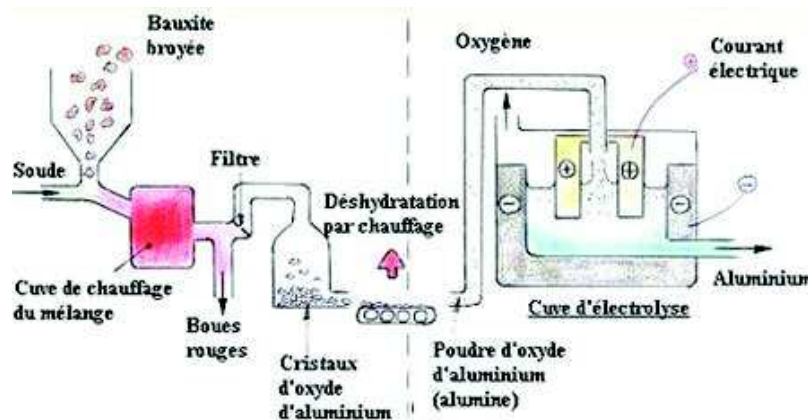


4 - Pour l'obtention de l'aluminium (voir aussi le paragraphe sur la métallurgie)

Le procédé le plus utilisé est le procédé Hall-Héroult. Il consiste à dissoudre l'alumine dans de la cryolite (alumine fluorure de sodium) puis de séparer l'aluminium par électrolyse. L'aluminium obtenu est pur à 99% et doit être raffiné pour éliminer les impuretés (fer, silicium, zinc, titane, cuivre,...). On emploie pour cela le procédé électrolytique Betts mis au point par la société ALCOA. **L'aluminium obtenu est pur à 99,998%.**



Traitement bauxite alumine et alumine aluminium

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%.

Page 7/12 - La métallurgie

1 - Obtention de l'aluminium « métal »

Jusqu'en 1890 l'industrie chimique était dans l'incapacité de produire ce métal sous un fort tonnage car les minerais d'aluminium contiennent des composés irréductibles par voie chimique (par le coke en tous cas) et la réduction par électrolyse se heurtait au caractère réfractaire de l'alumine : il est très coûteux de porter des tonnes de produit au-delà de 2000 degrés ! Héroult a donc apporté une solution élégante en ajoutant un fondant, la cryolite, qui permet une fusion vers 900 degrés.

2 - L'électrolyse

Les "marmites" de Hall et surtout d'Héroult, cylindriques en 1890, prirent la forme parallélépipédique après dès 1893, à l'usine de La Praz, en Savoie. Elles fonctionnaient avec une intensité de 5 à 6000 ampères sous 6 à 7 volts ; une cuve moderne à 300 000 ampères sous 4 volts produit 850 tonnes d'aluminium par an. **Le rendement est de 97 %, les conditions de l'électrolyse ont été optimisées jusque dans les détails.** Avec deux séries de 100 cuves, une usine produit 170 000 tonnes d'aluminium par an.

L'alumine, additionnée de cryolite et de fluorure de calcium et d'aluminium est fondue à 950 degrés et le liquide, ionique, est soumis à une différence de potentiel de 4 V et traversé par un courant de 100 000 A. On a :

--- à l'anode : $2 O^{2-} \rightarrow O_2 + 2e$ et l'oxygène brûle avec le carbone pour donner du CO, l'anode doit être continuellement approvisionnée en pâte d'anode. Une usine moderne consomme environ 200 000 anodes par an, d'un poids moyen d'environ 400 kg. Chaque anode dure environ 25 jours. Il peut y avoir une vingtaine d'anodes,

alignées sur deux rangées. De grosses tiges métalliques supportent les anodes carbonées dont la position en hauteur est réglable, à mesure qu'elles s'usent par combustion

--- **à la cathode** : $\text{Al}^{3+} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Al}$. Les blocs cathodiques ont été préalablement moulés et cuits à température élevée. On y a ménagé des rainures dans lesquelles sont scellées des barres d'acier pour conduire et répartir le courant d'électrolyse. (l'acier est meilleur conducteur que le carbone !) Les blocs cathodiques n'ont pas droit à la moindre défaillance. Ils sont munis d'une rainure sur toute leur longueur, et on y scelle, avec une fonte spéciale, les barres d'acier qui évacuent le courant cathodique vers la cuve suivante. La mort du bloc cathodique entraîne celle de la cuve...

3 - Le bain

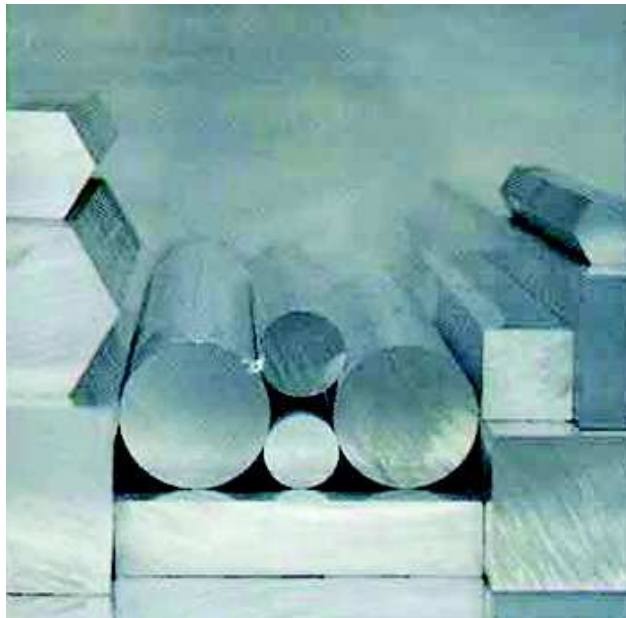
La température, au niveau de la couche de cryolithe fondue et de l'aluminium se situe habituellement vers 930 - 980°C. Elle doit rester aussi constante que possible. La surface du bain de cryolithe est "croûtée" pour éviter des déperditions de chaleur.

La composition du bain est telle que sa masse volumique est inférieure à celle du métal, donc le métal se dépose sur la cathode qui est au fond de la cuve d'où il est soutiré.

La couche d'aluminium fondu augmente à mesure que l'électrolyse progresse, il faut donc, périodiquement, siphonner une partie de l'aluminium produit, et ajuster l'espace entre les anodes et la surface de la couche d'aluminium liquide surmontée de la couche de cryolithe fondue. **Cet espace anode-cathode est très réduit.**

L'aluminium extrait par aspiration des différentes cuves est rassemblé dans de grandes poches métalliques calorifugées, puis stocké dans un four de réchauffage et traité pour éliminer les impuretés, et enfin coulé

- dans des lingotières en fonte,
- ou en coulée continue en gros plateaux de 6 à 8 mètres de long, 2 m de large, et 60 cm d'épaisseur, pesant jusqu'à 10 tonnes qui peuvent être stockés ou envoyés au laminage,
- ou encore dans des dispositifs de coulée continue.



Produits semi finis

**Tout cela fonctionne sans interruption vingt-quatre heures sur vingt-quatre.
Inutile de dire que la tolérance zéro est de mise pour l'étanchéité.**

4 - L'énergie

La moitié des pertes d'énergie (électrique) est due à la grande conductance de l'aluminium.

On a opté dès 1910 pour la mise en série d'un nombre important de cuves : 200 cuves est habituel ; on utilise des redresseurs qui fournissent 800 volts sous 300.000 ampères, la perte de quelques volts est, ici, négligeable. On préfère deux séries de 100 cuves, dans deux halls séparés de quelques dizaines de mètres, pour des problèmes d'effets magnétiques, et aussi pour installer, en tête du bâtiment, le départ et le retour du courant de la sous-station.

