

MATIÈRES PREMIÈRES :

L'aluminium, à l'état oxydé, est l'élément métallique le plus répandu dans l'écorce terrestre : 8 % en Al (15 % en Al_2O_3). Il est présent surtout sous forme de silicoaluminates dans des argiles, schistes... contenant de 18 à 38 % de Al_2O_3 , mais il est plus économique de récupérer Al_2O_3 à partir des bauxites proprement dites (présentes principalement en Europe, avec de faibles réserves) ou des latérites bauxitiques (présentes sous les climats tropicaux, avec d'importantes réserves). Par généralisation, les latérites bauxitiques sont également dénommées bauxites.

Minerais :

La bauxite contient principalement de l'alumine hydratée, de l'[oxyde de fer](#) (10 à 20 %) et de la [silice](#) (environ 5 %). Les teneurs sont généralement de 48 à 58 % en Al_2O_3 sous forme principalement de gibbsite ou d'hydrargillite ($Al(OH)_3$) dans les latérites et de böhmite ou de diaspore ($AlO(OH)$) dans les bauxites.

- En Russie sont exploités également des minerais riches en néphéline ($2SiO_2, Al_2O_3, Na_2O-K_2O$), en Sibérie ou dans la péninsule de Kola, récupérés comme sous-produits de l'extraction des [apatites](#) ou dans des minerais riches en alunite ($K_2SO_4, Al_2(SO_4)_3, 4Al(OH)_3$). En 2011, la production de néphéline du groupe UC Rusal, en Sibérie, a été de 4,6 millions de t.

Productions minières : en 2012, en milliers de t de bauxite. Monde : 263 000, Union européenne (principalement en Grèce, en 2011) : 2 500.

Australie	73 000	Guinée	19 000
Chine	48 000	Jamaïque	10 300
Bésil	34 000	Russie	6 100
Indonésie	30 000	Kazakhstan	5 300
Inde	20 000	Venezuela	4 500

Source : USGC

Les exploitations minières sont à 80 % à ciel ouvert. En général, dans ces exploitations, le gisement de bauxite se présente sous forme d'une couche horizontale de quelques mètres d'épaisseur (en moyenne de 7 à 8 m) située à faible profondeur, parfois moins d'un mètre, sur une surface de plusieurs km^2 . Le sol recouvrant le gisement est généralement stocké afin, après exploitation, de réhabiliter le site.

Exploitations minières australiennes :

L'une des principales mines de bauxite au monde (23 millions de t/an) est celle de [Huntly](#), propriété d'AWAC, détenu à 60 % par [Alcoa](#), qui exploite depuis 1976 le "Darling Range", en Australie de l'Ouest, au sud de Perth, où le gisement de bauxite est situé à environ 50 cm de profondeur sur une épaisseur moyenne de 7 mètres. La bauxite possède une faible teneur en alumine (de 27 à 32 %) et une teneur élevée en silice (28 %) avec toutefois une faible part de celle-ci (1 à 3 %) réactive lors de l'élaboration de l'alumine ce qui entraîne une consommation plus élevée de soude. Malgré ces inconvénients, les facilités d'exploitation rendent ce gisement particulièrement rentable. AWAC exploite également, dans le "Darling Range", depuis 1984, la mine de Willowdale avec une production de 10 millions de t/an. Ces mines alimentent les usines australiennes d'élaboration d'alumine de [Pinjarra](#) et Kwinana.

Dans cette région, la mine de [Jarrahdale](#), exploitée par Alcoa, ouverte en 1963, a produit jusqu'à sa fermeture, en 1998, 168 millions de t.

La société [BHPBilliton](#) possède à 86 %, sur le même gisement, la mine de Boddington, qui produit 12 millions de t/an. La bauxite (2 700 t/h) est acheminée sur 51 km, à l'aide d'un convoyeur à bande, jusqu'à l'usine d'élaboration d'alumine de Worsley, à la vitesse de 26 km/h.

Toujours en Australie, [Rio Tinto Alcan](#), exploite des gisements plus riches (environ 50 % d'alumine) à Weipa (Queensland) et Gove (Territoire du Nord). La mine de Weipa, exploite depuis 1961, une bauxite constituée à 55 % de gibbsite et 14 % de böhmite, avec des réserves de 1,5 milliard de t à 52,8 % de Al₂O₃ et une production, en 2012, de 23,3 millions de t destinées principalement aux usines de production d'alumine de Gladstone. La mine de Gove, exploitée depuis 1971, avec 155 millions de t à 49,5 % de Al₂O₃ de réserves, a produit, en 2012, 7,9 millions de t, traitées sur place.

