

*Dossier pédagogique*

# « L'âge de l'aluminium »

exposition



## Introduction

Le Centre de Culture Scientifique Technique et Industrielle (CCSTI) de Haute-Savoie reçoit à partir du 21 septembre 2005 jusqu'au 4 juin 2006 l'exposition intitulée « L'âge de l'aluminium ». Cette exposition, co-réalisée en 2003 par la Cité des sciences et de l'industrie et Pechiney Rhénalu, est enrichie pour sa première valorisation en région Rhône-Alpes par nos partenaires industriels, culturels et associatifs.

### L'âge de l'aluminium

Placée sous le triple éclairage de la science, de l'industrie et de la création artistique, l'exposition « L'âge de l'aluminium » retrace l'aventure d'un métal qui incarne depuis son invention il y a maintenant 150 ans, les aspirations futuristes d'une société marquée par le progrès scientifique et technologique.

Elle entraîne tous les publics dans une découverte ludique de l'identité de l'aluminium, de ses propriétés ainsi que de ses applications industrielles. L'ensemble est complété par une exceptionnelle collection d'objets évoquant tour à tour les liens étroits que l'aluminium entretient aujourd'hui avec l'environnement, les transports, le bâtiment, la santé, sans oublier bien entendu, un regard tourné vers l'avenir.

Le dossier pédagogique que vous avez entre les mains est composé de différents livrets. Chacun traite un des thèmes que vous souhaitez aborder lors de votre visite de l'exposition.

## Sommaire :

- Carte d'identité de l'aluminium p 8
  - L'histoire de l'aluminium
  - L'aluminium, caractéristiques et propriétés
  - Propriétés physiques
- De la bauxite à l'aluminium p 11
  - Les procédés de fabrication de l'aluminium
  - La transformation de l'aluminium, le laminage
  - Le traitement de surface
  - La production d'aluminium dans le monde
- L'aluminium et l'environnement p 14
  - Un métal pratique à recycler
  - Impact de l'industrie de l'aluminium sur l'environnement
- L'aluminium et l'emballage p 18
  - Les boîtes de conserve
  - La boîte boisson
  - Autres types d'emballages
- L'aluminium et la santé p 21
  - L'aluminium dans le corps
  - L'aluminium dans notre environnement
  - Les principales causes d'exposition à l'aluminium
  - Quels risques pour la santé ?
- L'aluminium et les transports p 24
  - Construction aéronautique
  - Construction automobile
  - Construction navale
  - Construction ferroviaire



### **Contenus de l'exposition :**

Différents espaces se trouvent dans l'exposition. Une première partie constitue une phase d'imprégnation dans le thème de l'aluminium. Nous découvrons, à travers une collection d'objets que l'aluminium est partout, et que nous sommes complètement entourés de ce matériau dans notre environnement quotidien.

Les panneaux suivants vous accompagnent tout au long de votre visite :

- Des étoiles à la poussière
- Où se terre l'aluminium ?
- La vitrine du minéralogiste
- Du minéral au métal
- Bauxite et aluminium : une liaison étroite
- Du minerai rouge à la poudre blanche
- De la roche au métal (ligne de production)
- Apprenti métallurgiste
- Comptoir des découvertes (propriétés)
- L'union fait la force
- La métallothèque
- Au cœur des alliages
- Le métal du mouvement
- L'aluminium en chiffre

Ainsi que des Savoir Plus qui vous donneront des précisions sur : les émissions de gaz à effet de serre, les chiffres de production, l'énergie nécessaire à la transformation de la roche au métal, les impacts sur l'environnement.

Tous les thèmes ne seront pas traités de la même façon lors de votre visite ; celle-ci est construite sur mesure et vous permettant ainsi d'approfondir certains sujets. Les élèves auront bien entendu un aperçu global de l'exposition.

### **Pourquoi un dossier pédagogique ?**

Ce dossier est là pour vous accompagner et vous aider dans le travail que vous menez avec votre classe autour de l'aluminium.

Il vous donnera quelques pistes pour exploiter l'exposition :

- des liens avec le programme en fonction du niveau
- des notions scientifiques
- des activités ou des expériences scientifiques à faire avec la classe
- le rappel du contenu de l'exposition
- quelques références pour aller plus loin.

Vous trouverez parfois des fiches directement exploitables par vos élèves : vous pouvez, si vous le souhaitez, les photocopier pour les distribuer telles quelles à votre classe.

Que vous veniez ou non voir notre exposition, nous espérons que ce dossier vous sera utile.



### Liens au(x) programme(s) :

Nous essayons autant que possible de faire le lien entre ce que nous vous proposons et les programmes scolaires. Vous noterez ainsi certaines différences en fonction du niveau de votre classe. Vous avez bien entendu toute liberté d'action et de choix, tant pour la préparation que pour l'exploitation de votre visite au CCSTI.

#### Cycle 3 :

L'aluminium n'est pas au programme de l'école primaire cependant, une visite découverte peut être l'occasion d'une première approche du monde industriel et de son implication dans notre vie. L'enfant pourra prendre conscience de l'utilisation de l'aluminium au quotidien, notamment autour de la cuisine, de l'alimentation et des transports.

En prolongement de l'exposition, il serait intéressant de demander aux enfants de ramener plusieurs objets en aluminium, de contrôler avec eux s'ils sont bien en aluminium (métal non ferreux donc pas attiré par un aimant) et rechercher le processus de leur fabrication.

#### Collège :

Programme de **Technologie** :

6<sup>ème</sup> :

Extrait du programme :

« Un matériau est une matière d'origine naturelle ou artificielle que l'homme façonne pour en faire des objets techniques.

- Un matériau est une matière de base sélectionnée en raison de propriétés particulières et mise en oeuvre en vue d'un usage spécifique.

- La nature chimique des différentes matières premières qui sont à la base des matériaux confère à ceux-ci des propriétés particulières. »

5<sup>ème</sup> :

- Design du produit technologique (conception et réalisation d'objets techniques)

Programme de **Physique-Chimie** :

3<sup>ème</sup> :

L'élaboration et le recyclage des métaux sont présents dans le programme de 3<sup>ème</sup> en **physique**. En complément de l'exposition, une visite des entreprises Excoffier Frères ou Téfal pourrait être envisagée. Excoffier-Frères est une entreprise spécialisée dans le tri et le conditionnement de matières valorisables. Téfal est spécialiste des articles de cuisine antiadhésifs.

#### Lycée :

La révolution industrielle est au programme d'Histoire-Géographie des classes de 1ère. Cette exposition qui parcourt 150 ans de l'histoire de ce matériau est un exemple caractéristique des mutations technologiques, humaines et sociales qui caractérisent cette période de l'histoire.

## Informations pratiques :

Pour plus d'information, concernant la visite de sites, vous pouvez nous contacter directement au CCSTI.

Nous pouvons vous envoyer certains éléments par mail.

Les livrets sont téléchargeables sur notre site : <http://www.ccsti74-crangevrier.com>

Quelques références autour de l'exposition « L'âge de l'aluminium » :

⇒ [http://www.cite-sciences.fr/francais/ala\\_cite/expo/tempo/aluminium/](http://www.cite-sciences.fr/francais/ala_cite/expo/tempo/aluminium/)

Le site de la cité des sciences et de l'industrie présente, en ligne, l'exposition « L'âge de l'aluminium ».

