



L'aluminium

UN MÉTAL « JEUNE »



Si le fer, le cuivre et l'or sont connus depuis l'Antiquité, l'aluminium de son côté a été découvert il y a moins de deux siècles. Les premiers échantillons de minerai d'aluminium sont mis à jour à Baux-de-Provence en 1831, par Pierre Berthier, minéralogiste et ingénieur français qui leur donne le nom de bauxite. Mais, avant de pouvoir exploiter ce nouveau métal, il faut mettre au point une technique d'extraction de l'oxyde d'aluminium, ou alumine, prisonnier de la roche. Ainsi, ce n'est qu'en 1845 que le scientifique allemand Friedrich Wöhler obtient les premières particules d'aluminium pur. Neuf ans plus tard, Henri Sainte Claire Deville parvient enfin à produire de l'aluminium pur. Et, en 1855, le nouveau métal est présenté à l'Exposition universelle de Paris sous le nom de « argile transformée en argent ». Son cours avoisine alors celui de l'or.

UN PEU D'HISTOIRE

La production industrielle d'aluminium débute en 1859 grâce au procédé dit Deville-Pechiney, fondé sur l'extraction de l'alumine contenue dans la bauxite par du carbonate de sodium. Mais, la production coûte très cher et l'aluminium n'est alors utilisé que pour la fabrication d'objets de luxe. Pourtant, quelques visionnaires commencent à imaginer toutes sortes d'applications. Ponton d'Amécourt conçoit ainsi un petit hélicoptère en aluminium et les personnages de Jules Verne utilisent ce métal pour la construction de leur fusée. À partir de 1886, un vent de révolution souffle sur l'industrie de l'aluminium.



En France, **Paul Héroult** et aux États-Unis, Charles Martin Hall, découvrent simultanément que l'alumine

peut être décomposée par électrolyse et donner ainsi un métal brut en fusion. L'année suivante, le chimiste autrichien Karl Joseph Bayer fait breveter un procédé de

transformation reposant sur cette découverte. Un procédé qui va lentement détrôner tous les autres. En 1907, la Société Alais et Camargue, qui deviendra en 1950 la Compagnie Pechiney, ouvre une usine à Saint Jean de Maurienne en Savoie. Dès 1910, c'est l'apparition des alliages. Et avec le début de la Première Guerre mondiale, l'aluminium joue un rôle déterminant dans le domaine de l'aviation. Dans les tranchées, les poilus récupèrent l'aluminium des obus pour confectionner de petits objets. Après la guerre, le métal argenté s'impose très vite dans la vie quotidienne. Dans les cuisines tout d'abord avec les casseroles puis avec le célèbre « papier aluminium » et



les emballages alimentaires. Dans l'électroménager, les designers en font un symbole d'avant-garde. Des architectes novateurs expérimentent également ce nouveau matériau dans l'ossature de bâtiments. En 1937, la première voiture à structure d'aluminium, une Hotchkiss, est présentée par l'ingénieur Grégoire au Salon de Paris. Dans les années qui suivent, le marché de l'aluminium explose. Aujourd'hui, il est, après le fer, le métal le plus consommé au monde.

LE MATÉRIAU ALUMINIUM

L'ALUMINIUM DANS LA NATURE

L'aluminium est l'un des composants les plus abondants de l'écorce terrestre mais il n'existe pas à l'état natif. Il se présente sous la forme d'oxydes, mélanges d'aluminium et d'oxygène, dissimulés dans des roches. L'alumine, matière première du métal aluminium est extraite de la bauxite, un minerai rouge qui contient 40 à 60 % d'oxyde d'aluminium hydraté mélangé à de la silice et à de l'oxyde de fer.

