

# Sidérurgie et électricité

*Jean Marois*

**L**A sidérurgie est un secteur d'activité significatif de la démarche à suivre pour répondre à la question. Elle est d'abord un secteur important qui a absorbé plus de 12 Mtep (en 1982), soit 7 % de la consommation énergétique nationale.

C'est un secteur où le poids des facteurs énergétiques est tel que l'optimisation de la consommation est un objectif permanent. C'est au surplus, comme beaucoup d'autres, un secteur sans espoir de développement. Les conditions d'utilisation de l'énergie électrique sont donc sans cesse actualisées. La réponse à la question du thème et la démarche pour formuler cette réponse sont donc relativement exemplaires. Cette démarche consiste successivement à :

- identifier les utilisations d'énergie non électrique ainsi que leur fonction (fusion, chauffage, force motrice, etc.) ;
- examiner pour chacune d'elle la faisabilité d'une substitution par de l'énergie électrique ;
- examiner les conditions économiques rendant possible pour le sidérurgiste une telle substitution ;
- enfin, évaluer les autres conséquences, sociales par exemple, pouvant conforter ou rendre impossibles les substitutions potentielles.

## I. SITUATION ÉNERGÉTIQUE DANS LA SIDÉRURGIE

Globalement, la sidérurgie pèse environ 12 Mtep/an (1982) dans la consommation nationale, soit 7 %. Cette consommation est répartie approximativement en :

- 66 % combustible solide,
- 22,5 % électricité et oxygène,
- 11,5 % hydrocarbures.

L'électricité représente donc environ 2,5 Mtep ou environ 11 TWh, dont 2 autoproduits avec des gaz excédentaires.

La transformation et la conversion à l'électricité concernent donc le charbon pour la plus grande partie, et les hydrocarbures.

Il faut identifier les fonctions assurées par ces combustibles et les possibilités de substitution de l'électricité :

### a. Substitution au charbon

Le charbon est essentiellement transformé en coke pour la fabrication d'acier à partir de la filière minerai-haut fourneau. Plusieurs techniques sont envisageables pour réaliser une substitution totale ou partielle :

- substitution totale en remplaçant la filière minerai-haut fourneau par une filière ferraille four électrique à quantité d'acier équivalente ;
- substitution partielle par utilisation de la technique des torches à plasma.

### b. Substitution aux hydrocarbures

Ceux-ci sont utilisés pour leur plus grande part dans des fours de réchauffage de produits ou de traitement thermique. On peut envisager d'utiliser le chauffage par résistance électrique ou induction pour substitution totale ou partielle à des hydrocarbures utilisés dans les fours.

Nous examinerons trois possibilités de substitution, qui sans être exhaustives, ont les impacts les plus importants sur le bilan énergétique :

- conversion à la filière four à arc électrique,
- utilisation de la technique des torches à plasma,
- utilisation de l'électricité dans les fours de réchauffage.

## II. CONVERSION A LA FILIÈRE FOUR A ARC ÉLECTRIQUE

Environ 15 millions de tonnes d'acier sont fabriquées par la filière utilisant le haut fourneau (81 % de la production en 1982).

Environ 3 millions de tonnes d'acier sont fabriquées par la filière ferraille four à arc électrique (19 % de la production en 1982).

Dans une usine utilisant la filière haut fourneau et totalement intégrée, les consommations d'énergie sont :

- charbon environ 90 %
- électricité environ 10 %

Dans une usine utilisant la filière four à arc et ferraille, les consommations sont :

- électricité environ 75 %
- hydrocarbures environ 25 %

A quantité d'acier égale, la consommation d'énergie électrique par tonne est supérieure d'environ 400 kWh pour la filière à arc électrique. Quelle est la faisabilité de cette substitution ?

Les limites sont de deux ordres :

### – Métallurgiques

Les produits issus de la filière ferraille four à arc ne sont pas tous équivalents à ceux de la filière haut fourneau-minerai.

### – Économiques

Le gisement ferraille n'est pas inépuisable. On peut admettre cependant que l'on pourrait utiliser une grande partie des ferrailles exportées, mais il est clair qu'il en résulterait une plus grande tension sur les prix de ferraille. Le courant électrique devrait être assimilé à une matière comme le charbon ou le coke dans la filière haut fourneau. On peut estimer que 2,5 Mt d'acier pourraient ainsi être transférées de la voie haut fourneau à la voie électrique, ce qui équivaut à une consommation supplémentaire de 1 TWh/an au plan national.

Il faut cependant noter les conséquences induites sur le plan social : diminutions très importantes des effectifs utilisés dans les cokeries, les extractions de minerai de fer national, et les sidérurgies participant à la conversion.

Les délais pourraient être de deux à quatre ans.

Au surplus, une telle mutation nécessite d'importants investissements, dont le financement resterait à trouver (1,5 à 2 milliards de francs).

## III. INTRODUCTION DANS LA FILIÈRE HAUT FOURNEAU DES TECHNOLOGIES DE CHAUFFAGE PAR TORCHE A PLASMA

Une des fonctions du coke et du charbon est d'obtenir des températures convenables dans le haut fourneau. On peut donc essayer de substituer, partiellement ou totalement, au coke un moyen de chauffage électrique pour cette fonction.

