

# Alliages d'Aluminium

Dans la production de pièces en aluminium, l'aluminium pur n'est presque jamais utilisé. On utilise des alliages, le choix de ce dernier est primordial car il détermine les propriétés des pièces finales.

Il existe deux grandes familles d'alliages d'aluminium, en fonction du procédé de fabrication :

- Les alliages de corroyage (*Wrought* en anglais) sont mis en forme à partir d'une forme brute, en utilisant des procédés tels que l'usinage CNC, le forgeage et l'extrusion.
- Les alliages de fonderie (casting) sont mis en forme en faisant fondre le métal et en le versant dans un moule.

## Désignation de trempe

L'aluminium est souvent soumis à un traitement après fabrication, tel qu'un traitement thermique, un recuit (annealing) ou un traitement chimique. La désignation de trempe est un système utilisé pour indiquer le traitement spécifique qu'un alliage a subi. Il est commun aux deux systèmes d'alliages et suit le code d'alliage, séparé par un tiret, une lettre et éventuellement un à trois chiffres (par exemple, 6061-T6).

Les différentes désignations de trempe sont les suivantes :

- **-F** : tel que fabriqué
- **-H** : écroui (déformé à froid) avec ou sans traitement thermique
  - **-H1** : écroui sans traitement thermique
  - **-H2** : écroui et partiellement recuit
  - **-H3** : écroui et stabilisé par chauffage à basse température
- Le deuxième chiffre de la désignation -H indique le degré de dureté :
  - **-HX2** = 1/4 dur
  - **-HX4** = 1/2 dur
  - **-HX6** = 3/4 dur
  - **-HX8** = plein dur
  - **-HX9** = extra dur
- **-O** : recuit
- **-T** : traité thermiquement pour produire des trempes stables
  - **-T1** : refroidi après déformation à chaud et vieilli naturellement (à température ambiante)
  - **-T2** : refroidi après déformation à chaud, déformé à froid et vieilli naturellement
  - **-T3** : traité thermiquement en solution et déformé à froid
  - **-T4** : traité thermiquement en solution et vieilli naturellement

- **-T5** : refroidi après déformation à chaud et vieilli artificiellement (à température élevée)
  - **-T51** : soulagé par étirement
  - **-T510** : pas de redressage supplémentaire après étirement
  - **-T511** : redressage mineur après étirement
  - **-T52** : soulagé par traitement thermique
- **-T6** : traité thermiquement en solution et vieilli artificiellement
  - **-T651** : traité thermiquement en solution, soulagé par étirement et vieilli artificiellement
- **-T7** : traité thermiquement en solution et stabilisé
- **-T8** : traité thermiquement en solution, déformé à froid et vieilli artificiellement
- **-T9** : traité thermiquement en solution, vieilli artificiellement et déformé à froid
- **-T10** : refroidi après déformation à chaud, déformé à froid et vieilli artificiellement
- **-W** : traité thermiquement en solution uniquement

**NB** : **-W** est une désignation intermédiaire relativement molle qui s'applique après le traitement thermique et avant que le vieillissement ne soit terminé. La condition **-W** peut être prolongée à des températures extrêmement basses, mais pas indéfiniment, et selon le matériau, elle durera généralement pas plus de 15 minutes à température ambiante.

## Les grades de CNC

Je fais un abus de langage en utilisant le terme CNC, mais je pense que ça parle plus que le *corroyage*, j'entends donc par CNC l'ensemble des techniques d'usinage qui ne relèvent pas de la fonderie.

Le système le plus couramment utilisé pour classer les grades d'aluminium est le système à quatre chiffres, qui est basé sur les éléments d'alliage et la trempe du métal.

Le premier chiffre du code à quatre chiffres indique l'élément d'alliage majeur :

- **1xxx**: 99% ou plus d'aluminium, avec une petite quantité d'éléments d'alliage ajoutés pour une meilleure résistance à la corrosion et à la formabilité.
- **2xxx**: Alliages d'aluminium-cuivre, qui ont une haute résistance et une bonne résistance à la fatigue, mais sont sensibles à la corrosion.
- **3xxx**: Alliages d'aluminium-manganèse, qui ont une résistance modérée et une bonne résistance à la corrosion.
- **4xxx**: Alliages d'aluminium-silicium, qui sont utilisés pour les coulées et ont une bonne fluidité et une faible rétraction.
- **5xxx**: Alliages d'aluminium-magnésium, qui ont une haute résistance et une bonne résistance à la corrosion, et sont couramment utilisés dans les industries automobile et aérospatiale.
- **6xxx**: Alliages d'aluminium-magnésium-silicium, qui ont une bonne formabilité et soudabilité, et sont couramment utilisés dans les industries de la construction et de

l'automobile.