DES PROPRIÉTÉS EXCEPTIONNELLES

C'est sans doute grâce à quelques propriétés exceptionnelles que l'aluminium a pu, en quelques dizaines d'années seulement, s'imposer dans nos vies. Ainsi, l'aluminium est un métal très léger, trois fois moins dense que l'acier ou le cuivre. Utilisé dans le domaine du transport, il permet de réaliser quelques économies d'énergie. L'aluminium est aussi un bon

conducteur électrique et thermique. Et, il dresse une excellente barrière notamment contre l'oxygène et les micro-organismes, le rendant très adapté à la fabrication d'emballages. Il est également très résistant à la corrosion grâce à la fine couche d'oxydation qui se forme rapidement à sa surface dès qu'on l'expose à l'air. Une couche qui lui donne d'ailleurs son aspect argenté. Pur, l'aluminium se révèle malléable, ductile et facilement usinable et moulable. Associé à de petites quantités de cuivre, magnésium, manganèse ou silicium par exemple, il peut aussi former des alliages aux propriétés diverses. Dernier avantage de l'aluminium, et pas des moindres à l'heure du développement durable : il est 100 % recyclable. L'aluminium recyclé possède les mêmes caractéristiques physico-chimiques que le métal primaire alors que sa production ne nécessite que 5 % de l'énergie nécessaire à la fabrication d'aluminium à partir du minerai.

DES EFFETS NOCIFS

Mais, la production et l'utilisation d'aluminium ne présentent pas que des avantages. Lors de l'électrolyse, par exemple, des gaz polluants tels que du dioxyde et du monoxyde de carbone, du dioxyde de soufre et des fluorures gazeux sont émis. Ils doivent impérativement être captés et traités. D'autre part, l'aluminium en lui-même se révèle aussi potentiellement dangereux pour la santé. Ses effets néfastes sur le système nerveux sont aujourd'hui reconnus. Ainsi, des personnes exposées à des taux élevés d'aluminium peuvent développer des troubles telles l'encéphalopathie, l'épilepsie ou encore des troubles de la mémoire. Les cerveaux des

patients atteints d'Alzheimer contiennent 10 à 30 fois plus d'aluminium que la normale. Et, l'accumulation du métal dans l'organisme peut aussi jouer un rôle dans certaines maladies comme le psoriasis, les insuffisances hépatorénales chroniques, l'anémie, l'ostéomalacie (os cassants ou mous), l'intolérance au glucose ou les arrêts cardiaques. On peut trouver de l'aluminium dans les aliments, l'eau, les déodorants, les vaccins et les médicaments. Les ustensiles de cuisine et le papier aluminium peuvent également en libérer mais généralement en quantité négligeable. En France, l'utilisation de l'aluminium dans la fabrication des conduites d'eau est interdite même s'il est établi qu'un individu en bonne santé peut tolérer des doses orales allant jusqu'à plusieurs grammes par jour sans souffrir d'effets nocifs.

UNE PRODUCTION EN CONSTANTE HAUSSE

Les principaux gisements de bauxite se situent dans les régions tropicales. Chaleur et fortes pluies sont en effet propices à la décomposition des latérites, matériaux riches en oxydes d'aluminium. Ainsi, les plus importants producteurs de bauxite sont l'Australie, la Guinée, le Brésil, la Jamaïque, la Chine, l'ex-URSS et l'Inde. En France, l'exploitation des



