Forum algérien de l'énergie et de l'industrie *AFEI*

Et

Association du Printemps Environnemental

Organisent

Journées d'études et de formation

VERS UNE INDUSTRIE MINIÈRE ET SIDÉRURGIQUE DURABLE : APPORT DE L'HYDROGÈNE VERT ET DES ÉNERGIES RENOUVELABLES. TMSGH'25

POTENTIEL ET DÉVELOPPEMENT DES RESSOURCES METALLURGIQUES EN ALGÉRIE

Présenté par :
DR : Hamid DİLMİ

Béchar le 20-21-22 mai 2025

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ M'HAMED BOUGARA BOUMERDES

Potentiel et développement des ressources metallurgiques en Algérie

Présenté par :
DR :DİLMİ HAMİD

INTRODUCTION

L'acier conventionnel, bien qu'il soit un matériau indispensable au développement des infrastructures et des biens de consommation, est responsable d'environ 7% des émissions mondiales de gaz à effet de serre. La transition vers l'acier vert ne vise donc pas seulement à atténuer ces chiffres, mais aussi à construire un avenir plus respectueux de l'environnement sans compromettre la qualité et la fonctionnalité du matériau.

Le terme « acier vert » désigne l'acier produit sans l'utilisation de combustibles fossiles, atteignant une empreinte carbone quasi nulle tout au long de son cycle de vie. De la production au recyclage ou à la réutilisation, l'acier vert utilise des sources d'énergie renouvelables et des technologies innovantes qui éliminent ou minimisent les émissions de dioxyde de carbone (CO_2).

L'acier traditionnel est produit principalement à partir de coke, un matériau très polluant utilisé dans les hauts fourneaux pour atteindre les hautes températures requises. Dans la fabrication de l'acier vert, ce procédé est remplacé par des méthodes innovantes telles que l'utilisation de hydrogène vert.

À cette fin, on travaille sur des procédés de fusion des métaux qui n'utilisent que de l'air, de l'eau et de l'énergie propre (provenant de sources renouvelables), ainsi que sur des procédés basés sur l'électrolyse pour travailler le minerai et obtenir le métal sans émettre de gaz à effet de serre au cours du processus. Cependant, la transformation des procédés actuels pour éliminer complètement le CO2 est un défi majeur, surtout lorsqu'il s'agit de métaux qui ont été travaillés avec du carbone pendant des siècles.

Il ne faut pas oublier qu'il s'agit de l'une des industries les plus polluantes et les plus énergivores de la planète. Sa fabrication a lieu dans des hauts fourneaux qui utilisent des combustibles fossiles tels que le charbon, le pétrole ou le gaz naturel pour atteindre les températures élevées et les réactions chimiques nécessaires à la production du métal. C'est là que sont émises 8 % des émissions de C02 d'origine humaine dans le monde.

COMMENT EST FABRIQUE L' ACIER AVEC LA METHODE CONVENTIONNELLE ?

La sidérurgie est la métallurgie du fer qui consiste à traiter les minerais de fer pour obtenir les fontes et les aciers. Les ressources en minerai de fer sont pratiquement illimitées (5% de Fer dans l'écorce terrestre). Le minerai est composé essentiellement d'un mélange chimiquement complexe de métaux et de roches stériles appelé la gangue.

Deux procédés successifs sont principalement employés à travers le monde pour l'élaboration de l'acier (un alliage de fer et de carbone) :

1- Le premier procédé est d'obtenir le premier alliage ferreux (la fonte) à partir du minerai de fer. Cette opération se fait en deux étapes :

- Libérer le fer en faisant agir un corps susceptible de se combiner avec l'oxygène de l'oxyde. Un tel corps est appelé réducteur. Pratiquement c'est le carbone qui est utilisé. Pour que cette réduction soit possible, il est nécessaire de fournir de la chaleur. Cette dernière est assurée par la combustion du coke.

- Eliminer la gangue (séparer le fer de la masse), on ajoute pour cela un fondant chaux (CaO) qui donne avec la gangue le laitier, plus léger que le fer et se rassemble au-dessus du métal liquide. On peut alors l'évacuer à l'extérieur du four par décantation.

