

## **Quelques éléments d'histoire...**

La sidérurgie et la métallurgie sont des procédés qui remontent à des temps immémoriaux. On peut, sans crainte, affirmer que la Wallonie fut le berceau en Europe continentale de ces industries. La présence de minerai dans le sous-sol de l'Entre Sambre et Meuse et de l'Ardenne fut le prétexte à l'édification de bas fourneaux dans ces régions. Ces installations de petite taille, mais qui prirent au fil des temps une dimension industrielle avec la construction des premiers hauts fourneaux, étaient implantées à proximité des forêts et des cours d'eau à la fois pour disposer du charbon de bois nécessaire à la réduction du minerai dans les fourneaux et à la fois pour le façonnage du métal dans des forges à marteau, les fameux « makas ». Le déplacement de ces industries dans les bassins de Charleroi, du Centre et de Liège n'est due qu'à l'épuisement des gisements de minerai et la déforestation qui ne permit plus à la sidérurgie de se fournir en charbon de bois.

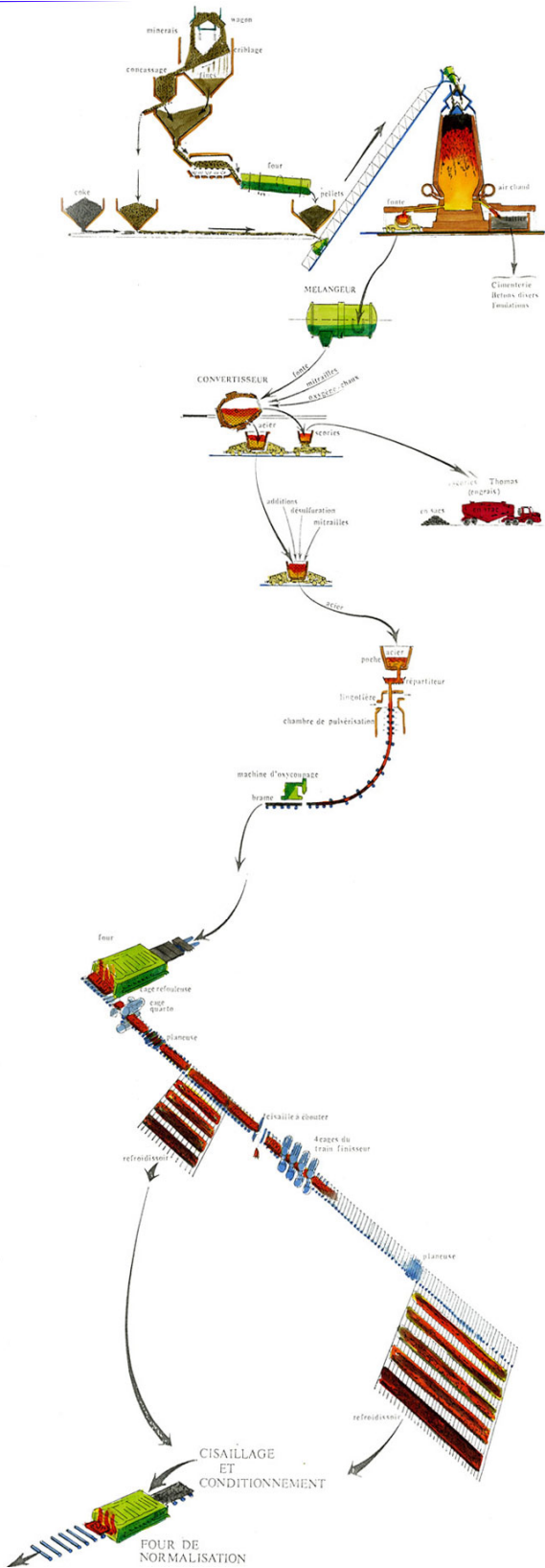
Le remplacement du charbon de bois par le coke fut un élément déterminant qui poussa la sidérurgie à venir s'implanter dans les régions précitées à proximité immédiate des gisement de charbon . Un autre fait marquant, l'invention de la machine à vapeur, contribua à l'essor de l'industrie lourde. C'est donc la conjonction d'une série d'événements qui fut à la base de ce qu'on a appelé « la Révolution industrielle ». Autre élément justifiant l'implantation de la sidérurgie à Liège, à Charleroi et à La Louvière : la construction de canaux et l'aménagement de certains cours d'eaux afin de les rendre navigables, de même que la construction de nombreuses lignes de chemin de fer. Ces grands travaux avaient été initiés par le patronat charbonnier qui cherchait des moyens modernes pour l'acheminement de sa production vers d'autres régions. La sidérurgie en profita grandement, dès lors qu'elle fut obligée de se fournir en matières premières dans des régions plus éloignées, mais aussi pour écouler sa production à l'intérieur du Royaume et vers l'étranger.

