

Chapitre 1- MATERIAUX METALLIQUES

Les **métaux** sont des matériaux dont les atomes sont unis par des liaisons métalliques. Il s'agit de corps simples ou d'alliages le plus souvent durs, opaques, brillants, bons conducteurs de la chaleur et de l'électricité. Ils sont généralement malléables, c'est-à-dire qu'ils peuvent être martelés ou pressés pour leur faire changer de forme sans les fissurer, ni les briser. De nombreuses substances qui ne sont pas classées comme métalliques à pression atmosphérique peuvent acquérir des propriétés métalliques lorsqu'elles sont soumises à des pressions élevées. Les métaux possèdent de nombreuses applications courantes, et leur consommation s'est très fortement accrue depuis les années 1980,

Les **matériaux métalliques**, faisant intervenir une liaison **métallique** : **matériaux** durs, rigides et déformables plastiquement. Ce sont des métaux ou des **alliages métalliques** : fer, acier, aluminium, cuivre, bronze, fonte, etc.

Les métaux et leurs alliages se caractérisent par le fait que ce sont de bons conducteurs de chaleur et d'électricité, contrairement aux éléments non métalliques. Ces deux caractéristiques essentielles différencient les métaux des non-métaux, et l'origine de cet écart est à rechercher dans la structure électronique de l'élément et la nature de sa liaison chimique.

Les métaux proviennent de la nature. On les extrait dans les mines, à partir de minerais retrouvés dans la croûte terrestre. Il faut donc séparer le métal désiré des autres substances retrouvées dans les minerais.

Une propriété **mécanique** est une propriété caractéristique d'un **matériau** qui décrit son comportement lorsqu'il est soumis à une ou plusieurs contraintes **mécaniques** Le fait que les **matériaux** ne réagissent pas tous de la même façon sous l'effet des contraintes est fonction de leurs **propriétés mécaniques**.

Les principales caractéristiques des métaux

- La masse volumique ou densité
- La rigidité
- La limite d'élasticité
- La déformation à la rupture et la contrainte maximale.
- La dureté
- La ténacité
- La résilience
- La conductivité électrique.
- La conduction thermique.
- L'oxydation ou corrosion.
- La résistance aux chocs.

Définition de quelques propriétés :

Dureté : Propriété d'un matériau de résister à la pénétration d'un autre matériau.

Le diamant est le matériau qui possède la plus grande dureté.

Ductilité : Propriété d'un matériau de s'étirer sans se rompre.

Le cuivre, qui peut être étiré, est utilisé dans la fabrication de fils électriques.

Élasticité : Propriété d'un matériau de se déformer puis de reprendre sa forme initiale par la suite. Le pneu d'une voiture se déforme sous le poids de celle-ci.

Fragilité : Propriété d'un matériau de se briser plutôt que de se déformer.

Un verre en porcelaine se brise plutôt que de se déformer.

Malléabilité : Propriété d'un matériau de s'aplatir ou de se courber sans se rompre.

L'aluminium est un matériau malléable que l'on peut aplatir en feuilles.

Résilience : Propriété d'un matériau de résister aux chocs sans se rompre.

Un casque de moto est conçu pour résister aux chocs.

Rigidité : Propriété d'un matériau de garder sa forme, même lorsqu'il est soumis à diverses contraintes. Le tablier d'un pont est conçu pour garder sa forme malgré le poids des voitures qui y circulent.

Résistance à la corrosion : Propriété d'un matériau de résister à l'action de substances corrosives qui peuvent provoquer, entre autre, la formation de rouille. Une carrosserie d'automobile doit pouvoir résister à la rouille.

Conductibilité électrique : Propriété d'un matériau de transmettre le courant électrique. Les fils électriques doivent être fabriqués dans un matériau conducteur.

Conductibilité thermique : Propriété d'un matériau de transmettre la chaleur. Un chaudron doit laisser passer la chaleur afin de pouvoir cuire les aliments.

Coefficient de dilatation thermique : Propriété d'un matériau dont le volume varie en fonction d'un changement de température. Le liquide à l'intérieur d'un thermomètre se dilate sous l'effet de la chaleur.