⇒ <http://www.intexalu.com/aluminium/alu.htm>

Encyclopédie de l'aluminium du groupe Intexalu.

⇒ <http://www.aluminium-info.com/fr/>

Site de la Chambre syndicale de l'aluminium.

⇒ <http://www.france-alu-recyclage.com/fr/frt1.htm>

Site complet sur le recyclage de l'aluminium

⇒ [http://www.alcan.com/web/publishing.nsf/content/Home\\_FR](http://www.alcan.com/web/publishing.nsf/content/Home_FR)

Site de l'entreprise Alcan, deuxième producteur mondial d'aluminium de première fusion.

⇒ <http://e.geologie.free.fr/actualite/index.html>

C'est le portail des géosciences géré par la société géologique de France et 15 associations partenaires

⇒ <http://www.tefal.fr/tefal/>

Site Internet de Tefal, leader mondial des articles de cuisine antiadhésifs.

⇒ <http://perso.wanadoo.fr/gueules-rouges/>

Site Internet du Musée des Gueules Rouges du Var et de la Bauxite.

⇒ <http://www.aluminium-futur.fr/>

L'aluminium pour les générations futures : une initiative des industries pour un développement durable. Chacune des propriétés de l'aluminium présente un intérêt en termes de développement durable à découvrir à travers des exemples évoqués dans les fiches thématiques du site Internet.

⇒ <http://www.fedem.fr/metaux/presentation.php>

Ce site de la Fédération des minerais, minéraux industriels et métaux non ferreux fournit des informations générales sur les productions et les utilisations des métaux non ferreux.

Le CCSTI dispose d'un centre de ressources avec livres, revues et dossiers documentaires en consultation, outils pédagogiques et expositions itinérantes en prêt.

Contact : Magali Ronget-Hetreau – 04 50 08 17 06



## **Conclusion :**

Le rôle des médiateurs ne se limite pas à l'accueil lors de votre visite. Il comprend la préparation de votre venue (la construction sur mesure de votre visite au CCSTI) ainsi qu'une aide ultérieure si le besoin s'en fait sentir. N'hésitez donc pas à nous contacter :

Fabien Champagnat  
f.champagnat@ccsti74-crangevrier.com

Carole Le Roy  
c.leroy@ccsti74-crangevrier.com

Mireille Schaeffer  
m.schaeffer@ccsti74-crangevrier.com

Tel : 04 50 08 17 04  
Fax : 04 50 08 17 01

Conception et réalisation de ce document :

Auteurs :

Fabien Champagnat,  
Carole Le Roy

Remerciements : Véronique Fleschmann, Mireille Schaeffer, Nahed Slama

# Carte d'identité de l'aluminium

## Introduction :

Métal à la fois banal et précieux, l'aluminium est l'un des composants les plus importants de la planète puisqu'il constitue 8% de l'écorce terrestre. Il n'existe pas à l'état natif dans la nature, mais se présente contenu dans des minerais sous forme principalement d'oxydes. Il joue un rôle capital dans de nombreux secteurs de l'industrie aérospatiale à la robotique mais aussi dans la haute couture, la bijouterie ou le mobilier contemporain.

## L'histoire de l'aluminium

C'est en 1825 que le chimiste Danois Hans Christian ØRSTED isola l'aluminium pour la première fois, par une réaction chimique impliquant un amalgame au potassium.

En 1845, le scientifique allemand Friedrich Wöhler obtient des particules d'aluminium impur. En améliorant le procédé d'ØRSTED et en utilisant le potassium métallique, il fut le premier à mesurer la densité de l'aluminium et à montrer sa légèreté.

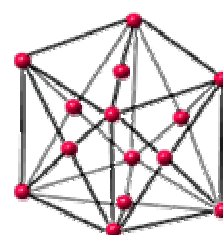
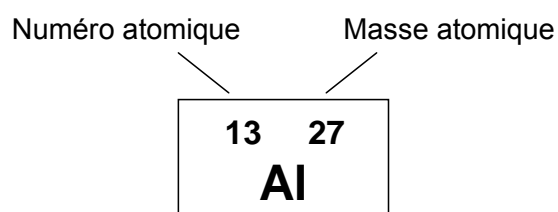
En 1854, en France, Henri Sainte-Claire Deville obtient un métal (Chlorure double d'aluminium et de sodium) réduit par le sodium. Aidé par le soutien financier de Napoléon III, Deville créa une usine expérimentale et exposa l'aluminium pur, sous le nom d'« argile transformée en argent », à l'Exposition internationale de Paris en 1855. D'extraction difficile, son cours avoisine alors celui de l'or.

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.

Aujourd'hui, le procédé Paul HEROULT est toujours la méthode fondamentale utilisée dans la production d'aluminium dont l'utilisation est devenue usuelle.

## L'aluminium, caractéristiques et propriétés



Système cristallin

### **Nom, Symbole**

Date et lieu de découverte

Etat physique naturel

Température de fusion\*

Température d'ébullition\*

Masse molaire

Masse volumique / Densité

Résistivité électrique\*

Conductivité thermique\*

Système cristallin

### **Aluminium, Al**

Découvert en 1825 au Danemark

Solide

660°C

2519 °C

27 g/mol

2700 kg/m<sup>3</sup> / 2,7

2,7.10<sup>-8</sup> Ohm.m

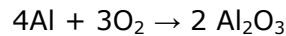
22 W/m/K

Cubique à faces centrées

## Propriétés physiques

Le rapide développement de l'aluminium et sa contribution aux grandes évolutions techniques de notre époque sont dus à ses propriétés exceptionnelles.

L'aluminium est un élément important sur la planète avec 1.5% de la masse total en élément Al. Métal mou, léger et malléable, il est très facilement oxydable. A l'air, il se forme une couche de quelques micromètres d'oxyde d'aluminium :  $\text{Al}_2\text{O}_3$  appelé alumine, solide réfractaire\*, selon la réaction :



Cette couche imperméable, transparente et translucide le protège et empêche la corrosion de progresser

A la différence de la plupart des métaux, l'aluminium est utilisable même s'il est oxydé en surface. On peut même dire que sans cette couche d'oxyde, il serait impropre à la plupart de ses applications.

De plus, l'aluminium :

- Est trois fois plus léger que l'acier.
- Ses performances mécanique/masse sont comparables à celles de l'acier.
- C'est un excellent conducteur de l'électricité et de la chaleur.
- Il résiste naturellement à la corrosion de l'air et de l'eau.
- Son inertie chimique et sa stabilité métallurgique en font un métal adapté à la protection et à la conservation des produits.
- Il se prête facilement aux traitements de surface.
- Il est 100% recyclable en gardant les mêmes caractéristiques

## Point vocabulaire :

**\*Conductivité thermique :** elle exprime la quantité d'énergie sous forme de chaleur que peut transmettre une épaisseur de matériau soumis à une différence de température. Un corps isolant a une faible conductivité (exemple : la laine de verre : conductivité de l'ordre de  $0,04\text{W/m/K}$ ), un matériau conducteur a une forte conductivité (tous les métaux comme par exemple le cuivre : de l'ordre de  $240 \text{ W/m/K}$ ).

