

KHALIFA CHIKHA BELGACEM^[*]

Compte rendu du séminaire sur la création d'usines sidérurgiques utilisant la réduction directe

Le "séminaire relatif aux problèmes économiques liés à la création d'usines sidérurgiques utilisant le procédé de réduction directe" organisé par le Comité de l'Acier de la Commission Economique pour l'Europe (Nations-Unies) à Noordwijkerhout aux Pays-Bas du 16 au 20 Mai 1983 a eu pour principaux thèmes et sous-thèmes :

- 1 – La viabilité économique des procédés de réduction directe existants :
 - aspects énergétiques et technico-économiques des méthodes de réduction directe.
 - techniques et environnement.
- 2 – Les progrès réalisés récemment dans les méthodes de réduction directe et la fusion de l'éponge de fer :
 - énergie, transport et stockage.
 - fusion de l'éponge de fer.
- 3 – Procédés intégrés de réduction par fusion.

De ce séminaire, il est possible de retenir brièvement trois niveaux à partir desquels doivent être appréhendées l'étude et les perspectives de développement de la filière réduction directe :

– le développement de cette filière correspond à une nouvelle division internationale du travail dans l'industrie sidérurgique mondiale, à la recherche de ressources naturelles et en particulier **de ressources énergétiques à bon marché.**

– l'utilisation de ressources naturelles locales est conçue comme une forme de valorisation interne de ces ressources pour les pays hôtes qui favorisent une certaine forme de délocalisation de l'industrie sidérurgique mondiale. La filière réduction directe est tout à fait adaptée à cette forme de délocalisation.

– Du point de vue du coût de production unitaire, l'échelle de production de la filière réduction directe semble tout à fait adaptée aux besoins sidérurgiques des pays du Tiers-Monde disposant de minerai et/ou de ressources en hydrocarbures ou de charbons non cokéfiabiles.

Pour mieux saisir l'importance de ce débat nous nous proposons d'en faire un compte rendu très bref en trois points :

- Situation et perspectives de développement de l'industrie sidérurgique mondiale ;
- La consommation comparative d'énergie et échelles de production ;
- Les coûts de production unitaires selon les filières.

A – Situation actuelle^[1] et perspective de développement de l'industrie sidérurgique mondiale

La crise économique mondiale en particulier dans les pays industrialisés a eu des effets négatifs importants sur la consommation d'acier. Si dans l'industrie sidérurgique l'augmentation de l'échelle de production permet des économies et donc une maximisation du profit, les nouvelles conditions de l'économie mondiale favorisent beaucoup plus la mise en place d'unités de production d'acier à petite échelle, localisées surtout dans les pays du Tiers-Monde. En effet, l'évolution de la structure de la consommation mondiale d'acier permet de prévoir un accroissement plus rapide de la part du Tiers-Monde par rapport à celle des pays industrialisés.

Les prévisions font apparaître qu'en 1990 la consommation d'acier des pays industrialisés capitalistes atteindrait $372,10^6$ de tonnes. Entre 1985 et 1990 son taux de croissance annuel moyen ne dépasserait pas 0,6 % alors que celui des pays en développement pourrait atteindre 3,7 %. Entre 1985 et 1990 la consommation mondiale d'acier augmentera d'environ $50,10^6$ tonnes et sera surtout le fait des pays du Tiers-Monde.

L'augmentation du prix de l'énergie dans les pays industrialisés, de même que celle du coût de transport des produits en acier vers les pays en développement doivent favoriser le développement de la production d'acier utilisant les ressources locales en minerai de fer, en gaz et en charbon dans ces derniers pays.

Le facteur essentiel dans le choix de la filière d'élaboration de l'acier et/ou plus précisément du procédé le plus adéquat est le coût du minerai et du combustible.

Le coût des matières premières et des combustibles ont un poids déterminant dans le coût de production unitaire de l'acier.

