

CHAP 09-COURS Cycle de vie des matériaux

Mots clés :

- Elaboration
- Vieillessement, corrosion, protection
- Recyclage, élimination

1. LA VIE DES ACIERS

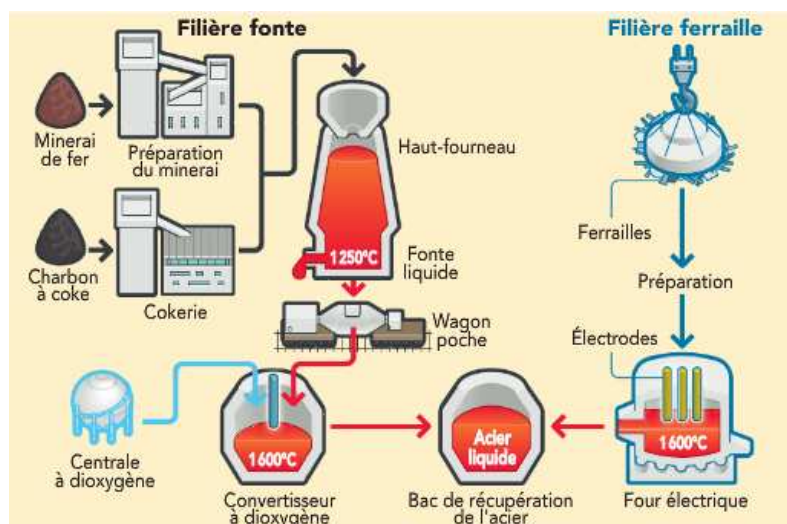
Vu ses très intéressantes propriétés mécaniques, le fer, pur ou sous forme d'alliages, est le métal le plus utilisé dans l'industrie et le bâtiment. Élaboré à partir de minerais principalement constitués d'oxydes, il s'oxyde naturellement à l'air s'il n'est pas protégé. Du minerai à la rouille, quelles sont les principales étapes de la vie du fer? L'homme peut-il les modifier ? Si oui, dans quel but ?

1.1. Élaboration du fer, de la fonte et de l'acier

- En Europe, la fabrication du fer date de 1 700 ans av. J.C. : on superposait plusieurs couches successives de minerai de fer et de bois et on chauffait ces échafaudages; le métal fondu obtenu était travaillé sur place.
- Actuellement, coexistent deux filières d'élaboration de l'acier : la filière fonte et la filière ferraille.

Dans la filière fonte :

Après broyage, le minerai est introduit dans le haut fourneau avec du coke (constitué essentiellement de carbone). Le coke brûle : la chaleur alors dégagée fait fondre le minerai; le monoxyde de carbone, $\text{CO}_{(g)}$, formé par la combustion, réduit en fer les oxydes de fer constituant le minerai. On obtient alors de la fonte en fusion. Elle est ensuite acheminée vers un convertisseur où elle est versée sur de la ferraille. Du dioxygène est introduit : il brûle une partie du carbone et les résidus ; on obtient de l'acier.

Dans la filière ferraille,

La ferraille, triée et broyée ou à l'état brut est introduite dans un four électrique : de l'acier en fusion est obtenu. Du dioxygène est éventuellement introduit.

1.2. Fer, fonte, acier, ne pas confondre

Ces trois produits diffèrent par leur teneur en carbone.

- **Le fer** est un matériau mou et malléable, dont la teneur en carbone est infime.

- **L'acier** a une teneur en carbone pouvant varier de 0,03 % à 2 % maximum ; il est à la fois malléable et résistant.

- **L'innox** est un acier composé de 75 % de fer, de 8 % de nickel, de 17 % de chrome et d'un peu de carbone.

- **La fonte**, avec une teneur élevée en carbone (de 2 % jusqu'à 6 %), existe en plusieurs qualités : de malléable et ductile à très dure et résistante.

1.3. Corrosion de l'acier

Le phénomène de corrosion correspond à la dégradation d'un métal, ou d'un alliage métallique, par des réactifs gazeux ou en solution.

À l'échelle de la planète, chaque seconde, cinq tonnes d'acier sont oxydées en rouille, mélange complexe d'oxydes et d'hydroxydes de fer plus ou moins hydratés.

La corrosion de l'acier est favorisée lorsque l'atmosphère est humide et contient des espèces ioniques dissoutes.

La corrosion est dite uniforme lorsque toute la surface du métal en contact avec cette solution est attaquée de la même façon, différentielle si ce n'est que partiellement.



1.4. Protection de l'acier contre la corrosion

La corrosion a des conséquences importantes au niveau économique.

Elle est également dangereuse pour la sécurité, car elle fragilise les équipements. La lutte contre la corrosion permet de rallonger la durée de vie des objets en acier.

On peut incorporer, par exemple, jusqu'à 26% de chrome à l'acier pour le protéger et obtenir un acier dit inoxydable.

La protection la plus simple consiste à recouvrir l'acier d'une couche protectrice imperméable. Ce peut être de la peinture, du vernis ou un film plastique.