MATIERES PREMIERES

- Le minerai de fer
- Le coke
- Le fondant

Le minerai de fer

Les minerais de fer sont essentiellement constitués de substance minérale du fer sous forme d'oxydes (la magnétite Fe_3O_4 à 72 % de fer, l'hématite rouge Fe_2O_3 à 70 % de fer et l'hématite brune 2 Fe_2O_3. $3H_2O$ de 50 à 60 % de fer), plus rarement de carbonate appelé aussi le fer spathique ou sidérite $FeCO_3$ contenant 48,2% de fer (composition théorique) et des sulfures (exemple : La pyrite : FeS_2),mélangée à des roches stériles appelée la gangue. Les minerais constitués de carbonate de fer sont transformés en oxyde par un traitement thermique approprié (le grillage).

La magnétite dont le constituant essentiel est l'oxyde de fer magnétique : Fe_3O_4, c'est le composé naturel le plus riche en fer : 72,4% et le plus dense minéral de fer, par conséquent le plus difficile à réduire. Elle peut être représentée comme l'oxyde Ferro-ferrique Fe O. Fe_2O_3 contenant 31,04% d'oxyde ferreux : Fe O et de 68,96% d'oxyde ferrique Fe_2O_3 .

Le combustible

Le coke est le matériau de base pour la production d'acier. Il entre dans le haut fourneau pour réduire le minerai de fer en fer fondu afin de produire de la fonte et ensuite de l'acier. Dans un haut fourneau, on crée un environnement technique où le coke brûle, réagit et se combine avec le minerai de fer pour produire du fer en fusion. Cette réaction chimique produit du dioxyde de carbone et du monoxyde de carbone qui peuvent à leur tour être utilisés pour réduire le minerai de fer et produire du fer. Le coke génère monoxyde de carbone qui élimine l'oxygène du minerai de fer et permet d'obtenir du fer en fusion pur.

Il joue un double rôle:

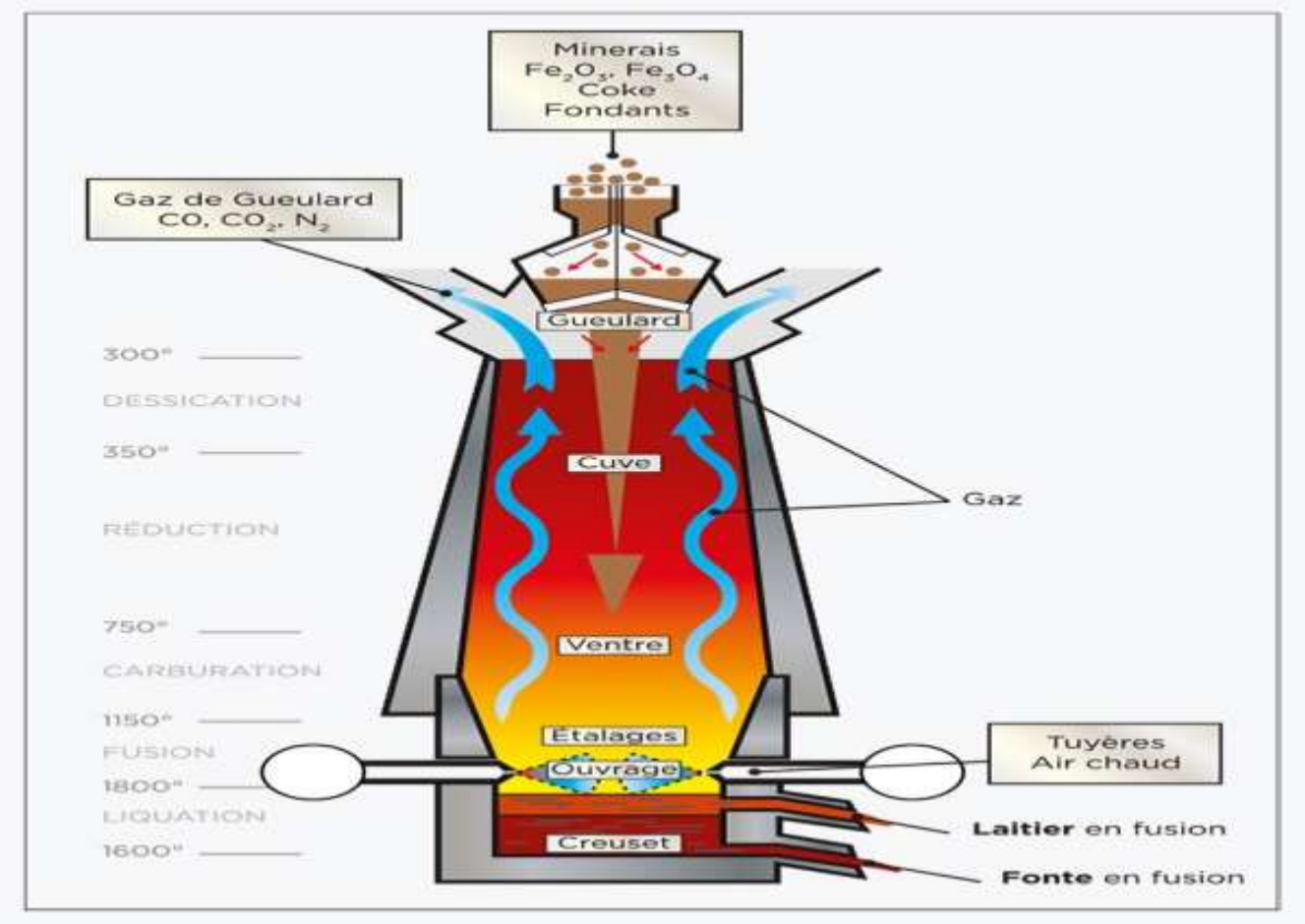
- En brulant il donne les températures élevées qui assurent la réduction du minerai, la fusion et la surchauffe de la fonte et le laitier en formation.
- Une partie du carbone qui se trouve dans ce combustible participe directement dans les réactions de réduction du minerai c’est-à-dire une source d’obtention de la fonte.

