

Chapitre 1 :***Elaboration des Métaux***

- **Objectifs spécifiques :**
Comprendre les méthodes d'élaboration des métaux

- **Pré-requis :**
Niveau BAC

- **Éléments de contenus :**
 1. Historique
 2. *Place des aciers dans le contexte des matériaux.*
 3. *Présentations générale des aciers*
 4. *Qualités des aciers*
 5. *Mise en forme de l'acier*
 - laminage à chaud
 - laminage à froid
 - Réalisation d'une pièce finie de machine
 6. *activités et travaux dirigées*

CHAPITRE I

ELABORATION DES MATERIAUX METALLIQUES

1. Historique

Le fer est l'un des métaux les plus abondants de la croûte terrestre. On le trouve un peu partout, combiné à de nombreux autres éléments, sous forme de minerai. En Europe, la fabrication du fer remonte à 1 700 avant J.C. Depuis les Hittites jusqu'à la fin du Moyen Age, l'élaboration du fer resta la même : on chauffait ensemble des couches alternées de minerai et de bois (ou de charbon de bois) jusqu'à obtenir une masse de métal pâteuse qu'il fallait ensuite marteler à chaud pour la débarrasser de ses impuretés - et obtenir ainsi du fer brut, prêt à être forgé. La forge était installée à quelques pas du foyer où s'élaborait le métal. D'abord simple trou conique dans le sol, le foyer se transforma en un four, le "bas-fourneau", perfectionné petit à petit : De l'ordre de quelques kilos à l'origine, les quantités obtenues pouvaient atteindre 50 à 60 kilos au Moyen Age.

On fabriqua aussi dès le début, de petites quantités d'acier, à savoir du fer enrichi en carbone. Un matériau qui se révéla à la fois plus dur et plus résistant.

Au XVème siècle, la génération des premiers "hauts fourneaux" de 4 à 6 mètres de haut propagea une découverte fortuite mais majeure : un métal ferreux à l'état liquide, la fonte, qui se prêtait à la fabrication de toutes sortes d'objets (marmites, boulets de canons, chenets, tuyau).

La fonte permettait également de produire du fer en abondance, grâce à l'affinage : le lingot de fonte était chauffé et soumis à de l'air soufflé, ce qui provoquait la combustion du carbone contenu dans la fonte et un écoulement du fer goutte à goutte, formant une masse pâteuse de fer brut.

..Et enfin l'acier

En 1786, Berthollet, Monge et Vandermonde, trois savants français, établirent la définition exacte du trio Fer-Fonte-Acier et le rôle du carbone dans l'élaboration et les caractéristiques de ces trois matériaux.

Toutefois, il fallut attendre les grandes inventions du XIXème siècle (les fours Bessemer, Thomas et Martin) pour que l'acier, jusqu'alors fabriqué en faible quantité à partir du fer, connaisse un développement spectaculaire et s'impose rapidement comme le métal-roi de la révolution industrielle.

Au début du XXème siècle, la production mondiale d'acier atteignit 28 millions de tonnes, soit six fois plus qu'en 1880. Et à la veille de la première guerre mondiale, elle grimpa à 85 millions de tonnes.

En quelques décennies, l'acier permit d'équiper puissamment l'industrie et supplanta le fer dans la plupart de ses applications.

La teneur en carbone est de moins de 0,10% dans le fer, de 0,10 à 2% dans l'acier et de 2,5 à 6% dans la fonte. Aujourd'hui, on ne parle plus de fer mais d'aciers "à très bas carbone".

L'acier, c'est du fer additionné de carbone, depuis un taux proche de 0%, correspondant à des traces infimes, jusqu'à 2%. Le dosage en carbone influe sur les caractéristiques du métal.

On distingue 2 grandes familles d'acier : les aciers alliés et les aciers non-alliés. Il y a alliage lorsque les éléments chimiques autres que le carbone sont additionnés au fer selon un dosage minimal variable pour chacun d'eux.

Par exemple : 0,50% pour le silicium, 0,08% pour le molybdène, 10,5% pour le chrome. Ainsi un alliage à 17% de chrome + 8% de Nickel est un acier inoxydable.