La sous-station doit fournir sans défaillance 240 mégawatts, plus la cuisson des anodes, la fonderie etc. donc près de 300 mégawatts.

L'atmosphère des cuves où se trouvent les longues, très longues cuves à électrolyse est polluée de CO et doit donc être changée 10 à 20 fois par heure par une ventilation très puissante et strictement surveillée.



Cuves électrolyse

5 - Le magnétisme

On imagine bien que des intensités de plusieurs centaines de milliers d'ampères (en courant continu) induisent au moins deux types d'effets : les effets locaux, sur les cuves et les effets environnementaux.

- **Effets locaux** : pour la régularité de marche, la surface de la nappe d'aluminium fondu devrait être d'une planéité parfaite. Dès que la puissance des cuves atteint 30 à 40 000 ampères (1920-1930), les exploitants ont vu l'apparition de déformations, de différences de niveau ou d'oscillations, même des vagues et des giclées de métal fondu hors de la cuve... Vers 1950, le palier de 100 000 ampères semblait infranchissable...

- **Effets environnementaux** : on sait que les champs magnétiques continus, même intenses, ont une nocivité quasi-nulle sur les êtres vivants. Le danger réside dans la manipulation d'objet en métal ferro-magnétique à proximité des cuves qui peut se transformer en projectile mortel. Aux alentours d'une usine d'électrolyse, on constate la démagnétisation des cartes de crédit et autres pistes magnétiques (magnétoscopes, caméscopes, etc.), mais les zones à risques sont balisées. En revanche, les champs électromagnétiques puissants, de fréquence élevée, posent de réels problèmes physiologiques : radar, émetteurs de télécommunications et de télévision dans les gammes UHF et SHF, les relais téléphoniques etc.

6 - Fabrication de l'anode

Elle est fabriquée par malaxage de grains de coke calibrés, et de brai, à 150 - 200°, et le mélange doit être soumis à une certaine puissance de malaxage pendant une certaine durée et une certaine température. Chaque anode est moulée par compression à chaud et est, à sa partie supérieure, munie de trois (ou plus) cavités dans lesquelles s'inséreront des plots métalliques. **Mais avant cela, il faut les cuire dans des fours spéciaux pendant une centaine d'heures. Elle est refroidie, stockée, puis mise en service au fur et à mesure.**

Chaque anode doit durer une vingtaine de jours. On scelle les anodes aux tiges cathodiques en coulant dans les cavités une fonte spéciale.

7 - Le métal obtenu

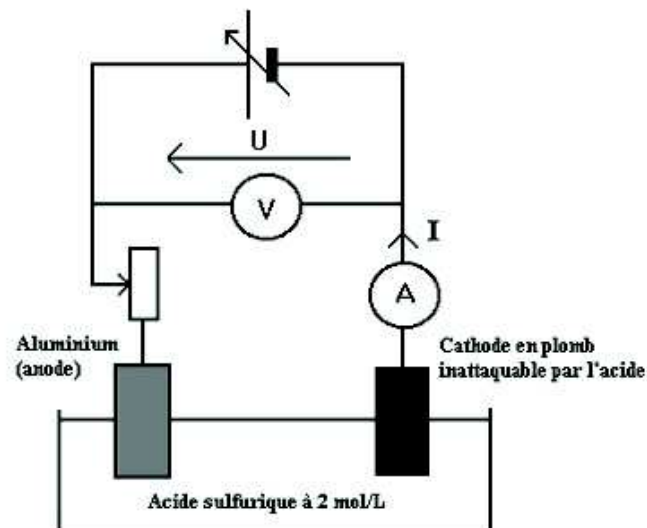
La pureté du métal ainsi produit est de l'ordre de 99,7 à 99,8 %, les deux impuretés principales étant le silicium et le fer qui ne présentent pas d'inconvénients pour les applications courantes. Pour produire 1 tonne d'aluminium primaire il faut environ :

- 13 000 kWh
- 450 kg de coke
- 200 kg de soude
- 35 kg de fluor
- 4 tonnes d'alumine

Les aluminiums non alliés sont principalement utilisés dans l'industrie chimique ou électrique pour leur bonne résistance chimique et leurs bonnes conductivités électriques et thermiques.

8 - L'anodisation de l'aluminium

L'aluminium présente à l'état naturel une couche d'alumine superficielle qui le protège de l'oxydation. **Cette couche naturelle, de quelques nanomètres d'épaisseur, est sujette à détérioration.** Une meilleure protection de l'aluminium contre la corrosion est obtenue en accroissant l'épaisseur de la couche d'alumine.



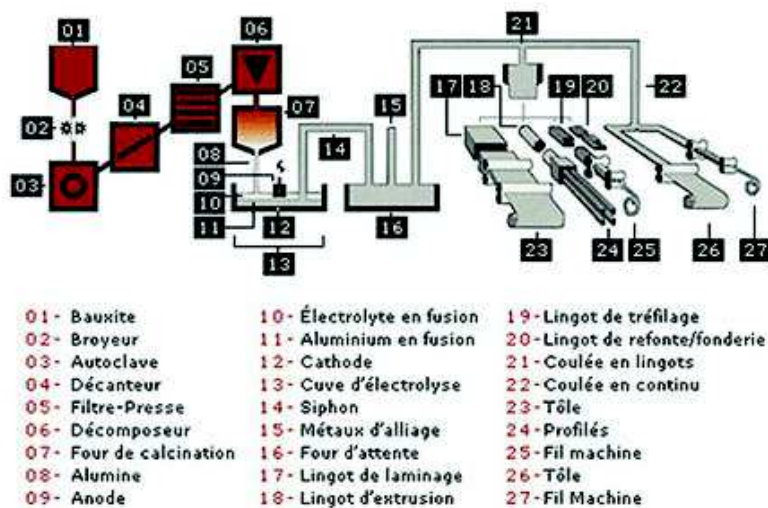
Anodisation

Cette technique très ancienne appelée anodisation, consiste en une électrolyse en milieu acide. Dans ce cas, le revêtement n'est pas réalisé par apport de matière mais par oxydation contrôlée du substrat afin de le

passiver. On peut distinguer plusieurs types d'anodisation, en fonction de la composition du bain, par exemple, l'anodisation dure avec un bain d'acide sulfurique, permet d'obtenir les épaisseurs les plus élevées de l'ordre de 100 μm .

Actuellement, ce procédé connaît de nouveaux développements en micro-électronique : l'aluminium est anodisé afin d'obtenir une structure amorphe avec des pores de tailles contrôlées.

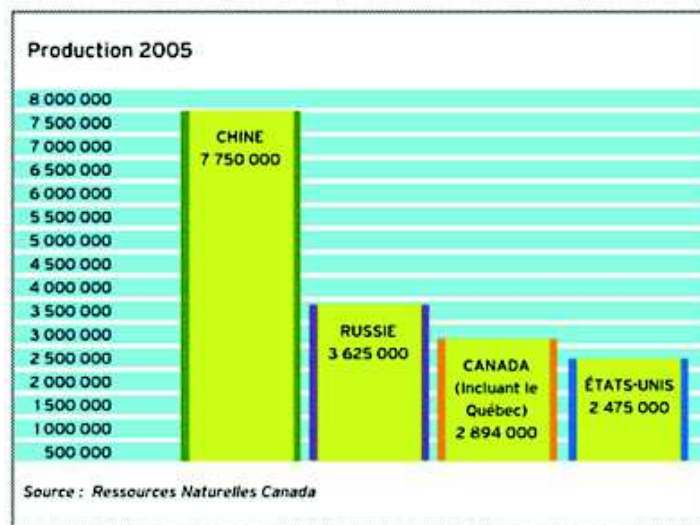
9 - Usinage



Résumé du processus aluminium

Tous les usinages sont assez faciles à réaliser :

- coulage pour les alus de fonderie,
- pour les alus de forge ou de laminage
- laminage pour obtenir des plaques puis des feuilles,
- tréfilage pour les profils (avec mandrins) et les fils (sans mandrins), emboutissage.
- et on obtient toutes sortes de produits semi finis : barres, plaques, tubes, fils etc.