mines de bauxite a cessé depuis une quinzaine d'années en raison de

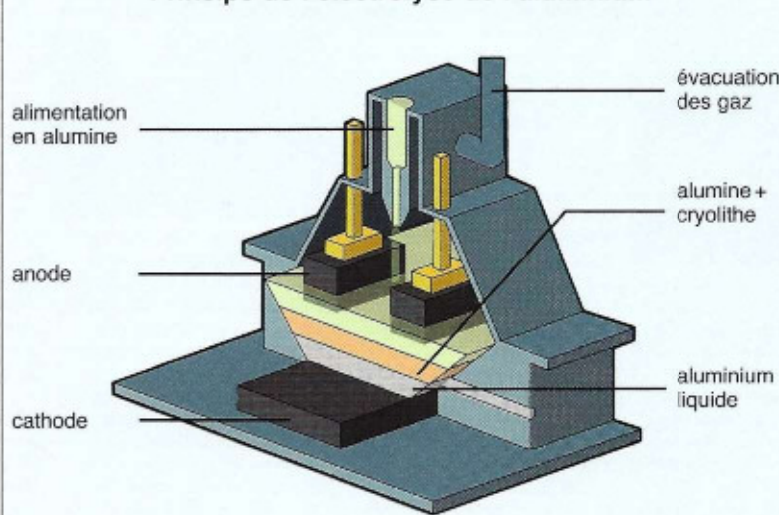
l'épuisement des réserves. Dès le XIX^e siècle, les grands pays industrialisés, États-Unis, Canada, ex-URSS et pays d'Europe, sont les plus importants producteurs d'aluminium dans le monde. Au fil des années, des pays comme l'Australie, le Brésil, le Venezuela, la Chine, les pays du Golfe, l'Inde et l'Afrique du Sud, ont émergé. Ils bénéficient d'une énergie bon marché ou sont situés près de grandes zones de consommation. La Chine est aujourd'hui le principal producteur d'aluminium. Entre 2005 et 2006, sa production a augmenté de près de 25 %. Pour le seul mois d'octobre 2006, la Chine a produit 850 000 tonnes d'aluminium, soit près de 30 % de la production mondiale, elle-même en constante hausse. Ces vingt dernières années, la production mondiale d'aluminium primaire a augmenté de 50 %. D'autre part, l'industrie de l'aluminium est très concentrée. Les deux tiers de la production d'aluminium primaire du monde occidental sont assurés par seulement dix producteurs parmi lesquels Pechiney, Alcoa, Alusuisse et Alcan.

DU MINÉRAI AU MÉTAL

DE LA BAUXITE À L'ALUMINE

Encore utilisé de nos jours, le procédé de production industrielle de l'alumine à partir de la bauxite a été mis au point en 1887 par Karl Joseph Bayer. La bauxite, une fois broyée, est mélangée à de la soude à haute température et sous pression. Car dans ses conditions, la soude dissout l'alumine présente dans le minerai. On nomme aluminate de sodium, la « liqueur » ainsi obtenue. Elle est débarrassée de ses impuretés puis diluée et

Principe de l'électrolyse de l'aluminium



Chiffres brillants

27 milliards de tonnes
Réserves mondiales de bauxite.

Plus de 30 millions de tonnes

Production mondiale d'aluminium.

2 et 4

Pour produire une tonne d'aluminium, il faut 2 tonnes d'alumine et 4 tonnes de bauxite.

20 %

En 2005, 20 % de la production mondiale d'aluminium provenait du recyclage.

95 % et 85 %

En Europe, le taux de recyclage de l'aluminium atteint près de 95 % dans le secteur automobile et environ 85 % dans celui de la construction.

23 kg

Consommation moyenne d'aluminium par habitant en France en 2004.

250 000

Nombre de personnes employées par le secteur de l'aluminium en Europe.

Le secteur automobile



35 % de l'aluminium utilisé en France

refroidie, ce qui provoque la précipitation de l'oxyde d'aluminium hydraté. Celui-ci est alors calciné pour obtenir l'alumine (Al_2O_3) qui servira à la production d'aluminium. À côté de l'alumine à usage métallurgique se développe aussi une production d'alumines dites « techniques » destinées à la fabrication de céramiques, de verres, de porcelaines, de bougies de voiture ou encore de lessives.