La conductivité thermique est exprimée en watts par mètre-kelvin, ( $\text{W/m/K}$ ) où :

- le watt (W) est l'unité de puissance
- le mètre (m) est l'unité de longueur
- le kelvin (K) est l'unité de température

**\*Résistivité électrique :** capacité d'un matériau à s'opposer à la circulation du courant électrique. Elle correspond à la résistance d'un tronçon de matériau de 1m de longueur et de  $1\text{m}^2$  de section. Elle est exprimée en  $\Omega \cdot \text{m}$  où :

- L'ohm ( $\Omega$ ) est l'unité de résistance électrique
- le mètre (m) est l'unité de longueur

La résistivité électrique de l'aluminium est de  $2,7 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ , celle du cuivre de  $1,7 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ , celle du fer de  $10,4 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$  et celle de l'argent, meilleur conducteur d'électricité de  $1,6 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$

**\*Température de fusion :** le point de fusion d'un corps représente la température à laquelle coexiste son état solide et son état liquide. Lorsque l'on chauffe une substance, la température augmente jusqu'au point de fusion, puis reste constante tant que la substance n'est pas passée entièrement sous phase liquide.

**\*Température d'ébullition :** c'est la température à laquelle un matériau passe de l'état liquide à l'état de vapeur.

**\*Réfractaire :** un matériau réfractaire résiste à de très hautes températures. L'alumine est un matériau réfractaire (température de fusion supérieure à  $2000^\circ\text{C}$ )

# De la bauxite à l'aluminium

## Introduction :

L'aluminium est le métal le plus abondant de l'écorce terrestre dont il est le 3<sup>e</sup> élément constitutif le plus important (8%) derrière l'oxygène (47%) et le silicium (28%). Il n'existe pas à l'état natif\* dans la nature, mais se présente contenu dans des minerais sous forme principalement d'oxydes.

La bauxite est le minerai le plus utilisé pour obtenir de l'alumine, matière intermédiaire nécessaire à la fabrication de l'aluminium.

## Les procédés de fabrication de l'aluminium

Divers procédés ont été utilisés, à plus ou moins grande échelle, pour extraire l'alumine pure de la bauxite, nécessaire à la fabrication électrolytique de l'aluminium. Tous ont été détrônés par le procédé de Karl Joseph Bayer, appliqué dès 1893 en France à Gardanne et maintenant utilisé universellement.

### Extraction de la Bauxite :



La bauxite est formée par l'altération rapide des roches granitiques en climat chaud et humide, c'est pour cela que les principaux gisements de bauxite sont situés dans les régions tropicales.

On exploite aujourd'hui la bauxite en grandes quantités en Australie, en Guinée et en Jamaïque.

La bauxite contient de 40 à 60% d'oxyde d'aluminium hydraté (alumine) mélangé à de la silice, de l'oxyde de titane et de l'oxyde de fer donnant cette couleur rouge caractéristique.

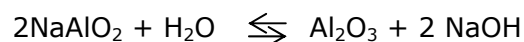
Il en faut environ 4 tonnes pour produire 2 tonnes d'alumine qui donnent 1 tonne d'aluminium.

Illustration : <http://www.cite-sciences.f>

### Elaboration de l'alumine : Technologie du procédé Bayer



Après avoir été broyée, la bauxite est mélangée à une solution de soude à très haute température et sous pression : c'est l'attaque. L'oxyde d'aluminium contenu dans la bauxite se dissout. La liqueur obtenue (l'aluminate de sodium :  $\text{NaAlO}_2$ ) est décantée, filtrée puis refroidie progressivement afin d'obtenir par précipitation de l'hydrate d'alumine. Cet hydrate est ensuite épuré et calciné dans des fours pour obtenir l'alumine (poudre blanche) produit intermédiaire selon la réaction :



90% de l'alumine est destinée à la production d'aluminium (c'est l'alumine métallurgique).

Le reste (aluminium technique) est utilisé pour la fabrication de céramique, de réfractaires\* et de verre.

### Production d'aluminium primaire

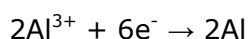
L'aluminium est obtenu par électrolyse de l'alumine selon le procédé découvert en 1886, indépendamment et au même moment par le français Paul Héroult et l'américain Charles Hall.

L'alumine est versée en continu dans le bain d'électrolyse composé de cryolite, dérivé fluoré, maintenu à 1000°C.

Un courant électrique de 100 000 à 200 000 Ampères, maintient la température de fusion de la cryolite (vers 1000°C) et la fusion de l'alumine. Alors, l'alumine se dissocie selon le bilan :



et à la cathode, l'aluminium se dépose suivant la réaction :



L'aluminium liquide se dépose au fond, sur la cathode tandis que l'oxygène réagit avec le carbone des anodes pour se dégager sous forme de CO<sub>2</sub>.

### Coulée de l'aluminium liquide

L'aluminium liquide qui se dépose au fond de la cuve lors de l'électrolyse de l'alumine est régulièrement prélevé par siphonage dans une poche, transportée sur un chariot à la fonderie, puis déversée dans un four où se fait la « mise à titre » : on ajoute d'autres métaux dans des proportions précises, pour obtenir des alliages aux propriétés souhaitées.

### Obtention des produits



L'aluminium sort de la fonderie sous des formes diverses en fonction de la destination des produits.

Les billettes\* cylindriques forment les armatures routières et ferroviaires.

Le fil est dédié aux câbles de distribution d'énergie, aux grillages.

Les lingots s'utilisent pour les pièces de fonderies notamment les blocs moteurs.

Les plaques de laminage (ou coil) servent à la fabrication des tôles pour les avions ou les automobiles.

### **La transformation de l'aluminium, le laminage**

Le laminage permet d'obtenir des tôles ou bandes d'aluminium, pour la fabrication de tous les produits alliant la légèreté à de grandes qualités de surface et nécessitant des propriétés mécaniques performantes.

Issue de la première fusion ou du recyclage, une plaque d'aluminium fait l'objet d'un premier laminage à chaud puis d'un laminage à froid afin d'obtenir une épaisseur pouvant atteindre 6 microns (papier d'aluminium).

### **Le traitement de surface**

Les traitements de surface de l'aluminium ont pour but d'enrichir l'aspect du métal et de le préserver durablement des effets de la corrosion. Des normes techniques européennes

définissent les procédés et les contrôles à effectuer pour avoir des produits de grandes qualités.

### La production d'aluminium dans le monde

Depuis le début du XX<sup>e</sup> siècle, l'industrie mondiale de l'aluminium a connu un développement sans précédent dans l'histoire des métaux : de 2 500 tonnes en 1895, la production annuelle dépasse à présent les 20 millions de tonnes.

Elle a doublé tous les 9 ans jusqu'en 1950 où elle a connu son plus grand essor. De nos jours, cette production reste stationnaire.

#### Principaux pays producteurs d'aluminium dans le monde (milliers de tonnes)

1		Etats-Unis	3 695
2		Fédération de Russie	3 065
3		Canada	2 309
4		Australie	1 376
5		Chine	1 220
6		Brésil	1 172
7		Norvège	888
8		Venezuela	569
9		Allemagne	552
10		Inde	466

La France arrive en douzième position avec une production de 430 000 tonnes d'aluminium par an. La Guinée assure 85% de l'approvisionnement français actuel en bauxite.

