

Fabriqués industriellement depuis 1886 à partir des bauxites (Al₂O₃, Al(OH)₃) et de la cryolithe, ces métaux sont les plus utilisés juste après les fontes et les aciers. Les aluminiums et alliages, avec les magnésiums, sont classés dans la catégorie des alliages légers et font partie des métaux dits structuraux (utilisés pour fabriquer des bâtis...). Principales applications : transports (aéronautique, automobile...), génie civil, génie électrique, containers, emballages, composants mécaniques (fonderie...), etc. Par exemple, près de 70% de la masse d'un avion de ligne est constitué d'aluminium.

aéronautique et espace
(les plus gros utilisateurs d'aluminium)

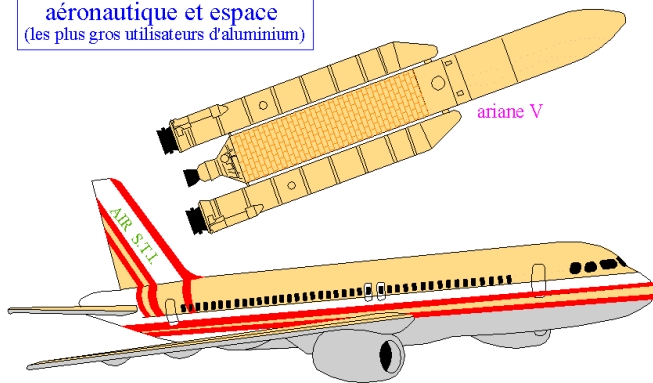
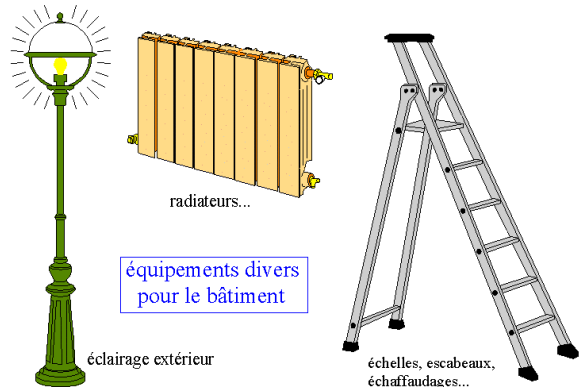
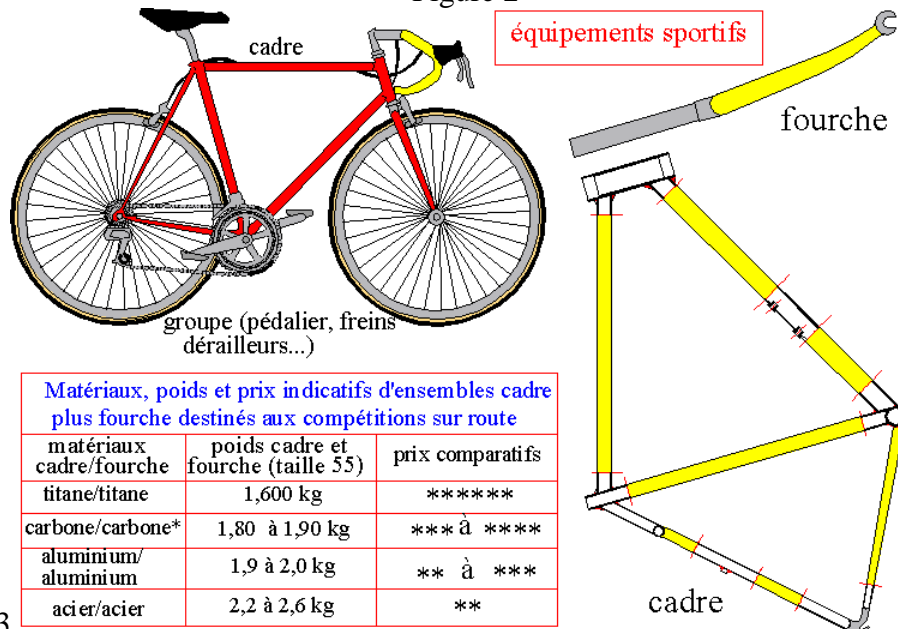