Exploitations minières brésiliennes :

Le gisement le plus important, Porto Trombetas, dans l'ouest de l'état de Pará, est exploité depuis 1979, par la société [Mineração Rio do Norte](#) (MNR) détenue à 40 % par [Vale](#) et à compter de 2014 par Hydro, 18,2 % par Alcoa (dont 9,6 % à travers AWAC), 14,8 % par BHPBilliton, 12 % par Rio Tinto Alcan, 5 % par Hydro... Le gisement d'une épaisseur moyenne de 4 m est situé à une profondeur d'environ 8 m. La bauxite à une teneur d'environ 50 % en alumine. Les réserves sont de 63 millions de t à 50,9 % de Al₂O₃. Le minerai est acheminé par 28 km de voie ferrée jusqu'à Porto Trompetas sur la rivière Trompetas, affluent de l'Amazone, puis par barges sur 1570 km jusqu'au port de Vila do Condo, sur l'Amazone, pour alimenter l'usine de production d'alumine d'Alunorte, propriété à 91 % d'Hydro, située à Barcarena. Le trajet dure 3 jours. En 2012, la production est de 17,1 millions de t, à 59 % transformées au Brésil et à 41 % exportées vers les Etats-Unis pour 18 %, le Canada pour 11 %, l'Europe pour 10 % et la Chine pour 2 %.

Le gisement de Paragominas, situé dans l'est de l'état de Pará, d'une capacité de 10 millions de t/an, est exploité depuis 2007 par le groupe Hydro. Il s'étend sur 1 000 km² avec une épaisseur moyenne de 2,2 m. Il renferme 50 % d'alumine et 4 % de silice réactive. Les réserves sont de 1 milliard de t. La bauxite est acheminée à l'aide d'un minéralduc de 244 km jusqu'à l'usine de production d'alumine d'Alunorte à Barcarena.

Le gisement de Juruti, dans l'ouest de l'état de Pará est exploité depuis 2009 par AWAC. Il possède des capacités de 3,6 millions de t/an et des réserves de 700 millions de t. Le minerai est destiné à alimenter l'usine de production d'alumine Alumar, à São Luis.

Exploitations minières guinéennes : la Guinée possède les plus importantes réserves au monde et sa production est principalement exportée.

La [Compagnie des Bauxites de Guinée](#) (CBG) exploite, depuis 1973, le gisement de Boké, situé sur le plateau de Sangaredi, qui contient, en moyenne, 53 % d'alumine et 2 % de silice. La société est détenue à 51 % par la joint venture Halco (45 % Alcoa, 45 % Rio Tinto Alcan, 10 % [Dadco](#)) et à 49 % par l'Etat guinéen. La production, en 2012, de 14,5 millions de t, est transportée par voie ferrée sur 135 km jusqu'au port de Kamsar.

Les gisements de Fria et de Kindia sont détenus à 85 % par le groupe russe [UC Rusal](#) et 15 % par l'Etat guinéen. La bauxite de Fria, 1,9 million de t, en 2011, est transformée sur place en alumine, celle de Kindia, 3 millions de t, en 2011, exportée.

Principaux producteurs : en 2012, en millions de t.

AWAC (Etats-Unis)	44	BHP (Australie)	12,8
-----------------------------------	----	---------------------------------	------

Rio Tinto Alcan (Canada)	31,4	UC Rusal (Russie)	12,4
Chalco (Chine)	17,3	Hydro (Norvège)	9,2

Source : Rapports des sociétés

Le n°1 mondial est AWAC (Alcoa Worldwide Alumina and Chemicals), joint venture entre Alcoa (60 %) et Alumina Limited (40 %), avec, en 2012, environ 44 millions de t extraites en Australie à Huntly et Willowdale, au Brésil à Porto Trompetas (participation de 9,6 %) et Juruti, en Guinée à Sangaredi (participation de 23 % dans la CBG), en Jamaïque à Manchester Plateau (participation de 55 %), au Surinam à Moengo, Klaverblad et Kalmangrassie. L'exploitation d'une mine en Arabie Saoudite, à Al Baitha, avec une participation de 25,1 % est en préparation. La capacité prévue est de 4 millions de t /an à compter de 2014.

En février 2011, les activités dans l'aluminium de Vale ont été reprises par Hydro, Vale devenant actionnaire à 22 % du groupe Hydro.

Commerce international : en 2012.

Le premier pays exportateur est l'Indonésie, avec 28 millions de t exportées vers la Chine. Toutefois, l'Indonésie souhaitant développer son secteur industriel et en particulier la transformation sur place de la bauxite, interdira totalement l'exportation de bauxite à compter de 2014. Les exportations de la Guinée sont de 17 millions de t, celles de l'Australie, de 9,5 millions de t.