#### Point vocabulaire :

**\*Natif** : un métal est dit natif s'il existe dans la croûte terrestre à l'état non combiné (par exemple, l'or)

**\*Réfractaire** : un matériau réfractaire résiste à de très hautes températures. L'alumine est un matériau réfractaire (température de fusion supérieure à 2000°C)

**\*Billette** : petit lingot d'aluminium laminé.

# L'aluminium et l'environnement

## Introduction :

L'aluminium est **recyclable à 100%**, avec une économie d'énergie de **95%** par rapport à celle nécessaire à la fabrication de l'aluminium primaire.

De plus, le recyclage permet de préserver les ressources naturelles de bauxite.

Cependant, la fabrication de l'aluminium primaire a des impacts sur l'environnement.

## Un métal pratique à recycler

**350.000 tonnes** d'aluminium sont recyclées chaque année en France, assurant **30%** des besoins français en aluminium et représentent un marché d'environ 3 milliards de francs de chiffre d'affaires. Le taux de recyclage des boîtes-boisson en aluminium est de 65% aux Etats-Unis et de 30% en Europe.

### La collecte ménagère

Le tri sélectif autorise la récupération à part des emballages métalliques ménagers usagés.

### La collecte industrielle

On recueille le métal provenant de la démolition des bâtiments, des véhicules arrivés en fin de vie. Ainsi, 95% de l'aluminium contenu dans ces véhicules est récupéré puis recyclé.

### Le tri

Acteurs essentiels de la protection de l'environnement, les affineurs contribuent à la réinsertion dans le circuit économique de débris et déchets qu'ils traitent avec des techniques de plus en plus élaborées.

Afin de séparer les produits en aluminium des produits du fer et des autres déchets, on utilise des installations de tri performantes, appelées "machines à courant de Foucault".

### *Tri par courant de Foucault*

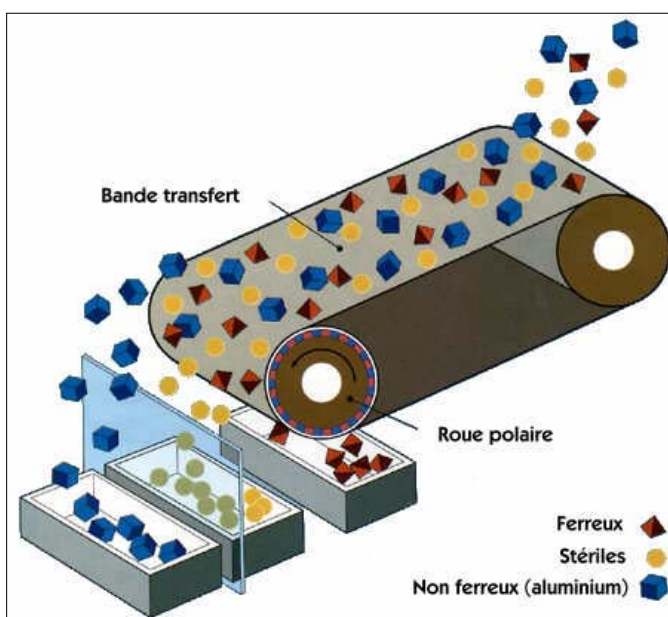


Illustration : <http://www.intexalu.com>

C'est un tri magnétique : les pièces avancent sur un tapis roulant au bout duquel il existe une roue polaire munie d'aimants dont les pôles sont alternés, chacun entraînant un champ magnétique.

Principe de Maxwell : un champ magnétique créé un courant dans tout objet conducteur à proximité. La roue donne une alternance de pôles qui créent un courant alternatif et donc un champ magnétique qui s'oppose au premier. L'objet sera donc soulevé et projeté.

Les mâchefers sur le tapis :

- les métaux ferreux restent accrochés et tombent sous la roue.
- Les inertes (cailloux, verre) tombent devant la roue.
- Les métaux non ferreux sont éjectés devant la roue.

## La préparation des métaux

Les matières peintes ou vernies peuvent subir en plus une opération de décapage. Après sa récupération et sa préparation, l'aluminium est comprimé dans une presse avant d'être acheminé vers des raffineries et des fonderies de recyclage.

## La deuxième fusion

L'aluminium est chauffé dans des fours spéciaux, jusqu'à liquéfaction. L'affinage consiste alors à épurer le métal liquide et à séparer les impuretés.

## Le moulage

L'aluminium se retrouve ensuite moulé ou allié à d'autres métaux. Principal client de ces alliages de deuxième fusion, l'industrie automobile les utilise pour obtenir différentes pièces moulées : moteur, jantes...

## Le recyclage en chiffres

### *Economie d'énergie de 95%*

La production d'aluminium secondaire à partir d'aluminium recyclé utilise beaucoup moins d'énergie que la production d'aluminium primaire à partir de son minerai. Il est difficile d'établir une comparaison précise car l'énergie utilisée pour la refusion est essentiellement thermique alors que dans l'électrolyse elle est électrique, cependant il est communément admis que le recyclage permet d'économiser jusqu'à 95 % de l'énergie requise pour la production d'aluminium primaire à partir de minerai.

### *Environ 1/3 des besoins du marché est assuré par du métal recyclé*

Aujourd'hui 30 % environ de l'aluminium livré sur le marché européen (près de 35 % en France) provient de métal recyclé. Ce pourcentage est déterminé par la disponibilité sur le marché de produits d'aluminium en fin de vie et par leur taux de collecte dans les divers secteurs d'utilisation. La croissance continue de la demande d'aluminium, associée à la durée de vie de produits issus de marchés antérieurs, dont le volume était plus faible, limitent évidemment la part du métal recyclé dans l'offre totale.

### *Les perspectives d'amélioration*

La collecte sélective de porte à porte devrait augmenter. 19% des français trient leur canettes, 57% le papier, 87% le verre.

Exemple : en Allemagne, il existe une poubelle à 4 compartiments : verres, journaux/papiers, canettes et autres. Cette poubelle est installée dans des endroits à fort passage comme les gares, métro...

En France, le mouvement n'a pas été suivi car ceci posait des problèmes financiers, esthétiques, et de sécurité.

La récupération en centre de tri reste manuelle dans la plupart des cas bien que la machine à courant de Foucault marche très bien. Le tri manuel donne un taux d'extraction de 40%.

D'autres systèmes sont donc envisagés :

- Couplage détection magnétique/volume :  
Inconvénient de la machine de Foucault : elle fait réagir tout objet ayant de l'aluminium. Idée : pouvoir séparer les objets ayant de l'aluminium majoritairement (canettes) et mineurairement (tetra-pack).  
Inconvénient : prix élevé.
- Couplage détection/éjection  
Système de détection par capteur et système d'éjection par air comprimé et impulsion électromagnétique.  
Le taux d'extraction serait multiplié par 4 par rapport au tri manuel.
- Couplage détection/signal sonore/ tri manuel  
Un capteur couplé à un signal sonore ou visuel avertit le trieur sur la chaîne.

## Impact de l'industrie de l'aluminium sur l'environnement

### Les belugas du Saint Laurent



Il y a 10 000 ans, à la fin de l'ère glaciaire, le niveau de l'Atlantique a fortement augmenté en inondant tout le nord-est des Etats-Unis. Plusieurs espèces arctiques sont venues s'installer dans cette région, comme l'ours polaire, le narval ou le beluga.