Toutefois, les usines d'Athus et de Clabecq ne furent pas construites dans les bassins « traditionnels ». Si pour la première, la proximité des grands gisements lorrains et luxembourgeois justifiait son implantation dans la Province du Luxembourg, par contre, pour les Forges de Clabecq, la raison est plus curieuse. Le lecteur trouvera l'explication de ce choix dans d'autres articles qu'il pourra consulter sur ce site.

## **Le processus de fabrication**

Cet article n'a aucune prétention technique. Il tente juste d'expliquer, bien modestement, le processus de fabrication, phase par phase, de l'acier, du minerai au produit fini.

# Du minerai à l'acier, histoire d'un processus de fabrication, par Gilles Durvaux | 2



## 1) Le minerai

Matière essentielle dans la fabrication de l'acier, le minerai de fer utilisé dans la sidérurgie wallonne a d'abord été extrait dans plusieurs régions du sud du pays. Le gisement s'est rapidement épuisé et il a fallu trouver cette matière première dans d'autres contrées. C'est ainsi que la minette, minerai pauvre en fer, en provenance de la Lorraine française et du Luxembourg fut largement utilisée dans notre sidérurgie. Le produit issu de sa réduction était la fonte phosphoreuse qui donnait également de très grandes quantités de laitier.

L'épuisement des mines aidant, mais aussi la recherche d'une matière première plus riche en fer, amenèrent de plus en plus ces trente dernières années, les sidérurgistes à jeter leur dévolu sur des minerais riches en provenance de Suède, du Brésil et d'Afrique, notamment. Ce choix, a permis d'augmenter sensiblement le rendement des hauts fourneaux. La fonte issue de la réduction de ces minerais riches est appelée « fonte hématite ».

Autrefois, l'extraction des minerais était manuelle et les charges livrées étaient constituées de morceaux de petite taille. Les plus gros étaient simplement cassés par une armada d'ouvriers affectés à cette tâche. On enfournait donc du tout venant. Et avec lui, énormément de « fines » qui s'avéraient néfastes pour la bonne marche des hauts fourneaux. De manuelle qu'elle était, l'extraction s'est totalement mécanisée par la suite, avec entre autres l'arrivée de gigantesques engins sur pneus. De fait, les minerais livrés aux entreprises sidérurgiques furent constitués de biens plus gros morceaux. En même temps, les sidérurgistes cherchaient sans cesse des solutions visant à rationaliser et à préciser au maximum le processus de préparation des charges de hauts fourneaux. C'est la raison pour laquelle, des procédés de concassage criblage, d'agglomération et de pelletisation ont été développés. Voyons de quoi il s'agit.

Le criblage et le concassage ou « préparation mécanique du minerai » consistent à amener le minerai brut à un calibre déterminé pour être chargé au haut fourneau. La matière passe d'abord par un crible qui laisse passer les morceaux de calibre requis. Le refus de trop grosse taille est concassé et puis repassé au criblage pour rejoindre le stock de minerai calibré. Lors des opérations de criblage, les matières qui passent au travers des mailles du dispositif sont considérées comme des « fines » et ne sont pas utilisables telles quelles aux hauts fourneaux. Elles sont destinées à l'agglomération ou à la pelletisation. Une partie de ces fines peut encore être de très gros calibre. Dès lors, elles peuvent être à leur tour concassées.

L'agglomération est une opération de ramollissement des matières sous l'action d'une chaleur intense. Lors de ce processus, elles se soudent intimement et restent agglomérées après refroidissement. Le procédé permet de reconstituer un minerai synthétique d'une granulométrie idéale. Il permet aussi l'inclusion, en proportions raisonnables, dans les matières traitées de poussières de hauts fourneaux riches en fer ou des poussières issues de l'épuration des gaz de ces mêmes hauts fourneaux. L'agglomération favorise également l'élimination d'éléments parasites, notamment les hydrates et les carbonates qui sont nuisibles à une bonne élaboration de la fonte. Du temps de l'utilisation de la minette lorraine, le processus a permis une meilleure valorisation de celle-ci par un notable enrichissement en fer.

