

UNIVERSITE ABOUBEKR BELKAID

FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIEUR

DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL

**SCIENCE DES MATERIAUX
DE CONSTRUCTION**

Responsable: Dr. GHOMARI Fouad

L'ALUMINIUM.

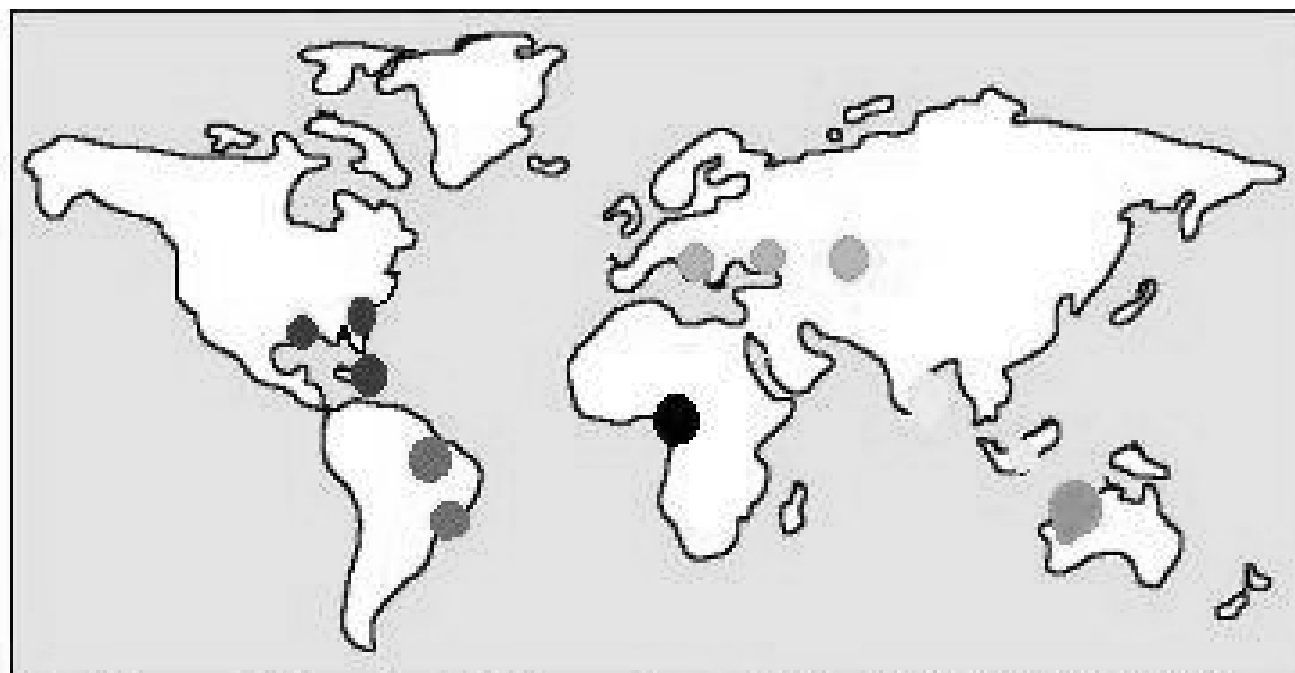
La présence d'aluminium dans l'environnement est naturelle et anthropique. L'aluminium est un métal relativement jeune par rapport à des métaux comme le fer et le cuivre.

L'aluminium est l'élément métallique naturel le plus abondant de l'écorce terrestre dont il est le 3e élément constitutif le plus important, il représente environ 8%. Il n'y est présent que combiné avec l'oxygène, le silicium, le fluor ou autres éléments. On le trouve sous forme :

- d'alumine Al_2O_3 (corindon α Al_2O_3 , émeri, rubis, saphir, émeraude, etc.),
- ou hydratée (hydrargillite ou Gibbsite γ $Al(OH)_3$, boehmite γ $AlO(OH)$, diaspore α $AlO(OH)$).