C'est pourquoi il n'y a pas un acier mais des aciers.

On dénombre aujourd'hui près de 3 000 nuances (compositions chimiques) répertoriées, sans compter toutes celles créées sur mesure, le tout contribuant à faire de l'acier le matériau le mieux placé pour relever les défis du futur.



ACIER = FER + CARBONE (0,1 à 2 % dans l'acier)

FONTE = FER + CARBONE (2,5 à 6 % dans l'acier)

L'acier liquide est élaboré à partir du minerai (filière fonte) ou à partir de ferrailles (filière électrique).

Ensuite, l'acier liquide est solidifié par moulage dans une machine de coulée continue.

A la sortie, on obtient les DEMI-PRODUITS : des barres de section rectangulaire (brames) ou carrée (blooms ou billettes), qui sont les ébauches des formes finales.

Enfin, les ébauches sont transformées en PRODUITS FINIS par laminage, dont certains subissent un traitement thermique. Plus de la moitié des tôles laminées à chaud sont relaminées à froid et éventuellement revêtues d'une protection anti-corrosion.

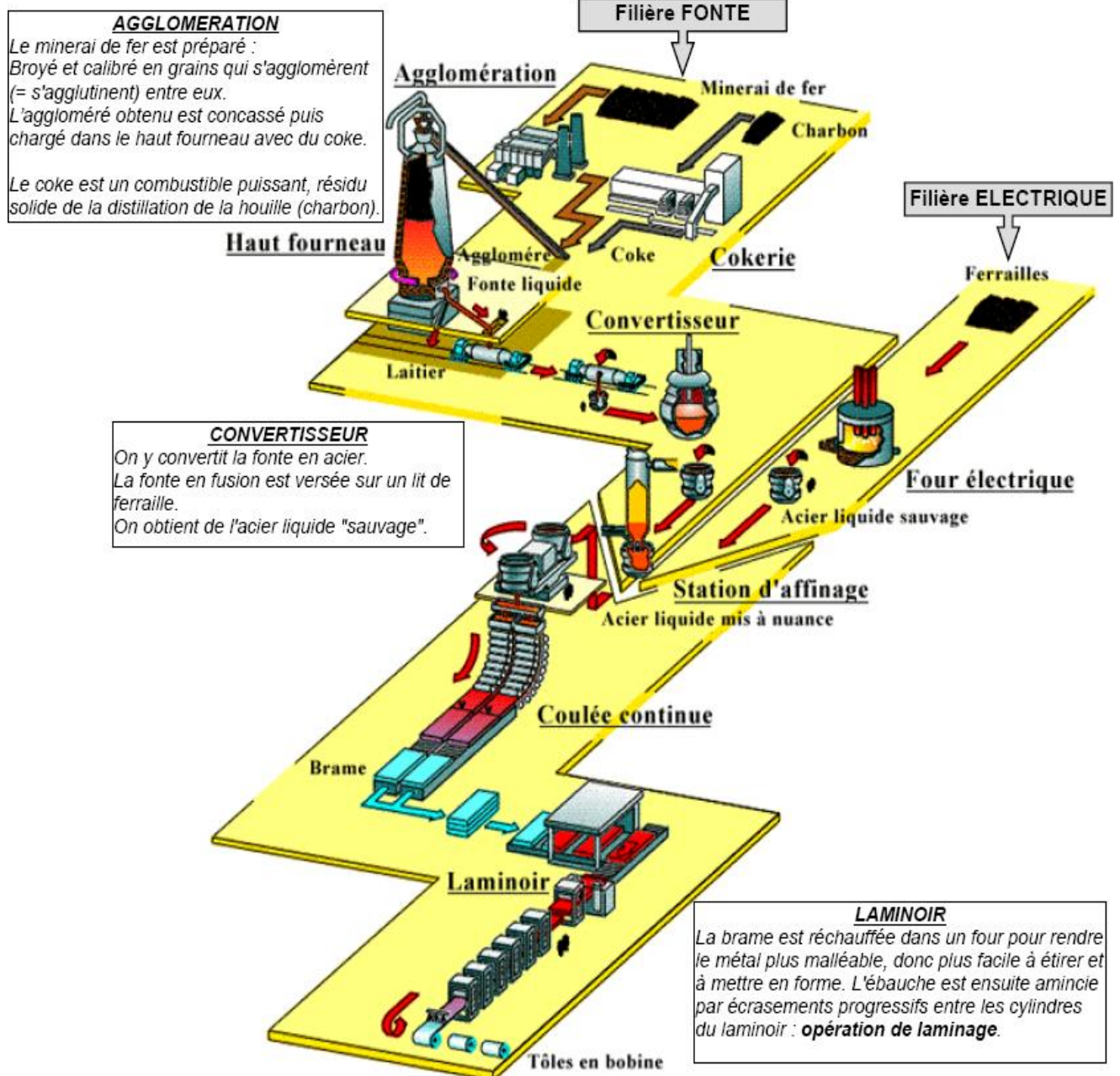


Figure 1. Fabrication de l'acier

2. Place des aciers dans le contexte des matériaux.