Le tableau suivant décrit certains métaux utilisés pour la fabrication d'objets techniques. Le fer et l'aluminium sont les métaux les plus utilisés. Toutefois, les métaux sont rarement utilisés à l'état pur; on les utilise davantage sous la forme d'alliage.

Métaux	Description et caractéristiques	Propriétés mécaniques	Exemples d'utilisation
Fer (Fe)	Argenté, mou, peut rouiller, métal le plus utilisé	Ductilité, malléabilité	Automobiles, structures de bâtiments, ustensiles, câbles, clous
Aluminium (Al)	Blanc, mou, très abondant dans la nature	Malléabilité, ductilité, élasticité, légèreté, bonne conductibilité, résistance à la corrosion	Bateaux, fils électriques, canettes, portes et fenêtres
Cuivre (Cu)	Couleur rouge brun qui s'oxyde à l'air humide (devient vert)	Ductilité, malléabilité, lourdeur, excellente conductibilité électrique et thermique	Fils électriques, instruments de musique, tuyaux, pièces de un cent
Zinc (Zn)	Couleur gris-blanc brillant	Dureté, ductilité, malléabilité, résistance à la corrosion	Fils électriques, gouttières, clôtures
Magnésium (Mg)	Couleur blanc argenté	Légèreté, inflammabilité, malléabilité, ductilité	Feux d'artifices, feux de Bengale, jantes de voiture
Nickel (Ni)	Gris	Dureté, malléabilité, grande résistance à la corrosion	Pièces de monnaie, éléments chauffants
Chrome (Cr)	Blanc, légèrement bleuté	Grande dureté, résistance à la corrosion, bonne conductibilité	Revêtements contre la corrosion
Étain (Sn)	Couleur blanc argenté	Ductilité, malléabilité, faible point de fusion	Soudures, ustensiles
Titane (Ti)	Couleur blanc argenté	Grande ductilité, légèreté, résistance à la corrosion	Coques de bateau, sous-marin, pièces d'automobiles
Plomb (Pb)	Couleur gris	Mollesse,	Utilisé surtout pour

	bleuté	malléabilité, lourdeur, ductilité, résistance à la corrosion	la fonte
Tungstène (W)	Couleur blanc d'étain	Mollesse, ductilité, légèreté, résistance aux hautes températures	Filaments d'ampoules à incandescence

LES ALLIAGES

Un **alliage** est un mélange homogène. C'est la combinaison d'un métal avec une ou plusieurs autres substances dans le but d'obtenir des propriétés mécaniques précises.

Les métaux sont rarement utilisés à l'état pur. Un alliage permet de combiner les propriétés des différents métaux qui sont mélangés. On peut donc créer des matériaux qui possèdent exactement les propriétés adaptées à des besoins très précis. On peut, par exemple, augmenter la dureté d'un métal et ainsi accroître sa résistance à l'usure tout en conservant une bonne malléabilité. On classe généralement les alliages en deux catégories: les alliages ferreux et les alliages non ferreux. Pour déterminer rapidement si un alliage est ferreux ou non, il suffit d'approcher un aimant de l'alliage en question. Si l'alliage est ferreux, il attirera l'aimant alors qu'il n'y aura pas d'attraction s'il s'agit d'un alliage non ferreux.

La plupart des métaux purs sont trop mous, trop fragiles ou trop réactifs pour pouvoir être utilisés tels quels. Il est possible de moduler les propriétés des alliages en faisant varier les proportions relatives de leurs différents constituants. Il s'agit généralement de les rendre moins fragiles, plus durs, plus résistants à la corrosion, ou encore de leur donner une couleur et un éclat plus attrayants. De tous les alliages métalliques utilisés de nos jours, ceux du fer — acier, acier allié, acier à outils, acier au carbone, acier inoxydable, fonte par exemple — en représentent l'essentiel de la production, aussi bien en valeur qu'en volume. Le fer allié au carbone donne des aciers de moins en moins ductiles et résistants à mesure que le taux de carbone augmente. L'addition de silicium donne du ferrosilicium, souvent allié à la fonte, tandis que l'addition de chrome, de nickel et de molybdène (à plus de 10 %) à des aciers au carbone donne de l'acier inoxydable.