En 2012, la Chine a importé 40 millions de t à 70 % d'Indonésie.

Les importations des Etats-Unis sont de 11,1 millions de t dont, en 2011 à 54 % de Jamaïque, 25 % de Guinée, 18 % du Brésil.

Les importations de l'Union européenne ont été, en 2010, de 11,9 millions de t.

Réserves mondiales de bauxite, en 2012, 28 milliards de t. En millions de t.

Guinée	7 400	Indonésie	1 000
Australie	6 000	Inde	900
Brésil	2 600	Guyana	850
Viet Nam	2 100	Chine	830
Jamaïque	2 000	Grèce	600

Source : USGC

Situation française : en 2012.

- La plus grande partie de la production a été arrêtée fin 1991. Le maximum avait été atteint en 1973 avec 3,2 millions de t. Au total, la production a été de 100 millions de t de bauxite. Les gisements étaient situés dans le Var (Brignoles...), les Bouches du Rhône (Les Baux) et l'Hérault. Les réserves françaises de bauxite sont estimées à 70 millions de t. Actuellement une faible production (160 000 t) est destinée à des applications non métallurgiques.

- Importations : 1,4 million de t à 77 % de Guinée, 15 % de Grèce, 3,5 % de Chine.

Utilisations :

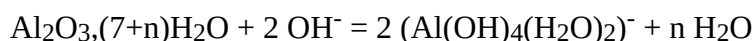
Environ 95 % de la bauxite utilisée dans le monde est destiné à la fabrication de l'alumine (pour, à 90 %, produire de l'aluminium), le reste est utilisé dans les industries des [ciments](#), des produits réfractaires et des abrasifs. En 2011, aux Etats-Unis, sur un total de 8,41 millions de t de bauxite

consommée, l'industrie de l'aluminium a consommé 8,26 millions de t, les autres secteurs industriels (produits réfractaires, abrasifs et chimie), 152 000 t.

ALUMINE :

Fabrication industrielle : elle est réalisée dans des raffineries à partir de bauxite, selon le procédé Bayer. Le procédé, qui consiste à extraire l'alumine de la bauxite, en éliminant les impuretés présentes dans le minerai, utilise le caractère amphotère des hydroxydes d'aluminium qui sont solubles en milieu basique ce qui n'est pas le cas, par exemple, des oxydes de fer.

La bauxite est traitée par une solution de [NaOH](#) concentrée et chaude. L'attaque, qui dure 2 jours, a lieu dans des autoclaves à 140°C pour les minerais de gibbsite et entre 200 et 280°C pour des minerais de böhmite et sous 2 à 4 MPa. On sépare ainsi l'aluminium, en solution sous forme d'ions aluminates hydratés - $(Al(OH)_4(H_2O)_2)^-$, des oxydes de fer et de SiO_2 , solides, qui donnent des "boues rouges". Ensuite, $Al(OH)_3$ précipite par dilution et refroidissement. La précipitation est initiée et contrôlée par une quantité importante d'amorce de $Al(OH)_3$ provenant de fabrications précédentes. Les réactions mises en jeu sont représentées par l'équation chimique ci-dessous avec déplacement de l'équilibre vers la droite lors de la dissolution et vers la gauche lors de la précipitation après élimination de la phase solide.



Lors de la précipitation de l'alumine, la soude est régénérée. Toutefois, la présence de silice, dans le minerai, entraîne une consommation de soude et d'alumine par formation d'un silicoaluminate de sodium de formule : $5SiO_2 \cdot 3Al_2O_3 \cdot 3Na_2O \cdot 5H_2O$. En conséquence, les bauxites à haute teneur en silice susceptible de réagir sont économiquement pénalisées.

Les bacs de précipitation peuvent atteindre des volumes de 4 500 m³. L'alumine calcinée est obtenue par chauffage à 1200°C.

Consommations : pour produire 1,9 t de Al_2O_3 (qui donne 1 t de Al) il faut :

Bauxite	4 à 5 t	Chaux	200 kg	Energie : 380 kWh
Eau	13,5 t	NaOH	210 kg	

Productions : en 2011, en milliers de t de Al_2O_3 . Monde : 91 600, Union européenne : 6 590.

Chine	34 100	Jamaïque	1 960
Australie	19 399	Irlande	1 927
Brésil	10 300	Kazakhstan	1 670
Inde	3 880	Ukraine	1 601
Etats-Unis	3 570	Surinam	1 500
Russie	2 825	Allemagne	1 405

Source : USGC

En 2012, la production chinoise a été de 41,65 millions de t, en 2000, elle était de 4 millions de t.