Dans cette course objective, technique et non technique, les aciers occupent une place privilégiée dans la production et la consommation mondiale de matériau. On cite comme exemple la consommation en masse de différents matériaux par un pays développée.

- Ciment: 40% - Aciers: 36% - Papier et carton: 11,5 - Plastiques: 4,4% -
- Céramiques: 3% - Verre: 2% - Aluminium: 1,5% - Caoutchouc: 0,75% -
- Cuivre: 0,5% - Zinc: 0,25 - Plomb: 0,1 %.

D'ailleurs, il n'est pas un hasard que le degré de développement d'un pays peut se mesurer entre autres par la quantité d'acier consommée par tête d'habitant. La figure 4 illustre ce cas pour différents pays entre 1987 et 1992.

L'emploi des aciers ne s'arrête pas uniquement pour leurs hautes performances structurelles qui restent toujours leur domaine d'excellence. On cite l'exemple des organes machines. Mais par leur développement ils ont pu conquérir facilement des applications pour leurs performances fonctionnelles. Les aciers inoxydables, les aciers à hautes limites élastique (HLE) en sont quelques exemples pour ce cas. Dans les deux positions les critères techniques de choix des aciers sont soutenus surtout par le bas prix de revient leur facilité de récupération et leur recyclage.

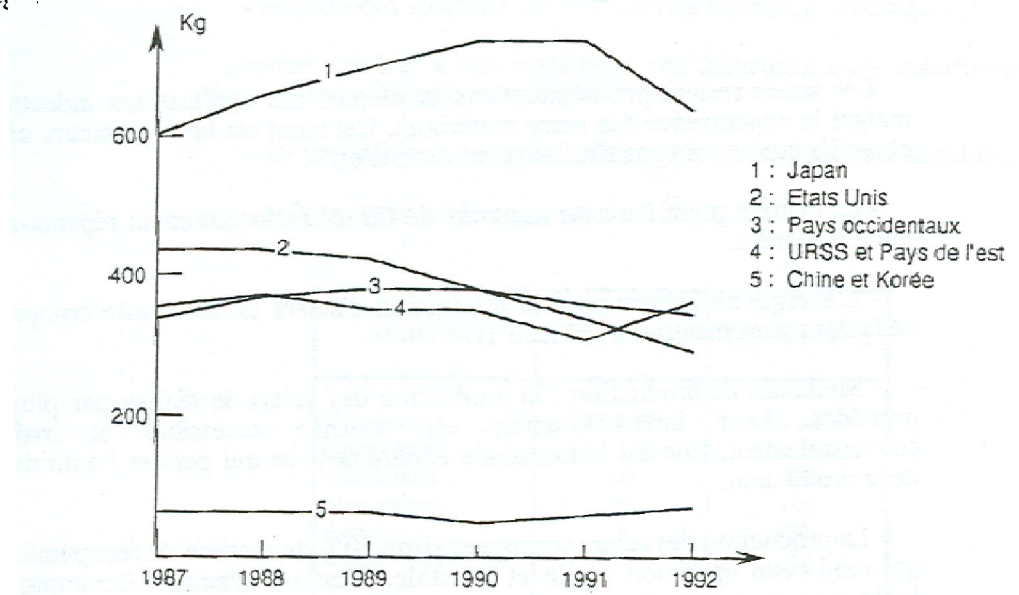


Figure 4. Variation de la consommation d'aciers par tête d'habitant.