Figure 1



équipements divers pour le bâtiment

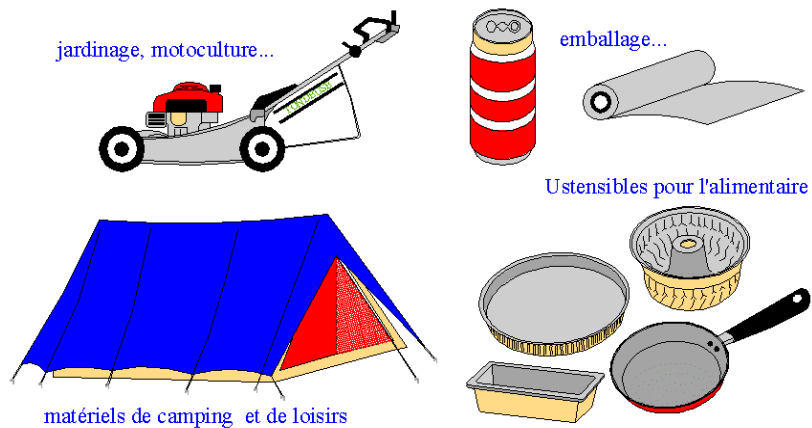
Figure 2



équipements sportifs

Matériaux, poids et prix indicatifs d'ensembles cadre plus fourche destinés aux compétitions sur route		
matériaux cadre/fourche	poids cadre et fourche (taille 55)	prix comparatifs
titane/titane	1,600 kg	*****
carbone/carbone*	1,80 à 1,90 kg	*** à ****
aluminium/aluminium	1,9 à 2,0 kg	** à ***
acier/acier	2,2 à 2,6 kg	**

Figure 3



jardinage, motoculture...

emballage...

Ustensiles pour l'alimentaire

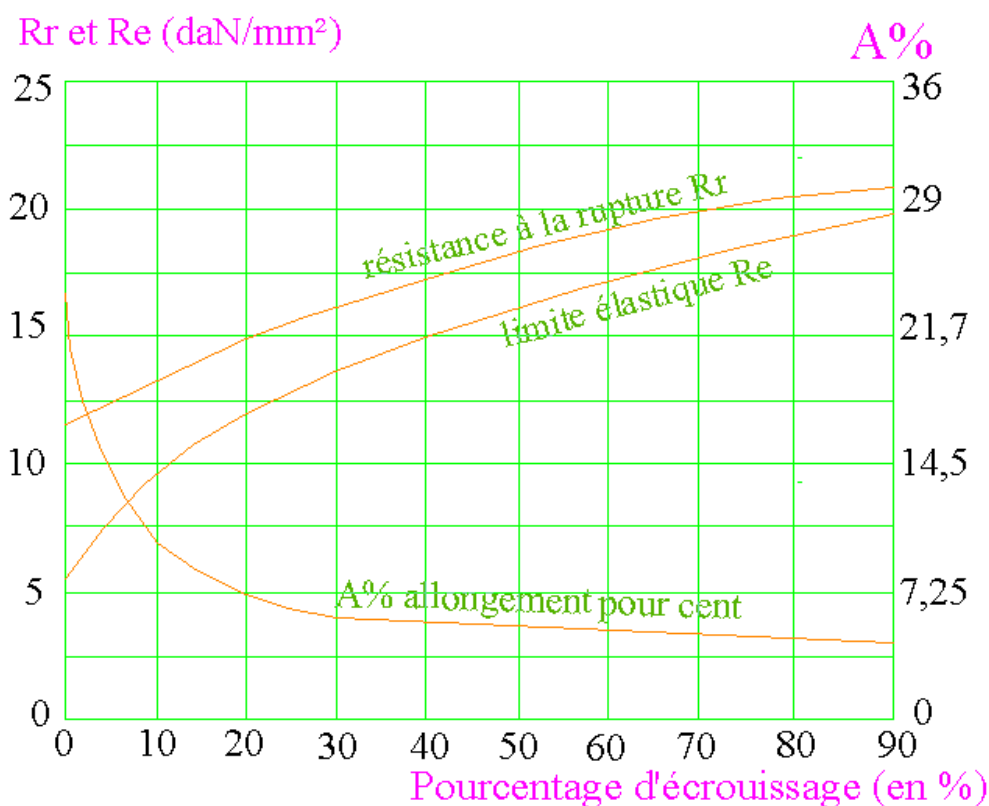
matériels de camping et de loisirs

Figure 4

1. Principales caractéristiques

- L'aluminium a un bas point de fusion (658°C), une ductilité élevée ($A\% \approx 40\%$), est assez léger (densité 2,7), a de bonnes propriétés électriques (conductivité égale à 60% de celle du cuivre), une bonne conductibilité thermique (5 fois celle des aciers), un coefficient de dilatation thermique 1,5 fois celui des aciers et des propriétés réfléchissantes.
- $E \approx 67 \text{ Gpa}$; $G \approx 27 \text{ Gpa}$; $\nu \approx 0,34$. Sa structure cristalline est cubique à faces centrées.
- Il présente un bon rapport résistance/poids, ce qui explique les nombreuses applications dans le domaine des transports.
- Sa résistance à la corrosion est élevée car le métal, bien que très oxydable, se couvre, au contact de l'air, d'une couche d'oxyde protectrice (couche naturelle étanche d'alumine $< 0,1 \mu\text{m}$). Les éléments d'addition diminuent plus ou moins cette résistance.
- Les alliages ont une bonne résistance mécanique pouvant être modifiée par écrouissage ou par recuit (adoucissement).
- Inconvénients : faibles résistances à l'usure et à la fatigue.
- Normes NF EN 485, 515, 573...