Le climat continuant à se réchauffer et suite à la fonte de la calotte glaciaire, les continents sont remontés et la mer s'est retirée. Ces animaux ont finalement battu en retraite, sauf les belugas qui s'installèrent dans l'estuaire du Saint Laurent.

*Illustration : encyclopédie encarta, tom  
Mc Hugh/photo researchers, Inc.*

A la même latitude que la France mais alimenté en eau froide par le courant glacial du Labrador, l'estuaire constitue un monde arctique miniature.

5000 individus de belugas étaient recensés au début du 20<sup>ème</sup> siècle **contre 650 aujourd'hui**.

Protégés depuis 1980, la population n'augmente toujours pas. Quelle en est la raison ? Depuis 20 ans, toute carcasse est autopsiée et les résultats ont été publiés en mars 2002 : **le cancer** est la principale cause de mortalité puisque 27% d'entre eux étaient atteints.

L'industrialisation de l'estuaire du Saint Laurent est une des plus importante du monde. Aux environs de la rivière Saguenay qui se jette dans l'estuaire, sont implantées depuis 3/4 de siècle des usines d'aluminium.

Dans le procédé, l'électrolyse de l'alumine se fait grâce à une électrode dont la combustion émet des Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP\*) cancérigènes. L'émission des HAP a été divisée par 4 de 90 à 97 mais 20 tonnes/an se retrouvent toujours dans la baie.

Le beluga se nourrit d'invertébrés qui ne métabolisent pas les HAP mais les accumulent. Ceci est dangereux également pour les hommes : les ouvriers sont très exposés aux cancers du poumon, de la vessie, voire de l'estomac, de l'appareil digestif, et du sein. 79% de la population a une eau potable qui provient des rivières et lacs environnant présentant également des taux élevés d'aluminium.

### Aluminium et rejets atmosphériques

Les émissions principales dans l'atmosphère dues à l'industrie de l'aluminium sont :

- Les fluorures  
Le procédé d'électrolyse nécessite des composés fluorés pour améliorer le bain électrolytique. L'économie d'énergie atteint les 50% puisqu'il diminue la température du bain à 960°C.  
Or, même à cette température, une partie des fluorures s'évaporent.
- Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)  
Ils sont le résultat de la combustion incomplète de composés carbonés. Dans l'industrie de l'aluminium, les émissions de HAP résultent de la cuisson du brai contenu dans les anodes utilisées pour l'électrolyse.

- Le dioxyde de soufre  
La coke\* de pétrole des anodes contient une faible teneur en soufre. La combustion des anodes donne donc des émissions de SO<sub>2</sub> dans l'air qui sont sources de pluies acides.
  
- Les gaz à effet de serre  
Dioxyde de carbone (la combustion des anodes des cuves d'électrolyse en coke\* de pétrole donne une combustion de carburant fossiles qui produit du CO<sub>2</sub>) ; gaz perfluorocarbonés (sont exclusivement reliés à l'effet anode du procédé d'électrolyse). La production de 1 kg d'aluminium entraîne le rejet de 3 à 5 kg de gaz à effet de serre.

**Point vocabulaire :**

**\*Hydrocarbures :** Composés issus du pétrole dont la molécule n'est formée que d'atomes de carbone et d'hydrogène

**\*Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques :** Classe de composés chimiques libérés dans l'environnement principalement à la suite de la combustion incomplète de carburants organiques (combustible fossile, bois, coke, etc.).

**\*Coke :** Charbon poreux utilisé en métallurgie de formule C.

# L'aluminium dans l'emballage

## Introduction :

Les emballages représentent 50% du volume de nos déchets et 1/3 de leur poids. Bien en amont de nos poubelles l'emballage doit remplir plusieurs missions : il doit protéger, informer, séduire et en fin de vie respecter l'environnement. Même si en France l'aluminium ne représente que 1% des emballages, il est présent au quotidien dans nos achats alimentaires : boîtes de conserves ; canettes et autres barquettes.

## L'aluminium dans les emballages :

### Types de produit :

On utilise l'aluminium dans l'emballage rigide, boîtes de boisson, boîtes pour appertisation\* (conserves), aérosols et vaporisateurs...

Grâce à l'inertie chimique et à la stabilité métallurgique de l'aluminium, l'emballage en aluminium permet d'obtenir un niveau optimal de conservation, de protection contre les ultraviolets, l'humidité et l'oxydation.

Enfin l'aluminium est aussi utilisé pour d'autres contenants comme des coffres et des piluliers, des caisses, des valises, des conteneurs

### Les boîtes de conserve

L'appertisation\* (1810) donnera rapidement naissance à l'industrie de la conserve en boîte.

Les boîtes de conserve en aluminium sont apparues dans les années 1930. L'emploi de l'aluminium est alors encouragé par le manque de fer blanc et l'utilisation contestée de l'étain.

Les militaires étaient très intéressés par la conservation de l'eau minérale dans des boîtes en métal, légères et incassables, à intégrer dans les rations de survie. La recherche se fit en partenariat avec les industriels de l'aluminium. Dans les années qui suivent la Seconde Guerre mondiale, on assiste en France à la fabrication de boîtes de conserve en aluminium dans une cartoucherie : les techniques et outils de production sont proches et les ouvriers formés au travail des métaux.



## La boîte boisson

La « canette » est une enfant de la boîte de conserve. L'idée de conserver du liquide dans des récipients en métal hermétiquement fermés serait née d'une demande des militaires pendant la 2e Guerre mondiale. Pour ouvrir la boîte de conserve remplie de boisson, l'utilisateur devait perforer lui-même deux trous dans le couvercle.



En 1959, Erman C. Frazee, fabricant d'outillage Américain, invente le couvercle en aluminium à ouverture facile : une innovation importante ! Le couvercle en aluminium est préincisé et muni d'un anneau, fixé par un rivet intégré. La préincision est obtenue par déformation locale sans provoquer de déchirure ou de fissure dans le métal. Son emploi s'impose autant pour les canettes en aluminium que pour celles en acier... Le procédé est amélioré en 1977 avec un nouveau système qui permet de conserver l'anneau attaché après ouverture.

Illustration : <http://www.cite-sciences.fr>

### La canette en chiffre:

Un marché très important en nombre d'unités (200 milliards) explique que l'on recherche à optimiser les outils de production et les propriétés même de la canette. La canette pèse aujourd'hui 13.6g contre 27.7g en 1960, une diminution du poids de **1%** entraînerait une économie de **20 millions de dollars** ! En 1963 : 30 milliards de canettes sont en acier, en 2000 elles ne représentent plus que 1% du marché américain (mais plus en Europe). La fabrication de canettes aux Etats-Unis représente 20% de leur consommation d'aluminium.

### Fabrication :

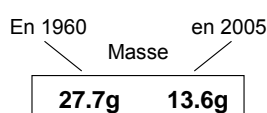
Procédés **Reynolds** : fabrication de la boîte en 2 pièces (flacon+couvercle).