Les installations d'agglomération peuvent être de deux types : soit à fours rotatifs (Forges de Clabecq) soit sur tables chauffées par de puissants becs de gaz (Cockerill Sambre et la majorité des entreprises sidérurgiques). Après refroidissement dans des dispositifs spécifiques, les agglomérés subissent un calibrage qui permet d'éliminer le produit de trop petit calibre. Celui-ci est renvoyé à nouveau vers le four.

La pelletisation est également un procédé permettant d'obtenir un aggloméré, mais celui-ci sera constitué de billes les « pellets » obtenues après cuisson dans un four rotatif.

Tous ces produits, minerais calibrés, agglomérés ou pellets sont ensuite dirigés par bandes transporteuses vers les silos, les « accumulateurs » disposés à l'arrière des hauts fourneaux. Mais manquent toujours deux autres matières premières : le coke et le fondant.

## **2) Le coke**

Le coke est un agent combustible que l'on peut considérer comme un carbone pratiquement pur pur. Sa combustion à l'intérieur du haut fourneau va permettre la réduction du minerai et sa transformation en fonte liquide. Il est obtenu par distillation de charbon gras à l'abri de l'air dans des fours spéciaux, les fours à coke. Les charbons sont d'abord disposés en stocks selon leur provenance et leurs caractéristiques. Ils sont ensuite mélangés en fonction de données provenant du service des hauts fourneaux pour être stockés en silos. Les mélanges obtenus sont ensuite dirigés vers un broyeur qui va les réduire en farine. Cette farine est reprise par bandes transporteuses pour être stockée dans la ou les tours à charbon qui surplombent les batteries de fours. A la base d'une tour à charbon se trouvent une série de trémies qui vont alimenter le « coal car » ou « enfourneuse », qui est en fait un chariot avec quatre bacs disposés dans le sens de la largeur. Cette enfourneuse circule sur des rails au dessus des batteries de fours et à donc pour fonction de les alimenter en charbon. Chacun de ces fours dispose de quatre orifices de remplissage qui sont hermétiquement fermés. Une fois enfourné, le charbon va subir une cuisson (à plus de 1250 degrés) durant une période de plus de vingt heures. Pendant ce processus, il va être séparé de ses substances volatiles (gaz de coke). On obtiendra ainsi le coke, élément indispensable à la fabrication de la fonte liquide. Après défournement et refroidissement, le coke est calibré dans une installation annexe et quitte définitivement la cokerie pour ensuite être acheminé vers les hauts fourneaux. Un coke sidérurgique de qualité doit avoir un pouvoir calorifique suffisant pour intervenir dans le processus de réduction du minerai. Il doit également avoir une bonne consistance qui va assurer sa résistance mécanique au transport et au contact de la chaleur intense du haut fourneau.



### 3) Le « fondant »

La charge d'un haut fourneau doit également contenir un agent fondant destiné à fluidifier la gangue du minerai et à la transformer en laitier. Pour ce faire, on fait appel à de la castine, de la dolomie ou de la chaux. Ces matières proviennent des nombreuses carrières de l'Entre Sambre et Meuse.

### 4) Le haut fourneau

Un haut fourneau est un four vertical constitué en son extérieur d'un blindage d'acier épais et en son intérieur d'un garnissage de briques résistantes aux températures élevées et à la fusion. La forme générale d'un haut fourneau est un cylindre vertical de plusieurs mètres de hauteur surmonté de deux troncs de cône opposés à leur base la plus large. C'est donc dans cet édifice que se réalise, par réduction du minerai de fer, la fabrication de la fonte liquide. De haut en bas, on trouve à la base le creuset qui comporte un, voire deux trous de coulée, d'où s'échappe la fonte et le laitier en fusion. Ces trous de coulée sont d'ordinaire obturés

par une masse de bouchage plastique en argile réfractaire. Fréquemment, on opère le débouchage à l'aide d'une foreuse pneumatique pour produire la coulée et on rebouche ensuite le trou de coulée à l'aide d'une boucheuse, sorte de seringue géante qui injecte la masse de bouchage dans le trou en question. L'ouvrage est la partie supérieure du creuset sur le pourtour duquel sont disposées les tuyères soufflant le vent chaud (au minimum 900 degrés) nécessaire à la combustion du coke. La partie suivante, le premier tronc de cône, est constituée des « étalages », c'est là que commence la fusion du minerai. La partie la plus large du premier tronc de cône, appelée « ventre », est surmontée du deuxième tronc de cône, la « cuve » qui est terminée en son sommet par le « gueulard », zone où sont introduites les charges de minerai ou de coke et d'où partent les prises de gaz.