Les technologies auxquelles on peut penser relèvent de la torche à plasma.

Plusieurs voies ont été imaginées, notamment :

a. Production à température élevée de gaz réducteur dans le haut fourneau.

b. Obtention des températures élevées par substitution aussi complète que possible. Il reste cependant à assurer la fonction réduction.

c. Substitution au haut fourneau d'un four à plasma où le minerai est introduit sous forme fluidisée.

Dans ces domaines, la faisabilité technologique est soumise à des conditions préalables :

- existence de torches à plasma de capacité et fiabilité suffisantes ;
- essais pour les deux premières voies envisagées en vraie grandeur sur des hauts fourneaux ;
- essai pour la troisième voie d'installation pilote ;
- vérifier l'intérêt économique potentiel.

Comment se présentent les trois possibilités évoquées compte tenu de ces remarques :

### a. Production de gaz réducteur à température élevée

Les gaz réducteurs sont obtenus par des injections massives de charbon dans du vent surchauffé grâce aux torches à plasma.

Cette technique conduit à remplacer une part importante du coke par du charbon et par de l'électricité mise en œuvre par la technique des torches à plasma. Il y a aussi une technique concurrente où la substitution se fait aussi par du charbon, mais avec utilisation de l'oxygène avec une moindre diminution du coke. Par rapport à cette dernière, il n'y a pas d'économie de thermies, mais substitution d'une partie des thermies venant du coke par des thermies électriques.

Il faut donc que le prix du courant soit adapté pour que la technique de la torche à plasma utilisée dans ces conditions soit aussi intéressante que celle utilisant l'oxygène.

Des essais pourraient débiter sur un petit haut fourneau.

La technologie pourrait s'appliquer dans tous les cas où l'usine ne produit pas de coke en quantité suffisante ou progressivement à la fin de la vie des batteries de fours à coke.

La pénétration supplémentaire par rapport à la situation actuelle est d'environ 150 kWh/tonne de fonte.

Une certaine généralisation ne paraît guère évidente avant cinq ans dans la mesure où les essais et les conditions économiques seraient satisfaisants. Le parc de hauts fourneaux susceptibles d'être soumis à cette conversion dans un premier temps est celui ne disposant pas de capacités de cokeries suffisantes. Nous l'estimons à 4 Mt de fonte/an de capacité, la pénétration espérée pourrait donc être voisine de 0,6 TWh/an à terme.

Les investissements, pour l'essai d'abord et pour une certaine généralisation ensuite, resteraient à financer.

#### **b. Remplacement du coke par de l'électricité aux hauts fourneaux actuels**

Au lieu de produire des gaz réducteurs comme dans le cas précédent, on peut imaginer un gaz réducteur extérieur et remplacer le plus possible de coke par de l'électricité.

Théoriquement, cette voie permettrait un apport jusqu'à dix fois plus important en électricité que la voie mentionnée précédemment (1 400 kWh/t au lieu de 150 kWh/t). Elle nécessite la mise au point de torches à plasma de grande capacité et l'expérimentation de conditions de fonctionnement nouvelles du haut fourneau. Elle conduirait à remplacer plus de la moitié du coke utilisé actuellement par de l'électricité et la presque totalité de l'autre moitié par du charbon avec recyclage du gaz excédentaire et traité des hauts fourneaux.

La technique n'est, de plus, envisageable sans perte pour l'utilisateur qu'à un niveau de prix de courant moyennement bas (voisin de 10 centimes/kWh dans les conditions actuelles).

Compte tenu des conditions économiques prévisibles, le processus ne paraît pas faisable à moyen terme. Il ne semble donc pas s'inscrire dans les préoccupations de la question du thème limitant les réflexions au court et moyen terme.

#### **c. Utilisation de torches à plasma dans les fours adaptés**

Il s'agit de techniques utilisant des minerais sous forme fluidisée avec apport de charbon (et non pas de coke).

La technique s'éloigne des procédés connus actuellement. Elle requiert au préalable des essais sur un pilote industriel pour vérifier les données théoriques et donc économiques. Il en résulte qu'un délai important paraît nécessaire avant de conclure à des élaborations de masse. Le champ d'application semble ainsi limité à des cas particuliers.

De ces trois techniques, celle exposée au paragraphe *a* paraît devoir être expérimentée mais les résultats sont incertains quant au taux réel et au délai de pénétration.

### **IV. SUBSTITUTION AUX HYDROCARBURES**

Ceux-ci sont principalement utilisés dans les fours de réchauffage des usines dites non intégrées, c'est-à-dire dont le fonctionnement ne repose pas sur une filière haut fourneau et cokerie associée. Dans ce dernier cas, qui correspond aux trois quarts des usines utilisant la filière haut fourneau, les excédents de gaz permettent de couvrir la quasi-totalité des besoins en chauffage de fours. Ces usines sont quasi autonomes. Dans les autres, on utilise le fuel ou, plus généralement, le gaz naturel pour le fonctionnement des fours de réchauffage ou traitement des produits.