Figure



5

2. Mise en œuvre

Elle est assez facile par un grand nombre de procédés : laminage, moulage, forgeage, formage, filage, étirage, extrusion, métallurgie des poudres, usinage...

Le coefficient de dilatation important et la grande conductivité thermique imposent, à cause des dilatations, certaines précautions en soudage et en usinage. L'élasticité, assez élevée, peut être une gêne dans certains cas d'usinages. La soudabilité (MIG, TIG...) dépend de la trempe et du revenu pratiqués sur l'alliage.

3. Traitements thermiques

Ils sont tout à fait différents de ceux des aciers. Après trempe, le durcissement est obtenu par vieillissement naturel ou maturation à température ambiante, ou par revenu à température élevée.

Les alliages avec le cuivre, le silicium, le zinc et ceux avec le magnésium plus le silicium sont dits trempants ; ils sont dits avec durcissement structural.

L'aluminium pur, les alliages avec le manganèse et le magnésium ne sont pas trempants ; ils sont dits sans durcissement structural.

4. Traitements de surface

Les traitements de surface possibles sont nombreux : traitements mécaniques (sablage, polissage...), chimiques (décapage, brillantage...), par peintures (primaire + peinture), dépôts électrolytiques (cuvrage, nickelage, cadmiage, chromage...), anodisation (propre à l'aluminium, couche protectrice et décorative de 10 à 20 µm).

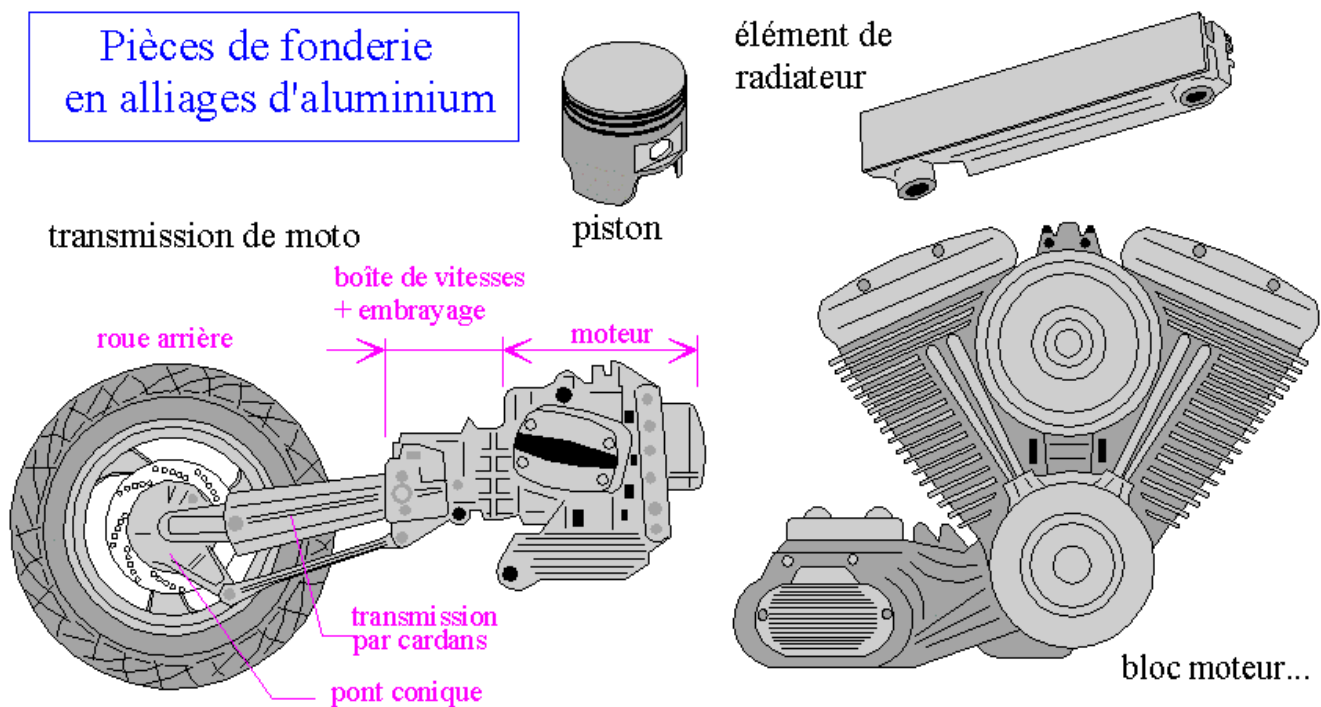
Les aspects brillants peuvent être obtenus par polissage mécanique, brillantage chimique ou électrolytique, les aspects mats obtenus par brossage, sablage, satinage, décapage...

Anodisation : le traitement, en milieu sulfurique (ou chromatique...), crée en surface une couche poreuse d'alumine (5 à 30 µm) qu'il est possible de colorer. Après coloration, la couche est colmatée (eau bouillante...), devient compacte, continue, étanche, transparente et isolante ("électriquement").