Le fondant

Il a pour rôle de rendre fusible la gangue qui permettra la formation du laitier. Souvent on utilise le $CaCO_3$ (la castine) ou de l’argile (le brue) selon la nature du minerai.

LE HAUT FOURNEAU

Le principal agrégat utilisé pour l'élaboration de la fonte est le haut fourneau, dans lequel se déroule le processus métallurgique de réduction, fusion, ainsi que la carburation du fer.



Cet appareil fonctionnent en marche continue et qui est le siège d'un double mouvement :

- Le mouvement descendant des solides, constitués par les charges, introduites par le gueulard. Les charges sont : le minerai, le coke métallurgie. (riche en carbone), jouant un double rôle dans l'élaboration de la fonte, il est combustible et réducteur à la fois et le fondant qui est un produit d'addition permettant la séparation du métal de la gangue, à une température relativement basse. Généralement en utilise le $CaCO_3$, appelé la castine.

- Le mouvement ascendant des gaz des tuyères au gueulard les deux mouvements forment les zones suivantes :

- La dessication : la charge de matières premières se déshydrate, c'est-à-dire elle perd son humidité. Température entre 300 et 350 ºC.

La réduction : l'oxyde de fer perd son oxygène c'est-à-dire la séparation du fer de l'oxygène. La température entre 350 et 750 ºC, elle se déroule selon les réactions suivantes :

$$3Fe_2O_3 + CO <=> 2Fe_3O_4 + CO_2$$

$$Fe_3O_4 + CO <=> 3Fe\ O + CO_2$$

$$Fe\ O + CO <=> Fe + CO_2$$

-

- La carburation : le fer se combine avec le carbone ou la température est de 750 à 1150 ºC, elle se déroule selon la réaction suivante :

$$Fe_3O_4 + 6CO <=> Fe_3C + 5CO_2$$

- La fusion : c'est le passage du fer carburé de l'état solide à l'état liquide. La température est de 1150 à 1800 ºC.

- La liquation : la séparation de la fonte du laitier par différence de densité (le laitier étant moins dense). La température est de 1600 ºC.

LES PRODUITS DU HAUT FOURNEAU

Le haut fourneau produit principalement :

- de la fonte dite de 1ére fusion.
- du laitier et de la fumée et des gaz comme sous-produits.
- **La fonte de 1ére fusion**

La fonte grise

Elle présente un aspect gris à la cassure en raison de la présence du carbone principalement sous forme de graphite. Sa fabrication nécessite des minerais à forte teneur en silicium (1,5 à 3%) et une proportion de coke élevée. Elles ont une température de fusion inférieure à celle de l'acier (1 200 °C pour les fontes grises contre 1 450 °C pour l'acier), ce qui permet de la mouler facilement. Très peu malléable et ductiles, elle peut cependant être usinée.