Outre les alliages de fer, ceux de cuivre, d'aluminium, de titane et de magnésium sont également importants d'un point de vue économique. Les alliages de cuivre sont connus sous forme de bronze depuis l'âge du bronze. Le billon était un alliage utilisé jusqu'au Moyen Âge pour faire des pièces de monnaie et constitué le plus souvent essentiellement de cuivre avec un peu d'argent et parfois de mercure. De nos jours, le bronze désigne spécifiquement un alliage de cuivre et d'étain, tandis que le laiton est un alliage de cuivre et de zinc, et que

le maillechort est un alliage de cuivre, de zinc et de nickel. Ces alliages ont divers usages industriels, notamment dans les installations électriques. Les alliages d'aluminium, de titane et de magnésium ont été développés plus récemment, et sont intéressants en raison de leur grande résistance mécanique pour une masse volumique plutôt faible ; leur coût de revient est cependant élevé, ce qui restreint leur utilisation aux applications de haute technologie pour lesquelles les performances sont plus importantes que le coût. Parmi les différents alliages d'aluminium, on peut citer ceux pour corroyage et pour fonderie. Le zamak est formé de zinc allié à l'aluminium, le magnésium et le cuivre.

Les alliages spéciaux destinés à des applications de pointe, dits superalliages, comme ceux des moteurs à réaction, peuvent contenir plus d'une dizaine d'éléments différents. Les alliages à mémoire de forme sont un autre type d'applications : les alliages Fe-Mn-Si, Cu-Zn-Al et Cu-Al-Ni, par exemple, sont assez bon marché, mais il en existe une très grande variété.

ALLIAGES FERREUX

Un **alliage ferreux** est un alliage dont le principal constituant est le fer.

Le fer est un des éléments les plus répandus dans la croûte terrestre. Il s'agit d'un métal ductile (qui peut être étiré), malléable (qui peut être réduit en feuilles) et magnétique. Toutefois, le fer à l'état pur ne résiste pas à la corrosion ni à l'usure. En le combinant avec du carbone, on peut augmenter la résistance mécanique et la dureté du fer. Selon les proportions de fer et de carbone retrouvées dans l'alliage, les propriétés seront modifiées différemment.

Alliages ferreux	Composition et description	Propriétés mécaniques	Exemples d'utilisation
Fonte	-Mélange de fer et de carbone (au moins 2 %) -Couleur blanc brillant ou gris	Fragilité, dureté, lourdeur	Étaux, poêlons, haltères
Acier inoxydable	-Mélange de fer, de carbone (moins de 1,5 %), de chrome et d'étain -Couleur gris métallique	Résistance à la corrosion, résistance mécanique, dureté	Batteries de cuisine, coutellerie
Acier doux	Mélange de fer et de carbone (à peine 0,2 %)	Faible résistance à la corrosion, dureté	Chaînes
Fer blanc	Tôle mince d'acier doux recouverte d'une couche d'étain sur les deux faces	Facilité de pliage et de coupe, résistance à la corrosion	Boîtes de conserve

ALLIAGES NON FERREUX

Un **alliage non ferreux** ne contient pas de fer, mais combine plutôt d'autres métaux.

En plus des alliages à base de fer, il existe dans la nature d'autres minéraux que l'on peut combiner pour former des alliages non ferreux. Ces alliages ne seront pas attirés par un aimant.

Alliages non ferreux	Composition et description	Propriétés mécaniques	Exemples d'utilisation
Laiton	<ul style="list-style-type: none">Mélange de zinc et de cuivreCouleur variant du rose au jaune selon la teneur des différents métaux	Ductilité, malléabilité, lourdeur, résistance à la corrosion, bonne conductibilité	Décoration, composantes électriques, instruments de musique
Bronze	<ul style="list-style-type: none">Mélange de cuivre et d'étainCouleur variant du jaune au brun	Dureté, malléabilité, lourdeur, résistance à la corrosion, bonne conductibilité	Objets d'arts, hélice de bateau, robinetterie, médaille olympique
Titanium	<ul style="list-style-type: none">Mélange de titane et d'aluminiumCouleur gris argenté	Légèreté, malléabilité, résistance à la corrosion, grande dureté	Pièces d'avion, pièces de bicyclette, pièces électroniques