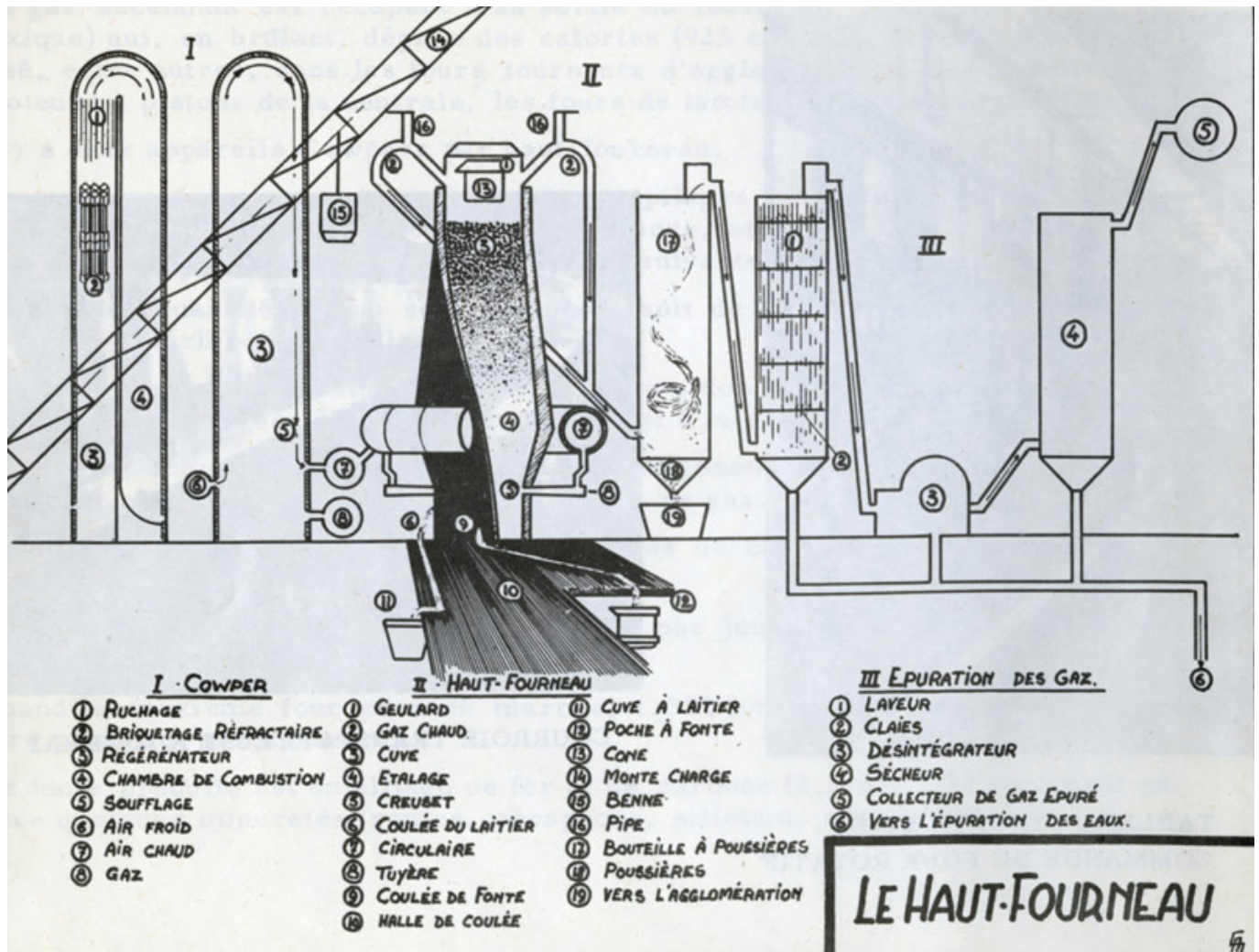
Assez simplement on peut expliquer le processus de fabrication de la fonte liquide de la manière suivante : une succession de phénomènes qui se produisent pendant la rencontre de deux courants, la montée des gaz et la descente du chargement. La montée des gaz débute au niveau des tuyères où le coke brûle en dégageant surtout de l'acide carbonique à cause de l'excès d'air. À noter au passage que le coke n'est pas le seul agent combustible intervenant dans le processus. En effet, en raison de son prix élevé, on le remplace en partie par l'injection de charbon pulvérisé via les tuyères, mais cela dans des proportions très raisonnables. Au dessus des tuyères, le coke incandescent transforme l'acide carbonique en oxyde de carbone qui, en montant, rencontre le minerai, agit en tant qu'agent réducteur, se charge de l'oxygène des oxydes de fer et reforme l'acide carbonique, qui au contact du coke, se transforme à nouveau en oxyde de carbone. La succession de réactions des oxydes de carbone et des oxydes de fer finissent par réduire ces derniers à l'état de fonte liquide.

