



Connaître,
c'est mesurer



La fabrication du ferro-manganèse au haut-fourneau en France, 1875-2003

Naissance, vie et mort d'un procédé industriel

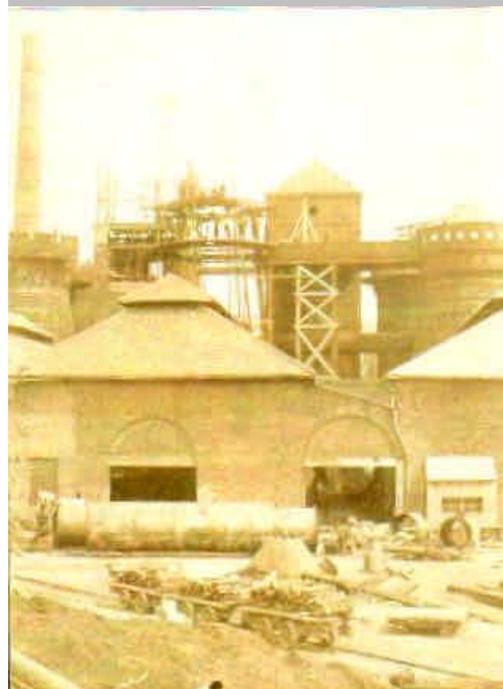
Edmond TRUFFAUT

CETTE ANNÉE-LÀ, un haut fourneau spécialement équipé, avait été déménagé de Marseille, réinstallé et remis à feu à Outreau à quelques kilomètres du port de Boulogne. Les hauts fourneaux de Saint Louis à Marseille étaient alors la dernière des trois usines françaises pionnières qui, en première mondiale, avaient "inventé" le procédé en 1875; cette année-là, ces trois usines réussirent à mettre au point la fabrication au haut fourneau du ferromanganèse, c'est-à-dire d'une fonte à 75-80% de manganèse ; jusque là, cette fabrication était réputée impossible.

On parlera donc de "durée de vie" du procédé en France de 1875 à 2003. Peut-on parler pour autant de "cycle de vie"? De l'invention du procédé, à son développement, sa maturité et son déclin par obsolescence? C'est la question que nous nous posons en tentant d'écrire l'histoire française du procédé industriel de fabrication du ferromanganèse au haut fourneau.

Mais auparavant nous désignerons les sites français qui ont mis en œuvre le procédé, et préciserons les sources consultées, très différentes selon les époques et les entreprises.

Le procédé de fabrication du ferromanganèse au haut fourneau est né en France en 1875. Il a ensuite été mis en œuvre sans discontinuer, successivement, par plusieurs usines françaises. En 2003, la société exploitant le dernier site restant à Boulogne sur mer décidait de cesser ses activités; le procédé fonctionnait de façon continue dans la région depuis 1902.



1906, Site d'Outreau, remontage HF de Saint-Louis [archives APO]►



1875-2003

Les sites français de production de ferromanganèse au haut fourneau

Si l'on excepte quelques applications sans lendemain par des usines intégrées¹, le nombre de sites où le procédé a été mis en œuvre en France se limite à sept. Pour simplifier, nous désignerons ces sites par le nom des usines plutôt que par celui des sociétés exploitantes.

Ainsi le procédé a été inventé par Terrenoire, Saint-Louis et Montluçon.

L'usine de **Terrenoire** appartient à la "Compagnie des fonderies et forges de Terrenoire, La Voulte et Bessèges", premier producteur d'acier Bessemer en France en 1969². Elle cesse son activité après la faillite de la société en 1886.

Du nom d'un quartier du port de Marseille, l'usine de **Saint-Louis** appartient à la "Société de l'éclairage au gaz, des hauts fourneaux et fonderies de Marseille, et des Mines de Portes et de Sénéchas"; elle produit dans les années 1870 des fontes destinées à la seconde fusion, et notamment des fontes Bessemer et du spiegel. En 1906 elle arrête ses hauts fourneaux et transfère son activité à l'usine d'Outreau des "Aciéries de Paris et d'Outreau".

L'usine de **Montluçon** appartient à "Boigues, Rambourg et Cie, société collective et en commandite pour l'exploitation des mines de Commentry, et des Forges et fonderies de Fourchambault et Montluçon". L'usine de Montluçon fait partie dans les années 1870 d'un vaste ensemble industriel qui comprend deux houillères et leurs cokeries (Commentry et Montvicq), des usines sidérurgiques intégrées à Montluçon et Fourchambault. Elle produit de l'acier Bessemer et du ferromanganèse

de 1874 à 1883; elle arrête ces fabrications lorsque se développe la sidérurgie lorraine à l'apparition du procédé Thomas.

Quatre sites ont ensuite produit du ferromanganèse au haut fourneau de façon continue.

L'usine du **Boucau** près de Bayonne appartient à la "Compagnie des Forges et Aciéries de la Marine". Créée en 1882, elle produit aussi des fontes de seconde fusion et du spiegel. L'usine cesse ses activités vers 1970.

L'usine d'**Outreau** près de Boulogne sur mer appartient à partir de 1902 à la société des "Aciéries de Paris et d'Outreau". Elle produit des fontes de seconde fusion, et du ferromanganèse, après le transfert d'un haut fourneau de Saint-Louis en 1906. A partir des années 1950, elle ne produit plus que du ferromanganèse, fournissant 10% de la consommation mondiale. La société dépose son bilan en 1978 et l'usine d'Outreau est définitivement arrêtée.

L'usine de **Pompey** entre Metz et Nancy appartient à la Société des Forges et Aciéries de Pompey. C'est une usine sidérurgique intégrée qui se lance dans la production de ferromanganèse à partir de 1922, fabrication poursuivie jusqu'à l'arrêt de l'usine en 1986.

L'usine de **Boulogne sur mer** est créée par les "Aciéries de Paris et d'Outreau" en 1960, entièrement vouée à la production du ferromanganèse. En 1979, son exploitation est reprise par la "Société du Ferromanganèse Paris-Outreau". En 1996, elle passe sous contrôle de la société "Comilog France" qui cesse son activité sur le site en 2003.

Les sources consultées

Les archives d'entreprises ont la plupart du temps disparues avec la société exploitante ; quand elles existent encore (c'est le cas du site de Montluçon³), elles fournissent peu d'informations techniques sur les fabrications. Nous avons pourtant bénéficié d'une source exceptionnelle concernant le transfert de la fabrication du ferromanganèse du

1. Dans la première moitié du XX^{ème} siècle, quelques usines qui transformaient le minerai de fer en demi-produits par les trois étapes classiques: haut fourneaux-aciérie-laminaires, réservaient leurs hauts fourneaux en fin de campagne à la production de ferromanganèse. Elles abandonnèrent cette pratique quand elles se rendirent compte qu'il était plus économique d'acheter le ferromanganèse à un producteur spécialisé.

2. En 1969, la capacité totale des convertisseurs installés en France est de 84 tonnes permettant théoriquement une production annuelle de 90000 tonnes. La production réelle atteint cette année-là 52400 tonnes, assurée pour 29500 tonnes par Terrenoire avec 30 tonnes de capacité installée.

3. Société anonyme de Commentry-Fourchambault. Houillères de Commentry et de Montvicq. Hauts fourneaux, forges et fonderies de Fourchambault, Montluçon, La Pique et Imphy (Archives Nationales et Archives historiques du Crédit Lyonnais).



site de Saint-Louis à Marseille, au site d'Outreau⁴.

Pour la période 1875-1950, les sources et travaux utilisés sont essentiellement ceux rassemblés à l'occasion d'une thèse en histoire soutenue en juin 2000 : *Manganèse et acier. Contribution à l'histoire de la sidérurgie en France. 1774-1906*⁵.

Pour la période 1954-1987, les sources et travaux utilisés sont celles offertes par la littérature technique de l'époque et de nos archives personnelles rassemblant des notes sur le procédé prises comme ingénieur, chef de service puis directeur technique sur les sites d'Outreau et de Boulogne sur mer.

Pour la période récente, de 1987 à nos jours, nous n'avons pas cherché à consulter les archives techniques du site de Boulogne, qui, par le jeu des prises de contrôles successives, sont devenues propriété de la dernière société exploitante ; celle-ci fabrique toujours du ferromanganèse, ailleurs qu'en France et au haut fourneau. Nos sources émanent de la presse, locale, professionnelle, économique, et, pour les années les plus récentes des rapports aux actionnaires et des informations diffusées sur Internet par les sociétés exploitantes.

On sait combien une recherche historique portant sur des années récentes peut être hasardeuse et critiquable. En l'absence d'archives d'entreprises, nous avons cherché à travailler comme un historien pourra le faire dans quelques années, avec l'avantage sur celui-ci de disposer d'archives personnelles fort précieuses quand il s'agit d'écrire l'histoire, fort technique, d'un procédé industriel. Peut-on être en même temps acteur et historien sans transgresser les règles d'objectivité qui s'impose au second ? Peut-être eut-il fallu intituler cet article à l'instar des auteurs du XIX^{ème} siècle : " Mémoire pour servir à l'histoire... " ?

La fabrication du ferromanganèse au haut fourneau n'a jamais fait l'objet de

demande de brevet et les rares publications dont elle a été l'objet, ou fournissent des indications forcément fort générales⁶ ou décrivent des cas particuliers ; on verra qu'elle relève, comme la plupart des procédés industriels d'un savoir-faire propre à chaque entreprise qui ne peut être connu que de l'intérieur de cette entreprise. De ce point de vue, le double statut d'acteur et d'historien procure un irremplaçable éclairage qui autrement aurait été irrémédiablement perdu.

L'origine du procédé

Le procédé trouve son origine dans une fabrication connue au XVIII^{ème} siècle par les *Voyages métallurgiques* de Jars et Duhamel⁷, et surtout par la *Dissertation sur les mines de fer blanches* du suédois Bergman⁸ qui le premier annonce dans ces mines la présence de manganèse, élément dont la nature métallique a été démontrée cette année là. De ces mines "d'acier", on tire des fontes manganésées dont l'affinage au foyer d'affinerie donne de l'acier naturel : l'acier d'Allemagne. Les aciéristes de Rives en France produisent également de l'acier naturel par affinage de fontes à "acier" surtout dauphinoises ou savoyardes, sans d'ailleurs pouvoir satisfaire la demande nationale, ni en quantité, ni en qualité.

Les fontes à "acier" deviendront au milieu du XIX^{ème} une matière première recherchée pour la fabrication de l'acier puddlé sous des noms divers : spiegeleisen, fontes blanches miroitantes, fontes blanches du Rhin. Elles feront l'objet de 1803 à 1845 d'une vingtaine de mémoires : publications dans les *Annales des Mines* ou journaux de voyage manuscrits des élèves de l'Ecole des Mines.

En 1864, huit ans après l'annonce de son invention par Bessemer la fabrication du spiegeleisen au Siegerland devient pour les hauts fourneaux français, la première école de la métallurgie du manganèse. Cette année là, Sanson Jordan, futur professeur de métallurgie à l'Ecole Centrale publie *Etat de la mé-*

6 Edmond Truffaut, "Métallurgie des ferroalliages. Ferromanganèse élaboré au haut fourneau", *Traité de métallurgie, Techniques de l'ingénieur*, M 2445, Paris, 1989

7. Jars, *Voyages métallurgiques, ou recherches et observations sur les mines et forges de fer*, Lyon, 1774.

8. Bergman T., 1774, *Dissertation sur les mines de fer blanches*, traduction de Guyton de Morveau Paris, 1774

4. Archives des Aciéries de Paris et d'Outreau. Registre des délibérations du conseil d'administration de la Société anonyme des Aciéries de Paris et d'Outreau. Procès-verbaux des séances du 12 décembre 1902 au 28 juillet 1916. Ms.

5. Edmond Truffaut, *Manganèse et acier. Contribution à l'histoire de la sidérurgie en France. 1774-1906*, thèse de doctorat, direction Denis Woronoff, Université de Paris I Panthéon-Sorbonne. Juin 2000. Villeneuve d'Ascq, A.N.R.T., 2002



tallurgie du fer dans le pays de Siegen⁹ ; ce mémoire est suivi cinq ans plus tard de celui de Douvillé sur les *Dispositions de quelques hauts fourneaux de Siegen*¹⁰. Dans son introduction Jordan indique que les fontes du Rhin, après quelques années de relatif oubli, sont devenues indispensables à la nouvelle méthode d'affinage Bessemer. Leur consommation qui s'est largement accrue en Allemagne et en Angleterre commence à se développer en France où peu d'usines peuvent se livrer selon lui à ce genre de fabrication : Niederbronn, Alleverd, Ria et "maintenant, l'usine au coke de Saint-Louis"¹¹.

Les hauts fourneaux du pays de Siegen produisent chacun une dizaine de tonnes par jour de spiegeleisen en consommant charbon de bois ou coke. Sur leur construction, Jordan rapportent des indications qui lui seront précieuses par la suite, notamment sur l'usure du garnissage réfractaire, sur les appareils de récupération de la chaleur au gueulard, sur le chauffage du vent... Les informations qu'il recueille sur le réglage de la marche préfigurent les conditions d'élaboration du ferromanganèse au haut fourneau : l'augmentation de la pression et de la température du vent à 300°C permet d'augmenter jusqu'à 8-10% la teneur en manganèse du spiegeleisen et l'emploi de fondant calcaire réduit sensiblement la perte de manganèse dans le laitier.

En 1869, quand Douvillé visite les usines de Siegen, la fabrication de spiegeleisen s'y développe au rythme de celle de l'acier Bessemer¹². Douvillé confirme et renforce les observations de Jordan : la construction des hauts fourneaux a été consolidée et leur production journalière augmente¹³. Le spiegeleisen largement exporté en France,

9. Sanson Jordan, ingénieur, répétiteur de métallurgie, à l'Ecole Centrale des Arts et Manufactures, *Etudes sidérurgiques à propos de l'Exposition de 1862. Etat actuel sur la métallurgie du fer dans le Pays de Siegen (Prusse) et notamment des fontes aciéreuses*, Paris et Liège, 1864 (24.009).

10. Douvillé, *Annales des Mines*, 1869, tome 15

11. Sanson Jordan deviendra administrateur-délégué des hauts fourneaux de Saint-Louis.

12. De 21000 tonnes en 1840 la production de spiegeleisen en Prusse rhénane passe à 45000 tonnes en 1850 et 211000 tonnes en 1865 (*Revue Maritime et Coloniale*, janvier-avril 1869, p.7)

13. Edmond Truffaut, *Manganèse et acier...*, op. cit., pp 517-518

en Grande-Bretagne, aux Etats-Unis... perd son nom allemand et y gagne une appellation internationale : il devient le "spiegel".



Fonte blanche laminée spiegel, ou spiegeleisen, à 12% de manganèse.
L'analyse au moyen de l'analyse chimique a été faite à l'usine de
l'acier, au laminoir, à l'usine de l'acier, à l'usine de l'acier.

Limites de l'emploi du spiegel

Pour une teneur en manganèse de 10%, le spiegel contient 5% de carbone ; son addition en fin de conversion est donc recarburante, mais beaucoup trop recarburante... A.S.Hewitt, commissaire américain à l'Exposition universelle de 1867 expose le problème¹⁴: «L'application du procédé Bessemer à la fabrication de tôles pour chaudières, navires, poutrelles, etc., est l'une des plus importantes qui pourrait être effectuée... Malgré cela, en Angleterre, le tonnage de métal utilisé pour ces applications est bien inférieur à celui qui est consacré à d'autres emplois. Cela est dû à une certaine méfiance envers la tôle d'acier... Le secret de cette méfiance pour les tôles Bessemer en Angleterre tient au fait que presque toujours, la teneur en carbone du métal est trop élevée. Le spiegel utilisé en Angleterre n'est pas particulièrement riche en manganèse (rarement plus de 9%), tandis qu'il contient en général 4 à 4.5% de carbone. C'est pourquoi il est difficile avec un tel produit de désoxyder suffisamment le métal sans augmenter fortement sa teneur en carbone... ». Dès lors, l'emploi d'un ferroalliage plus riche en manganèse et relativement moins riche en carbone s'impose.