Production 2005

Page 8/12 - Histoire de la canette et de la feuille d'aluminium

1 - La canette

La canette d'aluminium est apparue au début des années 1950. En 1999, plus de 115 milliards de canettes en aluminium ont été produites en Amérique du Nord, soit environ 300 canettes par habitant. La canette d'aluminium est produite à une cadence de 2 000 à la minute. Au début des années 1970, on fabriquait 21 canettes avec 450 gr d'aluminium, aujourd'hui, 34 avec la même quantité de métal.



Canette

Elle est solide, légère, compacte, imperméable, sécuritaire, recyclable n'altère pas les goûts. La canette d'aluminium ne se brise pas et n'explose pas.

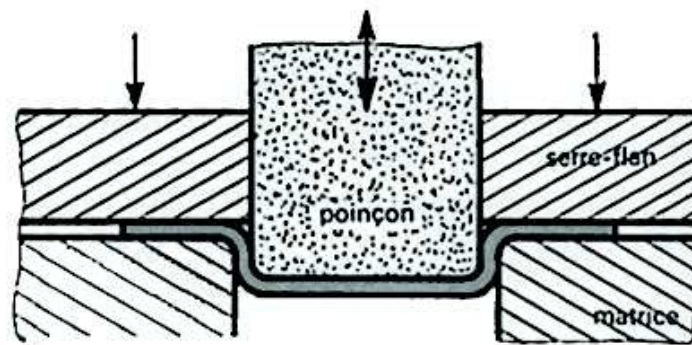
Bien qu'elles soient minces, sa paroi est résistante, d'autant plus grâce à la pression exercée par le gaz de la bière ou de la boisson à l'intérieur.

Sa légèreté fait qu'elle se transporte et s'entrepose plus facilement que le verre et le plastique. **Elle facilite la collecte pour le recyclage et demande moins de soins que le verre au moment de la manutention.** Tous ces avantages permettent de réaliser d'importantes économies d'énergie au cours du transport ou de la distribution.

L'utilisation de canettes recyclées fait économiser 95 % de l'énergie requise pour la production d'aluminium de première fusion. En 2003, environ 75 milliards de canettes ont été recyclées en Amérique du Nord. **Une canette d'aluminium est facilement recyclable à 100 %**, car elle ne contient ni étiquette, ni bouchon, ni couvercle devant être retirés avant le recyclage. En outre, elle peut être indéfiniment recyclée.

Les alliages plus solides, l'injection d'azote et une meilleure présentation font que l'aluminium connaît de nouveaux débouchés dans le domaine des contenants pour l'industrie alimentaire.

Découpage, préformage emboutissage et étirage : Un rouleau de tôle alimente une presse à emboutir où des opérations successives servent à obtenir la hauteur voulue. Le fond est façonné en forme de dôme inversé pour résister à la pression. Son fond et sa paroi sont formés d'une seule pièce.



Le principe de l'emboutissage

Cisailage et nettoyage : Une cisaille les coupe de l'intérieur à la hauteur voulue. Les canettes sont ensuite nettoyées et traitées pour recevoir un revêtement intérieur et une décoration.

Impression et vernissage : Les canettes sont pressées contre un rouleau encreur et transférées pour recevoir un vernis protecteur.

Cuisson I et revêtement intérieur : Les canettes traversent un four où l'encre est séchée et un revêtement spécial est vaporisé sur l'intérieur.

Cuisson II, rétreinte et bordage : Les canettes traversent un autre four où le revêtement intérieur est cuit et séché. Cette opération réduit le diamètre de l'ouverture et la prépare à recevoir le couvercle.

Contrôle et palettisation : Les canettes propres sont testées (trous) et empilées sur palettes.

Fabrication des couvercles : Les couvercles sont découpés dans une feuille d'aluminium, puis une presse de précision effectue: découpage, rivetage et pose. Les couvercles sont ensuite emballés.

Pour plus de détails consultez le site <http://aluminium.matter.org.uk> ainsi que la bibliographie.

2 - La feuille d'aluminium

Légère, solide, flexible, résistante, durable, elle est largement utilisée dans les domaines de la construction, des

transports, des électroménagers, des équipements électriques et électroniques, de la machinerie, de l'imprimerie, des réflecteurs de chaleur et des matériaux décoratifs ainsi que des applications médicales.

Elle est surtout répandue dans le secteur de l'emballage de produits alimentaires, où elle agit à la fois comme contenant et comme emballage protecteur : produits frais, bouchage (vins et spiritueux), yogourt, biscuits, chocolat, café, médicaments et emballage à la maison de divers produits.



Feuille alu micrométrique

La feuille d'aluminium supporte aussi bien la chaleur que le froid, et elle se stérilise facilement. Elle constitue une excellente barrière contre l'air, les liquides, les vapeurs et la lumière. Elle est non toxique et ne laisse ni goût, ni odeur. **C'est, de surcroît, un excellent conducteur, ce qui explique pourquoi on s'en sert pour faire cuire une pomme de terre...**

Elle est produite à partir de métal à 99,45 % en différentes épaisseurs inférieures à 0,152 mm. Tout ce qui dépasse est désigné comme tôle ou plaque d'aluminium ! **La feuille d'aluminium peut être aussi mince que 0,0043 mm.**

On fabrique le papier d'aluminium en faisant passer plusieurs fois des plaques au laminoir. Dans certains cas, les feuilles sont si minces qu'il faut les passer en double entre les rouleaux pour ne pas les endommager : elles sont donc brillantes d'un côté et satinées de l'autre. **Le côté brillant fait face au rouleau et le côté satiné, à l'autre feuille d'aluminium.**

Le papier d'aluminium à usage domestique a été commercialisé à la fin des années 1920 et suivi, dans les années 1930, par le papier à usage commercial. Les applications de l'aluminium comme papier d'emballage sont presque infinies.

Page 9/12 - Les principaux alliages d'aluminium

Les principaux alliages d'aluminium sont fabriqués depuis 1886 à partir des bauxites et de la cryolithe, ces métaux sont les plus utilisés juste après les fontes et les aciers.

1 - Avantages

- masse volumique faible

- résistance à la corrosion
- caractéristiques mécaniques intéressantes
- durcissement important par traitement thermique
- bas point de fusion (658 °C)
- mise en œuvre assez facile par laminage, forgeage, moulage, formage, étirage, extrusion, métallurgie des poudres

2 - Inconvénients :

- faible résistance à l'usure et à la fatigue
- son coefficient de dilatation et sa conductivité thermique imposent des précautions en soudage et en usinage.
- le grand retrait au moulage (3,5 % à 8,5 % en volume)
- l'élasticité peut être une gêne dans l'usinage.

3 - Alliages aluminium-silicium

Le diagramme d'aluminium montre l'existence de deux solutions solides α et β . La première contient jusqu'à 1,65 % de Si, la seconde contient jusqu'à 3 % d'aluminium. Un eutectique existe à 12,7 % de Si.