On utilise un alliage d'aluminium avec des petites quantités de Mg, Manganèse, Fer, Silice et cuivre. On fabrique des lingots qui donneront des bobines par laminage

Procédé de fabrication à partir des feuilles d'aluminium :

- découpe de petites pièces circulaire de 14 cm de diamètre= **un flanc**
- chaque **flanc** est embouti en un **godet** de 8.9 cm de diamètre
- 3 étirages et 1 emboutissage\* (durée 1/50<sup>ème</sup> de seconde) amincissent et allongent les parois pour obtenir un flacon de 6.6cm de diamètre et 12,7cm de haut
- un poinçon donne la forme renflée convexe
- une machine à détourer rectifie le sommet de la boîte
- puis lavage, impression et laquage
- contrôle optique pour détecter les trous et microfissures
- un col est formé pour adapter le couvercle puis formation d'une collerette pour fixer le couvercle
- remplissage et sertissage : pasteurisation de la bière dans la boîte (résiste à une pression de 6.3kg/cm<sup>2</sup>)
- le couvercle est le plus résistant (- de manganèse + de Mg) et représente le ¼ du poids.

## Fiche d'identité de la canette



### Nom, surnom

Date d'invention

Composition

Contenu

Production mondiale annuelle

Production journalière américaine

Consommation française

Consommation Américaine

Taux de recyclage en France

Taux de recyclage au Etats unis

### Boite boisson, canette

Fin de la deuxième guerre mondiale

Alliage aluminium manganèse

2/3 de boissons non alcoolisées, 1/3 de bière

200 milliards d'unités

300 millions d'unités

50/an/habitant

340/an/habitant

30%

63,5%

### Autres types d'emballages :

L'emballage souple fait largement appel à l'aluminium, et représente la moitié du tonnage de l'aluminium dans l'emballage en Europe. Il est principalement utilisé pour les opercules de produits frais, les barquettes, les rouleaux, le conditionnement des biscuits, chocolats, café, médicaments,...

D'autres emballages sont partiellement en aluminium comme les plastiques métallisés à trois épaisseurs : PET/Al/PE ou PP/Al/PE \*.

### Point vocabulaire :

**\*Appertisation** : méthode de conservation des aliments par stérilisation de 110 à 130°C (Nicolas Appert en 1810) et un conditionnement étanche.

**\*Emboutissage** : travailler une pièce de métal pour lui donner une forme, un relief, un arrondi.

**\*PET** : polyéthylène téréphtalate.

**\*PE** : polyéthylène.

**\*PP** : polypropylène.

Ce sont trois sortes de plastiques.

# L'aluminium et la santé

## Introduction :

L'aluminium s'est petit à petit imposé dans notre vie quotidienne, voiture, maison, cuisine, médicaments, produits cosmétiques, eau...

L'aluminium n'a jamais été aussi présent dans notre environnement domestique. L'impact de l'aluminium sur la santé est un sujet d'études et de débats depuis 30 ans.

## L'aluminium dans le corps

On estime que le corps humain contient en moyenne environ **35 mg** d'aluminium, dont approximativement 50% dans les poumons probablement sous forme de poussières inhalées, 25% dans les tissus mous et 25% dans les os. On ne connaît aucun rôle biologique de l'aluminium, il ne semble pas être un oligo-élément essentiel.

L'organisme dispose de **barrières naturelles** très efficaces contre la plupart des éléments étrangers dont l'aluminium. Le système digestif humain est très peu perméable à l'aluminium et constitue une barrière contre son absorption. Le taux d'absorption de l'aluminium en cas d'ingestion varie de **0.01 % à 0.1 %**.

Enfin, chez les individus en bonne santé, la majeure partie de l'aluminium absorbé est rapidement excrétée par les reins

## L'aluminium dans notre environnement

Élément abondant dans l'environnement, l'aluminium est présent dans des composés normalement très stables et n'intervient pas dans les processus biologiques des organismes vivants. En milieu acide (pluies acides), l'aluminium contenu dans les roches et les sols peut être mis en solution ; il devient alors susceptible d'être fixé ou absorbé par les plantes et les animaux. Certaines plantes, comme le thé, accumulent naturellement dans leurs feuilles des quantités non négligeables de composés d'aluminium. La plupart des aliments contiennent de l'aluminium naturellement, à des teneurs très variables. En général, les légumes ont une teneur en aluminium supérieure à celle des viandes.

Pour être soluble (et donc absorbable), l'Aluminium doit être sous forme de sel d'Aluminium. Les **sulfates, nitrates, chlorures d'alumine** sont solubles et donc potentiellement toxiques.

## Les principales causes d'exposition à l'aluminium

L'alimentation : apport estimé à 8mg/j/adulte

En plus de la présence d'aluminium dans les aliments il convient d'ajouter l'utilisation d'ustensiles de cuisines tels que les casseroles et le papier d'aluminium. Enfin certains additifs alimentaires (acidifiant, colorants, émulsifiants ou levant) peuvent également contenir des sels d'aluminium tels que le phosphate d'aluminium. On les retrouve notamment dans les biscuits, gâteaux, fromages industriels, des les fruits et légumes confits, cristallisée, glacés, dans le sel de cuisine et certaines levures artificielles. Seul les E 520 à 523 posent problème (5 à 20mg) car ils contiennent du sulfate d'alumine (sel soluble).

La boisson

Dans l'eau : largement utilisé dans le monde entier pour traiter l'eau potable, le **sulfate d'aluminium** permet de faire flocculer les matières organiques en suspension, ce qui permet d'éliminer une partie des virus et des bactéries qui seraient difficiles à supprimer autrement. En théorie, la concentration finale de l'eau en aluminium, à l'issue du traitement, est de 0.2 milligrammes/litre mais elle peut atteindre 50 milligrammes dans certains cas.

### Les médicaments

L'hydroxyde d'aluminium est utilisé dans certains médicaments antiacides prescrits pour traiter les troubles digestifs oesogastroduodénaux, ainsi que dans les comprimés d'aspirine tamponnée. Les antiacides (Maalox, Gelox...) ; contiennent de 3g à 5g d'hydroxyde d'aluminium (taux d'absorption de 0.0007%)

Les **vaccins** : diphtérie, tétanos, coqueluche, hépatite A et B, polio contiennent 1 mg d'Al. En effet, l'hydroxyde d'Aluminium sert d'adjuvant\* (stimule les réaction immunitaires) à long terme, il favoriserait la montée des allergies.

### Les produits cosmétiques

Les anti-transpirants et les déodorants : certains contiennent jusqu'à 20% de **Chlorure d'alumine** (qui peut être absorbé par la peau)

### L'air

Normalement l'air apporte moins de 4 µg/j d'aluminium alors que dans certaines zones industrielles on peut atteindre 100 µg/j. Dans certains cas extrêmes de milieu de travail ce chiffre peut atteindre 3.5 mg/j !

Il est difficile d'estimer quel importance relative représente chaque type d'exposition : en effet le taux d'absorption -la « biodisponibilité »- varie selon l'origine.

L'absorption au niveau de l'intestin augmente en présence d'acides organiques : comme l'acide citrique, de plus un manque de Fer, Ca, Mg entraîne une augmentation de l'absorption de l'Al.

Par exemple, l'aluminium dans l'eau potable est plus « **biodisponible** » que l'aluminium dans les aliments, de ce fait, l'apport de l'aluminium provenant de l'eau pourrait être plus important que celle du aux aliments . De même le passage de l'aluminium pas voix cutanée est encore mal connu. Enfin, on sait également que l'Alu passe la barrière placentaire (mieux que par la digestion).