La bauxite qui constitue le principal minerai contient de 40 à 60% d'alumine (oxyde d'aluminium). De la famille des Latérites, la Bauxite est une roche sédimentaire principalement composée d'hydroxydes d'aluminium (Gibbsite, Boehmite, Diaspore), associés à des oxydes de fer et des impuretés (Silice, Calcite). Elle ressemble à de l'argile dure mais qui ne fait pas de pâte avec l'eau.

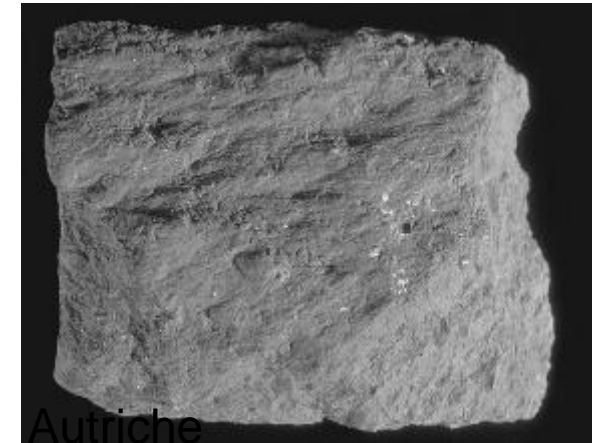
Principaux gisements.



- | | |
|----------------------------------|---|
| ● Europe (Grèce, Italie, France) | ● Asie (Inde et Indonésie) |
| ● Afrique (Guinée) | ● Amérique du nord (Etats-Unis, Jamaïque) |
| ● Australie | ● Amérique du sud (Guyanne et Brésil) |

En 2003, les pays producteurs de bauxite les plus importants sont, en milliers de tonnes (kt), l'Australie (53000 kt), la Guinée (17000 kt), le Brésil (13000 kt), la Jamaïque (12500 kt), la Chine (9000 kt), la CEI (8000 kt) et l'Inde (8000 kt).

Minerais de bauxite.



Sa couleur varie du blanc-jaune au gris en passant par le rouge et le brun, en fonction de sa teneur en oxydes de fer et en impuretés.



Découverte et développement.

En 1821, un dénommé Blavier avait envoyé au minéralogiste et ingénieur des Mines français Pierre Berthier, professeur à l'école des Mines de Paris, un échantillon, pour analyse, d'un minerai trouvé près des Baux de Provence (proche de Marseille en France), pour savoir si on pouvait l'utiliser comme minerai de fer; auquel il donnera le nom de bauxite. En 1827, le scientifique allemand Friedrich Wöhler obtient des particules d'aluminium impur.

En 1854, en France, Henri Sainte-Claire Deville parvient à fabriquer, pour la première fois de l'histoire, un petit lingot d'aluminium dans un laboratoire de l'École normale supérieure de Paris, où il occupe la chaire de chimie et met au point le premier procédé de fabrication industriel.



En 1886, Paul Héroult en France et Charles Martin Hall aux États-Unis découvrent, indépendamment, que l'oxyde d'aluminium ou alumine se dissout dans la cryolite et peut être décomposé par électrolyse pour donner du métal brut en fusion. En 1887, le chimiste autrichien Karl Joseph Bayer fait breveter un procédé de transformation.



ELABORATION.

L'Aluminium est fabriqué en deux temps :

- obtention de l'alumine à l'état pur,
- obtention de l'aluminium à partir de l'alumine.

Le minerai utilisé est la bauxite rouge (hydrate double d'aluminium, de fer, de silice et d'oxyde de titane). La bauxite est constituée d'environ 75 % d'alumine hydratée ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ et $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$). Le minerai est d'abord concassé et ensuite broyé.

