 4. - Variation de l'érosion selon la position dans la colonne

Ce phénomène peut être attribué à une sensibilité différentielle plus élevée des tubes de qualité inférieure aux sollicitations chimico-thermiques.

La différence entre les coulées est elle-même remarquable (tableau 4a) ; tandis que la moyenne générale de l'érosion est 0,45 mm, les moyennes extrêmes de coulée valent 1,78 et - 1,16 mm.

Si l'on observe les sections transversales des viroles des colonnes usées et fendues, on remarque une zone altérée, de couleur claire, concentrique au trou inférieur. Pour chaque coulée on a examiné des viroles des trois marques et à chaque marque a été attribué un numéro d'ordre croissant avec l'épaisseur de la zone altérée ; par exemple (tableau 7) pour la coulée 2, l'épaisseur de la zone altérée a été évaluée qualitativement décroissante dans le sens A, B, C et l'on a attribué aux trois marques les rangs n° 3, 2, 1.

Il y a parfois des coïncidences des numéros d'ordre (par exemple dans la coulée 1, A et C ont le même numéro) ; le tableau 5 donne les rangs obtenus qui peuvent être analysés, au moyen de la méthode de l'analyse de la variance des rangs, afin de trouver si les différences entre les marques sont significatives. Pour faire cette analyse de la variance on effectue la somme des rangs S de chaque série, puis la somme des carrés de ces quantités $\sum S^2$; ce nombre est comparé avec les valeurs du tableau 8 correspondant à différents niveaux de probabilité et s'il s'avère supérieur, les différences sont considérées comme significatives selon le procédé habituel.

Comme cela est prouvé par l'analyse de l'expérience 3×20 et de l'expérience 2×20 avec les deux séries les plus proches (la A et la B), toutes les séries présentent entre elles des différences significatives, on peut par conséquent en conclure que l'épaisseur de la zone altérée diminue sûrement dans le sens A, B et C et que l'on obtient à nouveau des résultats qualitativement analogues à ceux que l'on a déjà trouvés pour la variation de l'érosion.

Mais dans ce cas, l'érosion est d'autant plus élevée que la teneur en alumine et les propriétés réfractaires nominales des trois marques sont plus faibles.

TABLEAU 6 - ANALYSE DE LA VARIANCE POUR LES DONNEES DU TABLEAU 4 SUBDIVISEES PAR MARQUE -

a) Marque A -

Source de variation	Degrés de liberté	$\sum q$	Carré moyen	F _{calculé}	Signification
Coulées	19	115,957	6,103		
Positions	5	19,877	3,975	3,637	. .
Comp.linéaire	1	18,058	18,058	16,522	. .
Reste	4	1,819	0,455	-	-
Erreur	95	103,863	1,093		
TOTAL	119	239,697			

b) Marque B -

Source de variation	Degrés de liberté	$\sum q$	Carré moyen	F _{calculé}	Signification
Coulées	19	58,775	30,934		
Positions	5	8,308	1,662	2,315	.
Comp.linéaire	1	6,944	6,944	9,671	. .
Reste	4	1,359	0,340	-	-
Erreur	95	68,195	0,718		
Total	119	135,278			

c) Marque C -

Source de variation	Degrés de liberté	$\sum q$	Carré moyen	F _{calculé}	Signification
Coulées	19	52,143	2,744	2,196	-
Positions	5	8,136	1,627	2,196	
Comp.linéaire	1	2,461	2,461	3,321	
Reste	4	5,675	1,419	1,915	
Erreur	95	70,429	0,741		
TOTAL	119	130,708			

TABLEAU 7 - EPAISSEURS DE LA ZONE ALTEREE (RANGS). DANS CHAQUE COULEE LE RANG PLUS ELEVE CORRESPOND A L'EPAISSEUR LA PLUS GRANDE