### **Quels risques pour la santé ?**

L'Organisation Mondiale pour la Santé (OMS) fixe la limite de toxicité à 7 mg/kg/semaine. L'exposition à de faibles doses d'Aluminium peut-elle induire à long terme des effets neurotoxiques ?

Les maladies en question :

#### L'encéphalopathie\* des dialysés

Cas de la « démence de dialysés » : maladie qui s'est déclarée chez des patients en insuffisance rénale et dont le sang devait être dialysé. Les symptômes se traduisent graduellement par, des difficultés d'élocution, des mouvements incontrôlés, des crises d'épilepsie puis la mort.

On a observé la présence de cristaux de **sulfates d'alumine** dans certaines régions du cerveau. L'origine de la maladie a été attribuée à la présence d'aluminium dans le liquide de dialyse qui contenait alors (années 1970) 200mg/l d'Al. Par un mécanisme inconnu l'aluminium passerait la membrane hémato-encéphalique. Depuis on a baissé le taux d'aluminium à 10mg/l et les symptômes ont disparus.

#### Maladie d'Alzheimer\*

La maladie d'Alzheimer\* touche 15 à 25 millions de personnes (10 à 20 % serait d'origine génétique) : malgré les tests cognitifs, le véritable diagnostique ne se fait qu'après le décès et l'analyse des tissus cérébraux.

On observe la présence d'aluminium sur les plaques séniles\* chez les malades d'Alzheimer. L'aluminium est-il responsable de la formation des plaques séniles\* ou est ce un lieu d'accumulation propice ?

Le cerveau des patients peut contenir de 10 à 30 fois plus d'Aluminium chez un malade d'Alzheimer. Cependant, à ce jour, il n'existe pas de preuve du rôle de l'aluminium dans l'apparition de la maladie ; mais cette possibilité ne peut être exclue.

#### La myofasciite à macrophages

La myofasciite à macrophages (MFM) est une entité histologique découverte en 1993, et dont la première description scientifique a été publiée en 1998 par des chercheurs français. Elle a été identifiée à la suite de biopsies musculaires réalisées chez des patients présentant douleurs musculaires ou des faiblesses musculaires. Histologiquement elle se traduit par la présence de dépôt de **sel d'aluminium** au niveau du muscle deltoïde (lieu usuel de la vaccination) accompagné d'une forte présence de macrophages (responsable de l'inflammation). De nombreux vaccins contenant de l'hydroxyde d'Aluminium, ils ont été rapidement mis en accusation. Cependant, dans un rapport de 2004, le Conseil Scientifique de l'Agence de Sécurité Sanitaire des Produits de Santé (**Afssaps**) concluait qu'en l'état actuel on peut considérer qu'il n'y a pas à remettre en cause la balance bénéfice-risque des vaccins contenant un adjuvant\* aluminique.

#### **Point vocabulaire :**

**\*Adjuvant** : en pharmacologie, produit additif sans effet thérapeutique.

**\*Encéphalopathie** : ensemble des affections non inflammatoires de l'encéphale (troubles neurologiques et psychiques).

**\*Maladie d'Alzheimer** : ou démence sénile de type Alzheimer est un trouble neurodégénératif qui entraîne la perte des fonctions mentales suite à la détérioration du tissu du cerveau. Sa cause étiologique exacte est encore inconnue, mais on suppose que des facteurs environnementaux et génétiques y contribuent.

**\*Plaques séniles** : Lésions extra cellulaires dans des tissus du cerveau.

# L'aluminium et les transports

## Introduction :

Depuis les années 90, l'aluminium est présent dans les transports (avions, voitures, bateaux et trains), dans l'emballage, le bâtiment et d'autres domaines comme l'électricité, la mécanique, l'électronique, mais les transports constituent le premier marché pour l'aluminium dans le monde occidental.

Sa faible densité (2.7) est un atout majeur, mais c'est surtout grâce à la recherche et le perfectionnement des alliages que l'aluminium s'est imposé dans des domaines aussi variés.

## Construction aéronautique

La consommation d'aluminium en France a été de 1 370 kt en 2004 : le secteur des **transports constitue le premier secteur utilisateur** (500 kt), suivi par celui du bâtiment (300 kt), de l'emballage (140 kt).

Les autres utilisations concernent les équipements électriques, la mécanique, la chimie et la pharmacie.

L'avènement du transport de masse joue un rôle déterminant dans la recherche de matériaux. Dans l'aéronautique, on comprend facilement l'intérêt pour des matériaux qui allègent la structure. L'industrie aéronautique est un moteur pour le développement d'alliages d'aluminium possédants d'importantes performances spécifiques comme :

- les contraintes de résistance mécanique
- les contraintes de résistance à la corrosion
- les contraintes de résistance au feu
- les contraintes au niveau des jonctions qui doivent se déformer sans rompre.

En 35 ans, grâce à l'aluminium et à ses alliages, le poids de la structure d'un avion a été divisé par deux. Aujourd'hui, le pourcentage des alliages d'aluminium utilisés dans la construction des cellules d'avion avoisine 70 %. De par sa légèreté, l'aluminium est devenu indispensable à tous les grands programmes mondiaux : Airbus, Boeing, fusée Ariane...



Illustration : <http://www.cite-sciences.fr>

Au-delà des alliages, les innovations peuvent venir de nouvelles techniques comme par exemple le soudage laser, qui évite le rivetage, et amène de ce fait un allègement de la structure. Malheureusement, tous les alliages ne sont pas soudables, et surtout les alliages très différents (duralumin avec l'acier par exemple).



### Rotor compresseur de turbine à gaz

Comprime le gaz qui alimente la chambre à combustion d'un moteur à réaction.

En général, l'industrie aéronautique est un moteur pour les innovations technologiques. Ces innovations vont bénéficier par la suite aux autres industries par un transfert de technologies.

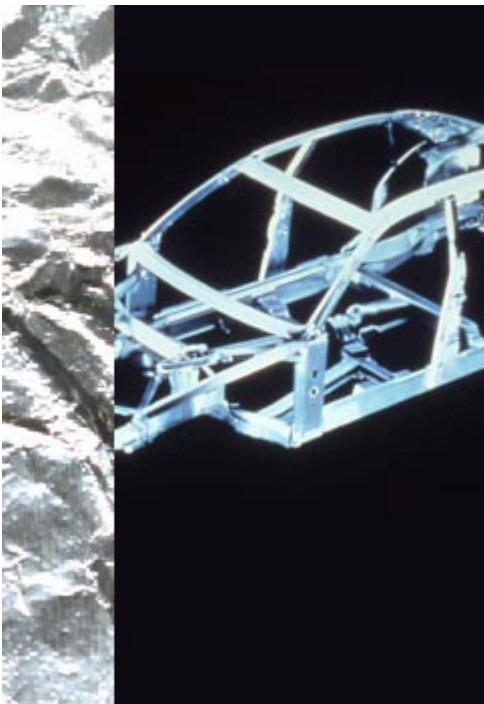
### Construction automobile

Les voitures doivent être plus légères mais toujours aussi solides et plus recyclables. On met donc plus d'aluminium dans les voitures mais le choix de l'alliage est primordial pour la sécurité.