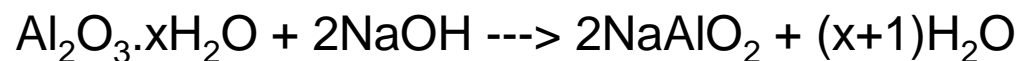


Exploitation en carrière à ciel ouvert

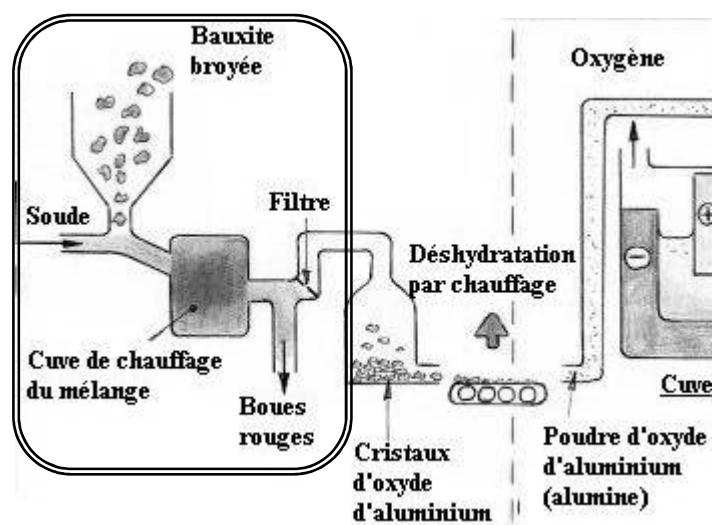


Obtention de l'alumine : Procédé Bayer.

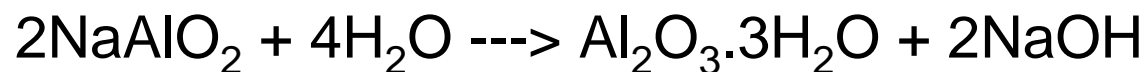
La bauxite calcinée et broyée est attaquée à la soude caustique (NaOH) dans des autoclaves où sous l'action de la pression (30 atm) et de la température (200 à 240°C) l'alumine contenue dans la bauxite se transforme en une solution d'aluminate de sodium.



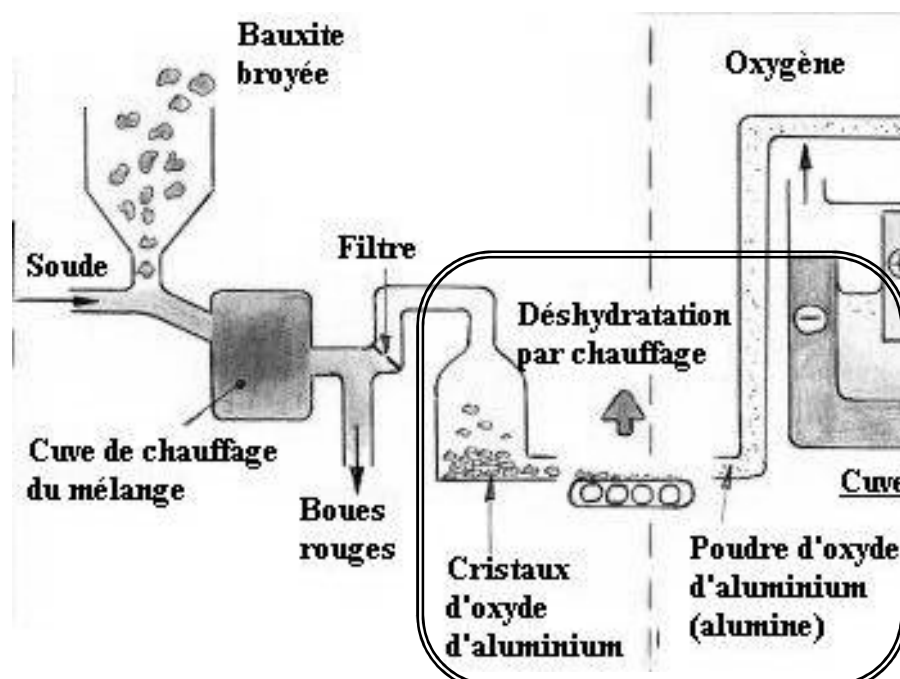
Les autres composants (oxydes de fer et de silice) ou "boues rouges" sont retirés par décantation et filtration. Le fer précipite ainsi que le titanate de soude; la silice précipite également sous forme de silico-aluminate de soude. Il reste un liquide clair qui est composé d'une solution de soude contenant de l'aluminate de sodium.