En 2011, en Australie, Alcoa, à travers AWAC, a produit 9 millions de t dans ses raffineries de Pinjarra (4,2 millions de t de capacité), Kwinana (2,2 millions de t de capacité) et Wagerup (2,6

millions de t de capacité) situées dans l'Ouest, [Rio Tinto Alcan](#), en 2010, 7,7 millions de t dans les raffineries de Gladstone QAL (Queensland, production de 3,8 millions de t, alimentée par la bauxite du gisement de Weipa), Gladstone Yarwun (Queensland, 1,4 million de t) et Gove (Territoire du Nord, 2,5 millions de t). BHPBilliton a produit, en 2011-12, 2,9 millions de t dans la raffinerie de Worsley (Australie de l'Ouest).

La plus importante raffinerie au monde est celle d'[Alunorte](#) (91 % Hydro) située à Barcarena (état de Pará, Brésil) avec une capacité de production depuis mi-2008 de 6,2 millions de t/an. Elle est approvisionnée à 60 % par de la bauxite livrée en bateaux, sur un trajet de 1 570 km sur l'Amazone, par MNR à partir des mines de Porto Trombetas et à 40 % par de la bauxite livrée sous forme de pulpe à partir de la mine de Paragominas, exploitée par Hydro, à l'aide d'une canalisation de 244 km. Une partie de l'alumine produite alimente les électrolyses de production d'aluminium d'Albras à Barcarena et Valesul à Rio de Janeiro. L'essentiel de la production (environ 80 %) est exporté.

Commerce international :

Le principal pays exportateur est l'Australie avec 16,6 millions de t, en 2010.

Les importations chinoises ont été, en 2012, de 5 millions de t.

Les importations de l'Union européenne ont été, en 2010, de 4,5 millions de t.

Celles des Etats-Unis, en 2011, de 2,3 millions de t provenant du Surinam à 32 %, d'Australie à 29 %, de Jamaïque à 18 %, du Brésil à 12 %. Les exportations des Etats-Unis ont été de 1,7 million de t, à 19 % vers le Canada, 10 % vers l'Islande.

Principaux producteurs : en 2012, en millions de t.

AWAC (Etats-Unis)	15,6	Rio Tinto Alcan (Canada)	7,0
Chalco (Chine)	11,9	Hydro (Norvège)	5,8
UC Rusal (Russie)	7,5	BHP (Australie)	4,2

Source : Rapports des sociétés

Le n°1 mondial est AWAC (Alcoa Worldwide Alumina and Chemicals), joint venture entre Alcoa (60 %) et Alumina Limited (40 %) avec, en 2012, 15,6 millions de t, dans 8 raffineries installées dans 6 pays : Australie (Pinjarra, 4,2 millions de t de capacité, Wagerup, 2,6 millions de t de capacité et Kwinana, 2,2 millions de t de capacité), Brésil (São Luis, 3,5 millions de t de capacité), Jamaïque (Clarendon, 1,8 million de t de capacité), Espagne (San Ciprian, 1,5 million de t de capacité), Surinam (Paranam, 2,2 millions de t de capacité) et Etats-Unis (Point Comfort, au Texas, 1,5 million de t de capacité).

Divers types d'alumines et utilisations : 90 % de la consommation d'alumine est utilisé pour élaborer l'aluminium, les 10 % restants dans diverses applications : voir [plus loin](#).

Situation française : en 2012

- La production est, en 2011, de 524 000 t de Al₂O₃.

- Importations d'oxyde : 734 912 t, à 69 % d'Irlande, 16 % d'Allemagne, 4 % de Jamaïque, 4 % du Brésil.

- Importations d'hydroxyde : 43 651 t, à 58 % d'Allemagne, 19 % des Etats-Unis, 7 % des Pays Bas.

- Exportations d'oxyde : 309 293 t, à 17 % vers l'Allemagne, 16 % l'Italie, 8 % Taïwan, 6 % les Etats-Unis, 6 % la Corée du Sud.

- Exportations d'hydroxyde : 139 310 t, à 26 % vers l'Allemagne, 14 % la Turquie, 14 % l'Italie, 12 % la Russie, 12 % la Jordanie.