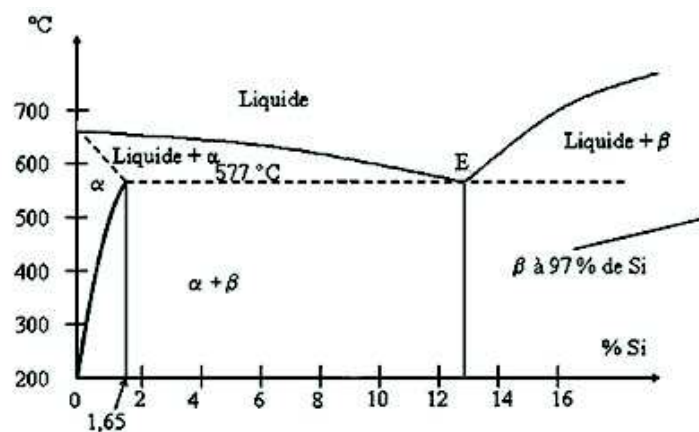


Diagramme Al - Si

La faible solubilité du Si dans l'aluminium et le phénomène de surfusion font que le Si (β) de l'eutectique forme des cristaux polyédriques importants qui rendent l'alliage fragile et difficilement usinable.

Pour cette raison, tous les alliages Al-Si hypoeutectiques doivent **subir un traitement de modification**. On traite le bain de fusion avec du sodium (Na), du strontium (Sr) ou encore de l'antimoine (Sb) avant la coulée.

Le traitement d'affinage a pour but d'augmenter le nombre de sites de cristallisation de la phase proeutectique et consiste à ajouter des éléments affinants au bain de fusion comme le titane ou le bore pour les hypoeutectiques ou du phosphore pour les hypereutectiques. Ces deux traitements ont pour effet d'augmenter la résistance mécanique :

- le silicium a pour effet :

- d'améliorer la coulabilité
- de réduire la criquabilité et l'aptitude à la retassure
- de diminuer le coefficient de dilatation

D'une manière générale, les Al-Si sont les alliages d'aluminium qui présentent les meilleures propriétés de fonderie.

Applications : Automobile, aviation, mécanique, appareillages électriques, chimie.

4 - Alliages aluminium-cuivre

Le diagramme d'équilibre Al-Cu fait paraître l'existence d'une solution solide α présente jusqu'à 5,65 % de Cu. L'eutectique se situe à 33 % de Cu. On remarque l'existence d'un composé défini Al_2Cu .

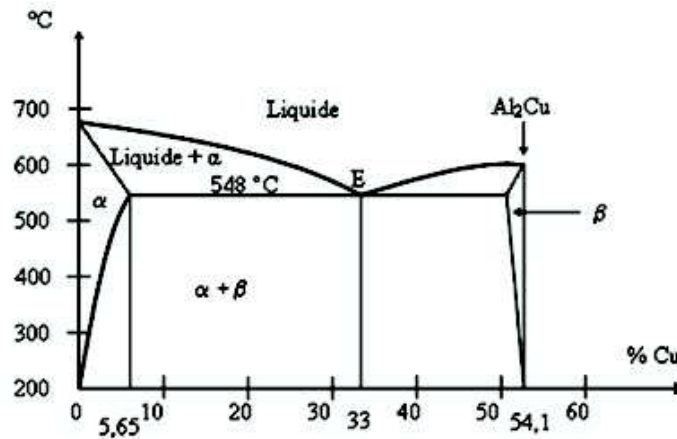


Diagramme Al - Cu

Les alliages aluminium-cuivre utilisés dans l'industrie ne dépassent pas une proportion de cuivre supérieure à 12 %.

Avantages :

- le cuivre accroît les propriétés mécaniques et en particulier la dureté.
- la coulabilité est améliorée par rapport à l'aluminium pur pour des concentrations en cuivre comprises entre 7 et 8 %.

Inconvénients :

- mauvaise tenue à la corrosion
- criquabilité importante

5 - Alliages aluminium-magnésium

Les alliages contiennent jusqu'à 12 % de magnésium. Il existe une solution solide α contenant jusqu'à 15 % de Mg à 450 °C.

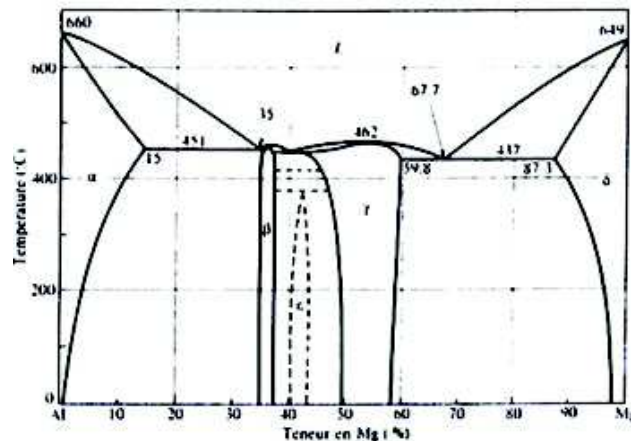


Diagramme Al - Mg

Les alliages industriels Al-Mg ont tous pour constituant la solution solide α mais la variation importante de solubilité du Mg et sa faible vitesse de diffusion à l'état solide, font que les alliages contenant plus de 6 % de Mg ne sont pas homogènes à l'état brut de coulée : on trouve α et l'eutectique $\alpha+\beta$. Un traitement d'homogénéisation est alors nécessaire.

Propriétés :

- La coulabilité est moins bonne que pour les alliages précédents.
- La criquabilité est plus élevée que pour les Al-Si, équivalente à celle des Al-Cu.

Les alliages de magnésium sont recherchés pour leur bonne usinabilité mais surtout pour leur très grande résistance à la corrosion.

6 - Alliages pour des applications spécifiques

-- **ferrotitane** : fer + 25 à 70% de Ti + 4 à 10% d'aluminium

TA6V : titane + 6% aluminium + 4% vanadium

-- **MCrAl** : métal + chrome + aluminium + parfois de l'yttrium (MCrAlY), alliages réputés pour leur bonne tenue mécanique et résistance à la corrosion à haute température)

-- **FeCrAl** : fer + chrome + aluminium

-- **FeAl** : 50% at fer + 50% at aluminium

-- **TiAl** : 50% at titane + 50% at aluminium

Élaboration d'intermétalliques TiAl par four plasma

Pour réduire les masses et augmenter le rendement de certains types de moteurs, on développe de nouveaux matériaux : **les intermétalliques**. En particulier, TiAl (alliage titane-aluminium) est à la fois très rigide et beaucoup plus léger que les alliages de titane classiques. **En outre, il offre une résistance accrue au feu.**

Une voie économique pour la réalisation de carters et d'aubes est la fonderie ; aussi recherche-t-on les alliages à base de TiAl les plus adaptés à ce procédé.

Les principales difficultés d'élaboration de ces alliages proviennent de l'écart très important des points de fusion du titane et de l'aluminium (1000°C). Des fusions successives en four plasma assurent une bonne homogénéité des lingots de TiAl destinés à être utilisés en fonderie.