La solution d'aluminate de sodium obtenue est ensuite pompée dans des décomposeurs de 25 à 30 m de haut dans lesquels on ajoute du trihydrate d'alumine pur très fin, qui sert à amorcer la réaction. Sous l'effet de l'agitation et du refroidissement graduels, le trihydrate d'alumine en solution précipite et forme d'autres cristaux. Ceux-ci sont ensuite séparés de la solution de soude caustique par sédimentation et filtration. La solution de soude caustique est renvoyée aux autoclaves pour être réutilisée.



L'alumine Al_2O_3 est déshydratée par chauffage à 1100°C en vue d'éliminer l'eau combinée chimiquement (dans un four rotatif) et devient une poudre blanche qui titre à 99%.



Obtention de l'aluminium.

Le procédé le plus utilisé est le procédé "Hall-Héroult", du nom de leurs inventeurs, l'américain Charles Martin Hall et le français Paul Héroult. Il consiste à dissoudre l'alumine calcinée dans de la cryolite (Na_3AlF_6 , qui est un sel fondu, aluminofluorure de sodium). Le courant de l'électrolyse sert à la fusion du mélange entre 900 et 1000°C.

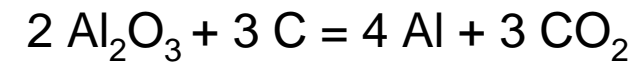
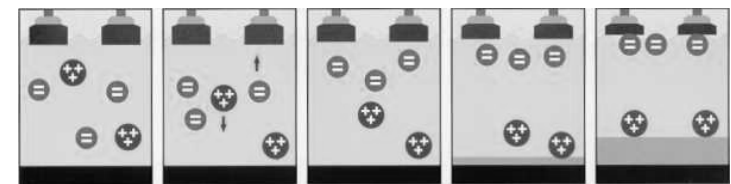
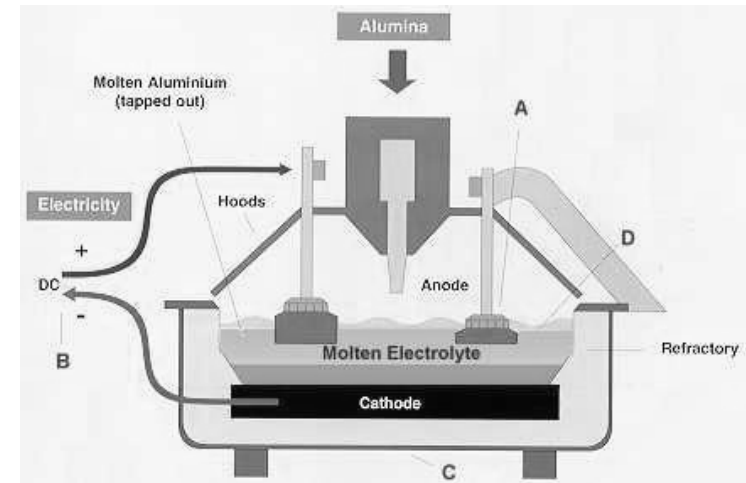
L'alumine ne fondrait qu'au dessus de 2000°C si elle n'était pas en présence de cryolithe et de fluorure de calcium.

Pour produire un kilo d'aluminium, il faut compter en moyenne 15 kWh.

Le four servant à l'électrolyse est un four en acier revêtu de briques réfractaires dont la cuve est en charbon aggloméré constituant la cathode sur laquelle se dépose l'aluminium fondu et il y a un dégagement d'oxygène sur l'anode en coke de pétrole + brai qui est oxydée.

Il faut compter l'équivalent de huit tonnes de charbon pour produire une tonne d'aluminium.