Le choix de filière de production de l'acier aux Etats-Unis par exemple doit tenir compte des ratios suivants en ce qui concerne le minerai et le combustible (charbon à coke, gaz naturel) selon la filière.

	Matière première	Combustible	Total
Filière classique %	49	14	63
Filière réduction directe gaz naturel, four électrique à arc %	40	29	69

Source : D. KANEKO de KOBEL STEEL Ltd.
"Aspects of new iron and steelmaking technologies".

L'intérêt de la filière réduction directe, vient du fait qu'il existe sur le marché, un éventail de procédés tel, qu'elle puisse plus facilement être adoptée dans presque tous les pays disposant d'une ou de plusieurs matières premières utilisables dans la production du fer ou de l'acier.

Historiquement, le minerai préréduit était considéré comme un substitut de la ferraille, destiné à permettre la satisfaction des besoins croissants des pays industrialisés en acier.

Le développement rapide de la production d'acier au four électrique à arc et de la coulée continue qui utilise essentiellement la ferraille de fer a fait craindre un déficit croissant de cette dernière dans les pays industrialisés. L'accroissement des échanges mondiaux de ferraille et la pénurie qui pourrait en résulter ne pouvaient donc aboutir qu'à une augmentation rapide de son prix.

Le développement de la filière réduction directe s'inscrit dans le cadre du développement de la production d'acier au four électrique à arc surtout dans les pays en développement où la ferraille n'est généralement pas disponible et où les dépenses d'équipement dans des installations de four à coke, hauts fourneaux et convertisseurs à oxygène ne peuvent se justifier dans le cas d'échelles de production réduites. Le développement de la réduction directe semble s'identifier avec la politique de valorisation des ressources naturelles des pays en développement.

Si du point de vue de la matière première principale, nécessaire à la production du fer et de l'acier, abstraction faite de sa qualité, celle-ci est généralement disponible un peu partout dans le monde, la contrainte principale de l'industrie sidérurgique est souvent liée à la recherche d'agents réducteurs et de sources d'énergie utilisables à bon marché. Les perspectives de développement de l'industrie sidérurgique et de ses filières technologiques passent obligatoirement par l'étude de leur consommation comparative d'énergie.

B – Consommation d'énergie selon les filières

L'importance de la consommation d'énergie est l'un des éléments les plus importants dans le choix de filière technologique de la production d'acier. L'évolution des prix de l'énergie, surtout au cours de la dernière décennie, a conféré un poids dominant à la place de la consommation d'énergie dans la détermination des choix technologiques, en particulier dans les pays industrialisés.

Pour la production d'acier, il est possible de caractériser les différentes filières ou sous-filières de la manière suivante en terme de consommation d'énergie :

1 — filière classique	3,34 Gigacalories/t (Gcal/t)	d'acier liquide
2 — filière ferraille	1,22 Gcal/t	"
3 — filière réduction directe		
• au gaz naturel four électrique à arc	4,02 Gcal/t	"
• au charbon four électrique à arc	5,08 Gcal/t	"
4 — filière réduction fusion convertisseur à oxygène	4,40 Gcal/t	"

Source : Mr D. KANEKO, KOBE STEEL : Ltd, "Economic Aspects of new iron and steelmaking technologies".

Mr A. VAN DER RIJST and Mr H.H. DERKX "The changing world of steelmaking".

Procédé	Année de référence	Consommation moyenne d'énergie Gcal/t. DRI (1)	dont consommation d'électricité Kwh/t. DRI (1)	Métallisation moyenne du produit %
HYL	1961	6,2	75	85
HYL	1967	5,2	7	n.d.
HYL	1971	4,31	7	85
MIDREX	1973	3,78	143	92,00
HYL	1974	3,73	20	85
MIDREX	1975	3,07	143	93,1
HYL	1977	3,55	0	85
MIDREX	1977	3,06	154	93,3
MIDREX	1978	2,64	121	93,6
MIDREX	1979	2,65	122	91,5
MIDREX	1981	2,56	114	92,3
MIDREX	1981	2,51	115	93,1
HYL	1982	3,33	n.d.	88

Source : Mr S. DAS GUPTA, Mr T. K. ROY, Mr B. ROY and Mr D. N. SETHNA, M. N. DASTUR and Co (P) Ltd, Calcutta. "Direct Reduction Processes, Energy, Cost and Ecological Aspects".