Pièces en alliages d'aluminium

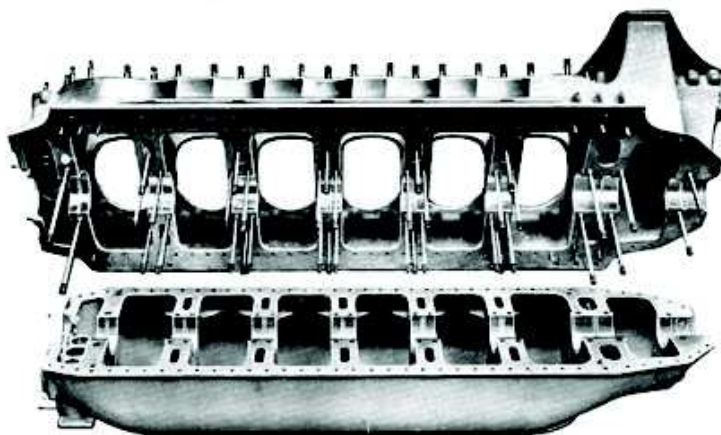
7 - Inconels, avec du nickel

Ces alliages sont recherchés pour leur tenue mécanique et résistance à la corrosion à haute température.

- **NiCrAl** : nickel + chrome + aluminium
- **NiAl** : 50% at nickel + 50% at aluminium

8 - Les alliages à faibles coefficients de dilatation

- **Invar** : 36% de nickel, 0,4% de manganèse, 0,1% de carbone, 63,5% de fer
- **Elinvar** : nickel, chrome, fer



Hispano Suiza alliage léger (carter, aviation)

9 - Les alliages à mémoire de forme

- **NiTi** : 50% nickel + 50% titane
- **CuZnAl** : 70% cuivre + 25% zinc + 5% aluminium
- **CuAlNi** : 82% cuivre + 12% aluminium + 4% nickel

-- **CuALBe** : cuivre + aluminium + béryllium

Page 10/12 - Les usages nouveaux et le marché

1 - Quelques utilisations particulières de ce métal :

A) Roues "alu" pour robot géologue interplanétaire

Pour les sondes de la mission Mars Exploration Rover (MER) ce ne sera pas une balade à la plage, nous poursuivons l'objectif à long terme de la Nasa de trouver de l'eau sur Mars. Sur Mars, il y eu de l'eau il y des milliards d'années, et peut-être aussi il y quelques heures, a dit M. Weiler pour résumer les objectifs de la mission.



Le robot Mars MER

Les Rovers alimentés par l'énergie solaire peuvent bouger de 40 mètres par journée martienne et les ingénieurs avaient pour mission de concevoir les roues les plus légères possibles — résistantes et souples — afin de ne pas ajouter au poids du vaisseau spatial. **Avec 26 centimètres de diamètre**, ces roues en aluminium font deux fois la taille de celles de Sojourner, et doivent être capables de résister aux roches martiennes.

B) Un portable tout aluminium

Le PowerBook G4 d'Apple, premier ordinateur portable au monde à intégrer un écran de 17 pouces, comporte un boîtier robuste en alliage d'aluminium ultra léger. Le portable mesure moins de 2,6 cm d'épaisseur pour à peine plus de 3 kg. **La longévité d'un boîtier en aluminium est, bien entendu, largement supérieure à celle d'un équivalent en plastique.**



PowerbookG4

C) Un message en aluminium pour un astéroïde

Première spatiale : Une sonde lancée en mai 2003 par une fusée japonaise est en route pour le petit astéroïde 1998 SF36, un voyage de quatre années et devrait revenir sur Terre chargée d'échantillons. Il faudra environ deux ans à Muses-C pour arriver à proximité du petit astéroïde de 690 mètres de long et 300 mètres de large, situé à environ 290 millions de kilomètres de la Terre. Pour stimuler l'intérêt du public autour du projet Muses-C, les internautes du monde entier ont été invités à soumettre leurs noms : **les 877.490 noms obtenus ont été gravés sur une feuille d'aluminium placée dans une sphère, qui sera larguée à la surface de l'astéroïde.**



MUSES C

D) Le châssis en aluminium

-- **Audi** (l'Audi A8) a révolutionné la conception du châssis en commercialisant le modèle **A8 en aluminium en 1994**. Ce choix a été confirmé par la marque avec la mise sur le marché d'autres modèles, comme par Jaguar, un constructeur concurrent. La construction d'un châssis en aluminium requiert des technologies spécifiques et innovantes.



Audi A8

-- **Nouvelle BMW Série 5**. La sortie d'un nouveau modèle accompagne la généralisation de nouvelles technologies. La Série 5 est la première voiture avec une direction à démultiplication variable et un châssis mariant l'acier et l'aluminium. Autres nouvelles technologies : l'affichage tête haute, l'éclairage directionnel adaptatif, la suspension Dynamic Drive et les feux avant et arrière adaptatifs.



BMW série 5

Grâce au train arrière compact en aluminium, les roues sont guidées par quatre bras en aluminium fixés de manière élastique sur le berceau d'essieu. **Ce dernier est lui-même fixé à la carrosserie à l'aide de paliers élastiques.** La géométrie des bras est conçue de façon à obtenir, en interaction avec la suspension à Silentblochs, un braquage exactement défini des roues arrière, une tenue de cap et une stabilité directionnelle exemplaires ainsi qu'une grande insensibilité aux transferts de charge.

E) Renforts en aluminium.

En cas de choc latéral, les portières sont dotées de renforts en aluminium placés en diagonale et complétés par **des axes retenant les portières.** Cela permet d'obtenir une très grande rigidité et de réduire efficacement le

risque de pénétration de corps étrangers dans l'habitacle.

F) Le TGV " duplex "

Le TGV à 2 niveaux est né du besoin d'accroître la capacité sans création de nouvelles infrastructures. **Le TGV " duplex " a une capacité de 40% supérieure en gardant une charge à l'essieu inférieure ou égale à 17 tonnes.** Cette performance n'a été possible que par un allègement considérable. Les caractéristiques mécaniques de l'aluminium ont permis, tout en assurant le confort des passagers (suspension, maîtrise des vibrations), de répondre aux exigences de résistance et de sécurité propres à un train à grande vitesse en cas d'accident :

- non encastrement de l'obstacle sous le train,
- absorption de l'énergie de déformation dans des zones définies,
- absence de variation de l'espace vital où se trouvent passagers et personnel, -- absence de chevauchement,
- absence de rupture des fixations des équipements et des aménagements dans les espaces où se trouvent passagers et personnel.

Compte tenu de ces qualités, l'emploi de l'aluminium réservé aux équipements intérieurs gagne les structures mêmes des voitures. Les façades des grands immeubles contemporains sont souvent en aluminium et verre et ce dans le monde entier.



Singapour

G) Les câblages

L'aluminium et certains alliages ont progressivement remplacé le cuivre dans le transport et la distribution d'électricité.

De nos jours, la presque totalité des réseaux électriques au Canada et aux États-Unis sont en aluminium ou alliages d'aluminium, nus ou isolés, ainsi qu'un grand nombre de câbles souterrains.

Ce métal ne pèse que le tiers du cuivre et, à poids égal, il peut transporter deux fois plus d'électricité en raison de sa grande conductibilité. Ainsi, les lignes de transport sont plus légères et requièrent moins de pylônes. Les fils d'aluminium sont déposés sur des pylônes également plus légers.

Un conducteur en aluminium peut être constitué de plusieurs fils tressés ou, pour augmenter la résistance, de fils d'aluminium autour d'un câble d'acier. Les barres qui transportent le courant entre les

transformateurs et les redresseurs sont aussi en aluminium.

L'utilisation de l'aluminium permet également de diminuer l'« effet de couronne » qui engendre des pertes (pertes diélectriques). On peut réduire cet effet en augmentant le diamètre du conducteur, opération rendue plus facile grâce à la légèreté de l'aluminium.