DE L'ALUMINE À L'ALUMINIUM

Extrait de la bauxite, l'alumine devient la matière première de l'électrolyse de l'aluminium grâce à un procédé mis au point par Héroult et Hall en 1888. L'alumine est introduite dans des cuves d'électrolyse garnies de carbone. Quelques additifs comme la cryolithe (Na_3AlF_6) et le fluorure d'aluminium (AlF_3) permettent d'abaisser le point de fusion. Le mélange est alors chauffé à près de 1 000 °C. De l'aluminium liquide se dépose au fond de la cuve alors que l'oxygène réagit avec le carbone provoquant un dégagement de dioxyde de carbone (CO_2). Le carbone doit donc être régulièrement remplacé. D'autre part, les cuves sont entièrement recouvertes afin de capter les gaz qui s'échappent du bain lors de l'électrolyse. Ces derniers, toxiques, sont envoyés vers un dispositif d'épuration. L'aluminium liquide quant à lui est régulièrement prélevé du fond de la cuve par siphonage. Il est alors transporté sur un chariot à la fonderie puis déversé dans un four pour la « mise au titre ». On lui ajoute d'autres métaux dans des proportions précises afin d'obtenir des alliages aux propriétés souhaitées.

LES TRANSFORMATIONS

À LA SORTIE DE LA FONDERIE

Quatre types de produits peuvent sortir de la fonderie d'une usine d'électrolyse. Des plaques de laminage en premier lieu. Utilisées dans les domaines de l'emballage et des transports, ce type de produits est recherché pour des applications alliant légèreté, grandes qualités de surface, élasticité, plasticité et résistance à la corrosion. Les plaques d'aluminium subissent un premier laminage à chaud puis un second, à froid. Par compression entre deux cylindres, l'épaisseur de la plaque va ainsi se trouver réduite. On obtient alors des **bobines** qui seront ensuite



saillées aux dimensions spécifiées par le client. Une feuille mince d'aluminium déjà laminée peut ensuite passer par une opération de dédoubleage permettant de la séparer en deux bobines extrêmement fines. Elles sont ensuite relaminées pour servir au mieux les besoins de l'emballage souple (aluminium ménager, briques de lait ou jus de fruit, etc.). Les bobines de filage de leur côté, sont

utilisées dans le bâtiment mais aussi dans les transports. Le filage de l'aluminium est une opération d'extrusion. Une presse hydraulique pousse une billette cylindrique de métal au travers d'une filière, un outil spécifique creux. Chaque billette fournit ainsi un ou plusieurs profilés d'une longueur de plusieurs dizaines de mètres, recoupés ensuite à la dimension demandée par le client. De quoi obtenir des profilés aux sections et aux formes très variées.

Viennent ensuite le fil machine à usage électrique ou mécanique et les **lingots**



en aluminium ou en alliages destinés notamment à la fonderie.

LES ALLIAGES

Les fonderies n'élaborent pas elles-mêmes leurs alliages. Elles achètent en lingots les nuances qu'elles sont amenées à utiliser. En effet, la préparation d'un alliage est une opération délicate. Il est nécessaire de contrôler de près la composition du mélange. Certains composants, comme le magnésium par exemple, ont tendance à s'évaporer aux températures de fusion usuelles. Il est alors indispensable de compenser la perte. Les fondeurs réalisent, lorsque le métal est en fusion, une première analyse afin de réajuster le mélange. Une fois le mélange effectué, l'alliage affiné et dégazé, on réalise une seconde analyse. Si les résultats sont conformes, ils sont inscrits sur les certificats de conformité remis aux clients et les pièces peuvent être coulées. Les mélanges sont réalisés au cœur de fours composés de matériaux réfractaires permettant de les isoler du milieu ambiant. Ces derniers sont souvent en partie enterrés pour que l'on puisse plus facilement prélever le métal à l'aide de louches.

Lorsque l'alliage est prêt, on peut couler les pièces, à la louche préalablement chauffées à la chaleur du four pour des pièces prototypes ou de petites séries, ou grâce à des poches de coulées montées sur pont roulant ou sur chariot élévateur. Ces poches sont elles-mêmes préalablement chauffées et remplies à la louche. À la surface du métal en fusion, au contact de l'air, il se forme une peau d'alumine qui ne doit pas être entraînée dans la pièce. Avant la coulée, on procède donc à un écrémage à l'aide d'une spatule en acier. Une fois les pièces coulées, le décochage consiste à les séparer de leurs moules. Une opération plus ou moins automatisée qui peut être effectuée dès que le métal est solidifié c'est-à-dire dès que le haut des masselottes est figé. Celles-ci sont en effet prévues pour conserver une température plus élevée que la pièce elle-même. Vient ensuite l'ébarbage qui consiste à séparer la pièce des différents appendices de coulée et à supprimer les éventuelles traces et bavures. Après un premier ébarbage grossier, il est nécessaire pour l'ouvrier