(1) DRI = minerai préréduit.

Cependant, dans le cas de la réduction directe au gaz naturel par exemple il est possible de remarquer, dans les deux principaux procédés utilisés dans cette filière (MIDREX et HYL), que la consommation unitaire d'énergie selon les projets réalisés ne semble pas avoir atteint son niveau optimal.

Le tableau précédent permet d'observer que le procédé MIDREX semble avoir atteint son niveau de consommation d'énergie presque minimal (proche de l'optimum) et peut donc être considéré comme tout à fait au point pour être adopté dans les installations de réduction directe en tant que procédé définitivement établi. Le procédé HYL III grâce à l'adjonction d'un scrubber de CO₂ (séparation de CO₂) des gaz de réduction récupérés doit contribuer grâce au recyclage de ces gaz et à l'utilisation d'autres combustibles que le gaz naturel (le gaz naturel serait utilisé après reformage à la vapeur seulement comme agent réducteur) à minimiser le coût de production unitaire du minerai préréduit.

Comme nous allons le voir le coût de production unitaire selon les filières n'est pas indépendant de l'échelle de la production.

C – Coût de production unitaire et échelle de production

Le coût de production unitaire de l'acier variera selon les conditions locales de mise en oeuvre des procédés d'élaboration.

1) Haut-fourneau – Convertisseur à oxygène :

Cette filière convient pour une production à grande échelle d'acier à nuance variée. Le seuil de sa compétitivité est supérieur à $1,5 \cdot 10^6$ T/an, avec des économies d'échelle importantes pour des capacités de l'ordre de 3 à $4 \cdot 10^6$ T/an. Elle exige cependant une main-d'oeuvre nombreuse et un marché relativement important.

La part du coût en capital dans le coût de production total est d'environ 25 %. L'importance de la main-d'oeuvre et des marchés nécessaires rend cette filière très sensible aux conditions économiques et sociales.

2) Réduction directe :

Comparée à la filière classique, la filière réduction directe du minerai de fer permet la production d'acier de manière beaucoup plus simple et plus adaptée aux conditions locales des pays hôtes.

C'est peut-être la raison pour laquelle, la majorité des projets sidérurgiques actuellement dans le monde est basée sur cette filière.

a) Réduction directe au gaz naturel reformé - four électrique à arc :

Parmi tous les types de fours de réduction ou réacteurs (fours à lit fluidisé, four à lit non fluidisé) les fours à cuve sont les plus utilisés.

Cette sous-filière est compétitive dans le cas de capacité de production inférieure à $1,5 \cdot 10^6$ t. par an d'acier liquide et dans des régions disposant d'importantes réserves de gaz naturel vendu à **bas prix**.

D'autres recherches sont engagées en vue d'utiliser le gaz produit à partir du charbon comme agent réducteur et comme combustible.

b) Réduction directe au charbon (non cokéfiable) four électrique :

Plusieurs variétés de charbon peuvent être utilisées comme agents réducteurs et comme combustibles. Cette sous-filière est compétitive pour la production d'acier à petite échelle dans des régions disposant d'importantes réserves de charbon à **bas prix**.

L'échelle de production dans les procédés de réduction directe au charbon est limitée par la faible productivité des fours de réductions utilisés, dans ce cas les fours rotatifs.

L'augmentation des prix de l'énergie dans les pays industrialisés semble être à l'origine de l'abandon ou du démantèlement d'un certain nombre d'installations de réduction directe au gaz naturel dans ces pays[2].