Les cuves sont entièrement capotées afin de capter les gaz qui s'échappent du bain lors de l'électrolyse (ces gaz contiennent notamment du fluor) et de les envoyer vers un dispositif d'épuration où le fluor est récupéré par fixation sur de l'alumine.



La combustion du carbone oblige à remplacer régulièrement les anodes.

À intervalles réguliers, l'aluminium en fusion est siphonné dans des poches de coulée ou creusets et transféré dans des fours d'attente à la fonderie.

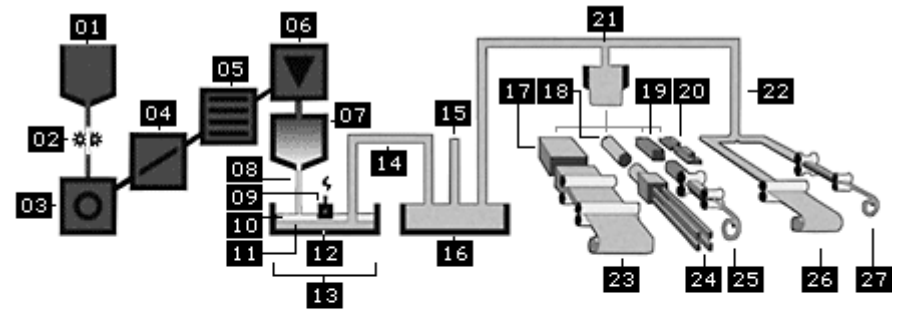
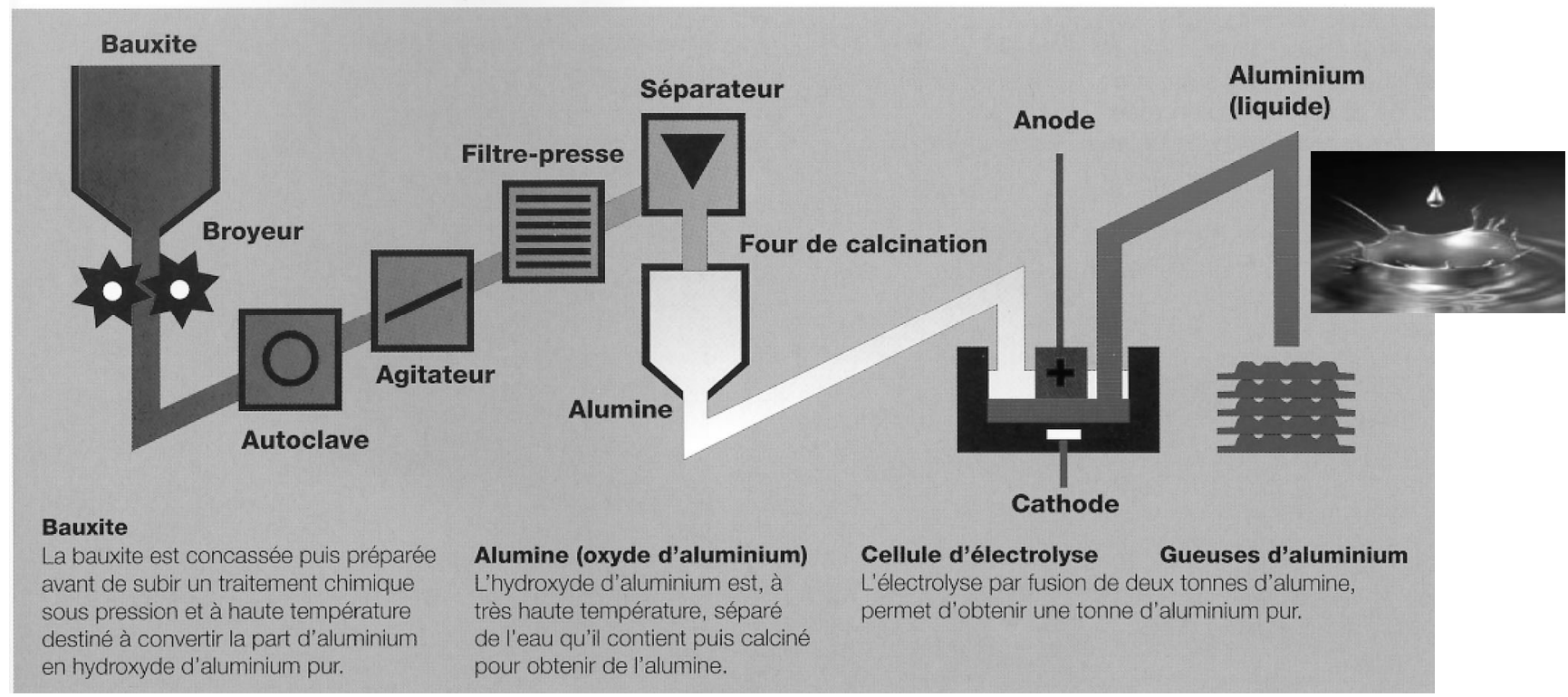
L'aluminium obtenu est pur à 99% et doit être raffiné pour éliminer les impuretés (fer, silicium, zinc, titane, cuivre,...). On emploie pour cela un procédé électrolytique proposé par Betts en 1905, mis au point par la société ALCOA en 1922 et perfectionné par le français Robert Gadeau en 1933. L'aluminium obtenu est pur à 99,998%.