5. Principales nuances normalisées

Deux grandes familles : les aluminiums corroyés, obtenus par déformation plastique (laminage...) et les aluminiums pour la fonderie. Les compositions et les microstructures des deux familles sont assez différentes et chacune se divise en deux groupes : ceux pouvant être traités thermiquement et ceux ne pouvant pas être traités ou non trempants.

Figure



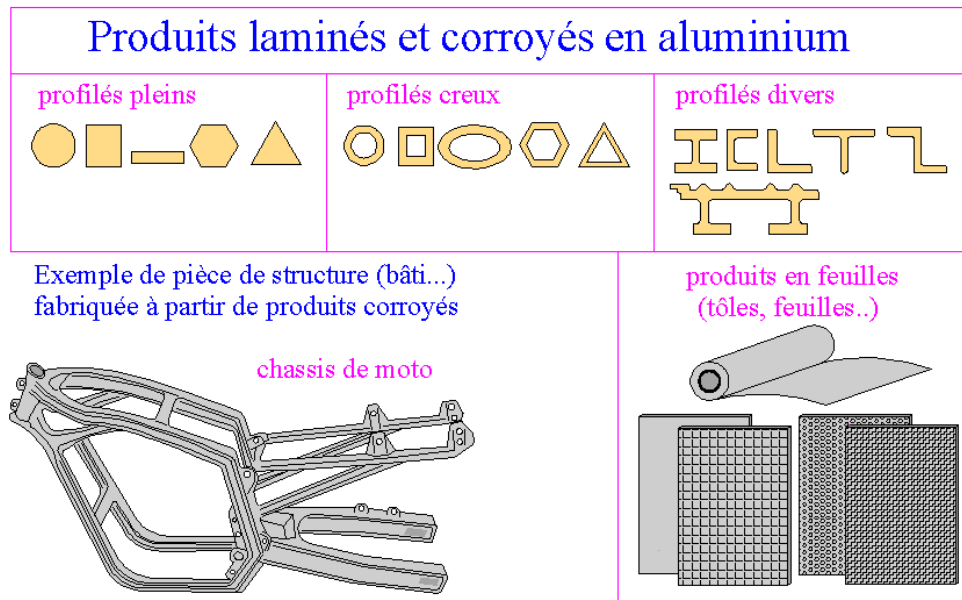


Figure 7

Les aluminiums de pointe : les alliages aluminium plus lithium, "Al + Li", pour l'aéronautique et l'espace, sont les plus récents (jusqu'à 4% de Li). La masse volumique du lithium, la plus faible de tous les métaux, est de 0,534 kg par litre (densité 0,534). De ce fait, ces alliages sont environ 10% plus légers que les autres. Lorsqu'on ajoute 1% de Li, la densité diminue de 3% et la résistance augmente de 6% ainsi que le module d'élasticité. La maturation est possible. Applications : planchers, carlingues et pièces de structure d'avion.

6. Aluminium et alliages corroyés

Cette famille, la plus utilisée, comprend tous les produits laminés d'usage courant : barres, profilés, tôles, plaques, bandes ; les produits filés et étirés ; les fils ; les produits forgés ou destinés à la forge, etc. Sont exclus : les produits moulés, les lingots de refusion, les composites utilisant l'aluminium et ceux issus de la métallurgie des poudres.

Les séries 1***, 3***, 5*** et la plupart des 4*** ne peuvent pas être traitées, sont dites non trempantes ou sans durcissement structural. Cependant, leurs caractéristiques peuvent être modifiées par écrouissage ("durcissement mécanique") ou par modification de la grosseur du grain. De plus, comme la solubilité des éléments d'alliage est faible dans l'aluminium à température ambiante, leur capacité de durcissement par mise en solution ou maturation est très limitée.

Les séries 2***, 6*** et 7*** peuvent être traitées et sont dites trempantes ou avec durcissement structural. Bien qu'il soit possible d'avoir un bon rapport résistance/poids avec ces alliages, leur capacité à précipiter ou à se transformer reste modérée. De plus, en utilisation au-dessus de 175°C les traitements disparaissent.