de connaître le plan de la pièce afin de pouvoir la nettoyer soigneusement et sans en éliminer de fines parties. Les traitements thermiques enfin sont destinés à améliorer les caractéristiques des pièces. Comme l'acier, les alliages d'aluminium peuvent ainsi être trempés. C'est généralement le cas des pièces techniques.

LES FINITIONS

Une pièce sortie de la fonderie est rarement directement utilisable. Même si certaines parties « non fonctionnelles mécaniquement » peuvent rester brutes, la plupart des pièces doivent encore être usinées. Et les alliages à base d'aluminium se prêtent particulièrement bien aux usinages de toutes natures (tournage, fraisage, perçage, sciage, etc.) ainsi qu'aux différentes techniques de mise en forme (forgeage, emboutissage, repoussage, pliage, moulage, cintrage, étirage, etc.). Les parties non usinées et dans certains cas, la totalité de la pièce, demandent aussi un traitement de surface. La peinture est l'une des protections des plus évidentes mais, le plus souvent, les pièces en alliage d'aluminium sont protégées par oxydation. Un traitement qui protège aussi bien les parties usinées que les parties brutes.

DES UTILISATIONS VARIÉES

Les propriétés exceptionnelles de l'aluminium en font un métal utilisé dans de nombreux domaines. Dans le monde, l'industrie en consomme ainsi aujourd'hui plus de 30 millions de tonnes par an. Le secteur des transports constitue le premier secteur utilisateur. Viennent ensuite ceux du bâtiment, de l'emballage et de la vie quotidienne. Les autres utilisations concernent les équipements électriques, la mécanique, la chimie et la pharmacie.

SECTEUR DU TRANSPORT

Depuis la présentation du premier véhicule à structure aluminium en 1937, les transports et l'aluminium ont une longue histoire en commun. Aujourd'hui, une voiture européenne contient plus de 100 kg d'aluminium, un matériau qui suscite notamment l'intérêt pour les châssis et les **carrosseries**. Et, l'utilisation de l'aluminium dans l'automobile devrait encore augmenter dans les prochaines



années en raison des avantages qu'elle présente. L'allègement du poids du véhicule qui diminue la consommation de carburant et donc les émissions de gaz à effet de serre d'abord. Une réduction de poids de 100 kg diminue de 0,6 litre aux 100 kilomètres la consommation de carburant et du même coup de 20 % les émissions de gaz. L'utilisation de l'aluminium améliore aussi la tenue de route du véhicule grâce à l'abaissement du centre de gravité. Elle favorise

l'absorption de l'énergie cinétique en cas de choc et réduit la distance de freinage. Enfin, actuellement 95 % de l'aluminium contenu dans les automobiles est collecté et recyclé. L'aluminium, très résistant à la corrosion, entre aussi dans la fabrication des coques, des mâts, des ponts et des superstructures des bateaux de toutes sortes. Enfin le domaine des transports aériens n'est pas non plus en reste. En 35 ans, grâce à l'aluminium et à ses alliages, le poids de la structure d'un avion a été divisé par deux. L'aluminium est devenu un matériau indispensable à tous les grands constructeurs. La Nasa de son côté a opté pour ce métal pour la construction des roues de ses derniers robots envoyés sur Mars. Une fois encore, légèreté, résistance et souplesse l'ont emporté sur d'autres matériaux.

LE SECTEUR DU BÂTIMENT

Le secteur du bâtiment exploite également des propriétés de l'aluminium. Sa résistance au temps et le peu d'entretien qu'il demande en font notamment un matériau particulièrement apprécié des architectes et des constructeurs. Ainsi, il est couramment utilisé pour les cadres de fenêtres et autres **structures vitrées**, la couverture, les cloisons, etc.