Le transport du minerai pré-réduit à longue distance nécessite des traitements destinés à limiter son oxydation. Le briquetage à chaud par

exemple semble répondre le mieux à cet impératif du transport du minerai préréduit.

Du fait d'une productivité du travail plus élevée dans le cas de la réduction directe par rapport à la filière classique, de même que de l'échelle de la production relativement moins importante, la sensibilité de cette filière par rapport aux conditions économiques et sociales des pays hôtes est relativement moins importante.

En plus de sa flexibilité pour les types de minerais (pourvu qu'ils soient à teneur en fer élevée) et les types et la variété des agents réducteurs et des combustibles susceptibles d'être utilisés, cette filière répond mieux aux impératifs de la protection de l'environnement.

La firme japonaise Nypon Steel Corporation (NSC) propose un procédé de réduction directe utilisant le minerai de fer en morceaux relativement moins chers que l'oxyde de fer en pellets. L'amélioration de la manutention dans l'installation de réduction directe tels que les équipements de chargement de minerai en morceaux, le remplacement de la gorge unique de chargement par plusieurs etc... doit permettre l'amélioration de la productivité.

De même l'adaptation du diamètre du four à cuve (réacteur) et le mélange du gaz réducteur avec certaines quantités de suie doivent favoriser d'une part une meilleure réduction du minerai en morceaux et empêcher d'autre part le "collage" des morceaux de la charge contre les parois du réacteur.

3) Réduction fusion – Convertisseur à oxygène :

Cette filière tout à fait récente reste très peu développée. Son intérêt résulte surtout de la possibilité d'utiliser les fines de minerai de fer et de charbon non cokéfiable, non utilisables dans les autres filières. Cette filière est actuellement défavorisée par le coût relativement élevé de ses installations.

98 % environ du fer actuellement extrait du minerai est produit dans les hauts fourneaux. L'agglomération du minerai de fer et la cokéfaction du charbon représentent 20 à 25 % de l'investissement sidérurgique total de cette filière.

Dans la réduction directe au gaz naturel reformé, la pelletisation du minerai et le reformage du gaz naturel représentent une part importante de l'investissement total de cette filière. C'est la raison pour laquelle les développements qui semblent se dérouler dans cette filière ont pour objectif l'utilisation presque directe des minerais de fer utilisables et la diversification de ces minerais, des agents réducteurs et des sources d'énergie.

La nécessité de simplifier les processing destinés à produire de l'acier et de diminuer les investissements nécessaires a incité les principales firmes sidérurgiques mondiales à rechercher une autre voie qui semble prometteuse dans l'avenir : il s'agit de la réduction-fusion du minerai de fer.

Si la filière classique passe par la fusion du minerai avant sa réduction et la filière réduction directe procède à la réduction du minerai à l'état solide, la nouvelle filière, encore au stade de prototype, se fonde sur le principe du déroulement simultané des deux opérations de réduction et de fusion du minerai de fer qui permettra d'obtenir de l'acier sans passer ni par le convertisseur à oxygène ni par le four électrique à arc.

De ce séminaire il est possible de tirer la conclusion suivante : la filière réduction directe du minerai de fer-four électrique à arc, quel que soit le combustible utilisé comme agent réducteur et source d'énergie, n'est compétitive par rapport à la filière classique du haut fourneau-convertisseur à oxygène que dans l'hypothèse d'échelle de production inférieure à $1,5 \cdot 10^6$ t/an, et d'un prix du combustible largement sous-estimé.

Le caractère strictement technico-économique des exposés et des débats a quelque peu biaisé les résultats du séminaire dans la mesure où le contexte économique et énergétique mondial a été le plus souvent absent dans les différentes analyses.

Notes

[*] Chercheur au CREA.

[1] D. KANEKO de KOBE STEEL Ltd. "Economic Aspects of New iron and steel making Technologies"...

[2] John MANLEY, Assistant Editor, Metal Bulletin "SHIFTING FORTUNES OF DIRECT REDUCTION".