14. H. Bessemer, *An autobiography...*, op.cit., pp.273-27



1868

Terrenoire à la recherche d'un procédé

En France, le problème se pose pour Terrenoire¹⁵. Deux procédés ont été brevetés à l'époque : le premier par l'allemand Prieger pour la fabrication au creuset, le second par l'anglais Henderson pour la fabrication au four à sole. Dès 1868, l'entreprise se lance dans la fabrication au creuset mais l'abandonne un an plus tard ; les résultats, tant techniques qu'économiques, sont désastreux¹⁶.

La fabrication est transférée l'année suivante dans un four Martin-Siemens transformé pour la circonstance. La teneur en manganèse du ferromanganèse obtenue est comprise entre 50 et 80%. La production atteint une tonne par jour d'alliage à 50% contre quelques dizaines de kilos pour le procédé au creuset et, en terme de manganèse contenu, le ferroalliage est compétitif avec le spiegel. Mais la faible productivité de l'investissement, les coûts d'entretien du four (mauvaise tenue du garnissage réfractaire), les pertes de manganèse par volatilisation... restent prohibitifs. Faute d'autre technologie, Terrenoire utilisera le four Martin transformé jusqu'en 1875, sans concurrence : la fabrication est jugée trop difficile¹⁷.

1873-1906

La naissance du procédé

"L'invention appartient aux procédés cumulatifs de la connaissance, (qu') elle se nourrit d'analogies, d'emprunts, de substitutions, de combinaisons et de perfectionnements. Toutes ces pratiques sont favorisées par les collections, les échanges, les voyages, les concu-

15. A. Pourcel, « Le ferromanganèse », *Le Génie Civil*, 1885, 7, pp. 3-5, 21-23 et 50-52

16. A poids égal de manganèse ajouté en fin de conversion, l'addition de ferromanganèse fabriqué au creuset coûte trois fois plus cher que celle de spiegeleisen: le prix de revient de l'acier Bessemer augmente de 15%.

17. Pendant quelques années Terrenoire sera ainsi la seule entreprise sidérurgique à produire difficilement mais industriellement du ferromanganèse à haute teneur. Cela lui procurera une avance considérable sur ses concurrents dans la connaissance des phénomènes de désoxydation de l'acier

rences et les complémentarités entre fabricants..."¹⁸

Un haut-fourneau autrichien en allure de ferromanganèse.

Grüner, professeur de métallurgie à l'Ecole des Mines, remarque à l'Exposition universelle de Vienne en 1873, les échantillons de ferromanganèse obtenu au haut fourneau par une usine autrichienne : leur teneur en manganèse est supérieure à 30%, mais selon lui, "le haut fourneau ne peut conserver cette allure sans danger que pendant peu de jours".

Alertée, Terrenoire envoie en Autriche un de ses ingénieurs, F. Gautier¹⁹ qui en rapporte des indications précieuses. L'usine produit effectivement jusqu'à 4 tonnes par jour de ferromanganèse à 40% dans un haut fourneau consommant 10-15 tonnes de charbon de bois ; le prix de revient, en terme de manganèse contenu²⁰, est sensiblement inférieur à celui de Terrenoire. Surtout, Gautier apprend des hauts fournistes autrichiens qu'il faut régler l'allure de l'appareil de façon à laisser au manganèse, «le temps de se réduire» : la production journalière qui est de 10 tonnes en allure de spiegel à 10-12%, tombe à 8 tonnes pour une teneur en manganèse de 25%, et à 3 tonnes pour du ferromanganèse à 40%.

Mais qu'entend t'on par "allure du haut fourneau"? Aujourd'hui, cette allure «se caractérise par le débit de vent soufflé ; elle est dite normale lorsque, pour un lit de fusion donné, elle assure une production de fonte souhaitée, de qualité régulière et de prix de revient mini-

18. Liliane Hilaire-Perez, Pratiques inventives, cheminements innovants, crédits et légitimations, *Les chemins de la nouveauté*, (Liliane Hilaire-Pérez et Anne-Françoise Garçon dir.), CTHS, Paris, 2001, p. 31

19. F. Gautier, "Alliages ferrométalliques (leur fabrication, leurs propriétés, leurs emplois)", 1889-Congrès international des mines et de la métallurgie, *Bulletin de la Société de l'Industrie minérale*, tome 3, 1889

20. Le prix de revient n'est plus calculé par tonne de ferroalliage mais par tonne de manganèse métallique; dans le cas présent, le prix de revient de 1 tonne de manganèse métallique correspond à celui de 2.5 tonnes de ferromanganèse à 40%. Ce mode de calcul en "manganèse contenu" permet de comparer les prix de revient de différents ferromanganèses selon leurs teneurs en manganèse...



mal»²¹; en deçà et au-delà de cette allure normale les résultats du haut fourneau se dégradent.

L'allure dont parle les hauts fournistes autrichiens ne se caractérise pas par le débit de vent soufflé mais par la nature de la fonte fabriquée, spiegel à 10-25% ou ferromanganèse à 40%. Ils ignorent que la chaleur nécessaire à la réduction de l'oxyde de manganèse et la température à partir de laquelle cette réduction devient possible sont largement supérieures à celles réclamées par l'oxyde de fer. Leur démarche, parfaite illustration de l'explication selon laquelle la mise au point d'un nouveau procédé sidérurgique relève plus de l'empirisme que du savoir scientifique, consiste donc, à consommation inchangée de combustible, à ajuster la charge du haut fourneau en fonction de la teneur en manganèse de la fonte à produire : spiegel ou ferromanganèse à 40%, la quantité d'oxyde de manganèse à éduire reste la même.

Les mémoires de Jordan et Douvillé avaient appris aux hauts fournistes de Terrenoire que le remplacement du charbon de bois par le coke et le réchauffement du vent étaient des conditions favorables à une augmentation de la teneur en manganèse du ferromanganèse, mais que tout excès d'oxyde de manganèse chargé était perdu dans le laitier. Ils savent désormais que « la prétendue irréductibilité du manganèse au haut fourneau n'était qu'une difficulté relative ». Ils savent que pour produire du ferromanganèse à haute teneur, il leur faut rassembler les conditions favorables à l'obtention d'une « grande quantité de chaleur », et par réglage de la composition de la charge et du débit de vent soufflé atteindre une allure stable de l'appareil, "une allure de ferromanganèse"²².

On sait par Pourcel, chef du service hauts fourneaux de Terrenoire, que si l'usine avait disposé en 1873 d'un haut fourneau produisant du spiegeleisen et surtout d'appareils réchauffeurs de vent performants (elle n'en sera équipée que

l'année suivante), les essais de production de ferromanganèse à haute teneur auraient commencé aussitôt. On aurait pu dire alors que Terrenoire, première usine à le mettre en œuvre, avait inventé le procédé de fabrication du ferromanganèse au haut fourneau, une priorité qu'elle méritait bien.

Mais deux autres compétiteurs français se présentent. Saint-Louis produit du spiegeleisen à 25% dès 1874 et du ferromanganèse à 70-80% l'année suivante. Montluçon, contrainte jusqu'alors d'acheter au prix fort à Terrenoire du ferromanganèse à 50% pour les besoins de son aciérie Bessemer produit du ferromanganèse à 70% à la fin de l'année 74.

Le seul récit de la mise au point du procédé de fabrication du ferromanganèse qui nous soit parvenu raconte l'expérience de Terrenoire ; il a été établi par Pourcel à partir de ses archives personnelles²³ et publié en 1885 dix ans après les faits.

Le nouveau procédé se distingue du procédé de fabrication de la fonte classique par le fait que le manganèse remplace le fer comme constituant principal du produit. Dès les premières expérimentations se manifestent l'importance de la composition de la charge, du réglage de la marche, et dans une moindre mesure de la construction et de l'équipement du haut fourneau.

Composition de la charge. La récupération du fer contenu dans le minerai de fer ou de manganèse est pratiquement totale. Au contraire la réduction du manganèse est partielle : on parle alors de "rendement en manganèse". Ce rendement résulte, d'une part de la "quantité de chaleur" disponible pour la réduction des oxydes métalliques²⁴, d'autre part de la quantité et de la composition du laitier produit en même temps que le ferroalliage.

Jordan avait noté au cours de son voyage dans le Siegerland l'avantage du coke sur le charbon de bois. Les hauts fournistes de Terrenoire remarquent

21. J. Corbion, *Le savoir... faire. Glossaire du haut fourneau...*, op.cit., article Allure, p.A 18.

22. Le haut fourneau autrichien consommait du charbon de bois dont la combustion dégage une température inférieure à celle du coke. C'est la raison pour laquelle l'usine ne progresse plus les années suivantes et se limite à la production d'un ferromanganèse à 40-60% de manganèse.

23. A. Pourcel, « Le ferromanganèse », *Le Génie Civil*, 1885, 7, pp. 3-5, 21-23 et 50-52. On trouvera une analyse des essais menés à Terrenoire de 1875 à 1878 dans Truffaut, "Manganèse et acier...", op. cit., pp. 567-572.

24. La quantité de chaleur disponible dépendant elle-même de la qualité du combustible utilisé (le coke pour le ferromanganèse à plus de 70% de manganèse), et du rapport poids de combustible/poids de minerai.



très vite l'importance de la teneur en cendres du coke. Ils remarquent en même temps l'importance de la composition des minerais de manganèse entrant dans la charge (rapport des teneurs en fer et manganèse, teneurs en éléments scorifiables) et de la régularité de cette composition. Comme Jordan, ils vérifient l'effet favorable d'une addition de fondants calcaire, magnésien et barytique qui neutralise la silice (présente dans les minerais ou les cendres du coke²⁵) et limite la perte de manganèse dans le laitier. Pourcel explique que le calcul de la charge du haut fourneau en allure de ferromanganèse implique donc deux hypothèses²⁶ sur les conditions susceptibles de procurer à l'appareil une marche régulière et économique, l'une sur le rapport coke/minerais, l'autre sur le rendement en manganèse. La réglage du haut fourneau est donc empirique : il faudra au vu des résultats de marche corriger les hypothèses prises en compte. De plus, une inconnue supplémentaire intervient dans ce réglage lorsqu'il s'agit d'explorer, comme le fait Terrenoire les possibilités d'augmentation de la teneur en manganèse du ferroalliage produit.

Construction du haut-fourneau.

Pourcel avait regretté en 1873 que Terrenoire ne dispose pas d'un haut fourneau en allure de spiegel. En fait, l'essai est effectué dans un appareil fabriquant habituellement 40-45 tonnes par jour de fonte qualité Bessemer²⁷ et consommant 38 à 43 tonnes de coke. Les dimensions du haut fourneau diffèrent un peu de celles de l'appareil décrit par Jordan en 1864: la pente des étalages est un peu moins forte.

Lors du premier essai, le débit de vent est réglé de façon à brûler 40 tonnes de coke par jour ; ce débit est réduit de moitié au cours du second essai ; en même temps, les trois tuyères soufflantes sont enfoncées dans le creuset de 20 à 25 centimètres. On a sans doute cherché à souffler du vent plus chaud : la température du vent augmente en effet de 150°C du premier essai au second, mais en même temps

25. Le coke utilisé par Terrenoire pour les essais contenait 15% de cendres

26. Quatre si l'on tient compte de la volatilisation d'une partie du manganèse et de la teneur en silicium du ferromanganèse produit.

27. La fonte qualité Bessemer contenait 2-3% de manganèse qui facilitait l'opération en fin de conversion

on a rapproché le profil des étalages de celui d'un haut fourneau en allure de spiegel et concentré la chaleur au niveau des tuyères. Dans le creuset et les étalages, le haut fourneau est revêtu d'un garnissage réfractaire en carbone qui donne satisfaction : il résiste bien à l'action corrosive du laitier²⁸.

En septembre 1875, au cours du deuxième essai, Terrenoire produit du ferromanganèse à 70% moyennant une consommation en coke de 1900 kilos par tonne de produit ; le rendement en manganèse est de 67% (1350 kilos de laitier à 32% de manganèse). La température du vent atteint 750°C.

Il n'est pas possible d'attribuer à Terrenoire la priorité de l'invention d'un procédé que Saint-Louis et Montluçon ont appliqué simultanément ; les ingénieurs des trois sites étaient membres de l'influente Société de l'Industrie Minière, lieu d'échanges techniques permanent, et donc informés des essais en préparation. Mais sans nul doute, Terrenoire, riche en 1875 d'une expérience de plusieurs années dans la production du ferromanganèse au creuset et au four à réverbère est le véritable promoteur du procédé.

Diffusion du procédé en France et à l'étranger.

Au cours des années 1875-1878, Terrenoire, Saint-Louis et Montluçon obtiendront des ferromanganèses à 80 et même 85%, au prix d'une augmentation de la consommation de coke (2700 kilos), en atteignant des rendements en manganèse de 75-80%. Mais le rendement en manganèse intervient fortement sur le prix de revient: les minerais de manganèse importés de l'étranger coûtent cher. Pour des raisons économiques ou purement pratiques (au-delà de 80% le ferromanganèse n'est pas stable vis à vis des agents atmosphériques), la course aux hautes teneurs en manganèse s'arrête. La teneur en manganèse du ferromanganèse commercial se fixe à 75-80%

Le nouveau procédé de fabrication diffuse rapidement à l'étranger : en Oural vers 1876, dans la Rhur l'année suivante, en Grande Bretagne à partir de 1878 (Cleveland, puis Pyle et Blaina). Terrenoire qui a créé une "Société des fers et alliages de manganèse" pour

28. Cette utilisation du carbone, trop bon conducteur de la chaleur, ne sera pas confirmée.



exporter ses brevets contribue à ce rapide développement. En France, des imitateurs se manifestent à Tamaris, Saint-Montan (Beaucaire), Montluçon-Saint-Jacques (Châtillon-Commentry); en 1882, les Aciéries de la Marine créent l'usine du Boucau près de Bayonne.

Les crises successives des années 1880 et la concurrence de la nouvelle sidérurgie lorraine après l'invention du procédé Thomas frappent Montluçon et Terrenoire. La fabrication du ferromanganèse s'arrête à Montluçon vers 1883 après celle de l'acier Bessemer ; elle s'arrête sans doute l'année suivante à Terrenoire²⁹ qui connaît en 1887 une faillite retentissante.

Quant à Saint-Louis qui fonctionne toujours, le rapport sur la grosse métallurgie de l'Exposition Universelle de 1900 renseigne sur les dimensions de ses hauts fourneaux et de leurs annexes : appareils réchauffeurs de vent (sans indiquer la température obtenue), installation d'épuration du gaz³⁰ Le rapporteur écrit que " l'usine de Saint-Louis a réussi à régler d'une manière satisfaisante cette fabrication (celle du ferromanganèse) et à éviter la production au gueulard de températures trop élevées dues à une consommation exagérée de combustible" : aucun résultat technique... mais l'usine s'est toujours montrée très discrète.

En 1900 après 15 ans d'un monopole précaire et une tentative de diversification dans d'autres ferroalliages, Saint-Louis reste en France le seul producteur permanent de ferromanganèse: la régularité de ses fabrications et la précision de ses classements lui permettent de conserver ses débouchés. Deux usines françaises dont Le Boucau, produisent épisodiquement, du ferromanganèse ; d'autres produisent des spiegels à 10 et 25% (Isbergues, Tamaris) et du ferromanganèse à 50% (Berdoulet en Ariège).