Coulée	A	B	C
1	1,5 (1)	2 (2)	1,5
2	2,5 (1,5)	2,5 (1,5)	1
3	3 (2)	2 (1)	1
4	3 (2)	2 (1)	1
5	3 (2)	2 (1)	1
6	3 (2)	2 (1)	1
7	2,5 (1,5)	2,5 (1,5)	1
8	3 (2)	2 (1)	1
9	3 (2)	2 (1)	1
10	2,5 (1,5)	2,5 (1,5)	1
11	3 (2)	2 (1)	1
12	3 (2)	2 (1)	1
13	2 (1)	3 (2)	1
14	2,5 (1,5)	2,5 (1,5)	1
15	3 (2)	2 (1)	1
16	3 (2)	2 (1)	1
17	3 (2)	2 (1)	1
18	3 (2)	2 (1)	1
19	3 (2)	2 (1)	1
20	3 (2)	2 (1)	1
S	55,5	44,0	20,5
$\sum s^2$	5.436,50		
(S) ($\sum s^2$)	36,0	24,0	
	1.872,00		

TABLEAU 8 - VALEURS DE LA SOMME DES CARRES DES TOTAUX DE RANGS EN FONCTION DE LA PROBABILITE DE LES OBTENIR PAR L'ACTION du HASARD (Expérience 2 × 20 et 3 × 20)

P	$\sum s^2$	
	2 × 20	3 × 20
0,10	1828	4893
0,05	1839	4920
0,01	1867	4985

DÉFAUTS DES QUEUES DE COULÉES

Les différents types de réfractaires ont été comparés du point de vue de leur tendance plus ou moins marquée à provoquer des défauts dans les queues de coulée ; ces défauts ne sont pas directement intéressants puisque les queues retournent à la ferraille, mais ils révèlent l'aptitude du réfractaire à ne pas donner lieu à des pertes de métal liquide dans la plaque (résistance aux écarts thermiques) ou à ne pas le souiller par des inclusions.

Naturellement, les défauts ont été évalués d'une manière qualitative soit par leur type, soit par leur intensité : toutefois, on peut facilement définir les cas limite :

"bavures" ou infiltrations de métal dans la zone de fracture du tuyau qui d'habitude se fend pendant la coulée, selon un plan passant par l'axe du trou et parallèle à la base de la plaque.

"gales" ou défauts localisés, en forme de cratères, dûs à la scorification de certaines zones du canal qui se sont détachées pendant la coulée.

L'association entre les marques et les défauts, exprimée par l'alternative racine défectueuse - racine non défectueuse, a été établie au moyen du critère du χ^2 sur des tableaux 3×2 .

a) Briques des canaux

Comme nous l'avons déjà dit au début, pour caractériser les différentes marques selon leur tendance à donner les défauts décrits, on a employé un plus grand nombre de briques-canaux, groupées sur plusieurs plaques des mêmes coulées.

Le tableau 9 rapporte la répartition des queues en défectueuses et non défectueuses pour bavures selon la marque A, B ou C. On a trouvé en tout 44,1 % de queues défectueuses tandis que pour les trois marques A, B et C on a trouvé respectivement 51,2, - 51,2 et 22,5 %. Le χ^2 calculé vaut 20,068 ce qui indique une différence très significative du comportement des trois marques : C se comporte bien mieux que les deux autres qui ne diffèrent pas entre elles à cet égard.

Le tableau 10 rapporte la répartition analogue des queues défectueuses ou non pour "gales" ; on a trouvé en tout 68,8 % de défectueuses, tandis que pour les trois marques A, B et C on a trouvé respectivement 97,5 - 81,9 et 13,8 %. Le χ^2 calculé vaut 156,247 pour le tableau 3×2 et 10,001 pour le tableau 2×2 , A, B inférieur au précédent. Ces deux valeurs indiquent que les différences de comportement des trois types de briques sont très significatives : la marque C se comporte mieux encore que la B qui à son tour vaut mieux que la A.

TABLEAU 9 - DISTRIBUTION DES QUEUES DE COULEE DES CANAUX EN DEFECTUEUSES ET NON-DEFECTUEUSES (POUR BAVURES), SELON LA MARQUE

	A	B	C	
Sans défauts	39	78	62	171
Défectueuses	41	82	18	141
	80	160	80	320
% de défectueuses	51,2	51,2	22,5	44,1

Même en ce qui concerne le pourcentage de queues de canaux défectueuses pour "bavures" et "gales" le comportement le plus mauvais a été, comme l'on s'y attendait, celui des deux marques à basse teneur en alumine dont les propriétés réfractaires sont moins bonnes.