Les techniques auxquelles on peut songer sont la substitution totale ou partielle de l'électricité (four à résistance ou four à induction).

Des expériences et des essais ont déjà été faits.

L'utilisation de l'énergie électrique apporte une économie d'énergie par rapport à l'utilisation d'hydrocarbures. Ce gain correspond aux pertes d'énergie contenues dans les fumées non réutilisées.

Les calculs aussi bien que les expériences montrent que le rendement d'une opération de chauffage performante est comprise entre 50 et 70 % dans les fours à hydrocarbures suivant qu'à l'enfournement les produits sont chauds ou froids.

Les rendements sont compris entre 66 et 84 % pour les fours électriques à résistance. Il y a donc sur les fours un gain de 15 à 20 % de rendement dans les opérations de chauffage ou traitement thermique, dans la mesure où le chauffage est effectué par des résistances. Il faut cependant tenir compte des pertes supplémentaires et coûts d'exploitation dans les réseaux de distribution électrique d'amenée au four et qui n'ont pas leur équivalent dans les réseaux de distribution de gaz.

Si la technologie des résistances, pour obtenir des températures de 800 °C convenables pour des traitements thermiques, ne pose pas de difficulté, il n'en va pas de même lorsqu'il s'agit de réchauffer des produits à laminier.

L'utilisation du chauffage par induction conduit à des rendements moins bons que ceux du chauffage par résistance. Toutefois, la technologie accessible permet d'atteindre des températures supérieures à celles que l'on peut obtenir avec des résistances. Elle permet, notamment, de réchauffer des produits jusqu'à température de laminage. L'équivalence est au niveau du four d'environ 1 thermie pour 1 kWh.

Dans les deux cas, l'utilisateur peut aussi obtenir un gain supplémentaire, constitué par une économie de mise au mille, dû à la réduction du phénomène d'oxydation des produits constaté dans les fours de réchauffage à hydrocarbures.

Un bilan doit être fait.

Toutefois, compte tenu des complexités d'adaptation à la technologie, il semble que la pénétration, si les conditions économiques sont réunies, ne pourrait se faire que par palier et devrait s'étaler sur plusieurs années, avec des investissements importants, dont le financement serait à trouver après des essais plus importants que ceux en cours.

On pourrait estimer, compte tenu de cette dernière remarque, que seraient techniquement réalisables, dans une première phase, les conversions des fours pour un niveau d'environ 0,5 TWh/an.

### **V. SYNTHÈSE POUR LA SIDÉRURGIE**

Une pénétration par substitution sur les secteurs importants, indiqués précédemment à environ 1,5 TWh/an à moyen terme, peut-être 2 TWh/an, est techniquement envisageable.

Les outils sidérurgiques ont en général de très bonnes performances thermiques. L'électricité n'apporte, dans ces conditions, qu'exceptionnellement un meilleur rendement (cas des fours de réchauffage).

Il en résulte que, pour que l'utilisateur ne soit pas perdant, le coût du kilowattheure doit être adapté au coût de la thermie substituée (gaz naturel ou coke). C'est un préalable sérieux.

Au surplus, ces conversions supposent des investissements. Les sidérurgistes ont beaucoup de mal à effectuer les investissements de restructuration nécessaires ; ils ne disposent pas, et ne disposeront pas, des moyens de financements supplé-



mentaires pour favoriser la pénétration de l'électricité. Des procédures de financement doivent donc, au surplus, être trouvées.

## VI. CONCLUSIONS

La démarche que l'on vient de parcourir en analysant les cas de la sidérurgie permet de mettre en lumière les conditions à remplir pour qu'une pénétration de l'électricité soit intéressante pour l'utilisateur.

Si l'utilisateur se trouve dans un créneau en expansion, la mécanisation sous toutes ses formes est un moyen de pénétration de l'électricité.

Si l'utilisateur ne se trouve pas dans ce cas, la pénétration de l'électricité ne peut se faire que par substitution à une consommation d'une autre énergie. Il faut d'abord analyser les usages des énergies et identifier les fonctions où l'utilisation de l'électricité est techniquement convenable en substitution. Il est donc primordial de s'interroger sur l'équivalence d'usage énergétique entre l'électricité et l'autre énergie pour laquelle on examine une substitution.

Si les outils utilisant cette autre énergie ont un bon rendement, comme c'est le cas, comme on vient de le voir, pour la plupart des usages en sidérurgie, l'opération ne peut avoir un intérêt pour l'utilisateur que si la tarification électrique est appropriée. Les probabilités de pénétration dans ce cas sont minces.

Si au contraire la substitution entraîne la mise en place de nouveaux outils à bon rendement conduisant à un bilan attrayant pour l'utilisateur, la substitution est un objectif envisageable — sous réserve de vérifier que l'amélioration de l'outil ne conduit pas à un meilleur bilan avec une autre énergie. Il semble que cette analyse faite, l'utilisateur sera d'autant plus incité à recourir à cette substitution que des financements seront mis en place.

L'aide au diagnostic et l'aide au financement paraissent les moyens à développer dans cette perspective.