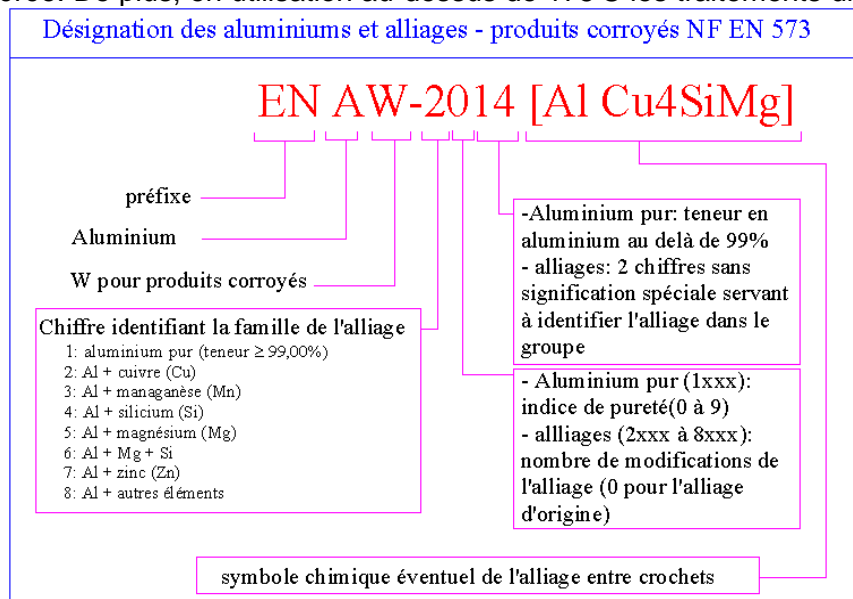


Figure 8

Désignation (norme internationale) : elle est effectuée par un nombre à quatre chiffres, avec EN AW comme préfixe (EN pour norme européenne, A pour aluminium, W pour corroyé), éventuellement suivi par le symbole chimique de l'alliage placé entre crochets.

n Exemples :

EN AW-1050 A [Al 99,5] est un aluminium pur à 99,50%,

EN AW-1100 [Al 99,0] un aluminium pur à 99,00% avec contrôle d'impuretés,

EN AW-5086 [Al Mg 4] est un alliage d'aluminium avec 4% de magnésium,

EN AW 2017 [AlCu4MgSi] ("duralumin ou A-U4G") est un alliage avec 4,5% de cuivre contenant aussi du manganèse (0,5%), du magnésium (0,5%)...

Alliages d'aluminium corroyés : extrait de nuances Tableau 7									
R.C.: résistance à la corrosion A.O.: aptitude à l'anodisation A.S.: aptitude au soudage U.: usinabilité					*** : excellente ** : bonne * : moyenne - : faible				
Désignations	état	Rr Mpa mini	Re _{0,2} Mpa mini	A%	R.C.	A. O.	A.S.	U	Observations
Aluminium pur : série 1000 ; E = 67 GPa ; famille non trempante ou sans durcissement structural									
EN AW-1050A[Al 99,5] (1050A)	O H12 H14 H18	65 85 105 140	20 65 85 120	20- 35 2-9 2-6 1-2	***	***	***	-	génie chimique; bâtiment; alimentaire; emballages filés; feuilles fines; électroménager; emboutissage...
EN AW-1080A[Al 99,8] et EN AW-1070A[Al 99,7] (1070A et 1080A)	O H12 H14 H18	60 80 100 125	15 55 70 105	26- 35 5-12 4-7 2	***	***	***	-	génie chimique; pièces de décoration; alimentaire...
EN AW-1100[Al 99,0Cu] et EN AW-1200[Al 99,0] (1200 et 1100)	O H12 H14 H18	75 95 115 150	25 75 95 130	19- 33 2-8 2-6 1-2	***	***	***		idem 1050A; aluminium du commerce; alimentaire; tubes; composants électriques
Aluminium + cuivre : série 2000 ; E = 74GPa ; alliages trempants ou avec durcissement structural									
EN AW-2014[Al Cu4SiMg] (2014)	O T3 T4 T6	220 395 400 440	140 245 250 390	12- 16 14 14 6	-	*	**	**	hautes caractéristiques; cycles; aéronautique; pièces épaisses; pièces extrudées;...
EN AW-2017A [Al Cu4MgSi] (2017 ou 2017A)	O T4	225 390	145 245	12- 13 13- 14	-	**	**	**	mieux à la corrosion que 2014; cycles, automobile, horlogerie, rivets, pièces forgées.
EN AW-2024[Al Cu4Mg1] (2024)	O T4	220 435	140 275	12- 13 12- 14	-	*	**	**	Plus résistant que le 2017; tôles épaisses pour usinage; très utilisé en aéronautique...
EN AW-2090 [Al Cu2,7Li2,4] (2090)	T6	550	517	6					hautes résistances; légèreté grâce au Li; carlingues d'avion
Aluminium + manganèse : série 3000 ; E = 67 GPa ; alliages non trempants ou sans durcissement structural									

EN AW-3003[Al Mn1Cu] (3003)	O	95	35	15-	***	**	***	**	mêmes applications que 1050A et 1100 en légèrement plus résistant et moins ductile; alimentaire; feuilles...
	H12	120	90	24					
	H14	145	125	3-7					
	H18	190	170	2-5					
				1-2					
EN AW-3005 [Al Mn1Mg0,5] (3005)	O	115	45	12-	***	**	***	**	idem 3003 avec de meilleures caractéristiques mécaniques. (3004 est un peu mieux que 3005); architecture...
	H12	145	125	19					
	H14	170	150	3-5					
	H18	220	200	1-3					
				1-2					

Aluminium + silicium : série 4000 ; E = 70 GPa ; alliages trempants ou avec durcissement structural