Dans l'autre sens, du sommet du haut fourneau vers le bas, les matières premières chargées, minerai de fer et coke, commencent par s'échauffer, se dessécher et se décarbonater. À mesure que la charge descend, la température augmente. De 150 degrés au niveau du gueulard, elle passera à 2000 degrés au niveau des tuyères. Dès que la charge arrive dans la zone de réduction le minerai subit l'action réductrice de l'oxyde de carbone. Dans le même temps, d'autres réductions vont se produire : le silicium, le phosphore, le soufre, le manganèse, notamment vont à leur tour être réduits, ou pour certains, purement et simplement volatilisés. En finale, la fonte liquide sera recueillie au bas du creuset, à intervalles réguliers. Avec elle, le laitier, résidu provenant de la réduction, est également récupéré. Celui-ci, par densité moindre, flotte au dessus de la coulée et est dévié vers une rigole perpendiculaire où il rencontre au bout de celle-ci un puissant jet d'eau qui le refroidit et le pulvérise en grains qui sont déversés dans des bassins spécifiques, les « bassins à laitier ».

La fonte, quant à elle, via une rigole de coulée, est dirigée vers un bec verseur pour être recueillie dans des poches amenées par voies ferrées sous le plancher de coulée. On distingue deux types de poches : poches ouvertes (Clabecq) ou poches torpilles qui sont en fait d'énormes bouteilles thermos. Une poche est constituée d'une enveloppe métallique très épaisse, garnie de matériaux réfractaires.

En parallèle au haut fourneau, se trouvent une série d'installations nécessaires à sa bonne marche :

Des appareils cowpers, qui sont des tours d'une trentaine de mètres de hauteur et d'environ sept mètres de diamètre, dont l'intérieur est constitué d'un ruchage de briques réfractaires qui emmagasinent de la chaleur produite par un puissant brûleur alimenté par gaz de haut fourneau. De l'air, poussé par une turbosoufflante, circule dans le cowper et se charge en chaleur lors de son passage dans le ruchage de briques réfractaires afin d'atteindre une température de 900 degrés. Cet air est ensuite dirigé vers le haut fourneau dans lequel il est admis via les tuyères disposées sur son pourtour au dessus du creuset. Il y a toujours trois cowpers qui accompagnent un haut fourneau moderne : un en service, un en chauffe et un en réserve. Le basculement d'un à l'autre s'effectue via des vannes commandées automatiquement depuis la salle de contrôle du haut fourneau.



Une installation de récupération et d'épuration des gaz , ceux-ci étant valorisés à de nombreux endroits de l'usine, à commencer par le chauffage des cowpers précités.

Une installation de pompage et d'épuration des eaux nécessaires au refroidissement du haut fourneau.

Un réseau électrique conséquent, étant donné les nombreux appareils annexes à la marche du haut fourneau (treuil du monte charge, pompes, Vérins, etc... ).

La fonte, telle qu'elle est recueillie dans les poches a une teneur assez élevée en carbone, de l'ordre de 4 %, ce qui la rend très cassante. Dans ces conditions, on ne peut l'utiliser que dans un nombre limité d'applications : conditionnée en lingots appelés « gueuzes » à destination d'une fonderie de fonte pour la fabrication de pièces de chaudières domestiques, d'éléments de poêlerie, de radiateurs, par exemple. Pour qu'elle puisse avoir une résistance mécanique suffisante, il faut la transformer en acier, c'est-à-dire un produit dont la teneur en carbone sera de maximum 2 %. Ce sera le rôle de l'aciérie. Avant cela, entre le haut fourneau et celle-ci s'intercale une opération intermédiaire qui est la désulfuration de la fonte par injection de carbure de calcium dans le bain de fonte.

## 5) A l'aciérie

La fonte en provenance des hauts fourneaux est tout d'abord versée dans un mélangeur dont le rôle est d'homogénéiser le mélange de fontes de diverses provenances. La transformation de la fonte en acier, « l'aciérage » est réalisée dans un convertisseur..