APPLICATIONS

Certains métaux et alliages possèdent une résistance structurelle élevée par unité de masse, ce qui les rend utiles pour transporter des charges lourdes et résister à des chocs violents. Les alliages métalliques peuvent être conçus pour avoir une résistance élevée aux contraintes de cisaillement, de flexion et de déformation. Le même métal peut cependant être sujet à la fatigue à la suite de contraintes répétées ou d'un dépassement de la contrainte maximum. La résistance et la résilience des métaux a conduit à leur utilisation courante dans la construction des gratte-ciel et des ouvrages d'art ainsi que dans celle de tous types de véhicules, d'appareils et dispositifs, d'outils, de tuyaux, ou encore de voies ferrées.

Les deux métaux les plus utilisés, le fer et l'aluminium, sont également les plus abondants dans l'écorce terrestre. Le fer est le plus utilisé des deux : il est à la base de toutes les grandes constructions métalliques (poutre, rail, coque de navire). L'aluminium est presque toujours utilisé allié à d'autres métaux afin d'en améliorer les propriétés mécaniques, dans des applications tirant profit du fait qu'il est moins dense que le fer ($2,70 \text{ g cm}^{-3}$ contre $7,87 \text{ g cm}^{-3}$) et meilleur conducteur électrique ($3,50 \times 10^7 \text{ S m}^{-1}$ contre 10^7 S m^{-1}) ; l'aluminium est par exemple utilisé préférentiellement au cuivre dans les câbles électriques à haute tension aériens.

Le cuivre reste utilisé essentiellement pour ses bonnes propriétés de conducteur de l'électricité dans les câbles électriques, et de conducteur thermique dans les ustensiles de cuisine. Les propriétés de conducteur de la chaleur font de certains métaux des matériaux intéressants pour réaliser des dissipateurs thermiques destinés à éviter les surchauffes. Les métaux les moins abondants sont utilisés dans des alliages (chrome, manganèse, titane), et les plus rares interviennent souvent comme catalyseurs (platinoïdes, notamment) et parfois comme placements financiers ou en joaillerie (métaux précieux). La réflectivité élevée de certains métaux, comme l'argent, en font des matériaux de choix pour la construction de miroirs, notamment ceux des télescopes. Elle est également à l'origine de l'attrait esthétique de certains métaux utilisés en joaillerie. L'uranium est un métal qui, après séparation isotopique, permet d'alimenter des réacteurs nucléaires pour libérer leur énergie par fission. D'autres métaux, trop réactifs à l'air et/ou à l'eau sont rarement utilisés à l'état métallique (sodium, potassium, calcium).

Dans un certain nombre de cas, les métaux tendent à être remplacés par d'autres matériaux, en général pour des raisons de légèreté (polymères, matériaux composites, céramiques) ou de résistance à la corrosion ou à l'usure (céramiques). Ces matériaux ont toutefois eux aussi leurs limites par rapport aux métaux, en particulier les polymères et composites à matrice polymère ne sont pas utilisables à hautes températures et sont souvent plus souples, tandis que les céramiques résistent mal aux chocs.

Les métaux peuvent être dopés avec des molécules étrangères, qui peuvent être organiques, minérales, biologiques, ou encore des polymères. Ces molécules confèrent au métal des propriétés nouvelles qui peuvent être mises à profit pour des applications aussi variées que les catalyseurs, la médecine, l'électrochimie et la résistance à la corrosion.

DEGRADATION ET PROTECTION DES METAUX

La principale cause de dégradation des métaux est le processus d'oxydation qui cause leur corrosion. Ainsi, dans des conditions particulières, par exemple en présence d'eau salée, la surface du métal s'oxyde et se dégrade. Le pH de l'eau, sa concentration en oxygène et en sel ainsi que sa température influent sur l'importance de la corrosion subie.