29. Pourcel quitte l'entreprise en 1885 pour Bilbao.

30. Le gaz est débarrassé de la majeure partie des poussières qu'il entraîne hors du haut fourneau par précipitation à sec dans des conduites de grand diamètre; l'efficacité d'un tel dispositif devait être assez faible puisque les réchauffeurs de vent les plus modernes, chauffés au gaz de haut fourneau, sont équipés d'un système automatique de raclage pour évacuer les poussières de gaz qui s'y déposent..

Cinq ans plus tard, la société qui contrôle Saint-Louis doit faire face à un lourd programme d'investissements : elle décide de vendre ses hauts fourneaux et trouve à Outreau près de Boulogne-sur-mer un producteur de fontes de moulage et d'affinage dont l'usine vient d'être modernisée et qui souhaite élargir son programme de fabrication. En 1906, un haut fourneau est "déménagé" de Marseille à Outreau ; l'opération de transfert, remarquablement réussie, dure un an au bout duquel le haut fourneau remonté produit de façon tout à fait satisfaisante du ferromanganèse. Selon l'expression du président du conseil d'administration d'Outreau, la fabrication du ferromanganèse à Outreau doit être considérée "comme la suite de celle de Marseille".

1906-1990

Le développement du procédé à Outreau et Boulogne

"...L'usage du secret – et partant de sa transgression – fait à ce point partie du "paysage technique", qu'il fut peu ou prou entièrement assimilé à l'espionnage. A tort, toutefois le secret fut, et demeure peut être l'un des modes ordonnateurs de la pensée technique occidentale"³¹

Etat du procédé en 1906

Le directeur des hauts fourneaux d'Outreau, Bernard, visite Saint-Louis avant le transfert : son rapport fait le point sur la fabrication du ferromanganèse en 1906. Il remarque les paliers qui entourent la cuve du haut fourneau et permettent d'entretenir la cuve du haut fourneau toujours très chaude et qui s'use rapidement en allure de ferromanganèse, les trois rangées de boîtes à circulation d'eau qui refroidissent la maçonnerie; il remarque les quatre tuyères soufflantes, le creuset blindé qu'on évite d'arroser (donc de refroidir). Il s'étonne surtout du profil du haut fourneau: " le haut fourneau de Saint-Louis est de type élancé, le ventre haut, disposition qui serait très mauvaise pour d'autres fontes, par exemple pour l'hématite. Le haut fourneau de Saint-

31. Anne-Francoise Garçon, "Comment retracer historiquement les chemins de la nouveauté", *Les chemins de la nouveauté*, op. cit., p. 467



1907, moteurs à gaz

Louis bien que de 18 mètres, ne ferait pas plus de production en hématite que le nôtre de 16 mètres".

Bernard rapporte aussi de sa visite à Saint-Louis les éléments permettant d'établir un prix de revient prévisionnel pour la production à Outreau de 800 tonnes par mois de ferromanganèse à 80%, notamment la consommation de coke à 10% de cendres (mise au mille) de 2500 kilos par tonne de ferromanganèse et le rendement en manganèse de 80%. La charge prévue est composée uniquement de minerais de manganèse : minerai de manganèse riche (40% et plus) et minerai de manganèse ferrifère qui à égalité de manganèse contenu coûte trois fois moins cher que le minerai de manganèse riche importé. L'addition de fondants (castine et dolomie) est de 1000 kilos par tonne de ferromanganèse³².

La mise au mille coke de 2500 kilos retenue par Bernard dans son calcul est celle "obtenue habituellement par Saint-Louis" ; mais il reste prudent : " nous n'en garantissons rien puisque certaines circonstances comme de l'air mieux chauffé, peuvent réduire la consommation de coke, tandis que d'autres comme la nature du minerai employé pourraient l'augmenter".

32. Addition justifiée pour un tiers par la silice des cendres du coke et pour le reste par la silice apportée par le minerai de manganèse du type Caucase. La quantité de laitier par tonne de ferromanganèse produite devait atteindre 1000 kilos entraînant une perte de quelques 120 kilos de manganèse.

En 1911, la mise au mille au coke constatée à Outreau est de l'ordre de 2000 kilos³³.

Le procédé de fabrication du ferromanganèse au haut fourneau (désigné dans ce qui suit, pour alléger l'écriture, comme "le procédé") est donc installé à Outreau en 1906. Il se différencie de celui de la fonte classique :

- au niveau de la technologie, par un profil adapté du haut fourneau en "allure de ferromanganèse"³⁴, par des dispositifs de refroidissement du garnissage réfractaire strictement limités aux zones sollicitées pour éviter les pertes de chaleur, par des réchauffeurs de vent à haute température, par des installations d'épuration du gaz le débarrassant des poussières produites par la volatilisation du manganèse,
- au niveau de la composition du lit de fusion par l'existence d'un rendement en manganèse nécessitant un calcul de la charge dans lequel interviennent plusieurs hypothèses sur les résultats attendus (rendement en manganèse, consommation de coke...)
- au niveau de la conduite du haut fourneau³⁵, un réglage empirique et permanent de la composition de la charge en fonction des écarts constatés entre résultats attendus et obtenus, réglage basé sur l'observation de la température de flamme aux tuyères soufflantes, la température du laitier à la coulée, la cassure d'échantillons de laitiers et la température du ferromanganèse à la coulée.

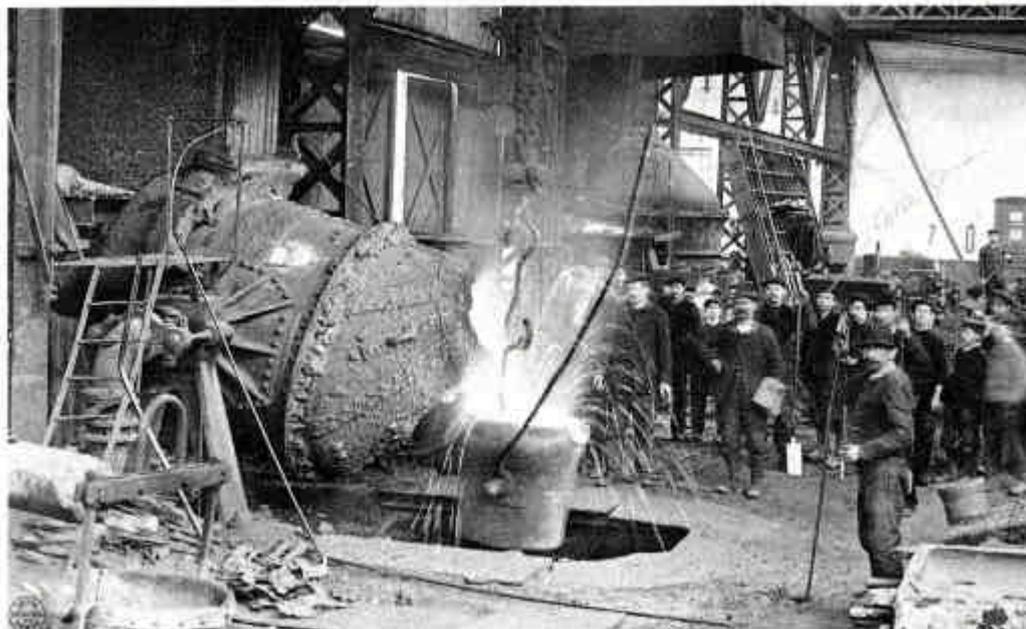
Comme Saint-Louis, Outreau restera toujours discret sur ses techniques de fabrication... Le procédé y est si bien développé qu'après 1950, le ferromanganèse devient l'unique fabrication du site qui assure alors 10% de la production mondiale.

En 1925, la bibliothèque d'Outreau acquiert l'ouvrage d'Aimé Coutagne sur

33. Il est fort probable que les appareils réchauffeurs de vent Cowper d'Outreau donnaient une température de vent bien supérieure à celle des vieux appareils Whitwell de Saint-Louis.

34. Ceci est vrai pour Saint-Louis et Outreau; nous ne savons pas si, à l'époque, cela était vrai pour les autres sites français ou étrangers.

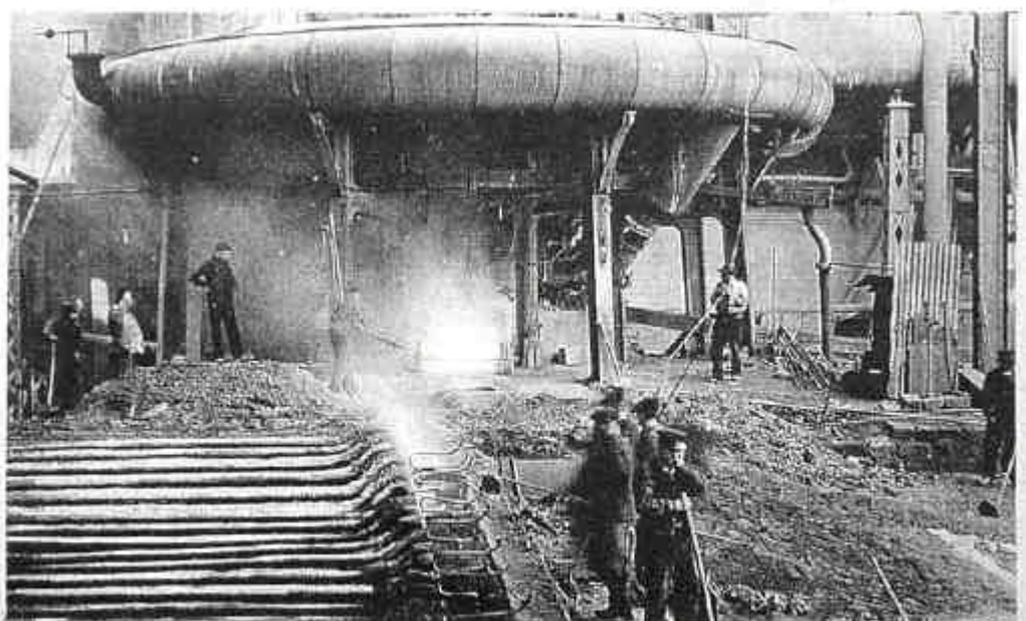
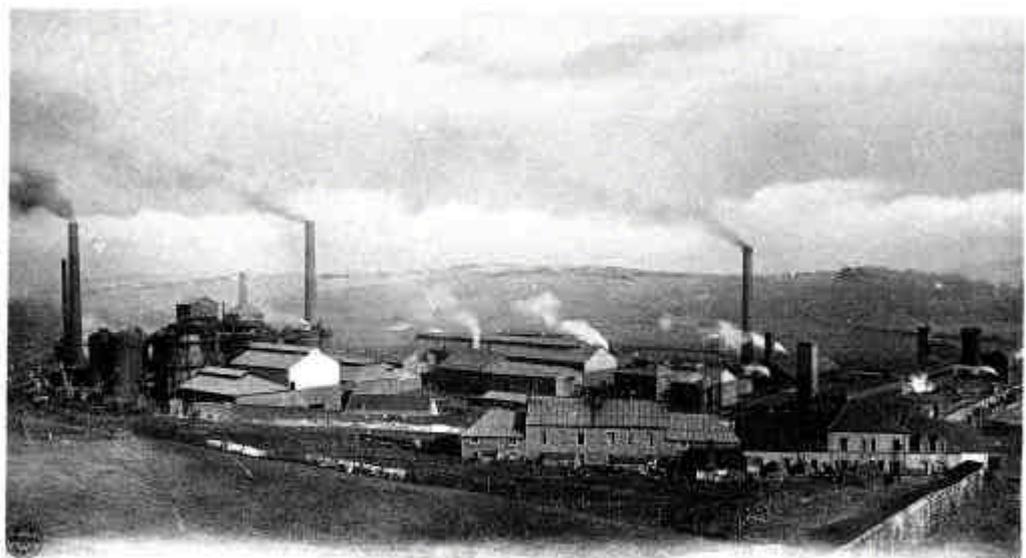
35. Les sources ne renseignent pas sur ce réglage empirique. Ce paragraphe procède de notre propre expérience de la fabrication.



1908, Convertisseur acier

1908, Panorama des aciéries d'Outreau

v. 1920, Outreau, coulée de fonte [carte postale, archives APO]



4. - OUTREAU (P.-de-C.) - Les Hauts-Fourneaux - la Coulée de fonte.



1929, haut-fourneau avant reconstruction
[archives APO]

les ferroalliages³⁶. Un des chapitres est consacré à la fabrication du ferromanganèse au haut fourneau : l'auteur y souligne "le silence de la littérature". On y trouve une étude des résultats de marche de 7 hauts fourneaux américains en 1918-1920 au cours de 40 campagnes de production de ferromanganèse. Ces résultats sont en net retrait sur ceux d'Outreau en 1911: une moyenne de 40 résultats donne une mise au mille de coke de 2386 kilos et un rendement en manganèse de 75% pour une production journalière de 52 tonnes de ferromanganèse à 75% de manganèse avec une température de vent de l'ordre de 600°.

Etat du procédé à Outreau à la fin des années 1930

Rédigée après le déclenchement du deuxième conflit mondial et l'arrêt de l'usine d'Outreau, une étude réalisée par le directeur des hauts fourneaux, Jean Sanson, renseigne sur le développement du procédé à la fin des années 1930³⁷. Il s'agit d'un document interne

36. Aimé Coutagne, *La fabrication des ferroalliages*, Paris, 1925 [04.020].

37. On compte en France en 1930 trois producteurs de ferromanganèse au haut fourneau: Outreau (25000 tonnes par an), Pompey (13000) et Le Boucau (6000), et quelques producteurs au four électrique

non destiné à la publication de 130 feuillets dactylographiés portant de nombreuses corrections manuscrites. Dans ses trente chapitres, l'étude dresse l'état et les conditions d'application du procédé à Outreau et propose un certain nombre d'améliorations ; décrivant dans le détail, les conditions de sa mise en œuvre elle informe sur la part prise par les fondeurs, gaziers, chargeurs dans la constitution du savoir-faire.

Les informations sont regroupées ici en quatre rubriques: résultats de marche, composition de la charge, construction et conduite du haut fourneau.

- **Résultats de marche.** La teneur en manganèse du produit ne dépasse pas 80% ; au-delà, il se délite. La mise au mille de coke est de 1650 kilos. Le rendement en manganèse atteint 87-90% ; 5% de manganèse sont perdus dans le laitier, 5% dans les poussières de gaz. En trente ans, la mise au mille de coke a baissé de 300 kilos et le rendement en manganèse, augmenté de 10%.

- **Composition de la charge.** Le coke contient 11 à 12% de cendres; on recherche un coke exempt de fines, solide, peu réactif.

Les minerais sont d'origines diverses. Le minerai de Poti (URSS) constitue 50% de la charge de minerai, dont le reste est composé suivant les réceptions de minerais d'Ouest-Afrique (Ghana), de Bou Arfa (Afrique du nord), des Indes, du Brésil et de cendres de pyrites briquetées et agglomérées par l'usine. Le fer nécessaire est apporté par le minerai de Bou Arfa et les briquettes de pyrites. La quantité de laitier formé par tonne de ferromanganèse est de 600-700 kilos, due surtout à la silice apportée par les cendres de coke et le minerai de Poti. On vise un laitier polybasique contenant chaux, magnésie et baryte, très calcaire (rapport silice/bases égal à 0,60) ; sa teneur en oxyde de manganèse, de 9% environ, est le résultat du compromis recherché entre fluidité et rendement en manganèse. Cette composition du laitier a été obtenue après des années d'expérimentations grâce à l'augmentation de la température du vent et à la polybasicité : en 1929, le laitier contenait encore 18% d'oxyde de manganèse avec un indice de 0.68. On envisage une poursuite de l'expérimentation sans le secours de références étrangères en espérant atteindre les valeurs 3.5% et 0.46 par remplacement



d'une partie de la chaux par la magnésie et la baryte.