L'acier peut aussi être recouvert d'un autre métal : on peut, par exemple, plonger une pièce en acier dans un bain de zinc fondu; c'est la **galvanisation**. Le zinc est alors attaqué à la place du fer.

D'autres moyens peuvent être utilisés pour recouvrir l'acier d'une couche protectrice : **électrolyse**, **parkérisation**, (Le fer, est plongé dans un bain chaud de phosphate de zinc provoquant la formation d'une couche de phosphate de fer imperméable.) etc.

La protection de l'acier peut aussi se faire par **anode sacrificielle**.

Ce type de protection est utilisé pour les bateaux, les conduites enterrées, les plates-formes pétrolières, etc.

Un bloc de zinc est relié à l'objet en acier à protéger : le zinc est alors oxydé et le dioxygène est réduit à la surface du fer, ou de l'acier, qui n'est alors pas corrodé.



1.5. Recyclage des aciers

Même protégés, les aciers se corrodent lentement. Les objets en acier corrodé peuvent ensuite être recyclés.

Les exigences en matière de taux de recyclage des véhicules automobiles sont élevées : actuellement, 54% de l'acier présent dans une voiture est de l'acier recyclé. Avec un taux de recyclage qui dépasse les 62 %, l'acier est le matériau le plus recyclé en Europe.

Le recyclage de l'acier permet de préserver les ressources naturelles, de réduire l'utilisation d'énergie et de diminuer l'émission de gaz à effet de serre.



2. LA VIE DES PLASTIQUES

Recherchés pour leurs propriétés remarquables (légèreté, longue durée de vie, isolant électrique et thermique, faible dégradabilité, grande diversité d'utilisation), les plastiques sont très largement utilisés. Malheureusement, certains de ces avantages se transforment en inconvénients quand ces produits deviennent des déchets. Quelles sont les principales étapes de la vie d'un objet en plastique ?

2.1. Synthèse de quelques plastiques

Les matières plastiques sont des polymères auxquels sont ajoutés certains additifs tels que des pigments, des stabilisants, etc.

Ces polymères sont constitués de molécules à très longues chaînes, ou macromolécules, obtenues à partir d'un grand nombre de molécules appelées monomères.

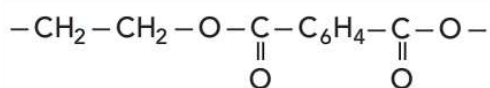
Le polyéthylène (PE) ou le polyéthylène téréphtalate (PET) sont des polymères synthétisés par polymérisation de monomères obtenus à partir du pétrole

Le polyéthylène, utilisé dans les emballages, les tuyaux, etc., de formule $-(CH_2-CH_2)_n-$, est obtenu par polymérisation par polyaddition de l'éthène, ou éthylène, $H_2C=CH_2$.

$-CH_2-CH_2-$ constitue le motif du polymère ; la valeur de n peut varier de quelques centaines à plusieurs milliers.

Le polyéthylène téréphtalate est obtenu par polymérisation par polyestérification de l'éthylène glycol ou éthane-1,2-diol, $HO-CH_2-CH_2-OH$, et de l'acide téréphtalique, $HO_2C-C_6H_4-CO_2H$.

Il a pour motif :



Utilisé pour la fabrication des bouteilles d'eau ou de sodas, le PET se rencontre également dans des fibres textiles.

Des résines glycérophtaliques peuvent être obtenues par polyestérification de l'acide téréphtalique avec un triol, le glycérol, $HO-CH_2-CH(OH)-CH_2-OH$.

2.2. Recyclage des plastiques

La production annuelle mondiale de matières plastiques est très importante. Ainsi, en 2008, elle était de 245 millions de tonnes. Compte tenu du vieillissement de ces matières et de leur utilisation parfois éphémère, leur recyclage se développe de plus en plus.

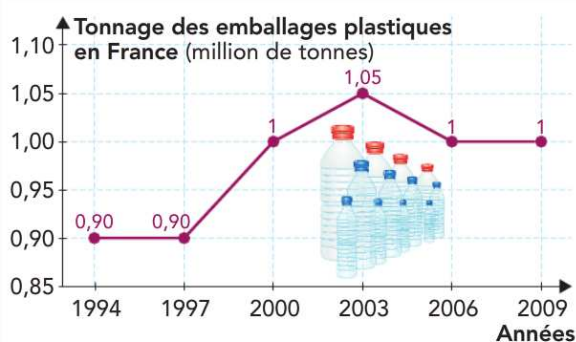
Les principaux emballages recyclables sont les bouteilles et flacons ménagers, ainsi que les films d'emballages industriels. Les matériaux qui les constituent, dits thermoplastiques, peuvent être refondus après tri, broyage et nettoyage soigneux, pour être transformés en nouveaux objets.

Le recyclage mécanique consiste en un broyage des matériaux, après un tri et un lavage rigoureux; ils sont ensuite directement transformés en produits finis. C'est le cas des matières plastiques non fusibles, dites thermodurcissables.