Pour protéger les métaux et les alliages contre la dégradation, il est courant de les recouvrir d'un revêtement tel qu'un film protecteur de plastique, un vernis ou de la peinture. Ce revêtement permet d'isoler le matériau de son environnement, c'est-à-dire d'empêcher le contact de l'eau et de l'oxygène avec le métal. L'acier peut, quant à lui, subir différents traitements thermiques qui lui permettent d'accroître sa dureté et sa ductilité.

Dans certains cas, la galvanisation peut s'avérer un traitement anticorrosif efficace. Dans ce procédé, les métaux sont recouverts d'une couche de zinc dans le but de les protéger contre les réactions d'oxydation.

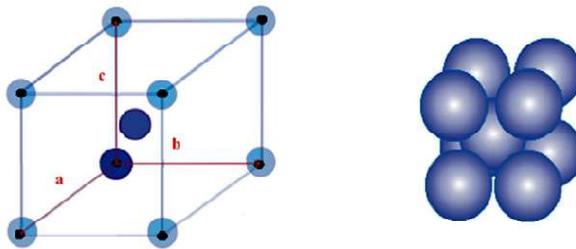
LIAISON METALLIQUE ET STRUCTURES CRISTALLINES DES METAUX

La nature électronique particulière d'une liaison métallique est responsable de plusieurs propriétés macroscopiques des métaux : le fluide d'électrons libres assure à la fois une conductivité électrique et une conductivité thermique élevées en permettant la circulation d'un courant électrique et en favorisant la propagation des phonons dans le matériau ; elle rend compte de la ductilité, de la malléabilité et de la plasticité des métaux en maintenant leur cohésion en cas de déformation brisant les autres liaisons interatomiques ; elle confère aux métaux leur absorbance et leur éclat particulier par son interaction avec les ondes électromagnétiques, ainsi que leur point de fusion et leur point d'ébullition plus élevés que les non-métaux en renforçant les autres types de liaisons interatomiques. Ces dernières, notamment les liaisons covalentes de coordination, sont responsables des différentes structures cristallines formées par les métaux solides : la plus fréquente est la structure cubique centrée, suivie de la structure hexagonale compacte et de la structure cubique à faces centrées.

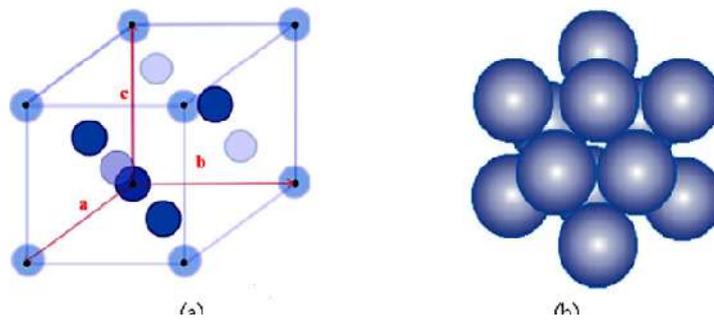
Dans une structure cubique centrée, chaque atome est situé au centre d'un cube formé par ses huit atomes voisins. Dans les structures cubique à faces centrées et hexagonale compacte, chaque atome est entouré par douze autres atomes, mais l'empilement de ces atomes diffère entre ces deux structures. Certains métaux peuvent adopter des structures cristallines différentes selon la température et la pression auxquels ils sont soumis.

La **structure cristalline** (ou **structure d'un cristal**) donne l'arrangement des atomes dans un cristal. Ces atomes se répètent périodiquement dans l'espace sous l'action des opérations de symétrie du groupe d'espace et forment ainsi la structure cristalline. Cette structure est un concept fondamental pour de nombreux domaines de la science et de la technologie.

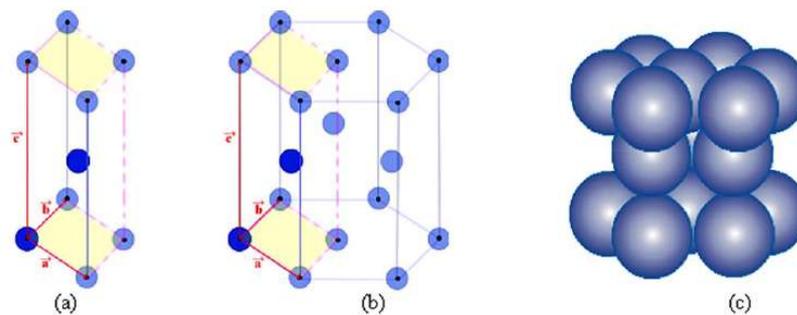
- **Principales structures cristallines métalliques**



Cubique centrée (CC).