- **7xxx**: Alliages d'aluminium-zinc, qui ont une haute résistance et une bonne résistance à la fatigue, mais sont sensibles à la corrosion.
- **8xxx**: Alliages d'aluminium-autres, qui ne sont pas couverts par les autres catégories.

Le deuxième chiffre du code indique les modifications apportées à l'élément d'alliage majeur ou les autres éléments d'alliage qui ont été ajoutés.

Les troisième et quatrième chiffres du code indiquent l'alliage spécifique et l'association d'aluminium qui l'a développé. Par exemple, 6082 alliage avec environ 0,7-1,2 % Mg, 0,7-1,3 % Si, avec de petites quantités de manganèse et de cuivre.

## Série 1xxx - Aluminium pur à 99% +

La série 1 de l'aluminium fait référence à un matériau contenant 99% d'aluminium pur ou plus. Il a une **excellente résistance à la corrosion** et une **conductivité électrique et thermique**. Ductile à l'état pur, cela rend le matériau idéal pour les applications électriques ou l'utilisation externe où il est exposé aux éléments, mais peu adapté aux situations où la force est essentielle.

## Série 2xxx - Alliage de cuivre

Les alliages d'aluminium de la série 2000 sont principalement des alliages d'aluminium-cuivre. Ils sont reconnus pour leur haute résistance, comparable à celle de certains aciers, et sont souvent utilisés dans l'industrie aéronautique et aérospatiale. Cependant, leur résistance à la corrosion est inférieure à celle des autres séries d'aluminium, et ils nécessitent souvent un traitement de surface pour améliorer cette caractéristique.

On peut les protéger par placage. Cependant, autrefois très utilisé dans l'aérospatiale, ces alliages sont souvent remplacé par la Série 7xxx.

- **Composition** : Ces alliages contiennent principalement de l'aluminium et du cuivre (3-6 %), avec d'autres éléments tels que le magnésium, le manganèse, et le zinc en quantités variables.
- **Résistance à la corrosion** : Moins bonne que les autres séries, nécessitant souvent un revêtement protecteur.
- **Traitabilité thermique** : Très bonne, ces alliages peuvent être durcis par traitement thermique.
- **Travail à froid** : Limitée comparée aux autres séries en raison de leur dureté.
- **Soudabilité** : Moyenne à faible, nécessitant des techniques spécifiques pour éviter les fissures et la perte de propriétés mécaniques.

## Applications typiques

Les alliages d'aluminium de la série 2000 sont utilisés dans des applications nécessitant une haute résistance et de bonnes performances mécaniques.

Quelques exemples d'applications :

- **Industrie aéronautique et aérospatiale** : Pièces de structure, composants de fuselage, ailes, et réservoirs de carburant.
- **Industrie automobile** : Composants de suspension, châssis.
- **Applications militaires** : Composants de véhicules blindés, équipements de combat.
- **Fabrication d'outillage** : Matrices, moules, et outils nécessitant une haute résistance.

En résumé, les alliages d'aluminium de la série 2000 sont des matériaux à haute résistance, adaptés à des applications exigeantes où les propriétés mécaniques sont prioritaires. Ils nécessitent toutefois des traitements spécifiques pour améliorer leur résistance à la corrosion et pour optimiser leurs performances en service.

## Série 3xxx - Alliage de manganèse

L'aluminium de la série 3 est allié avec du manganèse, ce qui en fait un compromis entre la série 1 et la série 2. Il a une augmentation modérée de la rigidité par rapport à la série 1 sans affecter autant la résistance à la corrosion que la série 2.

Ils sont connus pour leur bonne résistance à la corrosion, leur formabilité, et leur bonne soudabilité. Cela en fait un choix populaire dans les grades d'aluminium et est souvent trouvé dans la toiture, les réservoirs de stockage, les portes de garage et les articles de cuisine.

- **Composition** : Principalement composés d'aluminium avec environ 1-1,5 % de manganèse. Ils peuvent contenir d'autres éléments en petites quantités pour améliorer certaines propriétés.
- **Résistance à la corrosion** : Excellente, surtout en environnements marins ou industriels.
- **Formabilité** : Très bonne, ce qui les rend idéaux pour des applications nécessitant un formage complexe.
- **Soudabilité** : Bonne, ce qui facilite les assemblages par soudure.
- **Travail à froid** : Ces alliages peuvent être renforcés par le travail à froid (écrouissage).