- Construction du haut fourneau.

On considère que le haut fourneau en allure de ferromanganèse est un haut fourneau en fonte modifié pour concentrer la chaleur dans l'ouvrage³⁸ et obtenir au gueulard la plus faible température de gaz possible. Un bilan thermique détaillé de l'appareil montre que c'est dans l'ouvrage que se fait à plus de la réduction de l'oxyde de manganèse³⁹. Pour y concentrer la chaleur, on réduit le nombre de tuyères qui sont autant de points froids, la vitesse du vent au niveau des tuyères est de 300 m/sec (trois fois supérieure ce qu'elle est en fabrication de fonte) et on hésite à augmenter le diamètre du creuset car "le travail dans l'ouvrage devient très rapidement plus difficile pour une faible augmentation du creuset".

Par contre, la doctrine en matière de "profil" n'est pas très explicite⁴⁰. Le volume spécifique du haut fourneau est double de celui de la fonte mais pour éviter l'écrasement du coke on limite la hauteur de l'appareil ; on estime que les étalages pourraient être moins hauts et plus raides que ceux du haut fourneau en fonte, que la cuve pourrait à la limite être cylindrique compte tenu de l'absence d'accrochages qu'un grand diamètre du gueulard est favorable parce qu'il limite l'entraînement de poussières. Finalement, la comparaison du profil retenu à Outreau s'inscrit dans la suite des profils de hauts fourneaux spécialement construits pour la fabrication du ferromanganèse depuis Terrenoire et Saint Louis.

La construction du haut fourneau ne manque pas de poser plusieurs problèmes.

38. Zone des étalages située juste au dessus du creuset

39. On constate à l'occasion de l'établissement de ce bilan thermique que les chaleurs de réduction des oxydes de fer et de manganèse sont maintenant connues.

40. Une note interne du 7 mars 1934 concernant la reconstruction du haut fourneau 2 d'Outreau se plaint de la nécessité d'utiliser les charpentes anciennes qui empêchent l'usine d'Outreau de diminuer le ventre de ces fourneaux, mais elle a cherché à améliorer le profil des fourneaux en augmentant le diamètre des creusets dans la limite des possibilités permises par les charpentes existantes... Malgré cette amélioration, les ventres sont encore trop volumineux et il s'y produit fréquemment des garnissages qui perturbent la marche des fourneaux".

L'engorgement progressif du creuset par le graphite provoque une montée progressive des étalages et impose la mise hors feu définitive de l'appareil. On évite donc pour le creuset un garnissage en carbone trop conducteur de la chaleur et les refroidisseurs.

La partie supérieure des étalages est souvent sujette à de petites percées : on envisage de blinder les étalages avec une tôle épaisse refroidie par ruissellement d'eau ; l'installation de boîtes de refroidissement est prohibée : elles provoquent une descente de la charge par chutes très pénalisante pour le rendement en manganèse ; percées possibles également à la marâtre (jonction des étalages et de la cuve) dont la construction doit être très soignée.

La cuve souffre plus qu'en fonte ; elle est construite en brique réfractaires (à 40-42% d'alumine pour les deux tiers inférieurs), qui fondent partiellement après la mise à feu de l'appareil ; la cuve est maintenue par des cercles. Comme dans les étalages, les boîtes de refroidissement sont prohibées.

Au gueulard, un joint de sable rend la cuve indépendante de l'appareil de chargement (système Stähler). Ce dernier, robuste, est muni de larges clapets d'explosion. Pour abaisser la température au gueulard qui en marche normale varie entre 500 et 800° (900° en marche perturbée), de l'eau y est pulvérisée ; la température s'abaisse alors à 350-650°. Mais la pulvérisation reste difficile à contrôler.

Les 6 appareils réchauffeurs de vent cowper fournissent un vent chaud à 950° (deux autres en instance de modernisation : à 700°)⁴¹. Quatre chapitres de l'étude évaluent l'intérêt d'une suroxygénation⁴² ou d'une dessic-

41. Enquête de la Commission d'Etudes techniques sur la production dans l'industrie sidérurgique avril mai 1938. Une lettre du Président-directeur-général au directeur d'Outreau signale son intention de moderniser deux appareils cowper qui s'ajouteront aux deux autres présents pour assurer une marche à deux hauts fourneaux en ferromanganèse dans les meilleures conditions. Quatre appareils cowper ont donc été modernisés entre 1933 et 1938

42. La suroxygénation du vent pourrait permettre, pense t'on, la production de ferro-silicium et peut être d'autres fabrications. A l'époque la technique avait été testée pendant six jours au haut fourneau d'Oberhausen dans la Rhur, mais les résultats obtenus (très médiocres: mise au mille coke de 2190 kilos et rendement en manganèse de 70%) et la trop courte durée de



cation du vent et concluent que l'élévation de la température du vent (on espère 1000°C dans un avenir proche) reste l'objectif prioritaire.

L'obtention de haute température de vent dans des appareils cowper n'est rendue possible que par l'épuration parfaite du gaz de haut fourneau utilisé pour les chauffer. Celui-ci sort du haut fourneau avec 29 grammes par mètre cube de poussière "impalpable", à 20% et plus d'oxyde de manganèse. Cette épuration est réalisée en trois étapes, épuration statique, épuration électrique et enfin épuration hydraulique fonctionnant en véritable piège à poussière: le gaz épuré contient moins de 5 milligrammes de poussières par mètre cube⁴³.

- La conduite du haut fourneau.

Il n'est pas possible de citer ici tous les points de l'étude illustrant la répartition du savoir-faire entre les différents métiers ; nous nous limiterons à quelques exemples concernant les fondeurs et leurs contremaîtres. Les fondeurs gèrent les opérations de coulée du métal et du laitier en portant beaucoup d'attention au bouchage du haut fourneau et à la confection des rigoles qui conduisent le métal liquide vers les bacs de sable où il refroidit en couche de 10-15 centimètres d'épaisseur⁴⁴. Ils observent la combustion du coke aux tuyères pour prévenir les effets d'une évolution du bilan thermique ou une percée avec introduction d'eau dans le haut fourneau. Le laitier, quelquefois visqueux et chargé de gouttelettes métalliques, est alors coulé en même temps que le métal malgré le risque de brûler ou d'engorger les tuyères. Les fondeurs surveillent en permanence l'état des étalages, de la cuve, pour intervenir au plus vite au départ d'une percée... Mais leur contribution la plus importante au "réglage" du haut fourneau est certainement la prise à chaque coulée, d'un

l'expérimentation, interdisaient toute conclusion.

43. Jusqu'en 1926 l'usine consommait aux brûleurs des appareils cowper du gaz brut encore chargé de poussières dont l'oxyde de manganèse attaquait les briques réfractaires portées à 1400°. Il a fallu dix ans pour construire et mettre au point l'atelier d'épuration décrit ici..

44. Un bouchage défectueux, des rigoles mal séchées, peuvent être à l'origine d'un "bouillonnage" : réaction explosive entre le ferromanganèse liquide, l'eau et le sable, avec formation d'hydrogène et scorification de la coulée.

échantillon de métal liquide "représentatif" qui sera envoyé en urgence au laboratoire de chimie pour analyse, et surtout détermination rapide de la teneur en silicium⁴⁵

Les contremaîtres surveillent la fluidité des laitiers à la coulée et l'aspect des échantillons prélevés: couleur et cassure. Sur la base de leurs observations et de l'évolution des teneurs en silicium annoncées par le laboratoire, l'ingénieur de hauts fourneaux pratiquera si nécessaire une correction de charge⁴⁶.

Tous les "métiers" participent au réglage de la marche du haut fourneau.

1940 Bilan de l'évolution du procédé depuis son « invention » en 1875

Saint-Louis s'étant le premier spécialisé dans la fabrication du ferromanganèse au haut fourneau, Outreau, Le Boucau et Pompey, qui viennent à sa suite, confirment l'importance d'une marche continue pour obtenir le meilleur réglage et les meilleurs résultats du procédé ; une fabrication permanente leur donne un gros avantage sur leurs concurrents sidérurgistes, nationaux ou étrangers⁴⁷, qui produisent du ferromanganèse par campagnes, au gré de leurs besoins.

L'importance de la qualité des minerais de manganèse et cokes, pour une industrie de matières premières qui représentent 80% du prix de revient s'est révélée avec le temps.

L'influence bénéfique de l'augmentation de température du vent sur la mise au mille de coke s'est trouvée confirmée, sans qu'on ait trouvé de limite à cette augmentation ; de même a été confirmé la sensibilité du rendement en manganèse à la composition du laitier.

45. la teneur en silicium du ferromanganèse de la coulée est le meilleur indicateur de l'état thermique du haut fourneau et son suivi de coulée à coulée permet le réglage de la marche.

46. Ces retouches permanentes sont nécessaires pour prendre en compte les variations inévitables de composition des matières premières par rapport à leur standard de réception (par exemple hausse accidentelle de la teneur en eau des fondants qui affecte au bout de quelques heures le rendement en manganèse).

47. Saint Louis est exportateur de ferromanganèse; Outreau le devient dès 1908.



L'étude de la thermodynamique des réactions chimiques apparue à la fin du XIX^{ème} a permis de déterminer la température seuil de déclenchement de la réduction de l'oxyde de manganèse par le carbone, nettement plus élevée que celle de l'oxyde de fer, et de chiffrer les quantités de chaleur nécessaires aux deux réactions.

Un point reste encore assez mystérieux : celui du meilleur profil à adopter pour le haut fourneau en allure de ferromanganèse, d'un haut fourneau qui est rapidement apparu différent de celui du haut fourneau en fonte. Se souvient-on encore comme le remarquaient les hauts fournistes autrichiens à l'origine du procédé en 1873: il faut laisser au manganèse "le temps de se réduire"? As-t-on pris en compte le fait que la charge de coke, minerai de manganèse et fondants, devait se présenter dans l'ouvrage, aussi bien sinon mieux échauffée qu'une charge pour fonte deux à trois fois moins volumineuse? Le fait est qu'à Outreau en 1940, on en restait, compte tenu des contraintes imposées par les installations existantes sur le site (constructions métalliques, hauteur du plancher de chargement...), à un compromis préservant à la fois le temps de séjour de la charge dans le haut fourneau (environ 19 heures) et l'intensité de combustion du coke (environ 20 tonnes / m² de surface de creuset/jour. Un problème qui sera pour Outreau et Boulogne celui des quarante années suivantes, se profilait déjà, contrariant la recherche d'un effet d'échelle des investissements : comment augmenter la capacité d'un haut fourneau en allure de ferromanganèse (en bref, augmenter son diamètre au creuset) sans réduire son volume (c'est à dire le temps de séjour de la charge dans l'appareil).

Etat du procédé à Outreau en 1960

Il nous est connu par une communication interne prononcée en décembre 1960 par le responsable du service hauts fourneaux⁴⁸.

Les hauts fourneaux d'Outreau ont été remis à feu après la deuxième guerre mondiale : en 1948, sur trois hauts fourneaux en marche, un seul produit encore de la fonte ou du spiegel. A

48. Pierre des Rochettes, "La division hauts fourneaux depuis dix ans", Archives des Aciéries de Paris et d'Outreau, MS 1960. (13 feuillets)

partir de 1950, l'usine ne produira plus que du ferromanganèse pour répondre à la demande en progression constante de la sidérurgie mondiale. De 1952 à 1957, sa production journalière passera de 250 tonnes à 500 tonnes grâce à une augmentation des moyens de soufflage : nombre de tuyères soufflantes, surface de chauffe des appareils cower, puissance des soufflantes, enrichissement en oxygène du vent pour un haut fourneau à partir de 1956. Les hauts fourneaux s'usent rapidement: ils sont tous reconstruits de 1950 à 1959. Les normes de construction arrêtées par l'étude de 1940 sont globalement respectées mais les impératifs de production amènent à augmenter l'intensité de combustion du coke (tonnage de coke brûlé par jour et par m² de surface de creuset) et le temps de séjour de la charge diminue.

L'augmentation de la teneur en oxygène du vent à 29.5% permet d'augmenter de 30% environ la production du haut fourneau concerné ; mais le coût de l'énergie électrique nécessaire pour l'enrichissement, les difficultés d'exploitation de la centrale à oxygène et le comportement du haut fourneau⁴⁹ feront que la technique ne sera pas développée dans les années suivantes.

A l'occasion d'une conjoncture plus faible en 1958, le haut fourneau 2 est reconstruit dans une conception nouvelle. Il est entièrement blindé, sans joints, autoportant et refroidi extérieurement par ruissellement d'eau. Pour lui donner un profil qualifié de "naturel", ses dimensions intérieures ont été déterminées après observation des profils d'usure des hauts fourneaux à la mise hors service ; ses dimensions respectent toujours les normes arrêtées en 1940 mais tiennent compte des données recueillies depuis dix ans sur les effets favorables d'une augmentation de l'intensité de combustion du coke aux tuyères.

On vise une production de 180 tonnes/jour en augmentant le diamètre au creuset d'une soixantaine de centimè

49. Le volume de gaz produit par tonne de coke brûlé diminue d'un tiers environ, ce qui est équivalent à une augmentation (favorable) du temps de séjour de la charge. Mais cela pose en même temps un problème de répartition d'un débit de gaz réduit dans un volume offert inchangé; pour améliorer le contact gaz-minerai défectueux dans certaines zones de la cuve du haut fourneau, des essais visant à modifier la répartition radiale du minerai dans la cuve sont entrepris.

VUE DE L'USINE D'OUTREAU

Clair C. A. P.



2004

Soleils d'Acier

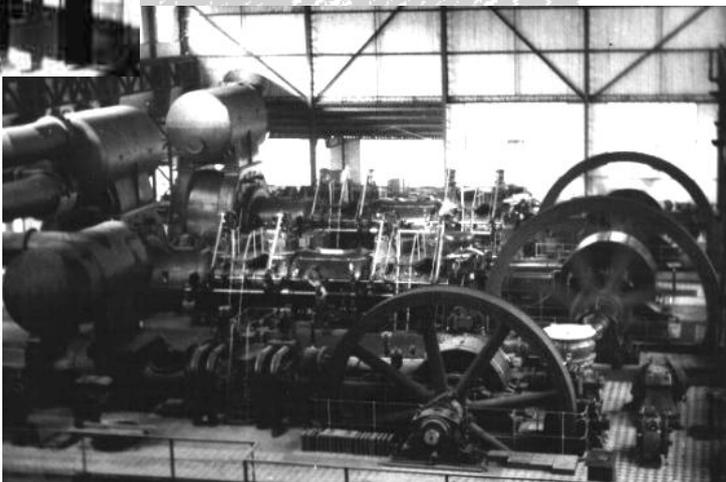
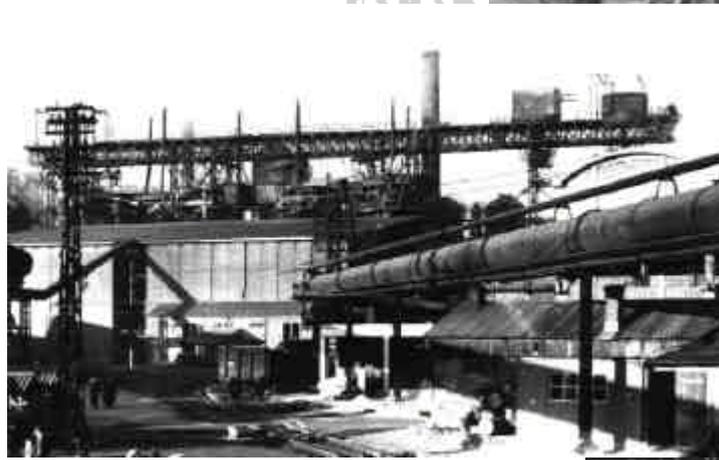
*Com
c'est*

▲ 1925, Outreau

► 1965, Outreau

1960, Outreau 1959 [archives APO]▼

1950, Outreau, soufflantes [archives APO]▲



l'Acier

SAVOIR



tres (les informations disponibles sur les résultats de marche des gros hauts fourneaux américains en allure de ferromanganèse⁵⁰ ne plaidaient pas pour une augmentation plus importante). Le nouveau haut fourneau doit servir de modèle pour la construction du premier haut fourneau (230 tonnes/jour) prévu sur le site de Boulogne où les travaux ont commencé.