**TABLEAU 10 - DISTRIBUTION DES QUEUES DE COULEE DE CANAUX NON-
DEFFECTUEUSES ET DEFFECTUEUSES (POUR GALES)
SELON LA MARQUE**

	A	B	C	
Sans défauts	2	29	69	100
Défectueuses	78	131	11	220
	80	160	80	320
% de défectueuses	97,5	81,9	13,8	68,8

b) Viroles des colonnes

D'une manière analogue à ce qui a été fait pour les canaux, on a comparé les viroles des trois marques pour leur tendance plus ou moins marquée à s'endommager pour la coulée et à donner, par conséquent, des queues défectueuses.

Pour classer les défauts on s'est servi des tubes dont on avait déjà observé l'érosion.

Le tableau 11 rapporte la distribution entre les marques A, B, C des queues de colonnes défectueuses et non-défectueuses pour cause de "bavures".

On a trouvé en tout 12,5 %, les marques A, B et C en présentant respectivement 16,7 ; 20,0 et 0,8 % ; on a calculé $\chi^2 = 23,092$ ce qui indique qu'il existe une différence bien significative dans le comportement des trois types de tubes. La marque C se comporte bien mieux que les deux autres qui ne diffèrent pas entre elles à cet égard.

**TABLEAU 11 - REPARTITION DES QUEUES DE COLONNES BAVUREES ET NON
BAVUREES SELON LES TROIS MARQUES EXAMINEES**

	A	B	C	
Sans défauts	100	96	119	315
Défectueuses	20	24	1	45
	120	120	120	360
% de défectueuses	16,7	20,0	0,8	12,5

Le tableau 12 rapporte la distribution des "gales". On en a trouvé en tout 36,9 % les trois marques A, B et C en ayant présenté respectivement 68,8 - 34,2 et 15,8 %. On a calculé $\chi^2 = 53,738$ pour le tableau 3×2 , $\chi^2 = 17,097$ et $\chi^2 = 10,729$ pour les tableaux 2×2 A, B et C intérieurs aux précédents.

Toutes les valeurs indiquent des différences très significatives, la marque C se comportant mieux que B et celle-ci à son tour mieux que A.

Pour voir si les tubes étaient différemment endommagés dans les six positions de la colonne, on a classé selon les six positions et les deux défauts "bavures" et "gales" les queues défectueuses qui avaient été déjà réparties selon les trois marques.

TABLEAU 12 - DISTRIBUTION DES QUEUES DE COLONNES EN NON-DEFECTUEUSES ET DEFECTUEUSES POUR "GALES" SELON LES TROIS MARQUES EXAMINEES -

	A	B	C	
Sans défauts	47	79	101	227
Défectueuses	73	41	19	133
	120	120	120	360
% de défectueuses	60,8	34,2	15,8	36,9

Les tableaux 13 et 14 rapportent dans le même ordre le nombre de queues défectueuses selon qu'il s'agit des "bavures" ou des "gales".

Chaque nombre du tableau représente le nombre de briques défectueuses sur 20 briques essayées et chaque total par ligne représente le nombre de briques défectueuses sur 60.

TABLEAU 13 - DISTRIBUTION DES QUEUES DE COLONNE BAVUREES SELON LES MARQUES ET LES POSITIONS DANS LA COLONNE -

Position	A	B	C	Total
1	8	7	1	16
2	4	4	0	8
3	5	2	0	7
4	2	5	0	7
5	0	4	0	4
6	1	2	0	3
χ^2	13,000 *	4,500-	5,004-	14,066 *
Corrélation de rang	-0,886 *	-0,514-	-0,143-	-0,957 **

Il est possible de déterminer si les six fréquences de chaque colonne des tableaux 13 et 14 présentent des différences significatives ou non ; s'il n'y avait aucune différence due à la position les fréquences devraient être sensiblement égales au nombre total des briques défectueuses divisé par six.