3. Présentations générale des aciers

L'industrie sidérurgie a été incontestablement la base de développement du monde actuel. La recherche scientifique et technologique dans ce domaine a permis de développer les matériaux et leurs procédés d'élaborations et de mise en forme. Les aciers représentent une part prépondérante parmi les matériaux développés. La consommation mondiale de ces matériaux en est le témoin. En effet, la production mondiale de ces matériaux en 1860 était de 1,5 Mt (million de tonnes), elle passait en 1970 à 750 MT.

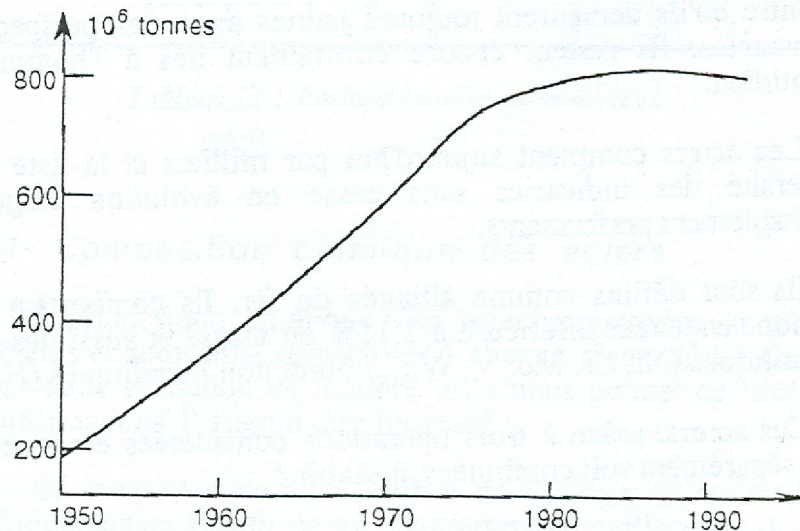


Figure 5. Production mondiale d'aciers en millions de tonnes.

Les aciers restent privilégiés dans la plupart des applications industrielles, malgré la concurrence des autres matériaux. Cet atout est lié à plusieurs critères objectifs qui ne sont pas d'ailleurs les moindres.

- La matière première: les minerais de fer sont abondamment répandus dans toute la planète.
- L'énergie nécessaire pour la production d'aciers est inférieure comparée à celle des autres matériaux (tableau 1).
- Méthodes de production : la production des aciers se réalise par plusieurs procédés. Leur industrialisation est devenue accessible et maîtrisée convenablement. Elle est automatisée entièrement ce qui permet l'optimisation de la production.
- La production des aciers compte environ 30% de matière de récupération ce qui rend cette opération facile et rentable. C'est un avantage économique et écologique.
- Les techniques de transformation des aciers sont beaucoup plus maîtrisées que celles des autres matériaux.
- Les propriétés des aciers répondent à de larges gammes d'application en comparaison avec celles des autres matériaux (tableau 2).
- Les nuances disponibles normalisées ou non normalisées sont nombreuses et variées.

Les aciers, matériaux métalliques par excellence avec leurs ressources connues et leurs multiples possibilités, sont-ils les plus classiques ou les plus nouveaux des grands matériaux de notre époque?

Le développement du secteur des aciers lors de ces dernières décennies montre qu'ils demeurent toujours jeunes avec des perspectives d'applications constantes. Ils restent encore étroitement liés à l'homme pour son besoin quotidien.

Les aciers comptent aujourd'hui par milliers et la liste n'est pas close. La diversité des industries sans cesse en évolution exigent des matériaux véritablement performants. -

Ils sont définis comme alliages de fer. Ils comportent essentiellement du carbone en teneur inférieure à 2.11% en masse et aussi des éléments d'addition métalliques (Ni, Cr, Mo, V, W, .) ou / et non métalliques (N, O.. C...).

