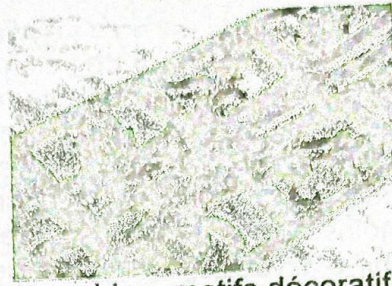
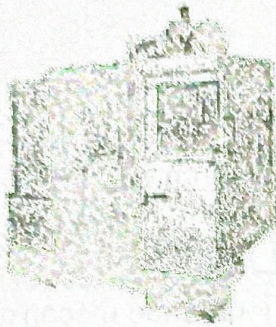


pour cette raison que l'on utilise les fontes à graphite sphéroïdale pour la fabrication des carters de pompes, des vannes, des vilebrequins, des engrenages ...



Exemples de pièces en fonte : bâti de machine, motifs décoratifs en ferronnerie, radiateurs de chauffage,...

2.4- DESIGNATION NORMALISEE DES ACIERS (norme NF EN 10025)

Tous les métaux et alliages possèdent une désignation normalisée pour simplifier les renseignements de la nuance. La classification se fait : soit par emploi, soit par composition chimique. Nous donnons, à titre d'indication, le cas des aciers.

2.4.1- Classification par emploi

- **S 235** : La nuance est précédée de la lettre **S** qui signifie Acier d'usage général, avec $R_e = 235$ MPa
- **E 360** : La nuance est précédée de la lettre **E** qui signifie Acier de construction mécanique, $R_e = 360$ MPa

2.4.2- Classification par composition chimique

- **Les aciers non alliés** (teneur en manganèse $< 1\%$)
Exp. **C 50** : La nuance est précédée de la lettre **C** qui signifie Acier non allié contenant en moyenne $0,5\%$ carbone (50/100)
- **Les aciers faiblement alliés** (% manganèse $> 1\%$, teneur de chaque élément d'alliage $< 5\%$)
Exp. **42 Cr Mo 4** : acier faiblement allié contenant $0,42\%$ de carbone (42/100), 1% de chrome (4/4) et du molybdène (teneur non indiquée),
- **Les aciers fortement alliés** (teneur d'au moins 5% pour un élément d'alliage). La nuance est précédée de la lettre **X**.
Exp. **X 5 Cr Ni 18-10** : acier fortement allié (**X**) contenant $0,05\%$ de carbone (5/100), 18% de chrome, 10% de nickel (Remarque : Cr et Ni $\rightarrow$ lecture directe).

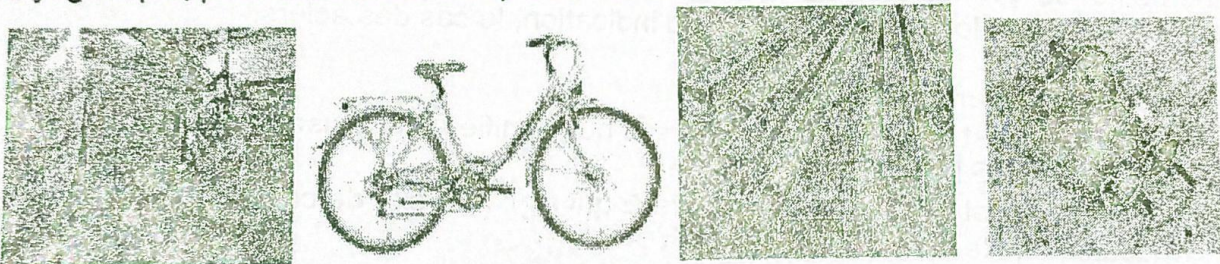
2.5 – METAUX ET ALLIAGES NON FERREUX : Les métaux et alliages non ferreux représentent environ 10% des matériaux métalliques utilisés dans l'industrie. Cet usage leur est réservé pour certaines de leurs propriétés spécifiques :

- masse volumique faible,
- bonnes propriétés électriques,
- bonne résistance à la corrosion et à l'oxydation,

- grande facilité de mise en œuvre.

