

Chapitre VI : Métaux non ferreux

Les principales familles, avec leurs alliages sont : l'aluminium, le cuivre, le magnésium, le zinc, le titane et le nickel. La plupart de ces matériaux sont commercialisés sous plusieurs formes ou dans des états métallurgiques différents (brut, recuit, écroui, durci), l'utilisateur choisissant l'état de livraison qui lui convient.

VI. 1. Aluminium, et alliages d'aluminium

L'aluminium a été découvert par Sainte-Claire Deville et isolé par Wöhler en 1827. Sa fabrication n'est devenue industrielle qu'en 1890, grâce à l'apparition de l'électrolyse.

VI. 1.1. Propriétés physico-chimiques de l'aluminium

- Symbole chimique : Al
- Point de fusion : $\theta_f = 660 \text{ }^\circ\text{C}$
- Structure cristalline : CFC
- Masse volumique : $\rho = 2\,700 \text{ kg/m}^3$
- Conductivité thermique : $\lambda = 237 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$
- Coefficient de dilatation linéique (à $20 \text{ }^\circ\text{C}$) : $\alpha = 23,1 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
- Résistivité électrique : $\rho = 0,0265 \text{ }\mu\Omega \cdot \text{m}$
- Caractéristiques mécaniques à $20 \text{ }^\circ\text{C}$ (Al pur) : $R_m = 70 \text{ à } 80 \text{ MPa}$, $R_e = 10 \text{ à } 20 \text{ MPa}$ (très sensible à l'écrouissage), $A \% = 50 \text{ à } 60 \%$, $E = 70\,000 \text{ MPa}$

VI.1. 2. Le minerai

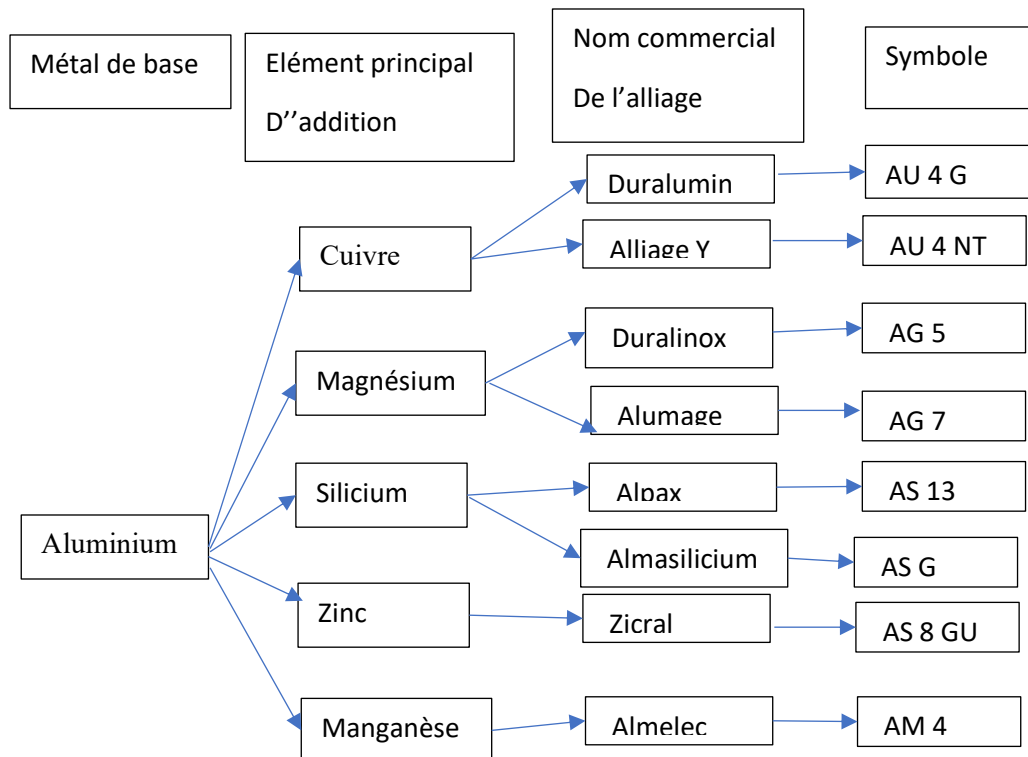
La bauxite est le minerai essentiel ; elle se présente sous deux formes : la bauxite blanche, riche en silice, et la bauxite rouge riche de fer. Les principaux pays producteurs sont les Etats-Unis, l'Afrique équatorial (Cameroun-Guinée), l'U.R.S.S., et la France.