La presque totalité des vérandas installées en France est en aluminium. Ce métal permet aussi de réaliser des formes complexes dans une gamme étendue de coloris, idéal pour les objets de décoration.

DOMAINE DE L'EMBALLAGE

Dans le domaine de l'emballage, l'aluminium permet un haut niveau de protection et de sécurité, capital pour les emballages de produits alimentaires ou pharmaceutiques. Il résiste à la corrosion et forme une barrière imperméable à la lumière, aux rayons ultraviolets, à la vapeur d'eau, aux huiles et graisses, à l'oxygène et aux micro-organismes. Son inertie chimique et sa stabilité font aussi de l'aluminium le métal presque parfait pour la conservation des arômes. Ainsi, l'emballage constitue pour ce métal, un débouché croissant. En Europe, il représente 15 % du marché total de l'aluminium. Outre ses applications dans le domaine des emballages flexibles (opercules de yaourts, fromages, confiseries, briques alimentaires, conditionnement de médicaments, etc.), l'utilisation de l'aluminium dans le domaine des emballages rigides se développe également (canettes, boîtes conserve, aérosols, barquettes et portions d'aliments pour animaux, etc.).

DES APPLICATIONS

DE PLUS EN PLUS NOMBREUSES

On trouve aussi de plus en plus d'aluminium dans les objets de la vie quotidienne, dans ceux destinés aux

sports, aux loisirs ou à la décoration, dans l'électronique, etc. Il occupe aujourd'hui une place privilégiée dans la fabrication des caravanes, du matériel de camping et d'alpinisme, dans les bâtons de ski, les VTT, les ustensiles de cuisine, les appareils électroménagers, les radiateurs, le revêtement des CDs, le mobilier urbain, la signalisation routière, les lignes à haute tension, les câbles souterrains, et même les vêtements de haute couture et les tenues de protection pour les bouchers ou pour les pompiers.

LE CAS DES CANETTES

Parmi toutes ces applications, la boisson a littéralement envahi la planète. Plus de deux cent milliards de **canettes en aluminium** sont



produites chaque année dans le monde. Elles doivent leur succès à deux progrès techniques parallèles : la mise au point des boîtes de conserve en aluminium et la création du couvercle à ouverture facile. Pendant la Seconde Guerre mondiale, les militaires sont en quête d'un système permettant de conserver du liquide dans des récipients en métal hermétiquement fermés, légers et incassables. Pour ouvrir les boîtes de conserve remplies de boisson, l'utilisateur devait perforer lui-même deux trous dans le couvercle. C'est en 1959, que Erman Frazee, fabricant d'outillage américain, invente le couvercle en aluminium à ouverture facile : une innovation importante ! Le couvercle est précincisé et muni d'un anneau fixé par un rivet. Un procédé amélioré en 1977 avec un nouveau système qui permet de conserver l'anneau attaché après ouverture.

L'ALUMINIUM DANS SON ENVIRONNEMENT

L'une des qualités majeures de l'aluminium en ces temps de développement durable, est son excellente recyclabilité. Il suffit de faire fondre l'aluminium pour pouvoir le recycler. Une opération beaucoup moins coûteuse que l'extraction à partir du minerai de bauxite. Elle nécessite 95 % d'énergie en moins et une tonne d'aluminium recyclé permet d'économiser quatre tonnes de bauxite. En sautant l'étape de l'électrolyse, on évite aussi les rejets polluants qui lui sont associés. L'aluminium est en plus quasiment recyclable à l'infini sans perte de qualité. Le recyclage est pratiqué depuis le début du xx^e siècle et il existe des filières de récupération de l'aluminium industriel. L'aluminium ménager est récupéré dans le cadre du tri sélectif. Depuis 2002, l'Association européenne de l'aluminium s'est engagée dans le programme « l'aluminium pour les générations futures ». Et, aujourd'hui, plus de la moitié de l'aluminium produit dans l'Union européenne est issue du recyclage.