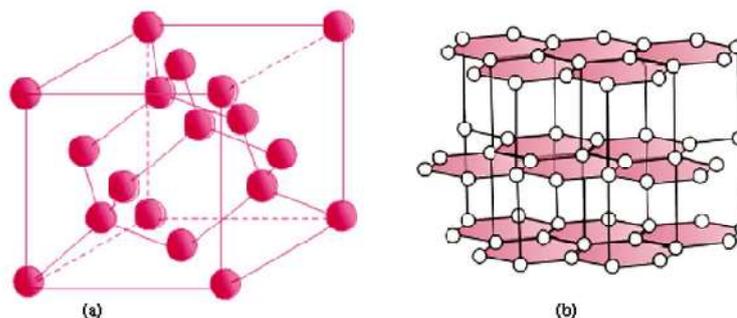
Cubique à faces centrées (CFC).



Hexagonale compacte (HC).

Tous les métaux (notamment les alliages) ne sont cependant pas cristallins, et il peut se former des alliages métalliques amorphes par trempe rapide d'alliages métalliques fondus. On utilise pour ce faire des métaux fondus dont les atomes ont des tailles sensiblement différentes, ce qui limite la cristallisation lors d'un refroidissement rapide. Également appelés verres métalliques, les alliages métalliques amorphes présentent, par rapport aux métaux usuels, une meilleure ténacité, une moindre fragilité, ainsi qu'une plus grande résistance à la déformation et à la corrosion.

Ex : le diamant est formé de carbone comme le charbon mais dans le charbon, le carbone est placé irrégulièrement. La différence entre le diamant et le graphite, également formé de carbone est la disposition des atomes et des plans cristallins



Structure cristalline du (a) diamant (b) graphite

Il existe plusieurs systèmes cristallins.

Système cubique :

- 1-Système cubique simple : atomes présents uniquement aux points du réseau.
- 2-Système cubique centré (CC) il y a un atome supplémentaire au centre du cube.
- 3-Système cubique faces centrées (CFC) : chaque face comporte un atome au centre de celle-ci.

Système hexagonal : peut se décomposer en prismes à base losangique

- 4-système orthorhombique : simple, à 2 faces centrées, à face centrées, à prisme centrés.
- 5-système clinorhombique : simple, à face centrées.
- 6-Système rhombédrique : 1 seul système
- 7-Système quadratique : simple, centré
- 8-Triclinique : 1 seul système

RESEAU CRISTALLIN

Un solide cristallin est constitué par la répétition périodique dans les 3 dimensions de l'espace d'un motif atomique ou moléculaire, contenu dans une unité de répétition périodique appelé maille ; de la même façon qu'un papier peint est constitué de la répétition d'un même motif. La périodicité de la structure d'un cristal est donc représentée par un ensemble de points régulièrement disposés. Cet ensemble est appelé réseau cristallin et les points le constituant sont appelés nœuds du réseau.

Le cristal parfait :

Le cristal parfait est constitué d'une répartition régulière des atomes, des ions ou des molécules suivant les trois dimensions de l'espace et l'arrangement régulier des atomes s'étend pratiquement à l'infini.

Le cristal réel

Un cristal réel comporte des défauts (défauts de réseau) même s'ils sont peu nombreux. Ces défauts ont une importance considérable puisqu'ils déterminent un grand nombre de propriétés importantes des solides cristallins, telles que les propriétés plastiques.

Il existe quatre sortes de défauts cristallins : défauts ponctuels, défauts linéaires, défauts plans et défauts à trois dimensions.

TRAITEMENTS THERMIQUES DES MÉTAUX

Le **traitement thermique** d'un matériau est un groupe de procédés industriels utilisés pour modifier les propriétés physiques, mécaniques et parfois chimiques de ce dernier. Ce traitement est utilisé lors de la fabrication des matériaux comme le verre, le bois, les aliments et surtout les métaux.