La fonte blanche

Elle présente un aspect blanc à la cassure. Le carbone qu'elle contient est combiné au fer sous forme de carbure (cémentite). Contrairement à la fonte grise, elle est obtenue à partir de minerais de fer pauvres en silicium mais riche en manganèse. La fonte blanche est très dure et cassante et se prête mal au moulage. Elle sert surtout de matière première pour la fabrication de l'acier par décarburation dans des fours spéciaux. Des traitements thermiques de la fonte blanche (chauffage et refroidissement lent) permettent de décomposer le carbure de fer en nodules fins de graphite, ce qui rend la fonte blanche plus apte au façonnage, cette fonte est appelée fonte malléable.

Les fontes hématites et phosphoreuses

On trouve aussi à la sortie des hauts-fourneaux les fontes hématites, dont la teneur en soufre et en phosphore est très faible. Elles sont fabriquées à partir de minerai très pur : l'hématite.

Les fontes phosphoreuses contenant de 1,4 à 2 % de phosphore sont, au contraire, obtenues à partir de minerais phosphoreux. Elles sont destinées à l'affinage c'est-à-dire a être transformées en l'acier.

Le laitier

Ses principaux composants sont : SiO_2, $Al_2O_{3,}$ Fe, MgO, FeO, CaS etc...

Il trouve son utilisation comme ajout dans les ciments, dans les engrais.

Les gaz

Constitués essentiellement de fumée et de gaz carbonique, après leurs sorties du haut fourneau, ils sont dépoussiérés est utilisés comme énergie véhiculant la chaleur.

2 - Deuxième procédé : c'est l'affinage c'est-à-dire la transformation de la fonte en acier.

L'acier tout comme la fonte est un alliage de fer et de carbone. Les médiocres propriétés mécaniques de la fonte (par rapport à l'acier) sont dues au fort % de carbone dans la fonte (> à 2,14 %) et à la présence des éléments non désirables tels que le soufre et le phosphore.

L'acier est obtenu en général à partir de la fonte de première fusion, c'est-à-dire la fonte du haut fourneau. Cette élaboration consiste essentiellement à une décarburation de la fonte et une épuration en soufre et en phosphore et d'autres éléments.

Citons un exemple et considérons les compositions chimiques de la fonte et de l'acier suivantes :

Alliages	Fer %	Carbone %	Silicium %	Manganèse %	Phosphore %	Soufre %
Fonte	**~ 93**	**3,5**	**0,5 à 2**	**1**	**0,1 à 2**	**0,05**
Acier	**~ 98**	**0,05 à 1,4**	**0,1 à 0,3**	**0,3 à 0,6**	**0,05**	**0,05**