Ces avantages l'emportent dans certaines applications, malgré le coût de revient plus élevé de ces alliages. Nous citons brièvement les alliages de l'aluminium, du zinc et du titane.

2.5.1 - Aluminium et ses alliages : Les alliages d'aluminium présentent tous les avantages recensés ci-dessus. Le point de fusion de l'aluminium, notamment, est assez bas ($\sim 660^{\circ}\text{C}$) ce qui le rend particulièrement apte aux opérations de fonderie. L'aluminium étant par ailleurs très ductile, on peut aisément le mettre en forme à l'état solide, par déformation plastique (laminage, filage à la presse, étirage,...). Les alliages d'Al ont de bonnes propriétés mécaniques spécifiques (leur masse volumique est de $2,7 \text{ g/cm}^3$, soit près de trois fois moins que l'acier) et résistent assez bien à la corrosion grâce à la formation d'une couche d'oxyde Al_2O_3 en surface, mais leur tenue mécanique au-delà de 150°C pose des problèmes ainsi que leur tenue en fatigue et en corrosion sous contrainte. Ils sont difficiles à souder et relativement chers. Il existe de nombreux alliages d'aluminium que se soit des alliages corroyés ou des alliages de fonderie. Compte tenu des avantages cités, ce sont des alliages principalement utilisés en aéronautique, dans l'industrie de l'automobile, dans l'industrie alimentaire et cryogénique, pour les articles de sport et les structures utilisées en atmosphère marine.



Exemples de pièces en aluminium : Tôles, cadre de bicyclettes, profilés divers, pièces de moteur à essence (culasse, carburateur,...),...

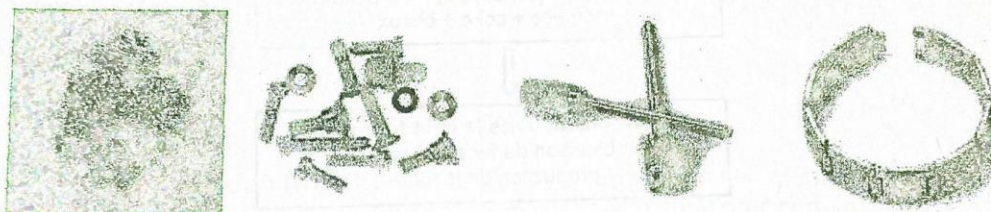
2.5.3 - Zinc et ses alliages : Les principaux avantages des alliages de zinc sont leur faible température de fusion ($\sim 420^{\circ}\text{C}$) et leur excellente coulabilité. Ils sont donc principalement destinés à la fonderie, ce qui permet d'obtenir des pièces de forme très complexe et d'épaisseur très mince ($\sim 0,4 \text{ mm}$). Leur faible coût de revient permet de concurrencer les alliages d'aluminium ou de cuivre et même souvent les matières plastiques. On utilise largement les alliages de zinc dans l'automobile (carburateur, pompe à essences...), dans l'électroménager, en quincaillerie et en mécanique de précision (appareils photographiques, horlogerie...). Les principaux alliages de zinc sont les **zamaks** qui contiennent 4% d'aluminium, 0,04% de magnésium et 1 % de cuivre ou pas du tout.

Masse volumique du zinc : $7,1 \text{ g/cm}^3$.



Minéral de zinc et exemples de pièces en zinc : Pièces d'horlogerie, gouttières, bassines

2.5.4 - Titane et ses alliages : Bien que le titane soit un élément fort abondant dans l'écorce terrestre, ce n'est que vers 1950 qu'on a commencé à l'utiliser sous forme métallique. Ceci découle des difficultés liées à sa métallurgie extractive et des problèmes posés par sa mise en œuvre. Les caractéristiques tout à fait particulières du titane et de ses alliages en font un métal de choix pour de nombreuses utilisations, notamment dans les domaines aéronautiques et aérospatial et dans l'industrie chimique. La masse volumique du titane ($4,54 \text{ g/cm}^3$) se situe entre celle de l'aluminium et du fer. Toutefois, le rapport résistance mécanique sur masse volumique (R/MV) des alliages de titane est nettement supérieur à celui des autres métaux. La résistance à la corrosion du titane et de ses alliages est excellente (le titane est passivable grâce à la formation d'un film protecteur de TiO_2). Elle est supérieure à celle des aciers inoxydables. Les alliages de titane peuvent manifester une bonne tenue mécanique à chaud (vers 700°C) et une bonne résistance à l'oxydation. La température de fusion est 1670°C .