Le traitement thermique implique l'utilisation du chauffage et/ou du refroidissement, normalement à des températures extrêmes, pour obtenir le résultat souhaité, tel que la modification de la dureté, de la ductilité, de la fragilité, de la plasticité, de l'élasticité ou de la résistance du matériau.

Le **traitement thermique dans la masse** d'un matériau est un traitement thermique qui affecte tout ce matériau et non uniquement sa zone superficielle comme c'est le cas d'un traitement thermique superficiel.

Les principaux traitements dans la masse sont :

Traitement	Évolution de l'état d'équilibre thermodynamique	Procédé
Recuit	Évolution vers l'état d'équilibre le plus stable	Chauffage suivi d'un refroidissement lent
Trempe	Évolution vers un état hors d'équilibre, instable ou métastable	Refroidissement rapide
Revenu	Évolution à partir d'un état hors d'équilibre comportant des phases métastables, vers un état d'équilibre plus ou moins complet	Chauffage lent suivi d'un refroidissement lent

(a) RECUIT

Le **recuit** d'une pièce métallique ou d'un matériau est un procédé correspondant à un cycle de chauffage. Celui-ci consiste en une étape de montée graduelle en température suivie d'un refroidissement contrôlé. Cette procédure, courante en sciences des matériaux, permet de modifier les caractéristiques physiques du métal ou du matériau étudié. Cette action est particulièrement employée pour faciliter la relaxation des contraintes pouvant s'accumuler au cœur de la matière, sous l'effet de contraintes mécaniques ou thermiques, intervenant dans les étapes de synthèse et de mise en forme des matériaux. À l'occasion d'un recuit, les grains (mono-cristaux) de matière se reforment et retrouvent en quelque sorte, leur « état d'équilibre ».

Le recuit est également utilisé pour changer les propriétés magnétiques d'une pièce.

Exemples d'utilisation du recuit :

- adaptation de la taille des grains du métal pour des performances optimales (après une coulée) ;
- élimination de contraintes résiduelles (déformation plastique) ;
- baisse de la dureté en vue d'un usinage ;
- obtention de pièces mono-cristallines de caractéristiques exceptionnelles (ex: aubes de rotors de turbo-machines)...

Procédé

Le recuit est obtenu par élévation de température du métal à des températures allant de 500 °C à 850 °C. La qualité du recuit exige un cycle de chauffe (temps de montée en température, temps de maintien) bien maîtrisé (il peut être lent ou rapide).

Il est nécessaire de respecter certaines valeurs couplées de temps de maintien et de température de chauffe pour avoir une recristallisation complète.

La vitesse de chauffe influence la taille des grains (et leur nombre). En fonction de la structure d'origine et de la taille de grain souhaitée, il faudra être plus ou moins rapide. Le temps de maintien, la température de chauffe et la vitesse de refroidissement influencent plus encore la taille des grains.

Plus la descente est rapide (sans atteindre des vitesses de trempe), plus les grains restent petits. Si une trempe est souhaitée, elle peut être réalisée en lieu et place du refroidissement du recuit.

(b) LA TREMPE

La **trempe** est une opération métallurgique qui fait partie des traitements thermiques. Elle consiste à chauffer un matériau à une température dite de changement de phase ou bien de mise en solution de composés chimiques, selon l'objet de la trempe, pendant le temps nécessaire à la transformation de toute la masse chauffée puis à refroidir toute cette masse à une vitesse suffisante pour emprisonner des éléments chimiques qui ont pu se diffuser dans le solide cristallin à haute température lors de la transformation inverse. Les éléments chimiques se retrouvant prisonniers dans la phase de température basse créent alors des tensions dans les mailles cristallines qui contribuent à l'augmentation de certaines caractéristiques mécaniques de la pièce trempée.