L'aluminium est utilisé dans la fabrication de produits électriques : **culot d'ampoule**, par exemple ainsi qu'antennes de télévision. Très résistant à la corrosion, robuste et flexible, l'aluminium est antimagnétique, une qualité précieuse pour les applications électriques.

2 - Le marché

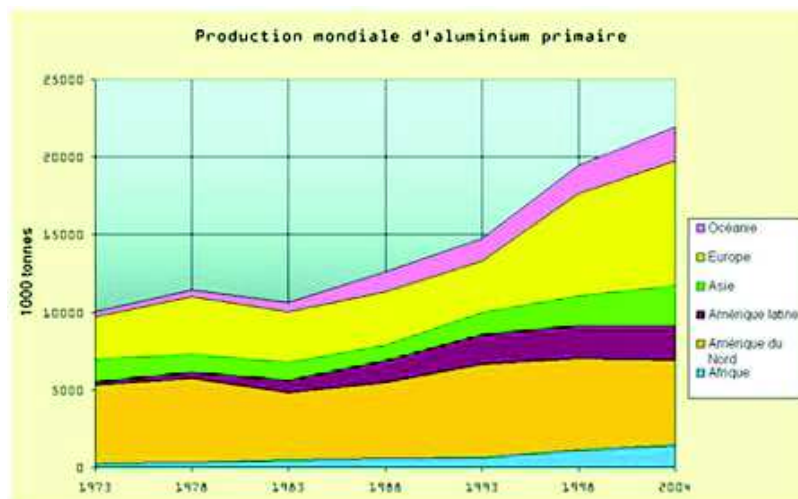
Les trois plus grands industriels mondiaux de l'aluminium sont :

A) Alcan

- Forme juridique : Société par actions , 1902 , Montréal
- Secteurs d'activité : Aéronautique, Construction, Alumine et Bauxite, aluminium, automobile
- Effectif : 88 000
- Chiffre d'affaires : 25 milliards \$ US
- Alcan possède plus de 379 établissements dans 63 pays.

Considérée longtemps comme le plus international des producteurs d'aluminium, Alcan a été nommée « World's Most Admired Metals Company » par le magazine Fortune et l'une des dix premières sur le plan de la responsabilité sociale.

Alcan, société multinationale axée sur ses marchés clés, est un leader mondial dans les secteurs de l'aluminium et de l'emballage, ainsi que du recyclage de l'aluminium grâce à ses établissements dans la production d'aluminium de première fusion, la transformation de l'aluminium et les emballages flexibles et de spécialité, ainsi que les applications aéronautiques, l'extraction de bauxite et le traitement de l'alumine.



Production mondiale d'aluminium primaire

B) Rusal

- 2006 : Compagnie unifiée d'aluminium russe
- Le 9 octobre 2006, la fusion de Rusal, de Sual et des actifs dans l'aluminium du groupe suisse Glencore crée le numéro un mondial du secteur stratégique de l'aluminium. La nouvelle entité est appelée Compagnie unifiée

d'aluminium russe. Elle sera détenue à 66 % par les actionnaires de Rusal, à 22 % par ceux de Sual et à 12 % par Glencore. Elle emploie 110 000 personnes dans 17 pays sur cinq continents.

- Secteurs d'activité : Production d'aluminium

C) Alcoa

- Création : 1894 et en 1929 prend le nom Alcoa
- Secteurs d'activité : Production d'aluminium et d'alumine
- Filiales : AFL Automotive
- Effectif : 129'000 (en 2006)
- Chiffre d'affaires : 22 milliards d'Euros en 2005 (sois 32 milliards de dollars)

Le marché et la Chine

On entrevoit un marché de l'aluminium primaire équilibré en Chine où la demande rattraperait l'offre vers 2006. Alcan a publié une étude au sujet de la Chine et de l'industrie mondiale de l'aluminium. Les conclusions sont les suivantes :

- Même si la Chine demeure exportatrice d'aluminium brut elle retrouvera une situation d'équilibre d'ici le milieu de la décennie;
- Les facteurs qui stimulent la consommation d'aluminium en Chine, notamment la hausse du revenu par habitant, l'urbanisation et la croissance de la fabrication, sont peu susceptibles de se dissiper;
- La hausse des coûts de l'alumine et de l'énergie impose des contraintes importantes à la croissance de la production d'aluminium de première fusion;
- La probabilité que la Chine devienne une force déstabilisatrice sur le marché de l'aluminium continue de s'atténuer.

Casser la relation de prix entre alumine et aluminium : une révolution ?

(Extrait de la revue ECOMINE, par C. Hocquard . BRGM, Juin 2003- abrégé)

Actuellement, le prix de l'alumine est dépendant du prix de l'aluminium coté au London Metal Exchange (LME).

Cette liaison profite aux producteurs d'aluminium (fonderies/smelters), qui ont ainsi des marges assurées. Le prix de l'alumine (raffineries) est fixé à 12 à 15 % de celui de l'aluminium (spot LME). Cependant le prix de l'alumine a presque doublé, passant de 160 à 290 US\$/t, soit environ 20% du prix de l'aluminium.

Les producteurs d'alumine n'ont plus besoin de sécurité à court et moyen termes, car ils sont assurés d'écouler leur production.

La relation entre l'alumine et de l'aluminium devrait être similaire à celle entre le minerai de fer et l'acier.

Les prix ne devraient plus être reliés entre eux.

Pour l'alumine, le facteur déterminant est d'abord la proximité d'un gisement de bauxite de qualité (ainsi qu'un accès à la soude caustique à prix faible).

Pour la production d'aluminium, le facteur déterminant est d'abord une source d'électricité abondante à faible coût.
Ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie - 2003

Page 11/12 - Risques, pollution et recyclage

1 - Risques sanitaires

Evaluation des risques sanitaires liés à l'exposition de la population française à l'aluminium - Eaux, aliments, produits de santé. **L'Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments (Afssa) a été interrogée par**

l'UFC Que Choisir, le 3 février 2000, sur les dangers liés à la présence d'aluminium dans l'environnement des consommateurs à travers les différentes sources d'apports en particulier dans les eaux et les aliments. Parallèlement à cette demande d'évaluation de risque, l'Agence Française de sécurité sanitaire des produits de santé (Afssaps) engageait une réflexion portant sur l'aluminium et les produits de santé.

En juillet 2000, **l'unité 330 de l'INSERM a mis en évidence un risque accru de démences, notamment de type Alzheimer, chez des sujets exposés à des concentrations en aluminium dans l'eau de distribution supérieures** à 100 mg/l relançant un débat débuté dans les années 1970 sur le rôle éventuel de l'aluminium dans la démence dégénérative d'Alzheimer.

La littérature scientifique ayant suggéré que l'aluminium pouvait être impliqué dans l'étiologie d'autres pathologies, la réflexion a été élargie à l'ensemble des effets sanitaires possibles

L'aluminium est un composé ubiquitaire présent sous différentes formes dans l'environnement. L'étude de ses différentes formes chimiques, est complexe. A l'état naturel, l'aluminium est toujours combiné à d'autres éléments. La spéciation de l'aluminium dans l'eau et surtout dans les aliments est difficile à apprécier d'autant plus qu'elle est modifiée au cours du transit.

Dans ce contexte, le dosage reste actuellement délicat en raison de l'ubiquité de cet élément et des risques de contamination inter échantillons qui en résultent.

Chez l'homme, les principales voies d'exposition reconnues sont les voies orale, cutanée et respiratoire.