EN AW-4006[Al Si1Fe] (4006)	O	95	40	17-	*	*	*	*	pièces forgés ou embouties; poêles, autocuiseurs, casseroles...
	H12	120	90	25					
	H14	140	120	4-5					
	T4	120	55	3					
				21					

Aluminium + magnésium : série 5000 ; E = 70 GPa ; alliages non trempants ou sans durcissement structural

EN AW-5005[Al Mg1] (5005)	O	100	35	15-	***	***	***	*	chimie; bâtiment (panneaux de façade et de couverture); alimentaire; chaudronnerie; emboutissage
	H12	125	95	24					
	H14	145	120	2-7					
	H18	185	165	2-5					
				1-2					
EN AW-5052[Al Mg2,5] (5052)	O	170	65	12-	***	***	***	*	bon Rr, Re et bonne résistance à la fatigue; applications comme 5005; feuilles et panneaux résistants...
	H12	210	160	19					
	H14	230	180	4-10					
	H18	270	210	3-5					
				2-3					
EN AW-5754[Al Mg3] (5754)	O	190	80	12-	***	***	***	**	chemin de fer, marine, automobile, génie électrique, bâtiment (panneaux), citernes de transport, alimentaire, chimie, pièces forgées
	H12	220	170	18					
	H14	240	190	4-9					
	H18	290	250	3-5					
	H22	220	130	2-3					
	H24	240	160	7-10					
				6-10					
EN AW-5086[Al Mg4] (5086)	O	240	100	11-	***	**	***	**	comme 5754 en légèrement plus résistant et moins ductile. panneau; marine; chemin de fer; citernes routières; cryogénie; pièces forgées.
	H12	275	200	17					
	H14	300	240	3-7					
	H18	345	270	2-4					
	H22	275	185	1					
	H24	300	220	5-10					
				4-8					

Aluminium + silicium + magnésium : série 6000 ; E =70 GPa : alliages trempants

EN AW-6061[Al Mg1SiCu] (6061)	O	150	85	14-	***	***	***	*	résistance à la corrosion; chimie; alimentaire; fûts; pots; emballages; pièces "épaisses"; pièces de structure; canoës...
	T4	205	110	19					
	T6	290	240	12-					
				18					
EN AW-6082[Al Si1MgMn] (6082)	O	150	85	14-	***	***	***	*	comme 6061 en légèrement plus résistant et un peu meilleur à l'anodisation
	T4	205	110	18					
	T6	310	260	12-					
				15					
				6-10					

Aluminium + zinc : série 7000 ; E = 7200 Gpa ; alliages trempants ou avec durcissement structural									
EN AW-7020[Al Zn4,5Mg1] (7020)	O	220	140	12-	**	**	**	**	charpentes, structures soudées; pièces "épaisses"; armement (blindage, caissons...); pièces forgées...
	T4	320	210	15					
	T6	350	280	11- 14 7-10					
EN AW-7075[AlZn5,5MgCu] (7075)	O	275	145	10	*	**	*	**	pour hautes résistances (plus résistant mais moins ductile que 2024); pièces extrudées et forgées ; boulonnerie; cycles; aéronautique (armatures d'avion); armement...
	T6	525	460	6-8					
	T76	500	425	7-8					
	T73	460	385	7-8					
entre parenthèses ancienne désignation AFNOR									

7. Aluminium et alliages pour la fonderie

La plupart des nuances sont faciles à mouler (moule métallique permanent ou moulage sable) en moyenne ou en grande série et en pièce unitaire.

Inconvénient : grand retrait au moulage (3,5 à 8,5% en volume) qui peut être minimisé par un bon tracé de la pièce.

Beaucoup des alliages usuels contiennent suffisamment de silicium pour entraîner une réaction eutectique, ce qui donne aux alliages un bas point de fusion, une bonne fluidité et une bonne moulabilité.

Le moulage en moule métallique ("en coquille", sous pression...) amène un refroidissement plus rapide que les autres procédés (sable...), ce qui provoque un affinage du grain et une amélioration des propriétés mécaniques.

Les additions de bore et de titane provoquent également un affinage du grain. Le cuivre, le magnésium et le zinc engendrent ou favorisent le phénomène de maturation.

Désignation (norme internationale NF EN 1780) : préfixe EN ; espace ; lettre A (pour aluminium) ; lettre B (pour lingots de refusion) ou C (pièces moulées) ou M (alliages mères) ; un tiret ; cinq chiffres représentant la composition de l'alliage et/ou les symboles chimiques donnant la composition de l'alliage ordonnés par teneur décroissante et limités à 4 éléments.

n **Exemples :**

EN AB-Al 99,8 : lingot pour refusion en aluminium pur à 99,8%.

EN AB-Al 99,7 E : lingot pour refusion en aluminium pur à 99,7% pour usage électrique (E).

EN AB-45400 [Al Si5Cu3] ou EN AB-Al Si5Cu3 ; lingot pour refusion en alliage d'aluminium avec 5% de silicium et 3% de cuivre (ancien A-S 5U3).