Remis à feu dans les premiers mois de 1959, le haut fourneau affiche une production de 180 tonnes/jour, une mise au mille de coke de 1480 kilos et un rendement en manganèse de 89%.

Evolution du marché international des minerais de manganèse

L'évolution du marché international des minerais de manganèse a eu une profonde influence sur le procédé.

En 1875, les ressources nationales en minerais de manganèse des premiers pays sidérurgistes se sont révélées inexistantes ou inadaptées à la fabrication du ferromanganèse. Très rapidement le minerai de manganèse fait l'objet d'un marché international alimenté dès 1890 par la Russie et l'Inde suivis par le Ghana (Ouest Afrique), le Brésil et l'Afrique du sud.

Après le deuxième conflit mondial qui interrompt l'extraction des mines du Caucase et d'Ukraine, l'U.R.S.S. est de moins en moins présente sur le marché international. En 1948, elle décide l'embargo sur les exportations à destinations des Etats-Unis mais continue à importer en France. Le minerai de manganèse devient une matière première stratégique.

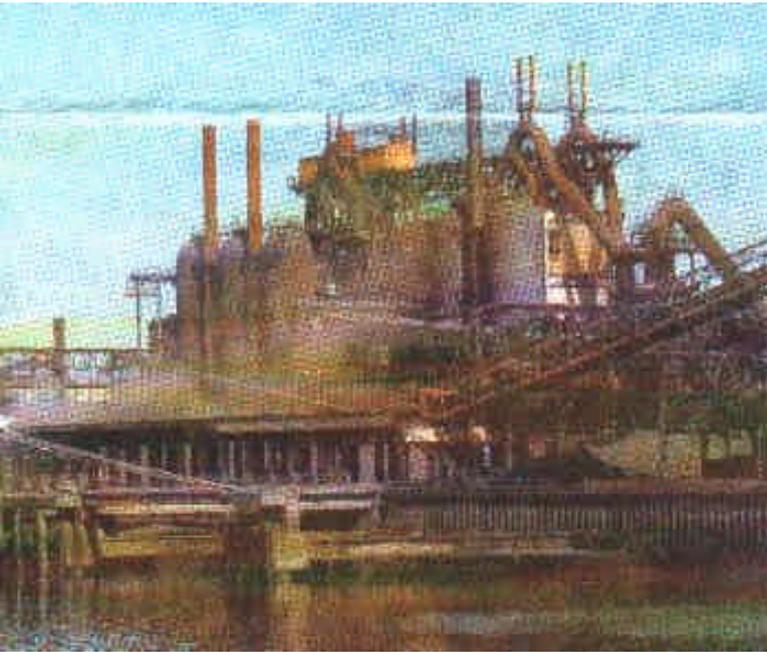
A la liste des pays exportateurs s'ajoutent de 1940 à 1960 le Maroc, Cuba et le Congo Belge la Côte d'Ivoire... En

50. Nous n'avons pas retrouvé les informations en question sur les résultats des hauts fourneaux américains (de 1953 à 1962, la production annuelle de ferromanganèse au haut fourneau est de l'ordre de 0.5 à 0.7 millions)

Par contre à l'époque, on signalait un haut fourneau russe de 7.2 mètres de diamètre au creuset, alimenté en vent enrichi et marchant en contrepression, qui produisait 460 tonnes/jour de ferromanganèse à 73%, avec une mise au mille de coke de 1424 kilos, et un rendement en manganèse de 81%.



Boulogne 1960 :
 ▲▲ l'usine
 ▲ appontement minéralier



Boulogne 1971

1956, la fermeture du canal de Suez coupe les pays sidérurgiques du minerai des Indes ; cette situation profite à l'Afrique du sud dont les réserves se révèlent très importantes.

De 1945 à 1960, la production mondiale d'acier passe de 110 à 320 millions de tonnes annuelles; les pays sidérurgiques qui cherchent à sécuriser leur approvisionnement en manganèse, favorisent la recherche et la mise en exploitation de nouveaux gisements en Afrique du Sud, au Gabon, en Australie, au Brésil.

Ces minerais se différencient par leurs teneurs en manganèse et en fer plus, mais aussi par des teneurs en éléments scorifiables très différentes. Le producteur de ferromanganèse doit prendre en compte toutes ces teneurs pour composer le lit de fusion du haut fourneau et évaluer le rendement en manganèse qu'il lui sera possible d'obtenir ; il attribue donc à chaque minerai, une "valeur d'usage" fixée par son analyse chimique.

Certains minerais contiennent également des éléments qui fixent la pureté du ferromanganèse produit : phosphore, arsenic..., ou d'autres éléments (plomb, métaux alcalins) qui perturbent le fonctionnement du procédé ou compromettent à terme la tenue du haut fourneau⁵¹.

51. Le plomb contenu par les minerais marocains à hauteur de 1% s'accumulent dans

Le procédé est adapté à la consommation de ces nouveaux minerais, marocains d'abord puis gabonais, sud africains australien, brésiliens...⁵² La composition des laitiers est affectée par les teneurs en matières scorifiables⁵³, très différentes d'un minerai à l'autre. La recherche d'une composition de laitier à très basse teneur en oxyde de manganèse (moins de 5%) devient illusoire: elle est abandonnée, sans bien sûr que l'optimisation du rendement en manganèse, objectif majeur pour l'économie du procédé, ne soit abandonnée (la composition du laitier est réglée pour obtenir une valeur de 0.6 du rapport Silice/Chaux+Manganèse).

1960 Création du site de Boulogne

Devant l'impossibilité matérielle d'augmenter la production du site d'Outreau, l'exploitant décide la création d'un nouveau site au port de Boulogne sur mer sur un terre-plein gagné sur la mer. Trois hauts fourneaux y seront mis à feu en 1961, 1964 et 1972.

Les critères retenus pour le dernier appareil reconstruit à Outreau sont respectés : augmentation prudente⁵⁴ du diamètre du creuset (de 3.6 mètres à 4 mètres puis 4.50) et du nombre de tuyères, volume utile important, intensité de combustion du coke soutenue.

les creusets qui gonflent et éclatent. Les alcalins dont certains minerais de manganèse sont relativement riches (Brésiliens Urucum, Amapa et Carajas, Australien Groote Eylandt, Gabonais Moanda, Marocain Imini...) peuvent se condenser dans la cuve du haut fourneau, redescendre avec les charges sur lesquelles ils se sont condensés et se trouver engagés dans un recyclage qui provoque accumulation, engorgement et blocage du haut fourneau.

52. Les minerais de manganèse sont soumis sur le carreau des mines, à des traitements (concassage, criblage, lavage, ébourbage, agglomération dans le cas des minerais pulvérulents marocains...) qui les transforment en produits marchands.

53. Notamment leur teneurs en silice et alumine dont le rapport varie de 10 pour les uns, à 1/2 pour les autres.

54. Lors de la construction du deuxième haut fourneau du site de Boulogne, la question s'est posée de savoir s'il convenait de reproduire le premier haut fourneau du site (4 mètres de diamètre au creuset) ou au contraire de revenir aux dimensions du dernier appareil construit à Outreau (3,60 mètres de diamètre au creuset).



Les appareils cowpers sont progressivement modifiés pour porter la température du vent à 1250 et 1300°C. Avec l'augmentation du volume du haut fourneau, la répartition radiale d'un lit de fusion composé de minerais de manganèse et de fondants de compositions chimiques très différentes devient un problème : le dernier haut fourneau construit à Boulogne au début des années 1970 est doté d'une installation d'homogénéisation (en fait de mélange) des minerais et fondants calibrés avant chargement. Le mélange intime de tous les constituants de la charge assure en tous points du rayon du haut fourneau, la même composition du lit de fusion. Une agglomération complète de la charge n'est pas recherchée ; les premières expériences de consommation de minerai marocain aggloméré avaient confirmé la théorie : il n'y avait pas d'économies à rechercher dans cette voie.

Le développement du site de Boulogne répond à la très forte demande de la sidérurgie mondiale dont la production double de 350 à 700 millions de tonnes d'acier par an entre 1960 et 1975 ; les prévisionnistes annoncent un milliard de tonnes avant la fin du siècle. Quelques sidérurgistes auto producteurs de ferromanganèse abandonnent cette production pour celle de la fonte et demandent au marché de les approvisionner. L'extension du site Boulogne est décidée avec deux hauts fourneaux supplémentaires dont un seul sera finalement construit et mis à feu en 1972.

Le site d'Outreau continue à produire du ferromanganèse. A partir de 1962, la fabrication au haut fourneau de silicomanganèse y est mise au point ; ce ferroalliage est alors produit par campagnes de quelques mois, en alternance avec le ferromanganèse standard. La nouvelle fabrication n'est possible que grâce à l'enrichissement du vent en oxygène. La production d'oxygène d'Outreau se révèle rapidement insuffisante ; une nouvelle centrale est construite et reliée au site de Boulogne au début des années 1970.

Autres sites, autres pratiques : les hauts fourneaux concurrents

En 1969 les deux premiers hauts fourneaux du site de Boulogne (4 mètres de diamètre au creuset) accusent une pro-

duction journalière de 275 tonnes, une consommation de coke de 1182 kilos par tonne et un rendement en manganèse de 88%. Cette année là, se tiennent à Paris les "Journées du Manganèse", colloque technique portant sur la fabrication du ferromanganèse au haut fourneau ou au four électrique. Excepté deux producteurs anglais au haut fourneau, la plupart des spécialistes présents restent discrets sur leurs résultats de marche. L'Institut de Recherches de la Sidérurgie française (IRSID) propose pourtant une étude statistique portant sur quelques résultats de marche publiés de hauts fourneaux de 5 à 7 mètres de diamètre au creuset : les productions journalières s'étagent de 228 à 545 tonnes, les consommations de coke de 1385 à 2220 kilos par tonne pour des températures de vent comprises entre 900 et 1050°. L'examen de ces quelques données brutes incitent Boulogne à la prudence lorsqu'il faut décider du diamètre au creuset du prochain haut fourneau ; l'augmentation, d'abord testée à l'occasion de reconstructions partielles des hauts fourneaux existants sera limitée à 50 centimètres.

En 1973, les trois hauts fourneaux de Boulogne ont 4.5 mètres de diamètre au creuset et produisent 375000 tonnes de ferromanganèse. La consommation de coke est de 1155 kilos par tonne et le rendement en manganèse est de 89% environ.

La réticence de Boulogne à agrandir ses hauts fourneaux conduit à les multiplier ; en même temps, les investissements par tonne de capacité de production installée demeurent élevés. Le procédé atteint alors une de ses limites : la difficulté de réaliser des économies d'échelle.

Un procédé concurrent : le four électrique

En 1925, Aimé Coutagne écrivait que la fabrication électrothermique du ferromanganèse, inventée dès 1890, ne s'était développée industriellement que pendant et depuis le premier conflit mondial, en France et en Suède, "à la faveur du prix élevé du coke et de l'accroissement des forces hydrauliques disponibles". Economiquement, la réduction du manganèse au four électrique est encore difficile à l'époque. En 1940, l'étude d'Outreau sur la fabrication du ferromanganèse au haut fourneau consacre un bref chapitre au pro-



cedé concurrent ; elle conclut que le seul avantage du four électrique est un plus faible coût d'investissement. A partir de 1950, la demande de ferromanganèse de la sidérurgie mondiale augmentant régulièrement, la concurrence du four électrique se développe. Le nombre et la puissance des fours augmentent⁵⁵.

Dès 1967, on compare à Boulogne les prix de revient du ferromanganèse produit par l'un et l'autre des deux procédés. La comparaison porte :

- ° sur le poste **énergie** qui se ventile dans une des premières études⁵⁶,
 - au haut fourneau⁵⁷, en coke (95%) et énergie électrique (5%)
 - au four électrique⁵⁸, en énergie électrique (47%), coke (31%) et pâte de rechargement pour les électrodes consommables (22%).

L'avantage est de 12% pour le four électrique ; cet avantage peut monter à 25% pour quelques producteurs bénéficiant d'une alimentation privée en énergie électrique. Après les deux chocs pétroliers, les prix des différentes formes d'énergie sont tous en hausse mais le bilan de la comparaison reste le même.

- ° Sur le **rendement en manganèse**. Le procédé de fabrication du ferromanganèse au four électrique se présente sous deux versions, différentes par la composition du laitier produit. La version la plus pratiquée est celle d'une marche en laitier pauvre en chaux⁵⁹ et magnésie et riche en oxyde du manganèse qui procure une marche plus facile du four mais en même temps un ren-

dement en manganèse médiocre, environ 80%. Le recyclage du laitier riche en fabrication de silicomanganèse permet de récupérer une grande partie du manganèse scorifié mais implique un rapport des productions des deux ferroalliages qui ne reflète pas forcément la demande des sidérurgistes⁶⁰.

- ° Sur la **productivité**. La comparaison des frais de fabrication place à égalité haut fourneau et four électrique à cause de la production journalière plus importante du premier. On compte 2 à 3 heures travaillées par tonne de ferromanganèse au four électrique ou au haut fourneau.

- ° Sur **l'investissement**. La comparaison est très favorable au four électrique (rapport 1/2); mais l'avantage disparaît quand il faut construire un four pour fabriquer du silicomanganèse.

- ° Sur **la situation de l'usine** productrice. La comparaison, qui n'est possible qu'au cas par cas, est essentielle pour apprécier "en situation" l'économie de l'un ou l'autre des procédés. L'implantation de l'usine conditionne les coûts d'investissement (multipliés par trois lorsque cette implantation est faite dans des lieux écartés ou difficiles) les coûts des approvisionnements importés, le transport du produit fini...

- ° Sur **l'apprentissage du procédé**, plus facile au four électrique développée dans la deuxième moitié du XXème siècle dans le cadre d'une économie très industrialisée: les constructeurs de four en donne le mode d'emploi.

Au final, la comparaison des prix de revient des deux procédés confirme Boulogne dans sa position face à la concurrence.

55. Un constructeur allemand installe - 20 fours de production de ferroalliages (d'une puissance de 2 à 16.5 MVA) de 1951 à 1959 en Allemagne, Suède, Espagne, Afrique du sud et USA, - 29 fours (1.6 à 48 MVA) de 1960 à 1969 dans les pays précédents et en Norvège, Canada, Mexique, Yougoslavie, Nouvelle Calédonie, - 16 fours (6.5 à 60 MVA) de 1970 à 1976, Tchécoslovaquie et Portugal s'ajoutant aux pays précédents. En 1972, le constructeur norvégien Elkem annonce 300 fours installés dans le monde pour une puissance totale de 6600 MVA

56. Comparaison Boulogne/ Australie en 1970

57. 1230 kilos de coke et 200 Kwk par tonne de ferromanganèse

58. 2800 Kwh, 312 kilos de coke et 17 kilos de pâte d'électrode par tonne de ferromanganèse

59. Cela empêche la consommation au four électrique de certains minerais de manganèse carbonatés.

Avec le temps, le four électrique, plus facile à installer, l'emporte sur le haut fourneau ; il est aussi responsable de la surcapacité mondiale qui s'installe durablement après 1980.