TABLEAU 14 - DISTRIBUTION DES QUEUES DE COLONNE GALEUSES SELON LES MARQUES ET LES POSITIONS DANS LA COLONNE -

Position	A	B	C	Total
1	19	14	2	35
2	17	9	6	32
3	13	6	2	21
4	9	4	3	16
5	9	5	3	17
6	6	3	3	12
χ^2	10,595-	12,111*	3,430-	19,461**
Corrélation des rangs	-0,957**	-0,943**	+0,329-	-0,943**

Au bas de chaque colonne des tableaux 13 et 14 figurent les valeurs calculées de χ^2 ; de la colonne "total" il résulte que les six positions ont, dans l'ensemble, déterminé des défauts dans différentes mesures, surtout en ce qui concerne les piqures ; les différences s'atténuent cependant jusqu'à disparaître si l'on détaille les totaux selon les différentes marques.

Le test effectué ne tient pas compte de l'ordre des positions ; si l'on examine les nombres de tuyaux défectueux dans la colonne "total" on observe qu'il y a une diminution de la position n° 1 (en bas) à la position n° 6 (en haut), c'est-à-dire que les positions supérieures tendent à donner un nombre plus petit de tuyaux défectueux.

Pour le démontrer, du moins de manière semi-quantitative, on a effectué sur les données, des tests de corrélation entre les rangs occupés par les différentes positions dans la colonne, et les rangs de ces mêmes positions ordonnées en une suite unique selon les proportions de queues défectueuses qui y ont été relevées. Les résultats en sont rapportés au bas de chaque colonne dans les tableaux 13 et 14 par des astérisques selon la manière habituelle (* P 0,05 - ** P 0,01).

Il est ainsi confirmé que les positions supérieures donnent moins de bavures et de gales ; ceci est vrai, même pour les marques de qualité inférieure A et B qui sont les plus sensibles aux défauts. On retrouve donc la même situation que pour les érosions : l'influence de la position est sensible pour les briques les plus mauvaises.

Pour le pourcentage de queues de colonne défectueuses le comportement le moins satisfaisant est, comme il fallait s'y attendre, celui des marques à teneur plus faible en alumine et à propriétés réfractaires moins marquées.

CONCLUSIONS

Les marques A et B (semi-réfractaires) présentent sans aucun doute des réfractaires dont les caractéristiques usuelles d'emploi sont nettement inférieures à celles de la marque C.

La mesure de l'érosion, la mesure de l'épaisseur altérée et le pourcentage de queues de coulée défectueuses, relatifs aux briques A et B sont en pratique toujours plus élevés que pour les briques C, soit pour les canaux, soit pour les colonnes.

La figure 5 illustre graphiquement la situation.

Le fait que des caractéristiques d'emploi inférieures, par exemple l'érosion plus élevée, soient associées aux marques dont les caractéristiques convention -

nelles d'essai sont inférieures, par exemple la faible teneur en alumine, ne constitue pas une preuve de l'association réelle entre ces deux éléments. Cette association, tout en étant conforme à l'attente des techniciens devrait être démontrée par une recherche d'un autre projetée à cette fin.