Minéral de titane et exemples de pièces en titane : Visserie, gougeons, bracelet

2.5.5 - Alliages réfractaires : Pour de très nombreuses applications, il a fallu mettre au point des alliages qui, sans qu'ils se dégradent par oxydation, conservent des propriétés mécaniques acceptables à haute température : il s'agit des alliages réfractaires employés à des températures pouvant s'échelonner de 700 à 1000°C , selon le cas. A des températures inférieures, on peut recourir à certains aciers inoxydables.

Il existe trois principales classes d'alliages réfractaires :

- les alliages à base de fer et de nickel (contenant au moins 25% de nickel),
- les alliages à base de nickel (une centaine de compositions différentes),
- les alliages à base de cobalt (la résistance à la corrosion est beaucoup plus élevée que pour les deux types précédents). On appelle souvent ces alliages des « superalliages ».

Les utilisations des alliages réfractaires sont multiples. Nous pouvons citer les suivantes:

- ☐ Résistances électriques chauffantes,
- ☐ Soupapes d'échappement des moteurs à combustion interne,
- ☐ Fours industriels et équipements de traitements thermiques, ...

2.6- FABRICATION DE L'ACIER : Le minerai de fer possède des propriétés chimiques et physiques incompatibles qui le rendent inexploitable en l'état brut. Il lui manque en particulier :

- la résistance mécanique nécessaire pour supporter l'écrasement dû à l'empilage des matières dans le haut-fourneau
- la porosité permettant la circulation de l'air transportant les gaz
- la composition chimique en oxydes.

Le processus de fabrication de l'acier passe par les étapes principales suivantes :

PROCESSUS DE FABRICATION DE L'ACIER

Préparation des Matières premières
Minerai de fer (concassage + broyage) +
ferraille + coke + chaux



Chargement dans le haut fourneau
Combinaison de fer et de carbone,
production de la fonte



Convertisseur à l'oxygène
Elimination des excès de C, Si, S, P, ...
Transformation fonte → acier liquide



Affinage de l'acier
Ajustement de la composition chimique
Ajouts d'éléments d'addition

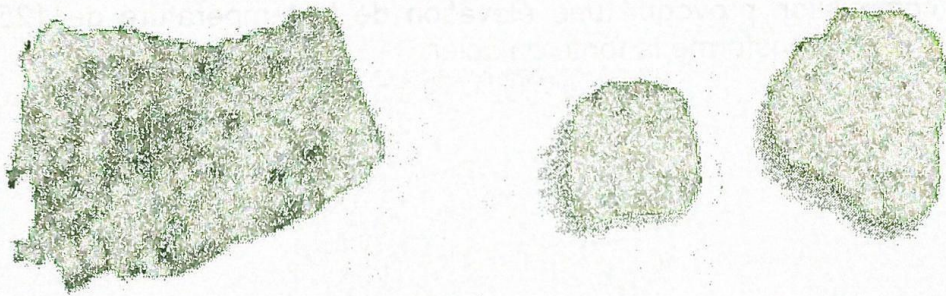
2.6.1 – Matières premières : Aujourd'hui on distingue deux types de matières premières dans la fabrication de l'acier :

a) minerai de fer : Sous la forme de minerai, le fer est un des métaux le plus abondant de la croûte terrestre. Cette roche est composée de nombreux éléments dont l'oxyde de fer et divers minéraux appelés gangue. La richesse du minerai tient à sa teneur plus ou moins élevée en fer. Un minerai riche contient jusqu'à 65 % de fer.

b) Ferraille : Elle provient des récupérations de l'industrie sidérurgique elle-même, des industries de transformation et de recyclage des déchets ferreux. La ferraille constitue une matière première qui nécessite moins de transformation dans la mesure où c'est déjà de l'acier. Fondue dans des fours électriques, cette matière première possède une composition particulière due au fait de son utilisation antérieure. La filière ferraille est plus économique en matière d'équipements lourds (chaîne d'agglomération, cokerie, etc.) et en matière d'énergie nécessaire à la fusion. En revanche sa capacité de production est moins élevée que celle d'une aciérie à l'oxygène (minerai).