60. Retrouver un rendement en manganèse global de 97% suppose la production de trois cent kilos à une tonne de silicomanganèse par tonne de ferromanganèse suivant les minerais utilisés (étude Tasmanian 1967, dans le cas du minerai australien; étude Sogaferro 1976, dans le cas du Moanda). Il faut de plus que la demande du marché soit dans le rapport des productions des deux ferroalliages, ce qui n'est pas le cas: en 1970, les sidérurgistes consomment plutôt de 100 kilos de silicomanganèse pour une tonne de ferromanganèse. On notera toutefois que ce rapport évolue en même temps que les progrès techniques de la sidérurgie..



En 1987, le haut fourneau ne représente plus que 23% des 3,750 millions de tonnes de capacité de production (alliages de manganèse) du monde occidental ; Boulogne créditée de 420000 tonnes par an y participe pour plus de 10%⁶¹. L'Allemagne, la Grande-Bretagne... cessent ensuite de produire du ferromanganèse au haut fourneau. En 2003, alors que les deux procédés coexistent encore en Chine et peut être dans certains pays de l'ex-COMECON, Boulogne annonce encore une capacité de production annuelle de 300000 tonnes par an⁶².

Fermeture du site d'Outreau. Boulogne de 1978 à 1991

En 1978, après les deux chocs pétroliers et l'installation durable en récession de la sidérurgie mondiale, la Société des Aciéries de Paris et d'Outreau qui contrôle Outreau et Boulogne depuis 1906, est incapable d'assurer les frais financiers engendrés par la construction du dernier haut fourneau et fait faillite. Le site d'Outreau est définitivement arrêté ; le site de Boulogne passe sous le contrôle de la société minière Comilog qui devient à cette occasion mineur-producteur.

Le statut du producteur de ferromanganèse diffère suivant qu'il s'agisse, d'un producteur indépendant qui traite du minerai acheté à des compagnies minières et vend son produit à des sociétés sidérurgiques (Outreau et Boulogne), d'un mineur-producteur qui traite son minerai (Boulogne après 1978), ou d'un sidérurgiste-producteur (Pompey ou Le Boucau) qui achète le minerai de manganèse et consomme dans ses aciéries (et vend) son produit.

61. Les autres producteurs de ferromanganèse au haut fourneau du monde occidental sont alors l'Allemagne de l'Ouest avec 180000 tonnes, la Grande-Bretagne avec 130000 tonnes et le Japon avec 90000 tonnes. Les producteurs au four électrique sont implantés, en Amérique du nord : Canada et Etats-Unis, en Amérique Centrale et en Amérique du sud : Mexique, Brésil, Argentine, Chili, Venezuela, en Europe : Belgique, Allemagne de l'Ouest, Angleterre, France, Italie, Norvège, Espagne et Portugal, en Asie : Inde, Japon, Corée du sud et Taiwan, en Afrique : Afrique du sud, et en Océanie : Australie. IMI 1987

62. www.eramet.fr

En mauvaise conjoncture, le producteur indépendant est pris en ciseau entre les sociétés minières qui défendent le prix de leur minerai et les consommateurs sidérurgistes à la recherche des prix de ferromanganèse les plus bas ; c'est la situation que connaissent Outreau et Boulogne à partir de 1975.

En ce qui concerne l'approvisionnement en minerais, le rapport entre société exploitante et procédé varie selon le statut du producteur. Un producteur indépendant cherche à acheter dans les meilleures conditions les minerais de manganèse qui lui donneront les meilleurs résultats de marche ; le mineur-producteur privilégie la consommation de son minerai dont le prix de cession à sa section transformation devient un prix d'ordre ; le producteur-consommateur approvisionne les minerais qui lui permettront l'usage optimal des moyens techniques dont il dispose.

A Boulogne, le rapport entre société exploitante et procédé change d'autant plus que la prise de contrôle par la nouvelle société exploitante s'accompagne d'une réduction d'effectif. Nous avons vu que le savoir-faire du procédé y était partagé entre encadrement, maîtrise et ouvriers.

Une redéfinition des effectifs entraîne donc une certaine perte de savoir-faire, à tout le moins une redistribution ; elle touche en effet le personnel d'encadrement et des services et préserve maîtrise haut-fourneau et fondeurs dont la présence est considérée comme primordiale pour la poursuite de l'activité et la transmission du savoir-faire. L'entreprise connaît alors une période d'instabilité classique dans les cas analogues. A cette réduction d'effectif et à l'arrêt définitif du site d'Outreau, correspondent de réels désinvestissements : la station d'homogénéisation des minerais du troisième haut fourneau de Boulogne et la centrale de production d'oxygène industriel reliée aux deux sites, sont définitivement arrêtées.

Dans ses premières années d'existence, la nouvelle société exploitante conserve la pratique du procédé dans son état précédent, notamment le chargement au haut fourneau d'un lit de fusion composite ; l'approvisionnement en minerais de manganèse étrangers⁶³ est régularisé. Les résultats de marche,

63. Ces minerais d'Afrique du sud interviennent pour 40% du lit de fusion des hauts fourneaux



consommation de coke et rendement en manganèse, s'améliorent.

Les caractéristiques des hauts fourneaux restent inchangées et la recherche de plus hautes températures du vent est poursuivie. A partir de 1983, des torches à plasma⁶⁴ sont installées sur le circuit de vent chaud d'un des appareils ; elles permettent d'élever la température du vent jusqu'à 1800°C⁶⁵. La fabrication de silicomanganèse à Boulogne redevient possible.

Mais la conjoncture est de plus en plus difficile ; la production de la sidérurgie stagne. De plus, le développement des aciéries à l'oxygène entraîne une diminution de la consommation de manganèse. Le prix des minerais de manganèse est en baisse continue (30% en monnaie constante en cinq ans). En 1983, la société Comilog souhaite que les hauts fourneaux de Boulogne consomment exclusivement le minerai de sa mine de Moanda. A Boulogne qui a toujours traité un lit de fusion composé de plusieurs minerais, la pratique du procédé est sensiblement modifiée. Les caractéristiques chimiques et physiques de l'unique minerai chargé affectent directement le fonctionnement du haut fourneau ; la consommation d'un lit de fusion composite permettait en quelque sorte de corriger les minerais, l'un par l'autre. La nouvelle pratique est progressivement mise au point donnant des résultats de marche satisfaisants en ce qui concerne la consommation de coke, en baisse assez sensible pour le rendement en manganèse.

Quatre ans plus tard, la marche est toujours jugée améliorée: la teneur en alcalins, et corrélées avec cette présence d'alcalins, l'humidité et la granulométrie sont mises en cause mais la solution technique n'est pas encore trouvée⁶⁶.

64. La torche à plasma transforme directement l'énergie électrique en énergie calorifique transmise au vent déjà porté par les cowpers à 1250°-1300°. La température maximum qu'il est possible d'atteindre est ainsi de 1800° température limite fixée par les propriétés réfractaires des matériaux qui garnissent les éléments de canalisation.

65. L'étude préalable de l'effet sur la mise au mille de coke par tonne de ferromanganèse prévoyait pour une référence de 1126 kilos de coke par tonne de ferromanganèse avec un vent à 1200°C, 125 kilos de coke gagnés pour 1400°, 216 kilos pour 1600 et 285 kilos pour 1800°.

66. Un essai des années 1970 rendait prudent: un des hauts fourneaux de Boulogne avait consommé une charge composée exclusivement de minerai brésilien d'Amapa

Autre modification importante du procédé, la production simultanée de ferromanganèse et d'un laitier riche en manganèse est étudiée en 1984, et réussie l'année suivante : jusqu'alors la pratique du procédé à Boulogne conduisait à un laitier "épuisé" contenant 10% de manganèse environ. Ce laitier riche est vendu à des producteurs de silicomanganèse au four électrique ; l'absence de phosphore en fait un composant de charge apprécié⁶⁷. Les résultats de marche sont satisfaisants: la consommation de coke marche une légère baisse et la teneur en manganèse du laitier est de l'ordre de 31%.

Une autre modification est recherchée, sans succès cette fois.

On a vu plus haut l'importance accordée au suivi, coulée après coulée, de la teneur en silicium

du ferromanganèse comme indicateur de l'état thermique du haut fourneau⁶⁸. Dans les années 1970, l'analyse spectrographique, plus rapide que la méthode classique, permet de gagner en rapidité mais la préparation de l'échantillon demande toujours autant de soin. La mesure au thermocouple de la température de chaque coulée a amélioré le suivi de l'état thermique du haut fourneau. Elle a permis une baisse de la teneur en silicium (sans toutefois remplacer le contrôle de celle-ci) des environs de 1% qui était la règle en 1950 à 0,5%. La baisse est appréciée par le sidérurgiste consommateur qui, habitué aux teneurs très basses (0,1-0,2%) du ferromanganèse produit au four électrique, voudrait encore mieux. Un essai prolongé en 1987 de marche en laitier très calcaire donne effectivement ces très basses teneurs mais aboutit en quelques semaines à un dérèglement complet de l'appareil : la consommation de coke augmente et le rendement en

aggloméré sous forme de pellets. Le minerai d'Amapa est un des minerais de manganèse les plus riches en alcalins; sa pelletisation abaissait la température du gaz au gueulard au point d'empêcher l'évacuation des alcalins. Ceux-ci s'étaient accumulés dans le haut fourneau qui s'est bloqué au bout d'un mois.

67. Rappelons que la pratique habituelle (la plus économe en énergie) du four électrique fabriquant du ferromanganèse donne un laitier riche en manganèse qui est recyclé en production de silicomanganèse.

68. Voir page 9.



manganèse s'effondre. Le procédé montrait-il alors une de ses limites⁶⁹?

En fait cette dernière expérience (ou plutôt sa prolongation au-delà de quelques jours après lesquels il était possible de revenir à un fonctionnement habituel sans dégradation des résultats de marche), était le signe d'un appauvrissement du savoir-faire collectif dans le réglage du procédé qui faisait toujours largement appel à l'empirisme malgré les perfectionnements acquis⁷⁰. Dans une conjoncture économique dégradée depuis 1981, ces perfectionnements n'avaient pas apporté à Boulogne d'avantages économiques décisifs et l'entreprise avait été contrainte pour réduire ses coûts à diminuer ses effectifs et à externaliser toutes les fonctions qui pouvaient l'être. Dans ces conditions, le savoir-faire collectif, de moins en moins partagé, s'émousse et perd en vigilance.

En 1986 Pompey arrête définitivement son activité sidérurgique et en même temps sa fabrication de ferromanganèse au haut fourneau. A la même époque, au Japon, une grande firme sidérurgique produisant jusqu'alors du ferromanganèse au four électrique met au point un nouveau procédé de fabrication dans un petit haut fourneau de 14 mètres de hauteur pour réduire sa consommation d'énergie électrique. Dans les deux cas, les diamètres au creuset (5 et 5.40 mètres) sont légèrement

69. Au moins dans les conditions où il est alors mis en pratique à Boulogne. L'étude des paramètres de marche du haut fourneau au cours de cet essai a montré qu'une hausse de la teneur moyenne en silicium du métal améliorerait beaucoup plus le rendement en manganèse qu'une augmentation de la basicité du laitier. On touche dans ce cas un des mécanismes de fonctionnement du procédé: on a montré qu'au haut fourneau en ferromanganèse, la réduction du silicium commandait en quelque sorte celle du manganèse: dans la zone d'élaboration du ferromanganèse, la teneur en silicium du métal décroît jusqu'à la teneur finale constatée à la coulée (Heynert et al.,).

70. Les observations faites au cours de cette marche confirment le rôle primordial de la zone du haut fourneau où s'effectue la réduction du manganèse. A un niveau de température de l'ordre de 1500°, les expérimentations qui permettraient de vérifier les phénomènes très complexes qui y interviennent et une modélisation informatique, ne sont pas possibles. Ceci explique que la conduite du procédé relève de l'empirisme (Truffaut, 1992)

supérieurs à ceux des hauts fourneaux de Boulogne; grâce à l'enrichissement du vent en oxygène (disponible sur des sites sidérurgiques qui ne fonctionnent pas à pleine capacité), les résultats de marche soutiennent la comparaison avec ceux obtenus à Boulogne dont ils confirment en même temps l'économie de la pratique.

1991-1996

Un procédé en sursis

En 1987, Boulogne reste seul producteur français de ferromanganèse au haut fourneau⁷¹. L'usine réduit ses effectifs de 130 salariés en deux ans. Pendant neuf ans le procédé original continue à être appliqué, les trois hauts fourneaux présents fonctionnant suivant les besoins du marché. Ils consomment exclusivement du minerai de moanda (marche toujours qualifiée de délicate): un essai de consommation de minerai aggloméré ne donne pas de résultats probants et la technique est définitivement écartée en 1988. Une partie du coke consommé est importé de Chine, d'Egypte...

Le réglage de la marche à très haute température de vent (torches à plasma) se poursuit; on songe même à la généraliser aux deux autres hauts fourneaux... Mais, après un arrêt de quelques mois pour gros entretien, le haut fourneau équipé redémarre fin 1992 sans torches à plasma: la technique a été abandonnée et il n'en sera plus question par la suite⁷².

De 1988 à 1990 les résultats de l'entreprise sont positifs; en 1990, Boulogne produit 401000 tonnes de ferromanganèse (cette année là, la production mondiale est de 3 millions de tonnes). Cette production record signifie que les résultats de marche (consommation de coke et rendement en manganèse) qui

71. La période est marquée par une querelle d'actionnaires (peut être motivée par le prix de cession du minerai de manganèse par la mine à l'usine) qui se traduit par un dépôt de bilan en 1994. L'événement, étranger à notre propos, n'interrompt pas le fonctionnement de l'usine de Boulogne qui continue à fonctionner normalement.

Rappelons aussi que c'est à partir de 1987 que nos sources changent de nature.

72. La vente à EDF de l'énergie électrique sous-produite par l'usine aurait alors été préférée à sa consommation par les torches plasma et à l'économie de coke qu'elle procurait.



ne sont pas publiés, se sont maintenus au meilleur niveau. La société est très perturbée par l'annonce de l'implantation d'un four électrique destiné à la production annuelle de 100000 tonnes de ferromanganèse à Sollac-Dunkerque.

Très vite au cours de ces neuf ans, l'implantation des hauts fourneaux est remise en cause par des aménageurs étrangers sollicités sur le problème de l'avenir portuaire de Boulogne, de façon très médiatique quelquefois⁷³: la coexistence est-elle possible entre des activités halieutiques, touristiques et métallurgiques? Sinon des installations de protection de l'environnement, la société exploitante n'investit plus à Boulogne; elle prend des participations dans des usines produisant du silicomanganèse⁷⁴ au four électrique, en Italie (1988), et en France (1992). Depuis 1990, la conjoncture est mauvaise : les prix sont au plus bas.

Boulogne qui songe à se diversifier, monte un projet de transformation d'une partie de sa production en une variété de ferromanganèse à moyenne teneur en carbone ; soumis à enquête publique, le projet n'obtient fin 1995 un avis officiel favorable mais réservé.

Boulogne emploie alors 445 salariés. Son directeur de fabrication qui connaît le procédé depuis quarante ans part en retraite. Les ingénieurs qui y travaillent alors n'ont découvert le procédé que depuis moins de dix ans. La transmission du savoir-faire devient aléatoire : le procédé est en sursis.