Le mécanisme de déformation plastique (avec déformation lors d'un retour à l'état repos) d'un métal correspond au déplacement d'irrégularités cristallines (défauts lacunaires appelés « dislocations »). Les contraintes introduites dans le métal au travers de la trempe rendent difficiles le déplacement de ces dislocations (en augmentant le niveau d'énergie nécessaire à leur déplacement d'une maille à l'autre) et rapprochent ainsi la résistance élastique du métal de sa résistance à la rupture.

Une autre manière couramment utilisée pour obtenir les mêmes effets que la trempe est l'écrouissage. Il consiste à déformer le métal (généralement par écrasement, d'où les caractéristiques mécaniques remarquables des pièces de forge notamment déformées à froid) de manière à créer de nombreuses dislocations à l'intérieur de celui-ci. Les dislocations s'opposent également au déplacement des dislocations, leur présence en grand nombre permet également d'obtenir un métal durci (mais dans une moindre mesure que les effets de la trempe). L'écrouissage possède les mêmes inconvénients que la trempe (l'allongement et la résilience diminuent), saufs que ces derniers ne peuvent être rectifiés par un revenu dans le cas de l'écrouissage.

© REVENU

Les traitements thermiques dits de **revenu** font partie d'une famille de traitements thermiques ayant pour trait commun d'être toujours effectués à des températures inférieures aux températures de transformations allotropiques des métaux, lorsque celles-ci existent.

Les revenus ont la particularité de produire deux effets :

- une transformation métallurgique rendue possible par le mécanisme de diffusion amorcé pendant un séjour suffisant à température ;
- un abaissement de la limite d'élasticité et, de moindre façon, du module d'élasticité pendant la montée en température et une légère amorce de fluage pendant le temps de palier à température de revenu.

Selon l'état initial du matériau et sa composition chimique, l'un des effets prédomine aussi, selon ce qui est recherché, le revenu sera soit métallurgique, soit de détensionnement. Cependant, quel que soit l'effet recherché, les deux effets se produiront et l'effet non recherché pourra avoir des conséquences non négligeables sur l'intégrité de la pièce traitée. Ceci est d'autant plus vrai si le traitement est effectué sur une construction soudée (effet de sur-revenu dans la zone thermiquement affectée des soudures par exemple).

Il est recommandé de :

- procéder à la qualification du mode opératoire de traitement thermique avant de procéder sur pièce réelle ;
- réaliser un témoin de fabrication pour vérifier le succès de l'opération et valider le mode opératoire de traitement thermique.

Pour les aciers n'étant pas particulièrement résistants à chaud, il permet un détensionnement des contraintes par adaptation plastique (ainsi qu'un dégazage de l'hydrogène dissous lors du soudage par exemple), participe à la stabilisation dimensionnelle (certaines pièces de précision doivent parfois subir un détensionnement de contraintes avant un usinage) et améliore la résistance à la fissuration à froid.

Pour les pièces en alliage d'aluminium, le traitement de revenu durcit la pièce par précipitation de composés intermétalliques dans la matrice aluminium.

Il s'effectue, lui aussi, à une température nettement inférieure à celle de la trempe et est suivi d'un refroidissement naturel.

Références :

<https://fr.wikiversity.org/wiki/>
<https://fr.wikipedia.org/>
<https://www.cea.fr/comprendre/Pages/physique-chimie>
Techniques de l'ingénieur

Ouvrages:

1. - Jean Pierre Mercier, Gérald Zambelli, Wilfried Kurz, *Introduction à la science des matériaux*, PPUR, 1999, [Lire en ligne \[archive\]](#)
2. *Les grandes familles de matériaux* [archive], sur technologie.clg.free.fr
3. Michael F. Ashby, *Choix des matériaux en conception mécanique*, Paris, Dunod, coll. « Technique et Ingénierie, Dunod/L'Usine nouvelle », 2012, 496 p. (ISBN 978-2-10-058968-5)
4. J.-P. Baïlon et J.-M. Dorlot, *Des matériaux*, 2000, 3^e éd., 736 p. (ISBN 978-2-553-00770-5 et 2-553-00770-1), chap. 1 (« Méthodes de caractérisation des matériaux »)
5. Jean Perdijon, *Aide-mémoire, Contrôle des matériaux*, Paris, Dunod, 2003
6. *Matériaux métalliques - 2e édition*, Dunod 2017