EN AC-Al Si12CuMgNi : alliage d'aluminium pour pièces moulées avec 12% de silicium, du cuivre, du magnésium et du nickel.

EN AM-Al Sr10Ti1B0,2 : alliage mère d'aluminium avec 10% de strontium, 1% de titane et 0,2% de bore.

EN AB-Al Si9Cu3(Fe)(Zn) : lingot pour refusion en alliage d'aluminium avec 9% de silicium, 3% de cuivre et des impuretés (fer et zinc).

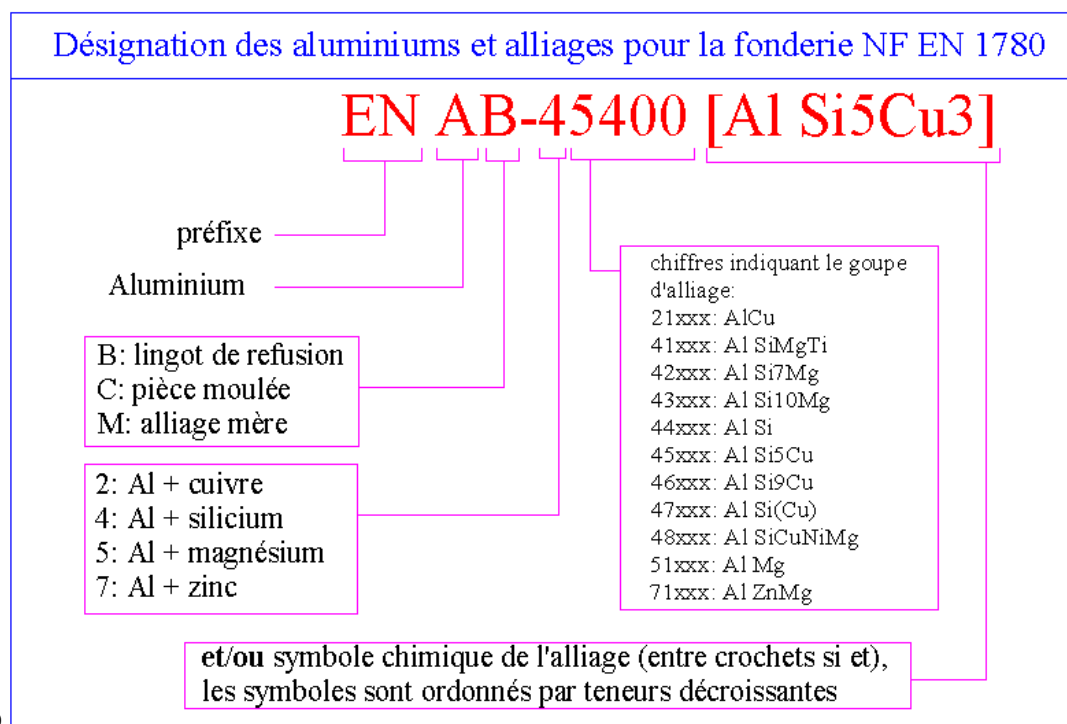


Figure 9

Ancienne désignation Afnor : (commune à la plupart des métaux et alliages non ferreux) : encore régulièrement utilisée, elle se compose du symbole métallurgique du métal de base, un tiret de séparation suivi des principaux éléments d'addition (en ordre décroissant) avec la teneur correspondante.

n **Exemple :**

A-S9U3 : alliage d'aluminium avec 9% de silicium et 3% de cuivre.

Figure

Métaux non ferreux: anciennes désignations Afnor

A-S9U3

Symbole abrégé (métallurgique)
du métal de base

Symboles des éléments d'addition

Teneur en % des éléments
d'addition

Principaux symboles métallurgiques

A: Aluminium
B: bore
C: chrome
D: molybdène
K: cobalt
U: cuivre
E: étain

F: soufre
fe: fer
L: lithium
G: magnésium
M: manganèse
N: nickel
P: phosphore

Pb: plomb
S: silicium
T: titane
V: vanadium
W: tungstène
Z: zinc
Zr: zirconium

10

Alliages d'aluminium pour la fonderie : extrait de nuances Tableau 8

Désignations*	Eta t	Rr MPa	Re _{0,2} MPa	A%	Résistan ce aux chocs	Résistan ce à 200°C	Observations
Nuances pour usage général							
EN AC-A199,5 (A5)	Y20	80	35	30			haute conductivité électrique; résistance à la corrosion
EN AC-A1Si5Cu3Mn EN AC-45200 (A-S5U3M)	Y20 Y30 Y33	140 160 280	70 80 230	1 1 <1	*	-	pièces de mécanique, moulage de précision
EN AC-A1Si5Cu3 EN AC-45400 (A-S5U3)	Y20 Y30 Y33	140 170 230	- 100 110	- 1 6	*		souvent utilisé; pièces de mécanique générale moulées en coquille;
EN AC-A1Si8cu3 EN AC-46200 (A-S8U3)	Y20 Y30	150 170	90 100	1 1	*		pièces diverses: automobile, blocs, carters; variante souvent utilisée: A-S9U3
EN AC-A1Si7Mg EN AC-42000 (A-S7G)	Y20 Y23 Y30 Y33	140 220 170 260	80 180 90 220	2,0 1 2,5 1	***	**	pièces mécaniques diverses, moulage de précision; bonne résistance à la corrosion; aéronautique
EN AC-A1Si9Mg EN AC-43300 (A-S9G)	Y20 Y30 +T6	140 160 290		1 2 2	**	-	nuance souvent utilisée; pièces mécaniques diverses