-- **Pour la voie orale**, en dehors de toute exposition professionnelle, l'ingestion d'aliments constitue 95% des apports quotidiens ; l'aluminium présent dans les aliments de base ou l'eau de boisson résulte d'un phénomène naturel, d'un ajout d'additifs alimentaires, d'un traitement de l'eau ou d'une migration du contenant vers le contenu. **Dans le cas de l'instauration d'une thérapeutique par médicaments anti-acide** ou par pansements digestifs à base d'aluminium, l'exposition est majorée.

- **L'inhalation demeure une voie d'exposition mineure**, sauf en milieu professionnel où l'atmosphère des ateliers peuvent contenir des teneurs élevées en aluminium. La quasi-totalité des effets observés chez l'homme relèvent du domaine de la toxicité chronique.

Les effets cliniques avérés de l'aluminium sur la santé humaine (neurologiques et osseux) ont toujours été observés dans des situations de forte accumulation d'aluminium dans l'organisme.

Cependant, à partir des données disponibles, rien ne permet d'affirmer que l'exposition à l'aluminium aux doses habituelles soit associée à une augmentation de risque. Par ailleurs, dans les cas où l'exposition pourrait être plus importante (traitement anti-acides au long cours), il est nécessaire de rappeler que l'évaluation doit prendre en compte les bénéfices attendus de ces produits de santé.

A ce jour, l'évaluation des risques sanitaires liés à l'exposition à l'aluminium se heurte à un certain nombre de difficultés, liées à la fois à la mesure de l'exposition à l'aluminium et à la mauvaise connaissance de la cinétique, du métabolisme et de la toxicité des différentes formes chimiques de l'aluminium.

L'hydroxyde d'aluminium est utilisé dans de très nombreux vaccins comme adsorbant et adjuvant de l'immunité. La non-innocuité de ce type de préparation a été évoquée mais sans argument convaincant. Selon des publications très récentes l'association vaccin-hydroxyde d'aluminium est susceptible de provoquer chez certains individus des réactions immunitaires avec des troubles musculaires ou neurologiques durables. Ce n'est pas une raison pour ne pas se faire vacciner, ces cas sont rarissimes par rapport aux effets bénéfiques des vaccins sur une population.

Pour les risques professionnels : voir le chapitre sur la chimie de l'aluminium et, en particulier, les mesures de sécurité.

2 - La pollution par les usines d'aluminium

La liste des polluants atmosphériques est longue. Aux classiques habituels mais toujours réels polluants tels que les poussières, le SO₂, les NO_x, le CO, les métaux lourds, les composés organiques volatils, le fluor, l'acide chlorhydrique, etc... sont venus s'ajouter progressivement d'autres substances telles que les gaz à effet de serre : le CO₂, le CH₄, le N₂O, les CFC, HFC, PFC et SF₆ et d'autres substances telles que l'ozone, les organochlorés (dioxines et furannes), les HAP (Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques), etc.



Vallée du Rhône

Explication des images : En Valais, l'entreprise Alusuisse a connu des problèmes sociaux et des problèmes de pollution longtemps occultés, dénoncés à la fin des années 1970 : la « guerre du fluor ». On comprend aisément en regardant la photo de la vallée du Rhône à cet endroit que la pollution y fut particulièrement grave, la circulation d'air étant unidirectionnelle. **Les difficiles années 1980 sont à l'origine de la révision de la stratégie industrielle:** réduction d'effectifs, fermeture des halles d'électrolyse vieillottes, d'où la vente en 1994 d'une partie du réseau électrique aux Forces motrices valaisannes, modernisation accélérée des installations, diversification dans le secteur des emballages etc.

Bien entendu les sources émettrices de polluants dans l'atmosphère sont fort nombreuses et concernent tous les secteurs relatifs aux activités humaines (domestique, industrie, agriculture, transports, etc.) ainsi que la nature.

On constatera que la part des émissions dévolue à chaque secteur varie considérablement selon les constituants, notamment en ce qui concerne les secteurs principalement consommateurs d'énergie.

3 - Les polluants principaux de l'industrie de l'aluminium sont :

A) PFC - Perfluorocarbures

Synthétisés exclusivement par voie chimique les **PFC** sont largement utilisés lors des étapes de production des semi-conducteurs. Ils sont aussi des sous-produits de l'électrolyse de l'aluminium. L'amélioration des procédés a permis de diminuer notablement les émissions de ces gaz à effet de serre depuis 1990.

Emissions en 2005 : 1 801 kt CO₂e

Evolution 2005 / 1990 : -58 %

Secteurs prépondérants en 2005 (trois premiers des émissions totales) :

- **Métallurgie des métaux non ferreux 73 %** avec la production d'aluminium de première fusion, la production de trifluoroacétique (producteur de PFC – sous-produit CF4) et la fabrication de semi-conducteur (utilisation de PFC).
- **Biens d'équipement, matériaux de transport 17 %**
- **Chimie 10 %**

Toutefois, après avoir fortement régressé par suite des progrès réalisés dans l'industrie de la production d'aluminium de première fusion au niveau du contrôle de l'effet d'anode, les émissions ont connu des fluctuations traduisant, d'une part, une progression sensible de la production d'aluminium associée à une maîtrise non optimale des rejets et, d'autre part, un développement de l'industrie des semi-conducteurs

(Source : CITEPA / CORALIE format SECTEN - mise à jour 15 février 2007)

B) HF - Acide fluorhydrique

Le fluor est surtout émis au cours de la première fusion de l'aluminium ; l'électrolyse nécessite l'ajout de cryolithe (Na_3AlF_6) qui donne du HF. Du fait que le fluor est présent dans de nombreux minéraux (argiles, phosphates naturels, charbon, dolomie, bauxite, etc.), les utilisateurs de ces minéraux sont donc des émetteurs potentiels.

Les plus connus sont les briqueteries, les fabriques de fibre de verre, d'émaux, les aciéries, la sidérurgie, etc... qui épurent généralement leurs gaz avant rejet à l'atmosphère.

Un exemple : les principales sources de pollution fluorée sont en Nord - Pas-de-Calais les industries des tuiles et des briques, des céramiques, du verre et surtout de l'aluminium. **Depuis 1992, la plus importante source d'émissions fluorées dans la région est l'usine Aluminium Dunkerque.** Pourtant, cette usine est l'une des plus performantes au monde en matière de maîtrise des émissions de fluor issues de l'électrolyse. Les équipements antipollution de l'usine correspondent aux meilleures techniques disponibles actuellement. On touche là les limites de la technologie. Quels que soient les investissements réalisés en matière de dépollution, certaines activités, comme la production d'aluminium, restent polluantes.

4 - Le recyclage

Le recyclage de l'aluminium ne nécessite que 5% de l'énergie nécessaire à la production primaire d'aluminium : **il permet donc d'économiser 95% d'énergie**, mais aussi 95% des émissions de gaz à effet de serre.

Recycler 1 kg d'aluminium économise 8 kg de bauxite, le minerai de base de l'aluminium, et 14 kilowattheures d'électricité. Aujourd'hui, plus 30% de l'aluminium consommé est issu du recyclage.

En 2005, 422 000 tonnes d'aluminium ont été recyclées en France (+ 5% par rapport à 2004) ; à titre comparatif, la production primaire s'est élevée pour la même année à 440 000 tonnes.

Le taux de recyclage de l'aluminium utilisé dans le **bâtiment est de 85%** ; il est de 90 à 95% dans les transports. Or, ces deux secteurs représentent 57% de la consommation totale d'aluminium en France (2005).

A) Le recyclage, une réponse à la demande croissante : Le taux de croissance devrait atteindre 6%, sans doute plus dans les transports, en particulier dans l'automobile. L'industrie de l'aluminium considère le recyclage comme un enjeu majeur.