1996-2003

« Nouveau » procédé : la perte du savoir-faire

En 1997 le groupe Eramet⁷⁵ prend le contrôle de Comilog et donc de l'usine

73. Le rapport d'un cabinet parisien parle de l'usine de Boulogne comme une "verru" dans le paysage! Ces cabinets sont vertement contestés.

74. La consommation mondiale de silicomanganèse augmente au dépens de celle de ferromanganèse.

75. A l'origine du groupe ERAMET, la Société Métallurgique Le Nickel -SLN exploite des mines de nickel en Nouvelle Calédonie depuis 1880, des fonderies de nickel (en 1990, le minerai est traité dans des fours électriques de 33MVA), et une usine de raffinage électrolytique de nickel en France. En 1990-1991, ERAMET crée ERASTEEL en rachetant

de Boulogne; il devient au cours des années suivantes leader mondial des alliages de manganèse après avoir racheté les usines chinoises de Guangxi et Shaoxing (1995), la société norvégienne Elkem (1999) et l'usine chinoise de Guillin (2002): Boulogne est alors un des huit sites de production d'alliages de manganèse que le groupe exploite dans le monde⁷⁶...

La situation de Boulogne change une fois de plus ; producteur indépendant jusqu'en 1979, puis contrôlé par une société minière (du secteur manganèse), le site l'est maintenant par un groupe international à la fois minier, transformateur et utilisateur dans les secteurs nickel et manganèse ; la perception de l'originalité technique du procédé industriel mis en œuvre à Boulogne échappe un peu plus à l'instance qui la dirige.

Le projet de fabrication de ferromanganèse à teneur moyenne en carbone est abandonné dès 1997; la construction d'une usine d'agglomération au Gabon et le doublement de capacité d'un des hauts fourneaux de Boulogne sont mis à l'étude. Mais la mauvaise conjoncture se prolonge: le prix du ferromanganèse⁷⁷ baisse de 15% en 1996, stagne en 1997 et 1998 et chute de nouveau de 16% en 1999, obligeant Eramet à réexaminer la compétitivité du site de Boulogne⁷⁸. Pour réduire les coûts de fabrication, assurer la pérennité de

des entreprises spécialisées dans la production d'aciers rapides en France et en Suède. En 1995, le groupe devient l'actionnaire principal de COMILOG et actionnaire majoritaire deux ans plus tard. En 1997, la crise en Nouvelle Calédonie l'amène à céder une partie des mines de nickel qu'il y exploite; ERAMET fusionne avec le producteur français d'aciers spéciaux AUBERT & DUVAL en 1999. (Paulo de Sa, *Le Nickel*, Paris, Economica, 1990 et <http://www.eramet.fr>, 17 avril 2004)

76. Les usines italiennes précédemment contrôlées par SFPO reprennent leur indépendance à l'occasion de la prise de contrôle d' ERAMET .

77. Vincent Trélut, *Manganese Market Trends*, Ryan's Notes Conference, October 27-29, 2002

78. En avril 1999, La revue spécialisée *Metal Bulletin Monthly* évalue la compétitivité des sites de production de ferroalliages sur la base de quatre "avantages": approvisionnement en minerai de manganèse, disponibilité en électricité, approvisionnement en coke, coût de la main d'œuvre. Chaque fois le site de Boulogne est le plus mal placé (mais le classement de MBM ignore l'avantage commercial que représente sa situation portuaire).



l'entreprise et maintenir la capacité de production, les travaux permettant le doublement de la production du haut fourneau 7 sont décidés, en même temps qu'une réduction des effectifs et l'arrêt définitif du haut fourneau 6. A terme, Boulogne⁷⁹ fabriquera 350000 tonnes de ferromanganèse avec deux hauts fourneaux et 335 salariés.

Les hauts fourneaux seront alimentés en minerai de manganèse de moanda aggloméré au Gabon avec des fines d'antracite et de la chaux, dans une installation dont la construction débute dès 1999. Les propriétés physico-chimiques de l'aggloméré seront améliorées par rapport au minerai brut : il sera notamment plus riche (59% de manganèse), plus fusible, et réputé moins poussiéreux.

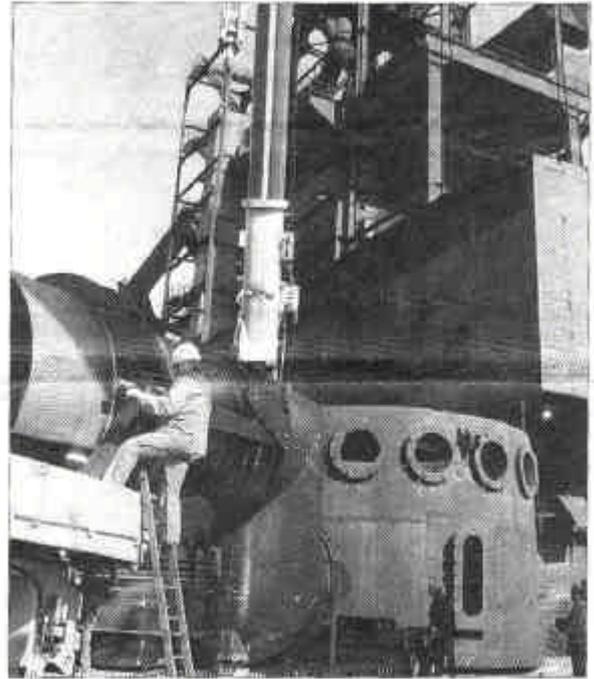
Les travaux de transformation du haut fourneau 7 commencent en juin 2000⁸⁰. Le haut de la cuve est conservé, tandis que creuset et étalages sont déposés et remplacés par des éléments préfabriqués de huit mètres cinquante de diamètre. Le dispositif de chargement est remplacé par un système sans cloche qui permet le réglage de la répartition du minerai et du coke. L'épuration du gaz de haut fourneau est remplacée par une épuration sèche qui évite les rejets en mer d'effluents pollués. Complétant une première installation mise en place en 1997, un nouveau système de coulée du ferromanganèse permet le captage de la totalité des fumées produites lors de la coulée⁸¹. L'ensemble de l'opération est présenté comme une redéfinition du site de Boulogne. Le "changement du process de fabrication" est revendiqué parmi les objectifs de cette redéfinition. La consommation exclusive de minerai de moanda aggloméré relève à l'évidence de ce changement ; par contre l'agrandissement du haut fourneau 7 a sans doute été perçue comme une opération visant l'économie d'échelle autant qu'un

79. SFPO devient Comilog France en octobre 1999.

80. Ces travaux sont retardés par la menace d'une application d'une "écotaxe" frappant la tonne de coke consommée et qui aurait signifié l'arrêt définitif de Boulogne.

81. Nouvelle technique d'épuration des gaz de haut fourneau, nouveau dispositif de coulée, dispositif de captage des fumées sont des améliorations importantes. Ce ne sont pas des modifications qui affectent le fonctionnement du procédé, c'est-à-dire du haut fourneau

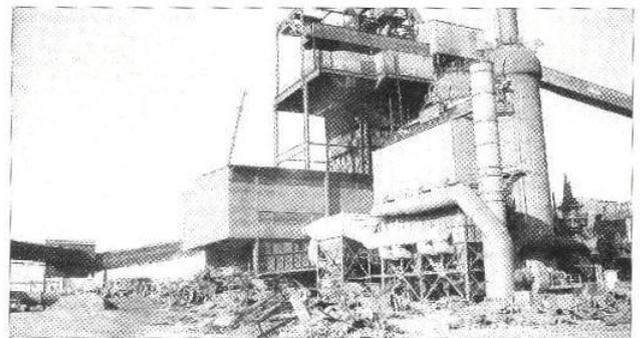
Le premier site mondial de production de ferro-manganèse installé dans le port de Boulogne s'équipe d'un haut-fourneau ultra-moderne. Les travaux de reconstruction ont commencé.



Arrivée des tuyères d'air chaud destinées à alimenter le nouveau haut-fourneau.

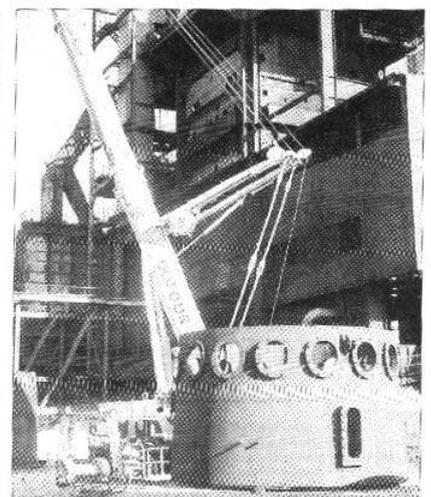
Comilog 2000 ▲ et 2001 ▼ [coupures de presse]

La modernisation des installations de la Comilog Début des travaux sur le haut-fourneau 7



Un vrai puzzle.

La Comilog a engagé les travaux de reconstruction du haut fourneau 7 pour un montant de 172 MF. Lors de la démolition, la Comilog a conservé pour réutilisation la partie haute de cuve. La préfabrication de la partie neuve a été assemblée à proximité des fossés à laitier sur quatre viroles dont les éléments étaient fixés par la hauteur, le poids et les équipements. La hauteur fut prépondérante car il fallait que les viroles passent dans la structure de la tour carrée. Le hissage s'effectuera par des treuils hydrauliques positionnés sur une structure assemblée sur le plancher de 38 m. La partie haut de cuve conservée est supportée par 4 varins disposés aux 4 points cardinaux reposant sur une ossature engée pour la circonstance. Un chemin de ripage a été construit pour permettre le transfert des 4 viroles dans la tour carrée. La première opération, engagée cette semaine, consistait à poser la première virole sur le chariot de ripage à l'aide d'une grue de 650 t et de la transférer avec des câbles jusqu'au centre de la tour. L'opération se faisant sur les viroles soudées en préfabrication, à l'aide des câbles des treuils de relevage.



Mêmes opérations pour les 3 autres viroles restantes



changement de process⁸², l'objectif étant de produire avec deux hauts fourneaux ce qui l'était auparavant avec trois.

En fait, c'est à une transformation complète du procédé que conduisent les dispositions prises pour doubler la capacité du haut fourneau 7 :

- Agrandissement du creuset, modification du profil du haut fourneau et augmentation du nombre de tuyères.
- Consommation exclusive de minerai de Moanda aggloméré.
- Mise en place d'un dispositif automatique de chargement.

Les résultats de marche attendus sont une production journalière de 700 tonnes de ferromanganèse et une baisse de la consommation de coke⁸³ (mise au mille).

Ces modifications radicales justifient l'expression de "nouveau procédé".

La première de ces modifications est l'évolution du profil résultant de l'augmentation du diamètre du creuset à capacité égale. Les hauts fourneaux de Boulogne ont été construits sur le modèle étudié et expérimenté à Outreau (1959). Leurs dimensions ont été prudemment revues, le diamètre au creuset passant successivement à 4 mètres pour en rester à 4,50 mètres après 1972 tandis que le profil interne était conservé et la hauteur légèrement augmentée. Le haut fourneau 7 agrandi en 2000 a un diamètre au creuset de l'ordre de 7 mètres et un profil modifié se rapprochant de celui des hauts fourneaux en allure de fonte d'affinage ; sa hauteur est inchangée. Il est équipé de quinze à seize tuyères (la pratique constamment appliquée à Outreau et de Boulogne voulait qu'on limite le nombre

de tuyères considérées comme autant de points de refroidissement du creuset).

La consommation exclusive de minerai de moanda aggloméré est la seconde modification. Jusqu'au début des années 1970, les hauts fourneaux d'Outreau et de Boulogne avaient consommé pour partie de leur charge des minerais de manganèse agglomérés sur chaîne ; aucune amélioration des résultats de marche n'avait été constatée à cette occasion. Nous avons évoqué le grave incident de marche causé par la consommation d'une charge d'essai composée exclusivement de minerai brésilien pelletisé. Après 1979, aucune conclusion définitive n'avait été tirée des essais de consommation partielle de minerai de moanda aggloméré à Boulogne⁸⁴. On observait notamment que la baisse de température du gaz au gueulard du haut fourneau (conséquence de l'agglomération du minerai) freinait ou empêchait l'évacuation des alcalins que contient le moanda ; ceux-ci s'accumulaient dans le haut fourneau dont les paramètres de marche se dégradent.

Le chargement par gueulard sans cloche est la troisième modification importante du procédé. Jusqu'alors les hauts fourneaux de Boulogne étaient équipés d'un dispositif très simple dont la rusticité restait compatible avec les fortes températures rencontrées lors de marches déréglées⁸⁵. Le gueulard sans cloche fonctionne grâce à une goulotte installée dans le haut fourneau, réglable en position, et qui ne doit pas être soumise à des températures trop élevées : ce dernier point avait jusqu'alors dissuadé Boulogne d'essayer la technique malgré les avantages qu'elle pouvait procurer.

82. Quand Eramet prend la direction de Boulogne, vingt-cinq ans se sont passés depuis la mise à feu du haut fourneau 7 et l'abandon, deux ans plus tard, du projet d'un quatrième haut fourneau qui justifiait une partie des lourds investissements consentis pour la construction du dernier (De même, en 1966, la construction du haut fourneau 6 avait bénéficié d'une partie des investissements déjà réalisés à l'occasion de celle du haut fourneau 5). Visitant le site en 1997, un observateur ne pouvait manquer d'être frappé par l'importance des investissements consentis pour la construction d'un haut fourneau isolé.

83. Les sources ne fournissent pas d'indications chiffrées sur la baisse attendue ; en valeur relative, elles évoquent une réduction de la mise au mille de coke de 10 à 20%.

84. Rappelons que le réglage d'une marche de haut fourneau demande plusieurs mois et requiert la disponibilité de plusieurs dizaines de milliers de tonne du minerai à essayer : un tonnage inenvisageable dans le cadre d'un essai. La décision prise en 1997 conduisait donc à un changement important du procédé. Le bon réglage semble avoir été obtenu au haut fourneau 5, non transformé, avec des résultats de marche "satisfaisants".

85. Ce dispositif comprenait une benne ronde destinée à recevoir le coke, les minerais et les fondants qui était mise en rotation lors de son remplissage. Le contenu de la benne était déversé par gravité dans la trémie de chargement située au gueulard du haut fourneau ; un simple cône de fermeture isolait la trémie du haut fourneau.



Le fonctionnement du haut fourneau agrandi

Le haut fourneau 7 agrandi est mis à feu en février 2001; son allure est progressivement augmentée. Il se bloque au mois d'août. Pour l'année la production de Boulogne atteint 204000 tonnes, le haut fourneau 7 y contribuant pour quelques 90000 tonnes soit 45% de sa capacité; En fin d'année il atteint 70% de son allure nominale avec 500 tonnes/jour.

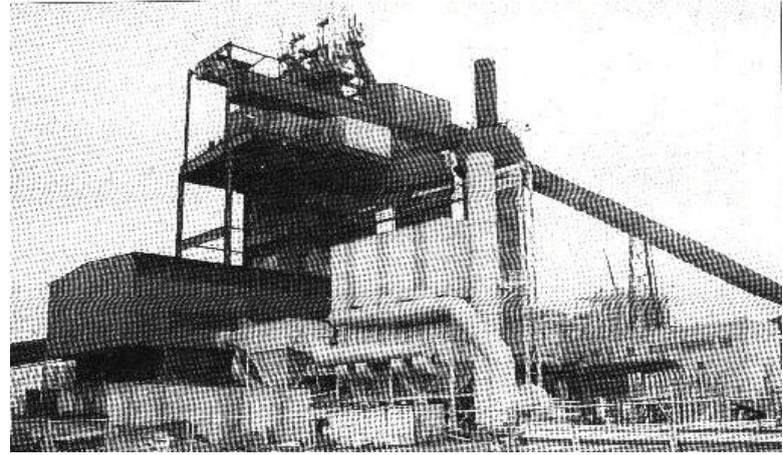
En 2002 le haut fourneau subit deux incidents majeurs: "le 16 mars, suite à une double percée de tuyères, une explosion a lieu dans l'épuration consécutivement à l'arrêt". Deux mois sont nécessaires pour réparer et mettre en place de nouveaux systèmes de sécurité avant de pouvoir le remettre à feu. Le 16 juin, suite à une importante percée de tuyères, du coke incandescent est projeté hors de l'appareil. Suite à ce deuxième incident, l'exploitation est bloquée par les autorités en attente de l'identification et d'une résolution complète des problèmes. Après de nombreuses études et modifications, le redémarrage a lieu en septembre⁸⁶.