VI.1. 3. Métallurgie

- a) Concassage du minerai, calcination à $1300 \text{ }^\circ\text{C}$ et obtention de l'alumine,
- b) Electrolyse d'un bain liquide obtenu par fusion d'un mélange d'alumine et de cryolithe.

VI.1.4. Les alliages de l'aluminium

Les éléments principaux d'addition sont le cuivre, le magnésium, le silicium, le zinc, le manganèse. Des éléments secondaires d'addition (plomb, nickel, chrome, fer, titane) judicieusement répartis améliorent les caractéristiques mécaniques, la résistance à la corrosion, l'usinabilité, le moulage ou le soudage.



• **Inconvénients** : faibles résistances à l'usure et à la fatigue. Ces alliages sont assez faciles en mise en œuvre par un grand nombre de procédés : laminage, forgeage, formage, étirage, extrusion, métallurgie des poudres. L'élasticité élevée peut gêner certains usinages. Le coefficient de dilatation important et la grande conductivité thermique imposent, à cause des dilatations, certaines précautions en soudage et en usinage.

VI. 2. Cuivre et alliages cuivreux

Le cuivre est connu depuis la plus haute antiquité ; il se trouve encore à l'état natif presque pur.

VI. 2.1. Propriétés physico-chimiques du cuivre

- Symbole chimique : Cu
- Point de fusion : $\theta_f = 1\,083\text{ °C}$
- Structure cristalline : CFC
- Masse volumique : $\rho = 8\,930\text{ kg/m}^3$
- Conductivité thermique : $\lambda = 385\text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$

- Coefficient de dilatation linéique (à 20 °C) : $\alpha = 16,6 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, Résistivité électrique $\rho = 0,0171 \mu\Omega \cdot \text{m}$ (très sensible aux impuretés)
- Caractéristiques mécaniques à 20 °C (Cu pur) : $R_m = 230 \text{ à } 350 \text{ MPa}$, $R_e = 70 \text{ à } 330 \text{ MPa}$ (très sensible à l'érouissage), $A \% = 45 \text{ à } 6 \%$ (très sensible à l'érouissage), $E = 125\,000 \text{ MPa}$