## Applications typiques

Les alliages d'aluminium de la série 3000 sont utilisés dans de nombreuses applications en raison de leurs bonnes propriétés mécaniques et leur excellente résistance à la corrosion. Voici quelques exemples d'applications :

- **Industrie alimentaire** : Contenants, emballages, et ustensiles de cuisine.
- **Bâtiment** : Toitures, bardages, et gouttières.
- **Transport** : Réservoirs de carburant, panneaux de carrosserie.

- **Échangeurs de chaleur** : Ailettes et tubes.

En résumé, les alliages d'aluminium de la série 3000 sont des matériaux polyvalents et performants, adaptés à une large gamme d'applications nécessitant une bonne résistance mécanique, une excellente résistance à la corrosion, et une bonne formabilité.

## Série 4xxx - Alliage de silicium

Les alliages d'aluminium de la série quatre sont principalement formés avec du silicium, ce qui abaisse le point de fusion de l'aluminium sans provoquer de fragilité et en fait le grade idéal pour le soudage et la fonte.

Il est couramment utilisé pour les matériaux de remplissage de brasage et les composants nécessitant une bonne résistance à la fatigue thermique, comme les pistons automobiles.

- **Composition** : Principalement composés d'aluminium avec des teneurs en silicium variant généralement entre 4 % et 12 %. Le silicium améliore la coulabilité et réduit le point de fusion.
- **Résistance à la corrosion** : Bonne, améliorée par la teneur en silicium.
- **Propriétés de fonderie** : Excellentes, le silicium améliore la fluidité du métal fondu et réduit la contraction à la solidification.
- **Soudabilité** : Bonne, souvent utilisé comme alliage d'apport pour le soudage d'autres alliages d'aluminium.
- **Traitabilité thermique** : Ces alliages ne peuvent généralement pas être durcis par traitement thermique, mais certains peuvent être renforcés par écrouissage.

## Applications typiques

Les alliages d'aluminium de la série 4000 sont utilisés dans diverses applications grâce à leur bonne coulabilité et leur résistance à la corrosion :

- **Soudage et brasage** : Alliages de la série 4000 sont couramment utilisés comme alliages d'apport pour le soudage et le brasage de divers alliages d'aluminium.
- **Industrie automobile** : Pièces de moteur telles que les pistons (alliage 4032), où la résistance à l'usure et la stabilité dimensionnelle à haute température sont importantes.
- **Fonderie** : Composants coulés nécessitant une bonne fluidité et une faible contraction lors de la solidification.
- **Architecture et construction** : Matériaux de revêtement et éléments décoratifs grâce à leur bonne résistance à la corrosion et leur capacité à prendre des finitions attrayantes.

En conclusion, les alliages d'aluminium de la série 4000 sont particulièrement adaptés aux applications nécessitant une bonne coulabilité, une résistance à la corrosion et une bonne soudabilité. Bien qu'ils ne soient pas aussi résistants mécaniquement que certains alliages des séries 2000 ou 7000, ils offrent des avantages spécifiques dans les applications de soudage, de brasage et de coulée.

# Serie 5xxx – Alliage de magnésium

Les alliages d'aluminium de la série 5000 sont principalement des alliages d'aluminium-magnésium. Ils sont reconnus pour leur excellente résistance à la corrosion, leur haute résistance mécanique, et leur bonne formabilité. Ces alliages sont particulièrement adaptés pour des applications dans des environnements marins et industriels agressifs.

- **Composition** : Principalement composés d'aluminium avec des pourcentages de magnésium allant de 0,5 % à 5 %. Certains alliages peuvent également contenir de petites quantités de manganèse, de fer, de silicium, et de chrome pour améliorer certaines propriétés.
- **Résistance à la corrosion** : Excellente, surtout en environnements marins et industriels.
- **Résistance mécanique** : Modérée à élevée, améliorable par écrouissage (travail à froid).
- **Formabilité** : Très bonne, ce qui les rend idéaux pour des applications nécessitant un formage complexe.
- **Soudabilité** : Excellente, avec une bonne résistance des joints soudés.