Pendant ces arrêts prolongés du haut fourneau 7 agrandi, le haut fourneau 5 seul en marche fonctionne de manière satisfaisante. La production annuelle atteint 202000 tonnes en 2002.

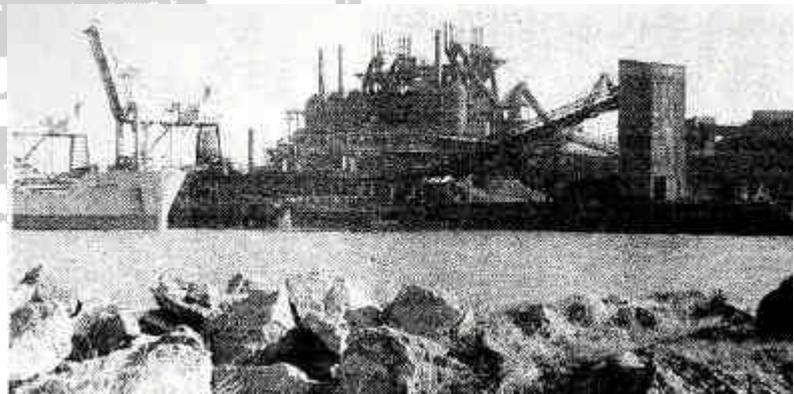
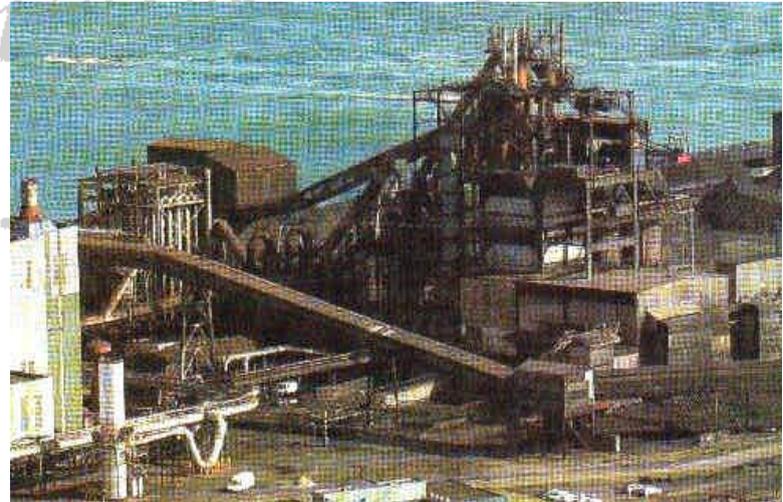
En septembre de l'année suivante, l'exploitant décide de cesser ses activités à Boulogne en évoquant la conjoncture, le manque de compétitivité de l'usine, malgré "des améliorations réelles après l'agrandissement du haut fourneau 7 mais en deçà des objectifs et de toutes façons insuffisantes". Les problèmes techniques du haut fourneau 7 sont chroniques et il n'a jamais produit les 700 tonnes/jour prévues. Après un ultime incident en novembre, l'usine de Boulogne est définitivement arrêtée.

Faute de renseigner sur les paramètres de marche du haut fourneau, les sources disponibles ne permettent pas d'identifier les causes techniques de l'échec du "nouveau procédé". Les exploitants ont rapidement identifié les percées de tuyères comme le signe du

86. J.-L. Rebol, "Incidents HF7 2002: Description, causes et gestion des redémarrages sous contrôle de la DRIRE", *Association Technique de la Sidérurgie, Mini-Congrès (La Sécurité), le 27 mai 2003, Saint-Gobain Pont-à-Mousson*, juin 2003.



Comilog 2001 ▲ et 2003 ▼ [coupures de presse]





mauvais fonctionnement du haut fourneau. A quoi étaient dues ces percées? L'explication par la qualité du minerai aggloméré semblant devoir être abandonnée, à tout le moins considérée comme secondaire, les percées de tuyères traduisaient vraisemblablement un déficit thermique au niveau du creuset agrandi qui s'engorgeait localement. Parmi les dispositions prises pour doubler la capacité du haut fourneau, il semble donc que l'agrandissement du creuset et la modification du profil soient la cause première de l'échec du nouveau procédé. Cette hypothèse est confortée par le fonctionnement du haut fourneau 5 resté dans sa définition ancienne et consommant sans doute le même minerai qualifié de satisfaisant.

Avant de conclure définitivement sur cette hypothèse, il reste à aborder une question sur laquelle nos sources sont décidément muettes. Doubler la production du haut fourneau, c'est, à égalité de mise au mille, doubler sa consommation de coke. Or la description de l'investissement consent⁸⁷ ne comprend, ni modifications de la soufflerie et des appareils cowpers réchauffeurs de vent, ni possibilités d'enrichissement en oxygène du vent. Dans ces conditions, comment brûler le tonnage de coke correspondant au projet de doublement à 700 tonnes de la production journalière du haut fourneau? Calculée sur la base des meilleures performances du haut fourneau avant sa transformation et corrigée d'une baisse (espérée) de mise au mille de 20%⁸⁸, la consommation journalière de coke à prévoir était encore de 700 tonnes; prévision que, poussés au maximum, les appareils cowpers existants ne permettaient pas d'atteindre. Sans répondre à la question, on se bornera à constater que

87. L'investissement annoncé est de trente millions d'euros (200 millions de francs) soit 1481 francs (2001) par tonne de capacité supplémentaire. Dans les années 1970, le coût de construction d'un quatrième haut fourneau à Boulogne produisant 350 tonnes jour avait été estimé à 186 millions de francs 1978, soit 1377 francs (1978) par tonne de capacité!

88. Une source (presse locale) affirme qu'en réduisant de moitié la quantité d'oxygène liée au manganèse (MnO_2 passant à l'état de MnO), l'agglomération du minerai permet de réduire de moitié la mise au mille de coke!!! On imagine ce qu'un historien des techniques peut retirer, dans quelques dizaines d'années, d'une telle information.

le déficit thermique au niveau du creuset s'en serait trouvé renforcé⁸⁹.

Obsolescence du procédé ou perte du savoir-faire?

L'histoire française du procédé industriel très spécifique qu'est la fabrication au haut fourneau du ferromanganèse s'inscrit dans la longue durée. Il apparaît en France en 1875, se répand rapidement en France et à l'étranger, et se développe ensuite, surtout pendant les "Trente glorieuses" dans le secret d'une entreprise qui devient le premier producteur mondial de ferromanganèse. Après 1979, sa mise en œuvre se fait dans des conditions plus ouvertes par deux sociétés successives; mais la transmission du savoir-faire est de plus en plus difficile et finalement s'interrompt: après 2000, le procédé est perdu.

Répondant à la demande du marché sidérurgique, le procédé est né et s'est développé dans des "communautés innovantes"⁹⁰: Sava en Autriche, Terrenoire, Saint-Louis, Outreau et Boulogne. D'une usine à l'autre, le savoir-faire s'est transmis de façon tacite, sans jamais être codifié ni publié. Des démarches empiriques ont progressivement enrichi ce savoir-faire, recherchant pour le haut fourneau, l'allure propre à laisser au manganèse le temps de se éduire, l'équilibre thermique de la zone où s'élabore le ferromanganèse, le meilleur profil, la plus grande capacité par augmentations successives et mesurées du diamètre du creuset, à profil constant et hauteur utile augmentée

Le procédé a connu une réussite exemplaire. Implanté à Outreau, en 1906, dans une usine récemment modernisée, il connaît sa première phase de développement. La seconde commence avec les "Trente glorieuses", soutenue par un marché constamment porteur: de lourds investissements sont rentabilisés dans la foulée. Boulogne devient le premier producteur mondial de ferromanganèse: un rang que les entreprises qui s'y succèdent, revendiqueront jusqu'en 2003.

89. Un haut fourneau de dimensions données ne supporte pas de modifications importantes de son allure nominale sans dégradations des paramètres de marche et surtout de la mise au mille de coke.

90. Anne Françoise Garçon, "Comment retracer historiquement les chemins de la novations", *Les chemins de la nouveauté*, op. cit., p. 449



Mais avec le dernier quart du XXème siècle, la sidérurgie mondiale connaît une crise persistante. Le coke se raréfie ; son prix augmente. Les sociétés minières maintiennent le prix du minerai de manganèse, mais le font aux dépens de leurs clients captifs producteurs de ferromanganèse. Pour diminuer leurs coûts de fabrication réduisent Boulogne réduit son personnel et tente sans succès les solutions techniques que la sidérurgie a développées depuis cinquante ans dans le domaine des hauts fourneaux⁹¹, un "nouveau procédé" de fabrication qui se révèle un échec. La compétitivité du site de Boulogne partagée entre deux procédés, dans est définitivement compromise. Le procédé qui a fait sa fortune en d'autres temps, est perdu.

Comment expliquer cette perte finale du procédé?

D'abord sans doute par l'atmosphère de secret dans laquelle il s'est développé. Pendant près de quatre-vingt ans, Saint-Louis, Outreau puis Boulogne, ont appliqué une politique de secret, justifiée dès l'origine par la concurrence internationale et après 1945 par le développement d'un procédé concurrent, le four électrique. Cette pratique du secret a empêché toute codification du savoir-faire. Mais la codification d'un savoir-faire acquis de façon aussi empirique était-elle possible?

La deuxième explication relève du mode de diffusion et de l'exercice du savoir-faire. Purement solitaire dans le cas de l'artisanat, ce mode a une dimension collective dans le cas d'un procédé industriel: le savoir-faire y est partagé. Au lieu de se faire simplement et sûrement du maître à l'élève dans le premier cas, la transmission du savoir-faire est plus aléatoire dans le second où elle se fait au gré des arrivées, départs en retraite, démissions, licenciements ... De plus, au sein d'une entreprise industrielle, l'identification de ceux qui détiennent ou exercent une part du savoir-faire aussi bien que le contenu de

cette part est malaisé. On a vu qu'à Boulogne le partage du savoir-faire avait varié selon le statut de l'entreprise : producteur indépendant, filiale d'une société minière, d'un grand groupe international ; le passage d'un statut à l'autre n'implique pas forcément le transfert de la part du savoir-faire qui relève par exemple des dirigeants de l'entreprise⁹². Il est remarquable à ce propos que le procédé industriel de fabrication au haut fourneau du ferromanganèse s'est développé pour l'essentiel à Saint-Louis, Outreau et Boulogne dans deux entreprises au statut de producteur indépendant. Ensuite, dans une industrie en crise, l'importance des investissements à consentir a eu un effet dissuasif sur les opérateurs de Boulogne ; d'autant plus que la part des investissements consacrés à la protection de l'environnement augmentait de façon sensible, leur définition et leur mise au point contribuant à détourner l'attention des opérateurs du procédé lui-même.

Une troisième explication est beaucoup plus immédiate. Pour réussir, le nouveau procédé devait permettre de doubler la production du haut fourneau, avec une consommation de coke par tonne de ferromanganèse maintenue sinon diminuée. La pénurie mondiale de coke a provoqué, à partir de 2002, une augmentation continue du prix du coke importé qui avait pratiquement doublé fin 2003. Cette augmentation annihilait tout espoir d'obtenir d'un nouveau procédé en cours de réglage des résultats économiques. Comparant les deux procédés de fabrication du ferromanganèse, four électrique et haut fourneau, Eramet indique en 2004, que les rares producteurs de ferroalliages au haut fourneau étaient "tous, sauf un japonais et quelques producteurs marginaux en Europe de l'Est (sont) basés en Chine" et que "compte tenu de la hausse des prix du coke et des problèmes de disponibilité physique de ce produit, ce procédé (le haut fourneau) n'est pas compétitif en dehors de la Chine"⁹³...

Le procédé industriel de fabrication au haut fourneau du ferromanganèse, créé

91. L'étude du fonctionnement du haut fourneau en allure de fonte d'affinage connaît un grand développement à partir de 1950, notamment avec les travaux de l'Institut de Recherches de la Sidérurgie Française (I.R.S.I.D.). La consommation de coke baisse de 1000 à 330 kilos par tonne de fonte grâce à la consommation exclusive de minerais de fer aggloméré. Agrandis, les hauts fourneaux produisent journalièrement plus de 10000 tonnes de fonte.

92. Suivant le statut de l'entreprise, la présence du savoir-faire dans les motivations les analyses et les stratégies des dirigeants de l'entreprise ne sera pas la même.

93. Groupe Eramet, *Enjeux et opportunités de la branche Eramet Manganèse*, http://www.eramet.fr/actionnaires/pres_finan.php, juin 2004



en France de 1875 et développé au cours du XX^{ème} siècle est-il arrivé en 2003, au terme de son cycle de vie⁹⁴? Est-il frappé d'obsolescence, dépassé par la concurrence du four électrique? La réponse est négative si l'on songe que, dans sa définition de 1962, le haut fourneau 5 de Boulogne, a fonctionné jusqu'au bout de façon satisfaisante. En fait, selon le dernier exploitant, ce sont les conditions techniques et économiques d'une pérennisation de la fabrication à Boulogne qui ont définitivement disparu.

A condition d'un transfert du savoir-faire toujours possible, un nouveau chapitre de l'histoire du procédé original peut s'inscrire dans les pays, comme la Chine, dont les sidérurgies connaissent aujourd'hui un développement comparable à celles des pays occidentaux au siècle dernier.

Quant au nouveau procédé, a-t-il bénéficié du temps nécessaire à sa mise au point? Le souci de rentabilité rapide des sociétés actuelles n'est guère compatible avec les longues années souvent nécessaires au développement d'un procédé : une rentabilité à court terme de toutes façons compromise par la hausse drastique du prix du coke importé à partir de 2002.

Ce nouveau procédé était-il rentable à terme? Les sources d'informations disponibles, émanant surtout de la presse d'actualité plus riche en effets d'annonce qu'en informations précises, ne permettent pas de répondre à la ques-

94. On identifie ici le cycle de vie du procédé industriel au cycle de vie du produit fabriqué en l'occurrence le ferromanganèse. On a vu que si la consommation spécifique de ce dernier avait tendance à baisser, elle ne correspond pas à une obsolescence à court terme du produit: en 2002, les spécialistes prévoient une consommation mondiale stable jusqu'en 2007, de l'ordre de 3,5 millions de tonnes soit 3,9 kilos par tonne d'acier brut (V.Trelut, *Manganese Market Trends*, Ryan's Note Conference, octobre 2002)

Contrairement à la théorie qui explique que les produits nouveaux apparaissent dans des pays innovants qui les exportent puis les abandonnent au profit de pays concurrents qui les exportent à leur tour, le ferromanganèse apparu en 1875 en France a continué à y être produit; la France est restée un exportateur important jusqu'au début du XXI^{ème} siècle: les performances du procédé de fabrication l'ont emporté sur le produit lui-même.

tion. Il manque ici l'histoire du nouveau procédé établie à partir des archives techniques de l'entreprise..■