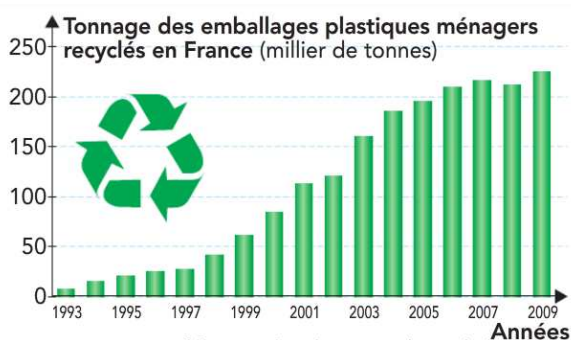
Le recyclage chimique consiste en une dépolymérisation du polymère permettant de récupérer le monomère.

Les polymères thermoplastiques se ramollissent lors de leur chauffage. Leurs chaînes sont le plus souvent linéaires.

Les polymères thermodurcissables durcissent lors de leur chauffage. Leurs chaînes sont réticulées (c'est-à-dire reliées entre elles) et forment une structure



Évolution de la production des emballages plastiques.



Évolution des tonnages d'emballages plastiques recyclés.

2.3. Vieillessement des plastiques

Les matières plastiques s'altèrent au cours du temps et leurs propriétés se dégradent : elles vieillissent. Les facteurs de vieillissement sont la température, la lumière, les contraintes mécaniques, l'humidité et les agents oxydants tels que le dioxygène.

Pour ralentir ce vieillissement, on ajoute aux matériaux polymères des adjuvants tels que des anti-UV, des antioxydants, etc.

Ces adjuvants, dont certains ne sont pas sans danger, peuvent être lentement libérés lors du vieillissement des matières plastiques. C'est le cas des phtalates, utilisés comme plastifiants, du bisphénol A, utilisé comme antioxydant.

2.4. Élimination des plastiques

Lorsque les matières plastiques ne peuvent être recyclées, on peut les valoriser énergétiquement en les incinérant de façon contrôlée. Cette combustion permet de récupérer ou d'économiser de l'énergie, mais génère, outre de l'eau et du dioxyde de carbone, des gaz ou des substances toxiques, qu'il convient d'éliminer. Ainsi, la combustion du polychlorure de vinyle (PVC) libère du chlorure d'hydrogène, HCl.

Le pouvoir calorifique inférieur, PCI, correspond à l'énergie thermique, ou chaleur, dégagée par la combustion d'une unité de masse de combustible. Il s'exprime généralement en $\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$

Matériau	Gaz naturel	Charbon	Polyéthylène	Polystyrène	Polychlorure de vinyle	Polyéthylène téréphtalate
PCI ($\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$)	38	29	46	46	20	45

D'après le site du Cercle National du Recyclage, www.cercle-recyclage.asso.fr

3. CYCLE DE VIE DES MATERIAUX

Alors que les cycles de l'eau, du carbone, de l'azote, de l'oxygène sont indissociables de tout écosystème, le cycle des matériaux est étroitement lié à l'activité humaine. Quelles sont ses caractéristiques?

3.1. Du minerai au recyclage

La plupart des objets, des outils, des instruments qu'utilise l'homme ont été façonnés en utilisant des matériaux extraits de matières premières naturelles. Après usage ou détérioration, ils constituent des déchets.

Le devenir des matériaux qui constituent les déchets ménagers non périssables et les déchets industriels est très variable et dépend de leur nature et de leur constitution. Les principaux matériaux recyclables sont le verre, l'acier, l'aluminium, certaines matières plastiques, le carton et le papier.

Les objets sont collectés, puis acheminés vers des centres où ils sont triés de façon automatisée selon leur nature, leur taille, leur forme, etc. Ils sont ensuite acheminés vers les centres de traitement.

Le recyclage n'est encore envisagé que pour un nombre très limité d'objets manufacturés.

Différentes fins de vie sont possibles pour les objets manufacturés : la réutilisation, le recyclage pour redonner les matières premières originelles, le recyclage pour donner les matériaux permettant de fabriquer les objets manufacturés similaires ou d'autres objets, la valorisation énergétique (combustion) ou la mise en décharge.

Certaines bouteilles de verre dans la restauration, des bacs plastiques de transport et manutention sont réutilisés sans modification après nettoyage. Cependant, la réutilisation d'objets manufacturés est encore rare.

3.2. Les métaux de l'électronique

Pour chacun des métaux cités, sont indiqués le pourcentage de métal issu du recyclage utilisé dans l'industrie électronique et la date d'épuisement des réserves dans le cadre d'une extraction à un coût admissible.

Matériau	% recyclé	Epuisé en
Plomb	72 %	2030
Aluminium	49 %	–
Or	43 %	2025
Nickel	35 %	2048
Cuivre	31 %	2039
Zinc	26 %	2025

3.3. Pourquoi recycler