Ces aciers, grâce à trois opérations considérées essentielles qu'on applique soit séparément soit combinées, à savoir :

- la composition chimique;
- les traitements thermiques;
- les procédés spéciaux (revêtement de surface, grenailage,...).

doivent conférer à ces matériaux des caractéristiques spécifiques que l'on désire obtenir; il s'agit entre autres:

- des propriétés mécaniques (résistance, limite élastique, ductilité...);
- de la résistance à la corrosion.

3.1. Composition chimique des aciers

La composition chimique des aciers caractérise la qualité des éléments présents et la quantité respective à chacun d'eux. Cette donnée est essentielle pour toute utilisation de matière. Elle nous permet de tirer un certain nombre d'informations. Il s'agit à titre indicatif:

- du comportement à l'équilibre de l'alliage au cours du chauffage et du refroidissement à partir de son diagramme d'équilibre.
- des données sur les caractéristiques de l'acier en se référant aux normes nationales ou internationales
- des données spécifiques sur le comportement de l'acier suite aux traitements thermiques à partir des courbes (TIT, TRC, Jominy, de revenu...).

3.2. Traitements thermiques des aciers

Les traitements thermiques des aciers sont considérés comme des opérations déterminantes pour son application. Ils consistent à lui faire subir un certain cycle température/temps dans un environnement défini. La structure cristalline et les propriétés qui en résultent sont liées à la définition des conditions du traitement.

3.3. Procédés spéciaux

Les procédés spéciaux regroupent les opérations de parachèvement d'une pièce déjà traitée. Il peut s'agir de revêtement de surface pour la protéger contre la dégradation (rayure, corrosion, fatigue,...).

4. Qualités des aciers

Le choix d'une nuance d'acier est fait selon l'application industrielle dans laquelle elle va évoluer. Elle doit s'adapter à deux impératifs essentiels, à savoir les exigences de service et les exigences de transformation.

Pour l'impératif de service, la nuance d'acier doit répondre sans faille aux sollicitations multiples et variées auxquelles elle sera soumise en service. Ces exigences de service de la pièce doivent faire l'objet d'une identification minutieuse par :

- la préparation d'un cahier de charges du client;
- le dimensionnement de la pièce tenant compte des caractéristiques métallurgiques suite aux traitements thermiques;

- l'identification du mode de sollicitations appliquées statiques ou dynamiques, ainsi que l'ordre de grandeur de ces sollicitations. On cite parmi ces sollicitations:

- * traction, compression, flexion, torsion;
- * chocs continus ou accidentels, abrasion;
- * fatigue, fatigue thermique, corrosion, effet de température.

Pour l'impératif de transformation, la pièce de conception, de forme et de dimensions données, est mise en forme par l'intervention de procédés.

- Procédés de transformation par enlèvement de matière: usinage. On compte des aciers à usinabilité améliorée qui présentent une faible teneur de plomb ou de soufre.

- Procédés de transformation sans enlèvement de matière: le formage. Il se réalise soit à chaud, soit à froid. Les aciers transformés par ces procédés doivent présenter des garanties contre tout type de défauts macroscopiques (soufflures, écrouissage,...).

- Procédés d'assemblage: soudage. Il est pratiqué sur des aciers soudables.

- Traitements thermiques: ils sont appliqués entre les étapes de fabrication ou à la fin. Les aciers sont choisis en fonction des propriétés qu'ils ont à la suite de traitements thermiques. Il est tenu compte notamment des variations dimensionnelles et de l'état de surface qui en découlent.

Ces deux impératifs doivent concorder pour assurer la détermination de la nuance d'acier convenable de résister efficacement à l'application.

Il faut signaler en outre que les applications sont regroupées en familles qui correspondent également au même regroupement des aciers.

- Aciers pour constructions métallique et mécanique; ces aciers sont caractérisés essentiellement par:

- * les meilleures propriétés mécaniques: résistance à la rupture et la limite élastique, allongement pourcent, résilience etc... ;
- * la possibilité aisée de mise en œuvre à froid et à chaud avec et sans enlèvement de matière;
- * la facilité de soudage;
- * la résistance à la corrosion atmosphérique.