RENDEMENT DU PROCEDE.

La production d'une tonne d'aluminium demande 2 tonnes d'alumine; chaque tonne d'alumine nécessitant 2,5 à 2,7t de minerai, il faut donc 5 à 5,4t de bauxite pour obtenir 1t d'aluminium, soit un rendement d'environ 20%.



Production d'aluminium primaire



- | | | |
|--------------------------|----------------------------|-------------------------------|
| 01 - Bauxite | 10 - Électrolyte en fusion | 19 - Lingot de tréfilage |
| 02 - Broyeur | 11 - Aluminium en fusion | 20 - Lingot de fonte/fonderie |
| 03 - Autoclave | 12 - Cathode | 21 - Coulée en lingots |
| 04 - Décanteur | 13 - Cuve d'électrolyse | 22 - Coulée en continu |
| 05 - Filtre-Pressé | 14 - Siphon | 23 - Tôle |
| 06 - Décomposeur | 15 - Métaux d'alliage | 24 - Profilés |
| 07 - Four de calcination | 16 - Four d'attente | 25 - Fil machine |
| 08 - Alumine | 17 - Lingot de laminage | 26 - Tôle |
| 09 - Anode | 18 - Lingot d'extrusion | 27 - Fil Machine |

PROPRIETES.

Physico - chimiques.

l'aluminium est un excellent conducteur de chaleur et d'électricité. C'est un métal blanc brillant, de densité 2,7 fondant à 660°C. Il est assez mou et malléable. C'est entre 100 et 150°C qu'il se laisse le mieux travailler, ce qui permet de confectionner avec facilité les pièces de profilés les plus variées et très compliquées.

L'aluminium est pratiquement inaltérable à l'air car il est recouvert d'une fine couche protectrice d'alumine. L'eau distillée, l'eau de pluie, la vapeur d'eau n'ont aucune action sensible sur l'aluminium. En revanche, l'eau de Mer l'attaque.

Les acides ont peu d'action sur l'aluminium de même que l'eau oxygénée. Par contre, la soude en solution, le carbonate de soude, le chlorure de magnésium et le chlorure de calcium l'attaquent fortement.

La carte d'identité de l'aluminium

Réseau cristallin	cubique à faces centrées
Symbole chimique	Al
Numéro atomique	13
Masse molaire atomique	27 g.mol ⁻¹
Température de fusion	660 °C
Point d'ébullition	2056 °C
Densité	2,7
Résistivité électrique	2,7.10 ⁻⁸ Ω.m
Conductivité thermique	220 W.m ⁻¹ .°K ⁻¹
Capacité thermique massique	9.102 J.kg ⁻¹ .°K ⁻¹
Coefficient de dilatation	24.10 ⁻⁶ °K ⁻¹
Module d'élasticité	69 000 MPa

Mécaniques.