Les trois postes les plus lourds dans une voiture sont :

- la carrosserie
- l'ensemble moteur-boîte
- les sièges

### Les utilisations de l'aluminium dans l'automobile



#### Débouchés usuels :

- groupe motopropulseur (carter-cylindres, culasses, carter-boîtes, collecteurs, ...)
- échangeurs thermiques (radiateurs)
- roues moulées

#### Applications en forte croissance :

- capots, portes, ailes avant, hayons et coffres arrière carter-cylindres de moteur diesel
- véhicules avec structures avant ou avec caisse en blanc tout en aluminium
- systèmes d'absorptions d'énergie (poutres de pare-chocs, renforts de porte, ...)
- équipements (sièges, poutres de planche de bord, réservoirs, ...)
- liaisons au sol (bras, porte-moyeux, berceaux, traverses, ...)

*Illustration : <http://www.cite-sciences.fr>*

Lorsque l'on change une pièce d'acier par une équivalente en aluminium, on gagne 40 à 50% du poids. Mais dans un souci de performance économique, le surcoût ne doit pas dépasser 3€/kg gagné.

Part relative (en pourcentage) des différents matériaux d'une voiture :

Matériaux/ année	1985	2005
Acier et fonte	73%	61%
Plastiques	6%	14%
Aluminium	4%	11%
autres	17%	14%

Aujourd'hui l'aluminium représente près de 50% d'un bloc moteur essence et une voiture européenne contient environ **117kg** d'aluminium.

Le marché de l'automobile représente **19%** du marché de l'aluminium, soit 1,62 millions de tonnes d'aluminium, réparties comme suit :

- pièces moulées : 1 200 000 tonnes
- pièces laminées : 290 000 tonnes
- pièces filées & forgées : 130 000 tonnes

L'aluminium est non seulement léger mais résistant. Son utilisation améliore la tenue de route du véhicule, grâce à l'abaissement du centre de gravité, favorise l'absorption de l'énergie cinétique en cas de choc et réduit la distance de freinage.

#### Gaz à effet de serre :

La prise de conscience des émissions de gaz à effet de serre plaide pour un allègement des véhicules. En 1996 : l'ACEA a décidé que le taux d'émission de CO<sub>2</sub> ne devait pas dépasser 140g/Km.



En effet 10kg de moins entraîne une réduction d'émission de 1g/CO<sub>2</sub>/km.

Si l'utilisation de l'aluminium entraîne un allègement, dans un même temps, tout apport de prestation suit la tendance inverse (airbags, ABS...).

En 2015, 95% du véhicule devront être recyclables. L'aluminium représente 50% des produits récupérables sur un véhicule usagé.

#### Construction navale

L'aluminium, très résistant à la corrosion, même en milieu marin, entre dans la fabrication des coques, mâts et superstructures des bateaux de plaisance, des ponts et superstructures des paquebots et navires de commerce. L'aluminium, du fait de sa légèreté, a permis le développement des NGV (navires à grande vitesse).

#### Le paquebot France :

La fabrication du paquebot France par les chantiers de l'Atlantique à Saint-Nazaire entre 1957 et 1961 marque une étape majeure pour l'utilisation de l'aluminium dans l'industrie navale :

Le paquebot France contient 1600t d'aluminium, réparties entre sa coque, ses appareils propulsifs, ses emménagements\*, sa décoration. Avec un gabarit et des

performances équivalentes à son aïeul le Normandie, le paquebot France consomme environ 40% de moins de combustible, cela est dû en grande partie à l'allègement de sa structure. Comme pour l'aéronautique, le France a bénéficié d'un assemblage de ses structures, non pas par rivetage ou boulonnage, mais par soudage à l'arc argon.

## Les NGV (navires grande vitesse)



Illustration : bgv-France.com

La conception du NGV 120 repose sur des techniques dérivées de l'aéronautique. Grâce à sa coque de 120 m de long, en aluminium et très effilée à la proue, il atteint 42 nœuds en vitesse de croisière (80km/h) contre 18 nœuds pour un cargo classique.

Le NVG 120 devrait permettre d'améliorer considérablement la compétitivité du transport maritime. Il pourra être utilisé pour le transport de passagers et tenir ainsi lieu de ferry avec une capacité de 1 200 passagers et 250 voitures. Il pourra également être affecté au fret dans sa version cargo de 235 m de long. Il intéresse enfin beaucoup les militaires. Les premières liaisons civiles mises en place pour le transport de passagers devraient être Barcelone-Palma (sur l'île de Majorque) et Marseille-Alger.

## Construction ferroviaire

### Historique de la rentrée de l'aluminium dans la construction ferroviaire

Dans le but d'obtenir un matériel à la fiabilité et à la longévité exemplaire, les ingénieurs du début du XIX<sup>ème</sup> siècle n'hésitent pas à dimensionner les châssis avec une certaine générosité. L'impératif devient : la rentabilité.

Le bois est prépondérant jusque vers 1890 : les voitures des débuts du chemin de fer sont entièrement en bois, châssis compris, et seules les pièces de liaison du châssis et les organes de roulement sont en métal.

A la belle époque, les compagnies peuvent encore faire rouler des voitures qui sont très dangereuses : leurs fragiles caisses en bois se pulvérisent au moindre tamponnement. Mais on accepte encore ce risque dans un monde où le progrès technique est l'objet d'un émerveillement continu.

Après la première guerre mondiale, les esprits ont changé et on refuse désormais de tout sacrifier aux impératifs de rentabilité.

Dès 1925, les compagnies cèdent devant une exigence de plus en plus pressante : la sécurité. Les réseaux français généralisent les voitures à voyageurs à caisse entièrement métalliques.

Cette même année la Compagnie du Nord expose une rame de voitures à voyageurs dans une des manifestations les plus marquantes de l'entre deux guerres : l'exposition des Arts décoratifs. Les voitures sont en aluminium, que cela soit sous la forme de tôles plates ou profilées ou de pièces fondues. L'économie de poids est de l'ordre de 5 000kg sur le poids total de chaque voiture.

### L'exemple du TGV " duplex "

Le TGV à 2 niveaux est né du besoin d'accroître, à longueur de rame égale, la capacité des TGV classiques, de façon à pouvoir faire face à la croissance de la demande sans création de nouvelles infrastructures.

Le TGV " duplex " a ainsi une capacité de 40% supérieure à celle de son homologue à un étage, tout en gardant, comme lui, une charge à l'essieu inférieure ou égale à 17 tonnes. Cette performance n'a été rendue possible que par un allègement considérable du matériel, grâce à l'aluminium, qui permet :

- des capacités d'accélération et de freinage intéressantes ;
- la diminution de la charge à l'essieu tout en augmentant la capacité en passagers;
- la réduction des efforts entre les roues et les rails, donc de l'usure de la voie ;

De plus, sa malléabilité a permis la conception de profilés de grande longueur favorisant le développement de nouvelles structures pour les voitures de TGV.

Enfin, 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 prédéfinies,
- 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 dans les matériels ferroviaires, longtemps réservé aux équipements et aménagements intérieurs des véhicules, gagne de nos jours les structures mêmes des voitures, qu'il s'agisse de trains grande ligne comme le TGV duplex ou de matériels urbains et suburbains, trains de banlieue, métros, tramways...

#### **Point vocabulaire :**

**\*Emménagements** : logements et compartiments pratiqués dans un navire.