Au minerai de fer, on rajoute en général du coke et les éléments d'addition :

a) Coke : De façon simplifiée, le coke est du carbone presque pur doté d'une structure poreuse et résistante à l'écrasement. Il est utilisé comme un puissant réducteur après avoir été libéré des composants indésirables de la houille. En brûlant dans le haut-fourneau, le coke apporte la chaleur nécessaire à la fusion du minerai et le carbone nécessaire à sa réduction.



Minerais de fer et de coke

b) Eléments d'addition (Ni, Cr, Mo, Ti, W,...) : ce sont les éléments chimiques (métaux) ajoutés dans la masse de l'acier dans le but d'améliorer certaines propriétés physiques ou chimiques. Par exemple, on ajoute le chrome Cr et le nickel Ni pour rendre l'acier inoxydable, du Titane Ti et du tungstène W pour former des carbures et durcir l'acier,...

Préparation du minerai : Le minerai brut est traité par concassage, criblage, broyage pour être calibré et homogénéisé. Il est ensuite chargé avec de la chaux et du coke sur la chaîne d'agglomération où il est partiellement fondu et prend la consistance d'un mâchefer poreux. La matière obtenue est ensuite chargée dans le haut-fourneau.

2.6.2 - Haut fourneau : Le haut-fourneau est un appareil de grandes dimensions, garni intérieurement d'un revêtement réfractaire, dans lequel le minerai est chauffé à des températures élevées. Les matières premières préparées sont chargées par le haut (gueulard) dans le haut-fourneau. Le coke apporte la chaleur nécessaire à la fusion du minerai et élimine l'oxygène contenu dans la matière en produisant des oxydes de carbone. Le fer pur libéré se combine au carbone du coke et produit de la fonte en se

dégageant des autres constituants qui sont des impuretés (phosphore, soufre, silicium, manganèse, etc.).



Haut fourneau

2.6.3 - Convertisseur à l'Oxygène : La conversion de la fonte en acier liquide est réalisée dans un convertisseur à oxygène. De l'oxygène est insufflé dans le bain de fonte liquide et permet d'éliminer par combustion des éléments indésirables (carbone, silicium, soufre, phosphore, etc.) qui se fixent à la chaux présente dans la fonte pour former des scories. Ces sous-produits de la fabrication de l'acier trouveront divers usages. La combustion provoque une élévation de la température de 1250°C (fonte liquide) à 1600°C et transforme la fonte en acier.



Poche de fonte qui déversant son contenu dans le convertisseur

2.6.4 – Station d'affinage : La station d'affinage permet de réaliser la "mise à nuance" de l'acier. Ainsi sont définis la composition chimique et les critères attachés à l'utilisation de l'acier.

Cette opération consiste à décarburer, c'est-à-dire à diminuer et à ajuster la teneur en carbone pour en faire de l'acier. A ce stade de la fabrication, des additions éventuelles de produits complémentaires permettront d'améliorer les caractéristiques techniques de l'acier dans la masse. Il sera recherché, selon les besoins, une résistance plus élevée du produit aux efforts mécaniques, à la corrosion, aux effets de température, etc. Dans les filières fonte (minerai) et électrique (ferraille), la composition chimique de l'acier liquide est ajustée par addition d'éléments d'alliage au millième près pour constituer les taux requis (nickel, chrome, tungstène, etc.). Par ailleurs, divers traitements ont lieu pour améliorer la pureté et la qualité du métal (dégazage pour éliminer l'azote ou l'hydrogène, homogénéisation chimique, etc.). Dans le cas de la filière électrique, si l'acier fondu possède déjà une composition particulière du fait qu'il a servi, on peut avoir à rectifier sa composition pour une nouvelle utilisation, différente de la précédente.