La résistance à la rupture de l'aluminium est de l'ordre de 80 MPa pour l'aluminium ordinaire et de 60 MPa pour l'aluminium extra-pur. La dureté de l'aluminium est accrue par la présence d'impuretés (cuivre, nickel, argent, phosphore, etc.).

Le défaut de l'aluminium est donc sa faible résistance mécanique, ce qui ne permet pas de l'utiliser pour la réalisation d'éléments porteurs dans la construction. Cependant, les qualités mécaniques de l'aluminium sont fortement améliorées lorsqu'on lui ajoute du cuivre, du manganèse et du magnésium pour se présenter sous forme d'alliages légers.



Al. au microscope

LES ALLIAGES.

Bien que l'aluminium soit parfois utilisé tel quel, on lui ajoute généralement de petites quantités d'autres métaux pour obtenir des alliages aux propriétés particulières. L'aluminium produit est utilisé en grande partie (85 à 90 %) pour la fabrication d'alliages (Alpax, Duralumin).

Certains éléments d'alliage augmentent la résistance mécanique ou la résistance à la corrosion. D'autres améliorent l'aptitude à l'usinage, la malléabilité, la soudabilité et la résistance aux températures élevées.

Des exemples :

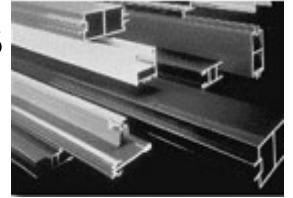
- Les canettes d'aluminium sont faites d'un alliage renfermant du magnésium et du manganèse, qui leur procurent plus de résistance et plus de malléabilité,

- L'aluminium augmenté de magnésium et de silicium a une résistance améliorée à la corrosion, ce qui en fait un matériau apprécié pour les portes et les cadres de fenêtres et pour les bateaux de plaisance,
- L'ajout de cuivre et de zinc à l'aluminium produit des alliages d'une résistance mécanique remarquable. L'ajout de chrome, de manganèse et de titane à l'aluminium modifie la dimension des grains du métal.

Dans le domaine de l'architecture, qui exige des surfaces alliant esthétique et résistance à la corrosion, on emploie des alliages aluminium-magnésium-silicium.

UTILISATIONS.

L'aluminium est un excellent matériau d'emballage, en raison de son innocuité, de son imperméabilité et de son opacité aux rayons ultraviolets. Il est surtout utilisé dans la fabrication de profilés laminés : cornières, profils en U, en double T, tubes de sections ronde ou rectangulaire.



Une grande quantité d'alliages d'aluminium est dépensée à la fabrication de rivets et de boulons.

Dans le bâtiment, l'aluminium présente de nombreux atouts en termes de développement durable :

- sa légèreté permet d'alléger les structures,
- la rigidité et sa facilité de mise en forme permettent des réalisations techniques performantes pour longtemps : profilés à coupure thermique, fenêtres ou menuiseries durablement étanches, garantissant une parfaite isolation thermique et acoustique, intégration aux façades de châssis de panneaux solaires pour la production d'électricité renouvelable, etc. ,

- sa résistance à la corrosion réduit les travaux de maintenance et étend la durée de vie des constructions,
- ininflammable, non toxique au contact, non émetteur de poussière ni de vapeur, l'aluminium dans le bâtiment est un matériau sain et sûr.

L'aluminium est 100% recyclable. Dans les secteurs du bâtiment et du transport, le taux d'aluminium récupéré et recyclé atteint 95%.

Du point de vue du développement durable, le recyclage de l'aluminium représente donc des avantages décisifs :

- il permet une importante économie de ressource,
- il n'utilise que 5% de l'énergie nécessaire à la production primaire,
- il émet 95% de gaz à effet de serre en moins.