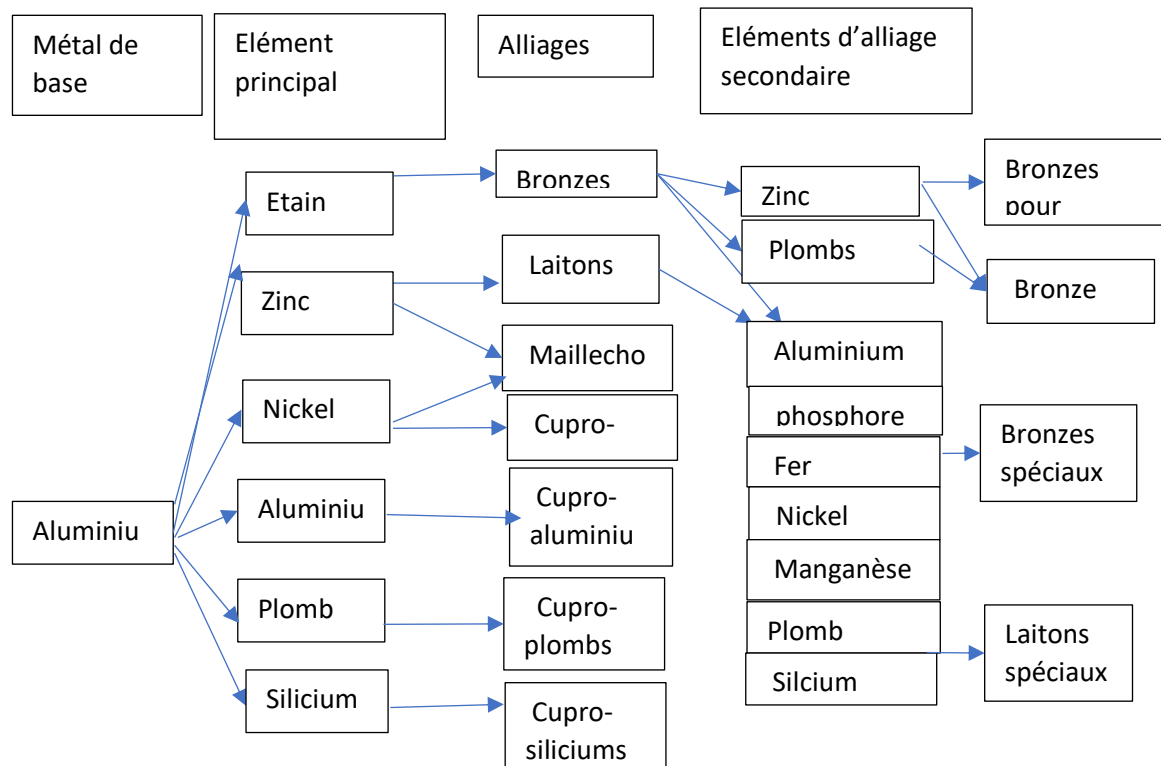
VI.2.2. Les minerais

Ce sont généralement des sulfures mélangés à des sulfures de fer oxydés. Minerais principaux : La chalcopryrite, mélange de sulfure de cuivre et de sulfure de fer. La bornite, sulfure complexe de fer et de cuivre. La cuprite, oxyde de cuivre.

VI.2.3. Métallurgie

- Préparation d'un mélange broyé et grillage.
- Fusion et séparation de la motte des scories dans des fours à étages rotatifs ou des fours à réverbère.
- Transformation de la motte encuivre noir dans un convertisseur.
- Affinage par électrolyse.

VI. 2. 4. Les alliages de cuivre



VI.3. Zinc et alliage de zinc**VI.3.1. Propriétés physico-chimiques du zinc**

- Point de fusion : $\theta_f = 418^\circ\text{C}$
- Structure cristalline : HC
- Masse volumique : $\rho = 7\,100\text{ kg/m}^3$
- Conductivité thermique : $\lambda = 113\text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$
- Coefficient de dilatation linéique (à 20°C) : $\alpha = 29 \cdot 10^{-6}\text{ K}^{-1}$
- Résistivité électrique : $\rho = 0,0592\text{ }\mu\Omega \cdot \text{m}$
- Caractéristiques mécaniques à 20°C : $R_m = 200\text{ à }300\text{ MPa}$, $R_e = 160\text{ à }200\text{ MPa}$, $A\% = 10\text{ à }30\%$, $E = 93\,000\text{ MPa}$

VI.3. 2. Les minerais

Les minerais de zinc se trouvent dans la nature sous deux formes principales : d'une part, les variétés sulfurées, blende (ou sphalérite) et wurtzite ; d'autre part, les variétés oxydées, smithsonite, hydrozincite (carbonates), franklinite, zincite (oxydes), hémimorphite (ou calamine), willemite (silicates).

VI.3.3. Métallurgie

La métallurgie extractive du zinc est l'ensemble des opérations permettant la fabrication de zinc métallique à partir du minerai, ou plus rarement à partir de déchets métallurgiques, d'aciéries notamment. Le minerai est préalablement traité par flottation afin de séparer, le sulfure de sa gangue.

VI. 3.4. Les alliages de zinc

La fonderie sous pression est le domaine le plus large dans lequel sont appliqués les alliages de zinc affiné dits de haute qualité, couramment désignés sous le nom de marque "ZAMAK®". Le processus de moulage sous pression permet de produire des pièces de façon économique en grandes séries tout en respectant des tolérances dimensionnelles très serrées. En modifiant les quantités des éléments entrant dans la composition de l'alliage souhaité, on obtient différentes propriétés physiques et mécaniques. Les alliages de zinc sont livrés sous forme de lingots.