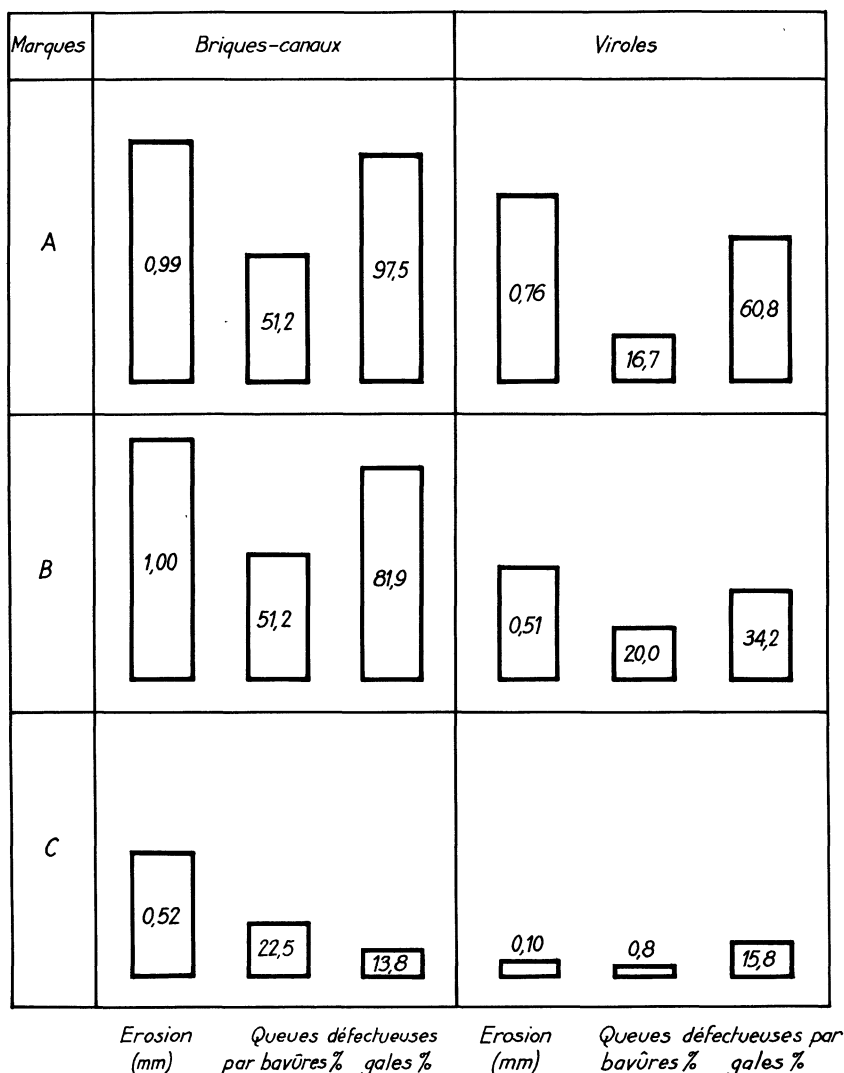


Fig. 5. - Comparaison graphique de l'érosion et du pourcentage de queues de coulée défectueuses.

L'examen du comportement des viroles des colonnes a montré que la position dans la colonne a une influence sensible sur l'érosion et sur le pourcentage des queues de coulée défectueuses. Ces grandeurs diminuent de bas en haut de la colonne. La partie supérieure de la colonne, est moins longtemps en contact avec l'acier liquide, la diffusion de la chaleur est plus grande et par conséquent les sollicitations chimico-mécaniques plus faibles. Cela n'est vrai que pour les deux marques les moins bonnes A et B, tandis que pour la marque C la résistance plus élevée aux sollicitations atténue l'influence de la position jusqu'à la faire disparaître.

D'un point de vue tout à fait général nous pensons qu'une comparaison du type décrit ici, basée sur des essais de comportement en service effectués selon un plan préparé et testée au moyen de méthodes statistiques, est bien supérieure, dans ces cas et dans beaucoup d'autres du même genre, à la comparaison au moyen de la mesure d'une ou de plusieurs propriétés conventionnelles, dont les résultats peuvent parfois fournir des bases de prévision complètement fausses.

REMERCIEMENTS

Les Auteurs remercient vivement l'Institut Siderurico FINSIDER qui a autorisé la publication de cette étude, la Direction de la Société ILVA et la Direction de l'Usine ILVA de Lovere dans laquelle on a effectué la partie expérimentale de cette recherche.

Les Auteurs remercient M. BASTENAIRE qui a soigné la révision du texte français.

BIBLIOGRAPHIE

CHESTERS J.H. - Steelplant Refractories - Sheffield 1946, p. 434 e seg.

FERRO L. - Notizie sui mattoni per placca - Met. Ital. 45 (1953) - Atti e notizie, n° 8 pp. 247/249 - Questa nota contiene una bibliografia generale sui refrattari per placca.

PALAZZI A. - La progettazione fattoriale delle ricerche industriali ; esempi di applicazione. Met. Ital. 44 (1952) pp. 215/220. Questo articolo contiene una bibliografia generale sulla progettazione della ricerche industriali e la loro valutazione mediante metodi statistici.