## Applications typiques

Les alliages d'aluminium de la série 5000 sont utilisés dans diverses applications nécessitant une excellente résistance à la corrosion, une bonne formabilité, et une résistance mécanique adéquate :

- **Industrie maritime** : Coques de bateaux, structures de navires, équipements marins.
- **Transport** : Réservoirs de carburant, carrosseries de camions, remorques, véhicules blindés.
- **Construction** : Panneaux de façade, toitures, éléments architecturaux.
- **Réservoirs et conteneurs** : Réservoirs de stockage, conteneurs sous pression.
- **Industrie alimentaire** : Équipements de transformation alimentaire, conteneurs de stockage.

En résumé, les alliages d'aluminium de la série 5000 offrent un excellent équilibre entre résistance mécanique, formabilité, et résistance à la corrosion, ce qui les rend particulièrement adaptés pour des applications dans des environnements marins, industriels, et de transport.

Leur bonne soudabilité et leur aptitude à être formés en font des matériaux polyvalents pour une large gamme de pièces mécaniques et de structures.

# Serie 6xxx – Alliage de magnésium et silicium

Pour les pièces mécaniques nécessitant une combinaison de résistance, de durabilité, de formabilité et de bonne résistance à la corrosion, les alliages d'aluminium de la série 6000 sont

souvent les plus appropriés. Ces alliages sont principalement composés d'aluminium, de magnésium et de silicium, et sont très polyvalents, ce qui les rend adaptés à une large gamme d'applications mécaniques.

- **Composition** : Principalement composés d'aluminium avec du magnésium (0,6-1,2 %) et du silicium (0,4-1,0 %).
- **Résistance mécanique** : Modérée à élevée, avec une bonne combinaison de résistance à la traction et de limite d'élasticité.
- **Résistance à la corrosion** : Excellente, meilleure que celle des séries 2000 et 7000.
- **Traitabilité thermique** : Bonne, ces alliages peuvent être durcis par traitement thermique.
- **Formabilité** : Très bonne, ce qui permet une mise en forme complexe.
- **Soudabilité** : Excellente, ce qui facilite les assemblages par soudure.

## Propriétés mécaniques spécifiques

Voici quelques alliages typiques de la série 6000 et leurs propriétés mécaniques courantes :

- **6061**
  - **Composition** : Environ 0,8-1,2 % Mg, 0,4-0,8 % Si, avec de petites quantités de cuivre, de fer, et de chrome.
  - **Limite d'élasticité** ( $R_{p0,2}$ ) : 240-310 MPa
  - **Résistance à la traction** ( $R_m$ ) : 260-350 MPa
  - **Allongement à la rupture** : 8-17 %
  - **Dureté** (HB) : 95-105
- **6063**
  - **Composition** : Environ 0,45-0,9 % Mg, 0,2-0,6 % Si, avec de petites quantités de fer, de cuivre, et de manganèse.
  - **Limite d'élasticité** ( $R_{p0,2}$ ) : 215-240 MPa
  - **Résistance à la traction** ( $R_m$ ) : 240-290 MPa
  - **Allongement à la rupture** : 10-18 %
  - **Dureté** (HB) : 70-80
- **6082**
  - **Composition** : Environ 0,7-1,2 % Mg, 0,7-1,3 % Si, avec de petites quantités de manganèse et de cuivre.
  - **Limite d'élasticité** ( $R_{p0,2}$ ) : 260-310 MPa
  - **Résistance à la traction** ( $R_m$ ) : 310-350 MPa
  - **Allongement à la rupture** : 8-12 %
  - **Dureté** (HB) : 95-105

## Applications typiques

Les alliages d'aluminium de la série 6000 sont utilisés dans de nombreuses applications mécaniques en raison de leur bonne combinaison de propriétés mécaniques et de résistance à la corrosion. Voici quelques exemples d'applications :

- **Construction** : Structures, charpentes, et échafaudages.
- **Transport** : Composants automobiles (châssis, carrosserie), cadres de bicyclettes, et éléments de transport ferroviaire.
- **Industrie maritime** : Bateaux, ponts, et plateformes.
- **Équipements industriels** : Pièces de machines, équipements de fabrication, et profilés extrudés.
- **Électronique** : Boîtiers et châssis pour appareils électroniques.

En résumé, les alliages d'aluminium de la série 6000 offrent une excellente combinaison de résistance mécanique, de formabilité, de soudabilité et de résistance à la corrosion, ce qui les rend très polyvalents et adaptés à une large gamme de pièces mécaniques.

## Serie 7xxx – Alliage de zinc

Pour les pièces mécaniques nécessitant une haute résistance, les alliages d'aluminium de la série 7000 sont généralement les plus convenables. Ces alliages sont principalement composés d'aluminium et de zinc, avec des ajouts de magnésium et de cuivre, et sont connus pour leur excellente résistance mécanique et leur durabilité.