EN AC- AlSi10Mg EN AC- 43000 (A-S10G)	Y20	150	80	2	***	**	variante de la nuance précédente, bonne résistance à la corrosion
	Y23	220	180	1			
	Y30	180	90	2,5			
	Y33	260	220	1			
EN AC- AlSi12 EN AC- 44100 (A-S12)	Y20	150	70	5	***	-	souvent utilisé; pièces diverses peu épaisses; moulage de précision
	Y30	170	80	6			
EN AC- AlSi12Cu EN AC- 47000 (A-S12U)	Y20	150	80	1	***	-	nuance souvent utilisée; pièces diverses peu épaisses
	Y30	170	90	2			

Nuances pour hautes résistances mécaniques

EN AC- AlCu4MgTi EN AC- 21000 (A-U4GT)	Y24	300	200	5	****	***	pièces mécaniques diverses; moulage de précision; variante: A-U4T
	Y34	320	220	8			
EN AC- AlSi7Mg0,6 EN AC- 42200 (A-S7G0,6)	Y23	250	210	1	***	**	moulage de précision; pièces pour l'industrie aéronautique
	Y33	320	240	3			

Nuances pour usages particuliers

EN AC- AlSi12CuNiMg EN AC- 48000 (A-S12UNG)	Y35	190	150	<1	*	****	pièces travaillant à chaud comme les pistons...
EN AN- AlSi2MgTi EN AC- 41000 (A-S2GT)	Y20	140	70	3	**	**	pièces pour la décoration ou pièces de présentation
	Y23	240	180	3			
	Y30	170	70	5			
	Y33	260	180	5			
EN AC- AlMg5 EN AC- 51300 (A-G5)	Y20	160	90	3	***	***	pièces résistant à la corrosion marine ou chimique; moulage de précision
	Y30	180	100	4			
EN AC- AlZn5Mg EN AC- 71000 (A-Z5G)	Y29	190	120	4	****		bonne résistance à la corrosion
	Y39	210	130	4			

Nuances pour moulage sous pression

EN AC- AlSi8Cu3 EN AC- 46200 (A-S8U3)	Y40	230	110	1	*		pièces diverses: automobile, blocs, carters... Variante: A-S9U3
EN AC- AlSi9 (A-S9)	Y40	220 à 270	-	3 à 7	***		pour pièces nécessitant un allongement A% élevé
EN AC- AlSi12 EN AC- 44100 (A-S12)	Y40	210-280	-	1-3	**	-	pièces diverses si risque de corrosion
EN AC- AlSi12Cu EN AC- 47000 (A-S12U)	Y40	170	90	2	*		pièces diverses; moulage de précision
EN AC- AlMg5 EN AC- 51300 (A-G5)	Y40	180	100	4	***	***	pièces résistantes à la corrosion marine... variante: A-G6

* entre parenthèses ancienne désignation AFNOR
1 Mpa = 1N/mm²

8. Recyclabilité

Comme pour la plupart des métaux, elle est généralement relativement facile. Une fois les peintures éliminées (chauffage...) le principal problème est souvent de trier ou séparer des nuances différentes.

Erreur ! Signet non défini. **Exemple :** "can" ou boîte d'emballage type "cola cola". Ces boîtes sont constituées de deux nuances d'aluminium différentes. Par exemple, un 3004 (Al + Mn) pour le corps cylindrique, plus malléable et facilement déformable ; et un 5181 (Al + Mg) pour la partie couvercle avec levier d'ouverture, et plus dure que la précédente.

La séparation peut être réalisée à basse température, le 5182, moins ductile, se brisera en plus petits morceaux que le 3004 qu'il sera ensuite assez aisé de trier. Il est également possible, après avoir fondu ensemble les deux nuances, d'insuffler un gaz (chlorine) à travers le métal liquide afin de la faire réagir avec le magnésium (forme un chlorure). Après réaction, le métal restant est sensiblement un 3004.

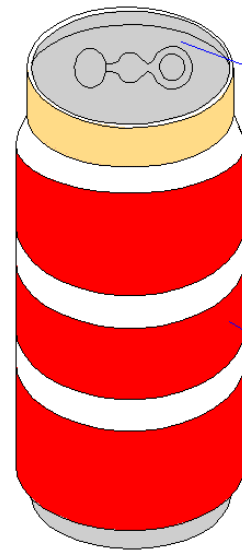


Figure 11