Les alliages sont produits selon la demande de client mais les plus demandés sont le Zamak 5 et le Zamak3 dont les caractéristiques sont données dans le tableau suivant :

<i>Désignations</i>	<i>Nomenclatures</i>	<i>Constituants</i>	<i>%Max.</i>	<i>%Min</i>
ZA₄G	Zamak3	Al Mg Zn	4,30 0,06 95,64	3,90 0,03 96,07
ZA₄U₁G	Zamak5	Al Mg Cu Zn	4,30 0,06 1,25 94,39	3,90 0,03 0,75 95,32

VI. 4. Magnésium et alliages de magnésium

VI. 4.1. Propriétés physico-chimiques du magnésium

- Point de fusion : $\theta_f = 650^\circ\text{C}$
- Structure cristalline : HC
- Masse volumique : $\rho = 1\,740\text{ kg/m}^3$
(le plus léger de tous les métaux susceptibles d'un emploi industriel)
- Conductivité thermique : $\lambda = 146\text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$
- Coefficient de dilatation linéique (à 20°C) : $\alpha = 27,6 \cdot 10^{-6}\text{ K}^{-1}$ Résistivité électrique :
 $\rho = 0,0445\text{ }\mu\Omega \cdot \text{m}$
- Caractéristiques mécaniques à 20°C (Mg pur, très sensibles à la taille du grain) : $R_m = 50\text{ à }200\text{ MPa}$, $R_e = 10\text{ à }200\text{ MPa}$, $A\% = 2\text{ à }12\%$, $E = 47\,000\text{ MPa}$

Le magnésium possède des propriétés électrochimiques fortement anodiques, une grande électronégativité par rapport à l'acier, d'où son utilisation comme anodes sacrificielles pour la protection contre la corrosion.

VI.4.2. Les minerais

Extrait de la dolomite, de la giobertite et de la carnallite.

VI. 4.3. Métallurgie

Elaboration par électrolyse ou par réduction thermique. Affinage à 99,99 % de pureté.

VI.4.4. Les alliages de magnésium

Les propriétés du magnésium peuvent être sensiblement améliorées par les additions de zinc, d'aluminium, de manganèse et de zirconium. Les alliages de magnésium sont caractérisés par leur faible densité et leur haute résistance. Le plus souvent, on emploie les alliages de magnésium avec l'aluminium (jusqu'à 10 %), le zinc (5 à 6)%, le manganèse (jusqu'à 2,5 %) et le zirconium (jusqu'à 1,5%).

Le tableau, ci-dessous, représente la composition et les propriétés de certains alliages de magnésium.

Désignation	Composition en %			$\sigma_{0,02}$ (Kp/mm ²)	R (Kp/mm ²)	A (%)
	Al	Zn	Mn			
G-Mg Al16 Zn3	5,5 à 6,3	2,5 à 3,3	0,1 à 0,5	8 à 12	16 à 22	3 à 9
G-Mg Al19 Zn	8,0 à 9,0	0,1 à 0,8	0,1 à 0,5	14 à 19	23 à 30	7 à 15
G-Mg Mn2	-	-	1,5 à 2,0	1 à 1,4	7 à 13	3 à 9
Mg Al3 Zn1	2,5 à 3,5	0,5 à 1,1	0,1 à 0,3	16 à 23	24 à 30	10 à 21
Mg Al8 Zn	7,5 à 9,0	0,3 à 0,6	0,1 à 0,3	18 à 27	29 à 35	8 à 17
Mg Mn2	< 0,3	< 0,3	1,4 à 2,3	14 à 25	21 à 31	1 à 11

Références bibliographiques

1. L.M. Dorlot, J.P. Baillon, J. Masounave. "Des Matériaux". Ed. école Polytechnique de Montréal.
2. Y. Adda, J.M. Dupouy, J. Philibert, Y. Quere. "Éléments de métallurgie physique". La Documentation Française, Paris.
3. W. Kurz, J.P. Mercier, G. Zambelli. "Introduction à la science des matériaux", coll (traité des matériaux), vol. 1. Presse Polytechniques Romandes, Lausanne.
4. H. De Leiris. "Métaux et alliages". Masson, Paris