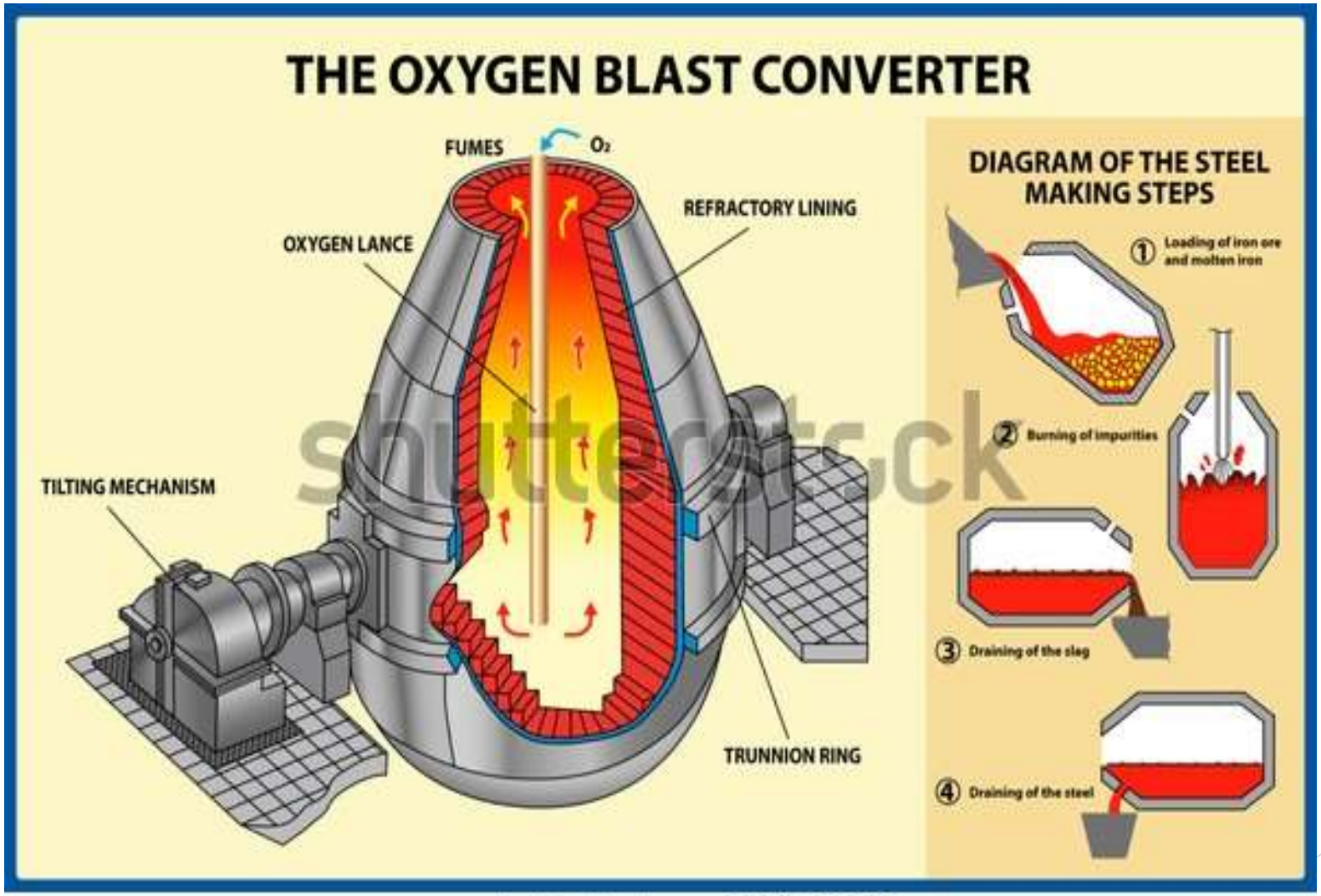
Donc pour transformer cette fonte en acier, il faut éliminer en majeur partie la quantité de carbone et en partie les autres éléments.

Leur élimination se fait essentiellement par oxydation sauf pour le soufre. Cette méthode a lieu selon plusieurs procédés, mais les plus utilisés sont :

- Le procédé à oxygène, appelé convertisseur à oxygène.
- Le procédé électrique (le four à arc électrique).

PROCEDE A OXYGENE

Le procédé consiste à oxyder avec de l'air les éléments chimiques indésirables contenus dans la fonte pour en obtenir l'acier. L'originalité du procédé consiste à exploiter la chaleur dégagée par les réactions chimiques pour maintenir la masse de métal en fusion.



www.shutterstock.com · 1390441121

- **PROCÉDÉ ÉLECTRIQUE** (LE FOUR À ARC ÉLECTRIQUE)