Dans le secteur de l'automobile, on recycle une grande part de la production. **Plus de 80 % des pièces de voitures en aluminium sont recyclées, et la quantité d'aluminium utilisée dans les voitures augmente d'année en année.** D'ici peu, nous aurons des automobiles entièrement recyclables.

La durée de vie assez longue des produits d'aluminium (12 ans pour le secteur automobile, environ 30 ans pour le bâtiment) limite l'offre de produits usagés.

B) Le processus de recyclage

Le principe : gisement, collecte, tri, affinage, refusion, utilisation

Eternel aluminium... 9

Déjà **30%** de l'aluminium que nous utilisons chaque jour et
100% de l'aluminium que nous trions sont recyclés.

EN 2002, LE PROGRAMME ECO-EMBALLAGES A PERMIS DE RECYCLER
1 400 TONNES D'EMBALLAGES EN ALUMINIUM.

En recyclant l'aluminium, on économise des ressources naturelles et
95% de l'énergie nécessaire pour fabriquer l'aluminium de première fusion.

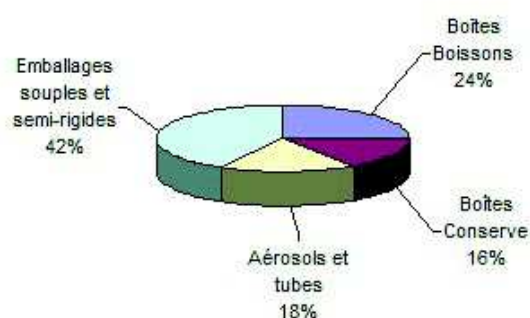
... Il se recycle à **100%** et à l'infini.

Recyclage, information à la population, Le Havre

Les emballages constituent, du fait des difficultés de collecte, un gisement d'aluminium usagé plus difficile à atteindre que dans le transport ou le bâtiment : le taux de recyclage dans l'emballage se situe autour de 30%.

L'industrie a réduit la quantité d'aluminium nécessaire à l'emballage des produits en optimisant leur conception et en améliorant la technologie des matériaux : par exemple, l'épaisseur a été réduite d'environ 33% en 15 ans. Par ailleurs, l'industrie coopère avec des systèmes de collecte et de tri, qui ont permis de mettre en place avec succès le recyclage.

L'électricité représentant une part importante du coût de production, les industriels ont toujours été incités à mettre au point des technologies plus économes en énergie. **La consommation d'électricité en Europe dans l'électrolyse a été réduite de 33% depuis 1950.**



Les emballages à récupérer

C) Le cas de la récupération des canettes

Les canettes d'aluminium sont recyclables à 100% ; elles n'ont pas d'étiquettes ou de bouchons qu'il faut enlever avant de les recycler. Leur recyclage permet de réduire la quantité de déchets, d'économiser l'énergie, de préserver les ressources naturelles et d'amoindrir le fardeau des décharges municipales, tout en offrant aux

entreprises de recyclage et aux municipalités une source importante de revenus.

Chaque année au Canada, deux milliards de canettes sont récupérées, déchetées, nettoyées et refondues pour produire de nouvelles canettes. La valeur de la canette d'aluminium est de 6 à 20 fois plus élevée que tout autre matériau d'emballage usagé. **Il s'agit du seul contenant dont le recyclage rapporte davantage qu'il coûte.**

Par ailleurs, la canette d'aluminium d'aujourd'hui exige près de 40 % moins de métal que celle d'il y a 25 ans. Sa fabrication requiert de moins grandes quantités d'énergie et de matières premières.

Page 12/12 - Bibliographie

1 - Bibliographie

- C.König : notes personnelles, cours de chimie et visites d'usines
- Cahiers d'histoire de l'aluminium, publiés par l'Institut d'Histoire de l'Aluminium, par abonnement, sous la direction de Maurice LAPARRA.
IHA, Tour Manhattan, 17^e étage, 92087 PARIS La Défense Cedex,
Tél : 01 56 28 34 36. E-mail : histalu[at]histalu[.]org. [Notez que l'IHA risque de cesser ses activités faute de financement].
- GRINBERG Ivan, avec la collaboration de Florence HACHEZ-LEROY et de Jean PLATEAU, "L'Aluminium, un si léger métal", Editons Gallimard, Collection Découvertes, Paris, 2003.
- Les DECHETS, Dossiers de l'environnement, Georg, Genève

2 - A lire sur Futura-Sciences

- http://www.futura-sciences.com/fr/sinformer/actualites/news/t/physique-1/d/naissance-dune-metallurgie-a-froid-vers-une-revolution_7993/
L'aluminium détrônera-t-il un jour l'acier, notamment dans les secteurs de l'automobile et de l'aéronautique, en ouvrant de nouvelles voies d'utilisation aux industriels ? Un procédé de nitruration de l'aluminium vient d'être mis au point, qui inaugure également une véritable métallurgie à froid.
- http://www.futura-sciences.com/fr/comprendre/dossiers/doc/t/technologie/d/la-voiture-du-futur_685/c3/221/p4/
Diminuer le poids des véhicules est devenu l'un des objectifs majeurs des constructeurs automobiles en vue de réduire la consommation en carburant. De nombreux matériaux légers tels que l'aluminium, le magnésium et certains plastiques sont de plus en plus souvent utilisés au côté de l'acier.
- http://www.futura-sciences.com/fr/comprendre/dossiers/doc/t/developpement-durable/d/modes-de-consommation-et-de-production-durables_117/c3/221/p3/
Ce dossier fait partie d'une série de dossiers publiés à l'occasion de la tenue, du 26 août au 4 septembre 2002, du sommet pour le développement durable de Johannesburg
- http://www.futura-sciences.com/fr/comprendre/dossiers/doc/t/physique/d/generateur-de-lumiere-a-optique-fluide_192/c3/221/p3/
L'optique fondamentale de ce générateur est constitué d'une optique fluide en alliage d'aluminium, obturée du côté des sources par un hublot en verre borosilicaté chargé de recueillir toute l'énergie lumineuse des diverses sources fonctionnant toutes ensemble

3 - Sites internet :

- <http://aluminium.matter.org.uk/content/html/FRE/default.asp?catid=&pageid=1>
Le site pour tout savoir sur la métallurgie de l'aluminium
- http://www.energymanagertraining.com/new_industryprocessmain.htm

- <http://www.webelements.com/>
- <http://www.industrie.gouv.fr/>
- <http://www.mineralinfo.org/memento/liste.htm>
- L'industrie américaine de l'aluminium sur Internet : www.aluminum.org.
- La société française de chimie www.sfc.fr

4 - Quelques adresses pour des infos sur le recyclage de l'aluminium

- **ALCAN**

7 Place du Chancelier Adenauer
75218 PARIS Cedex 16

Tél. : 01 56 28 27 11

Fax. 01 56 28 33 57

Email : france-alu-recyclage@alcan.com

Site : <http://www.france-alu-recyclage.com>

- **Association française de l'aluminium**

17 rue Hamelin
75016 PARIS

Tél. : 01 42 25 26 44

Fax. 01 53 75 02 13

Email : contact@aluminium-info.com

Site : <http://www.aluminium-info.com>

- **Eco Emballages**

44 Avenue Georges Pompidou
BP 306
92302 LEVALLOIS PERRET Cedex

Tél. : 01 40 89 99 99

Fax : 01 40 89 99 88

Email : comm@eco-emballages.fr

Site : <http://www.ecoemballages.fr>



FUTURA - SCIENCES.COM

Le savoir s'invite chez vous