Le convertisseur fonctionne sans apport de chaleur extérieure, il y a production de chaleur, la réaction est exothermique. Sa charge est constituée de fonte liquide avec addition de mitrilles (jusqu'à 25 %), afin de maîtriser l'évolution de la température. Les premières aciéries vraiment performantes étaient de type BESSEMER THOMAS : un courant d'air était soufflé au travers du bain de fonte en fusion par un jeu de tuyères ménagé dans la base réfractaire de la cornue. Ce procédé a cédé sa place à partir des années 1950-60 au procédé à oxygène. On distingue dans ce dernier deux sous catégories :

Le procédé LD AC où le soufflage de l'oxygène se fait par l'intermédiaire d'une lance creuse dont l'extrémité se trouve à moins d'un mètre au dessus de la surface du bain de fonte.

Le procédé OBM où un jeu de lances souffle l'oxygène par en dessous via des orifices ménagés dans la base réfractaire du convertisseur.

Le processus de transformation de la fonte en acier par ces deux types de convertisseurs est très rapide, de l'ordre de trois-quarts d'heures, chargement et coulée compris. Le produit qui en résulte, n'est encore qu'un acier de base qui doit être affiné. Ce sera le rôle de la métallurgie en poche. L'acier est donc versé dans des poches où on y ajoute des alliages (manganèse, cadmium, etc...) par un dosage très précis et en fonction des qualités voulues. En outre, la suite du processus de métallurgie en poche va également chasser les derniers éléments chimiques issus de la fonte, tels que le carbone, le phosphore et le soufre. Les gaz dissout dans l'acier liquide, comme l'oxygène du convertisseur, l'hydrogène ou encore l'azote seront consommés.

Jusque dans les années 1970 voire 80 pour certaines usines, l'acier obtenu après le processus de métallurgie était coulé en lingots. Pour devenir de vrais demi-produits, ces lingots devaient être ensuite envoyés vers un train de laminoir dégrossisseur, le blooming où



ils étaient tout d'abord réchauffés dans des fours Pits pour être ensuite façonnés en demi-produits utilisables par les différents types de laminoirs.

Cette opération intermédiaire a avantageusement été remplacée par la coulée continue : Une fois les dernières opérations d'affinage réalisées, La poche contenant l'acier est posée sur un pivoteur, qui possède deux bras, pour accueillir deux poches, ce qui permet de couler le métal en continu. L'acier s'écoule via le canal de coulée dans un distributeur qui va le répartir sur deux lignes de coulée. En sortie du distributeur, le métal arrive dans la lingotière qui va lui donner sa forme finale par refroidissement à l'eau. On distingue deux types de coulée continue : la coulée continue à brames et la coulée continue à billettes. On obtient ainsi des demi produits directement laminables. Ceux-ci seront coupés en fin de ligne à la longueur souhaitée par oxycoupage. Les brames sont destinées à fabriquer des produits longs (tôles), tandis que les billettes sont destinées à fabriquer des produits longs, tels que profilés, cornières, ronds à béton ou encore fils machine.

On attribue aux Forges de Clabecq la mise en service de la première coulée continue de Belgique. Ce n'est pas tout à fait exact : une petite machine de coulée continue d'une capacité de 120 000 tonnes par an avait été mise en service en 1973 à l'usine sidérurgique AMS à Monceau, dans le bassin de Charleroi. Cette machine ne fonctionna que quelques mois, puisque AMS fut la première usine du bassin à fermer ses portes dès 1974, en conséquence de la crise. Mais Clabecq est bel et bien la première à mettre en service en 1976 la première coulée continue à grande capacité de production, suivie peu après par une seconde installation.

Cet article sera prochainement complété pour ce qui concerne la fabrication des produits finis aux laminoirs.

### **Sources :**

Les sidérurgistes - Archives de Wallonie - Charleroi, 1989.

Les Forges de Clabecq, le présent qui forge l'avenir - Revue Usines et Industries - Bruxelles, 1965.

E. Frenay, H. Labasse - Préparation des minerais et du charbon - Université de Liège, faculté des sciences appliquées - Liège, 1951.

Entretiens avec Monsieur Claude Brohée, ancien ingénieur principal aux hauts fourneaux des Forges de Clabecq et Monsieur Alfredo Zoccastello, ancien chef de fabrication affecté à la même division.