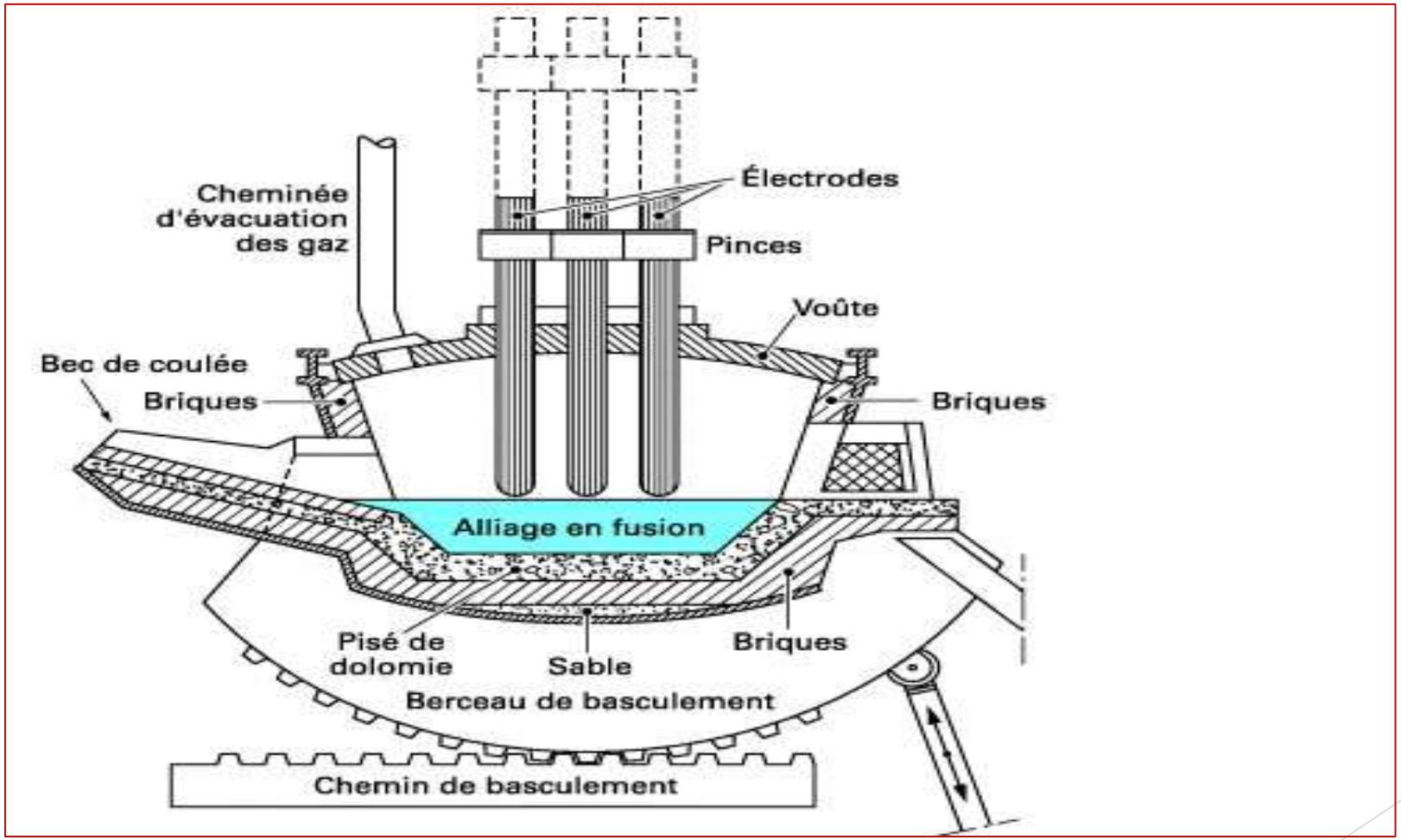
L’acier est obtenu par épuration de la fonte, mais on utilise de plus en plus de ferraille et de déchets métalliques à base de fer.

La fabrication de l’acier comporte deux phases essentielles :

- oxydation qui conduit à un métal oxydé.

- réduction et mise au point en ajoutant des ferro-alliages permettant d’éliminer et d’ajuster certains éléments.

FOUR A ARC ELECTRIQUE



CONCLUSION

Si les produits sidérurgiques présentes deux avantages majeurs – ils sont recyclables et ont une durée de vie considérable – leur production consomme énormément d'énergie et produit d'énormes quantités de CO2. Aujourd'hui, la production de métaux représente 40% de toutes les émissions industrielles de gaz à effet de serre, 10% de la consommation mondiale d'énergie, 3,2 milliards de tonnes de minéraux extraits et plusieurs milliards de tonnes de sous-produits chaque année. Autant de faits qui soulignent que cette industrie doit devenir plus durable rapidement.

L'acier vert constitue une étape importante vers une industrie plus durable et contribue à minimiser l'impact sur l'environnement. En utilisant des énergies renouvelables dans la fabrication et en réduisant les émissions et les déchets, l'acier vert peut jouer un rôle important dans le ralentissement du changement climatique.

Merci Pour Votre Attention