- Aciers inoxydables; ces nuances sont connues pour:

- * leur parfaite résistance à la corrosion dans des milieux agressifs;
- * leurs bonnes caractéristiques mécaniques;
- * la facilité de leur mise en œuvre.

- Aciers à outils; ils doivent acquérir:

- * une parfaite résistance à chaud et à froid pour pouvoir mettre en forme les autres matériaux ;
- * de bonnes possibilités de mise en œuvre pour être façonnés.

5. Mise en forme de l'acier

A part le moulage, cas particulier de la coulée, la mise en forme de l'acier à l'état solide se fait par laminage.

Le laminage consiste en une série d'opérations transformant les brames ou les blooms obtenus par coulée continue en divers produits, de formes et de dimensions déterminées.

Un laminoir est composé de plusieurs cages comprenant des cylindres entre lesquels passe le métal qui y subit un écrasement progressif. Les cylindres tournent en sens inverses et sont groupés par paires. Ils sont lisses pour l'obtention de produits plats, et cannelés pour les autres

formes. Les vitesses de sortie peuvent atteindre 90 km.h^{-1} pour les tôles et 360 km.h^{-1} pour les fils. Le laminage se fait à chaud ou bien à froid.

5.1. Laminage à chaud

L'objectif primaire de laminage à chaud est de réduire progressivement la section initiale de la pièce.

Les brames ou les blooms sont réchauffés dans un four de réchauffage. Le laminage est effectué à l'état austénitique particulièrement malléable. Le dégrossissage a lieu entre 1100°C et 1200°C et la finition peut se faire à des températures descendant jusqu'à 800°C . les tôles minces et les fils sont enroulés en bobines ; Les tôles fortes, les larges plats et les profilés sont débités à longueur.

La moitié environ des produits laminés sont commercialisés à l'état laminé à chaud.

5.2. Laminage à froid

Les produits minces sont obtenus par laminage à froid des produits laminés à chaud. Le laminage à froid augmente la dureté et la limite d'élasticité, améliore l'état de surface, mais réduit la formabilité.

5.3. Réalisation d'une pièce finie de machine

5.3.1. Forme et dimensions

Etudes mécaniques et calculs de résistance des matériaux

Conception de la pièce et dessin

Choix des matériaux à partir des propriétés fixées par les calculs et les contraintes d'application

5.3.2. Procédés de fabrication de la pièce

A partir d'un matériau liquide:

Fonderie: en sable; en coquille; injection; centrifugation ;...

A partir d'un matériau solide:

Sans enlèvement de matière, par déformation à chaud et à froid: forgeage; laminage; emboutissage; matriçage; tréfilage ; filage; extrusion; ...

Avec enlèvement de matière: usinage: tournage; fraisage; perçage; meulage; électroérosion ; ...

Avec addition de matière : soudage: à l'arc; brasage; autogène; ...

5.3.3. Traitements thermiques de la pièce

Traitements thermiques: recuits; trempe dans la masse; trempe superficielle; revenu; cémentation; nitruration;

5.3.4. Mise à la côte et traitement de finition

Usinage: rectification; polissage; ...

Traitements mécaniques: grenailage ; ...

Traitements de protection de la surface: galvanisation; chromage ; nickelage ; peinture; ...

6-ACTIVITES et TRAVAUX DIRIGES

EXERCICE N°1 : Suivre la séquence vidéo qui tient sur l'élaboration des fontes et aciers :

- Préciser les étapes d'élaboration des fontes
- Préciser les étapes d'élaboration des aciers
- Quels sont les matières premières

EXERCICE N°2. La figure à la page 4, présente un résumé du cycle d'élaboration des aciers, compléter la figure par les termes suivants

Four électrique ; Haut fourneau ; Brame ; Coke ; Filière électrique ; Convertisseur à oxygène ; Station d'affinage ; Laminoir à chaud ; Filière fente ; Coulée continue ; Cokerie ; Usine d'agglomération