Voici un aperçu des principales caractéristiques de cette série d'alliages :

- **Composition** : Principalement composés d'aluminium avec des pourcentages élevés de zinc (jusqu'à 8 %), ainsi que des ajouts de magnésium et de cuivre pour améliorer les propriétés mécaniques.
- **Résistance mécanique** : Très élevée, souvent la plus haute parmi les alliages d'aluminium.
- **Traitabilité thermique** : Très bonne, ces alliages peuvent être significativement durcis par traitement thermique.
- **Résistance à la corrosion** : Variable, mais généralement inférieure à celle des séries 5000 et 6000 ; souvent améliorée par des traitements de surface ou des revêtements.
- **Usinabilité** : Bonne, bien que la dureté élevée puisse poser des défis pour certaines opérations d'usinage.
- **Soudabilité** : Moyenne à faible, nécessitant des techniques spéciales pour éviter les fissures.

## Propriétés mécaniques spécifiques

Voici quelques alliages typiques de la série 6000 et leurs propriétés mécaniques courantes :

- **7075**
  - **Composition** : Environ 5,6-6,1 % Zn, 2,1-2,5 % Mg, 1,2-1,6 % Cu.
  - **Limite d'élasticité** (Rp0,2) : 503-524 MPa
  - **Résistance à la traction** (Rm) : 572-621 MPa
  - **Allongement à la rupture** : 11-13 %
  - **Dureté** (HB) : 150-160

- **7050**

- **Composition** : Environ 5,7-6,7 % Zn, 2,0-2,6 % Mg, 2,0-2,6 % Cu, 0,12 % Zr.
- **Limite d'élasticité** (Rp0,2) : 455-500 MPa
- **Résistance à la traction** (Rm) : 520-570 MPa
- **Allongement à la rupture** : 8-10 %
- **Dureté** (HB) : 160-180

- **7475**

- **Composition** : Environ 5,2-6,2 % Zn, 1,9-2,6 % Mg, 1,2-1,9 % Cu.
- **Limite d'élasticité** (Rp0,2) : 455-485 MPa
- **Résistance à la traction** (Rm) : 540-590 MPa
- **Allongement à la rupture** : 10-12 %
- **Dureté** (HB) : 150-170

## Applications typiques

Les alliages d'aluminium de la série 7000 sont utilisés dans des applications où la haute résistance est critique. Voici quelques exemples d'applications :

- **Industrie aéronautique et aérospatiale** : Composants de structure, ailes, fuselages, et trains d'atterrissage.
- **Sports et loisirs** : Cadres de bicyclettes, équipements de sport (clubs de golf, bâtons de hockey).
- **Industrie automobile** : Composants de châssis, pièces de suspension haute performance.
- **Applications militaires** : Véhicules blindés, équipements de défense.

En conclusion, pour des pièces mécaniques nécessitant une haute résistance, les alliages d'aluminium de la série 7000 sont généralement les plus appropriés en raison de leur excellente résistance mécanique, bien que des précautions doivent être prises pour gérer leur résistance à la corrosion et leur soudabilité.

## Comparaison et recommandations

Pour les pièces mécaniques, les alliages d'aluminium doivent offrir une combinaison de haute résistance, de bonne résistance à la corrosion, de légèreté, et de résistance à la fatigue. Les alliages d'aluminium des séries 7000 et 6000 sont les plus couramment utilisés dans cette application en raison de leurs excellentes propriétés mécaniques.

Série 7000 (ex. 7075) : Recommandée pour les composants critiques où la résistance maximale est requise, tels que les cadres et les bras oscillants, mais nécessite une attention particulière pour la résistance à la corrosion, souvent traitée par anodisation ou autre revêtement protecteur.

Série 6000 (ex. 6061, 6082) : Recommandée pour les composants où un bon équilibre entre résistance, soudabilité, et résistance à la corrosion est nécessaire. Ces alliages sont souvent utilisés pour les pièces de suspension et les supports.

En conclusion, les alliages de la série 7000, en particulier le 7075, sont les plus adaptés pour les pièces nécessitant une haute résistance mécanique. Les alliages de la série 6000, tels que le 6061 et le 6082, sont également largement utilisés pour leurs bonnes propriétés mécaniques et leur excellente soudabilité et résistance à la corrosion.

---

Révision #3

Créé 10 juin 2024 13:04:39 par Buzut

Mis à jour 13 juin 2024 11:51:58 par Buzut