- Une seule usine, exploitée depuis août 2012 par [Alteo](#) qui a pris la suite de Rio Tinto Alcan qui avait succédé à Alcan et elle même à Pechiney, est en fonctionnement, à Gardanne (13). Elle traite de la bauxite importée avec une capacité de production d'alumines de 700 000 t/an destinées à 80 % à des usages non métallurgiques, ce qui en fait le n°2 mondial de production des alumines de spécialité. C'est dans cette usine, en 1894, que fut réalisée la première exploitation industrielle du procédé Bayer.

Les "boues rouges" (237 700 t en 2007) de l'usine, après lavage, sont transportées, depuis 1966, par une canalisation de 30 cm de diamètre sur 40 km et déversées à 7 km au large de Cassis dans une fosse sous-marine de 2 400 m de profondeur. Les rejets en mer doivent prendre fin en 2016. Les "boues rouges" commencent à être valorisées sous forme d'un produit solide la Bauxaline[®] obtenue après séchage dans un filtre-pressé. La production est de 350 t/jour. Ce produit (constitué à environ 50 % de Fe₂O₃ et 15 % de Al₂O₃ avec un pH de 10) est destiné aux travaux publics (remblais routiers), au bâtiment, à la réhabilitation de centres d'enfouissement de déchets, à l'horticulture comme substrat de cultures...

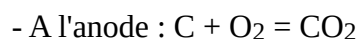
ALUMINIUM DE PREMIÈRE FUSION :

Fabrication industrielle : par électrolyse de Al₂O₃ en sel fondu dans des fonderies.

La température de fusion de Al₂O₃ étant très élevée (2 040°C) on ajoute de la cryolithe (AlF₃3NaF) pour obtenir une fusion vers 960°C. La [cryolithe](#) est obtenue par synthèse (voir plus loin).

- La composition moyenne d'un bain d'électrolyse est la suivante : 83 % de cryolithe, 7 % de [AlF₃](#), 5 % de [CaF₂](#), 5 % de Al₂O₃.

- La cathode est constituée par le creuset, en [graphite](#), de la cellule d'électrolyse (masse : 50 t, durée de vie : 5 ans). La construction de l'usine d'électrolyse Rio Tinto Alcan de Dunkerque (59), qui a commencé en 1992, a nécessité 9 000 t de produits carbonés pour le garnissage des cuves. Les anodes, généralement pré-cuites, sont en carbone et sont consommées, en moyenne, en 26 jours. Elles sont élaborées à partir de coke de pétrole et de brai, dans l'usine de production d'aluminium. Pour produire en un an 170 000 t d'aluminium il faut 200 000 anodes de 400 kg chacune (voir le chapitre consacré au [carbone](#) et au [graphite artificiel](#)). Les réactions se produisant lors de l'électrolyse sont extrêmement complexes. Globalement, on peut écrire les équations suivantes :



- Caractéristiques de l'électrolyse : tension : 4 V, intensité : 180 000 à 350 000 A (300 000 A à Dunkerque). A Dunkerque, pour une capacité de production de 220 000 t, 264 cuves sont montées en séries dans 2 halls de 850 m de long. Les cellules ont les dimensions suivantes : longueur de 9 à 16 m, largeur de 3 à 4 m, hauteur de 1 à 1,5 m. Capacités de production jusqu'à 4,5 t de Al/48 h.

Les cuves d'électrolyse sont soigneusement capotées afin d'éviter, au maximum, des rejets de produits fluorés. Ces rejets (principalement HF) atteignaient de 3 à 12 kg de fluor par t de Al dans les années 1950. A Dunkerque, en fixant, par de l'alumine, HF dans les rejets gazeux (3 m³/s de gaz

émis par cuve) et en formant ainsi AlF_3 qui est recyclé, les émissions de produits fluorés sont inférieures à 0,7 kg de fluor/t de Al.

- L'une des usines la plus importante, au monde, située à Bratsk, en Russie, a une capacité de production de 1 006 000 t d'aluminium soit 30 % de la production russe. Elle a consommé 75 % de l'énergie produite par le barrage voisin situé sur l'Angara.

- Consommations : pour produire 1 t de Al 1^{ère} fusion (à partir de Al_2O_3) il faut :

Al_2O_3	1 900 kg	Produits fluorés	30 kg (exprimés en F^-)
Carbone	430 kg	Énergie	13 000 à 15 000 kWh

- Décomposition du prix de revient de Al 1^{ère} fusion :

Matières premières	15 %	Main d'oeuvre	16 %
<u>Énergie</u>	30 %	Amortissement, frais financiers	39 %

- Le prix de l'énergie électrique (environ 1/3 des coûts de production de Al) est un facteur important dans le choix de l'implantation des usines d'électrolyse. En France, le choix des implantations dans les Alpes (Saint Jean de Maurienne) et les Pyrénées (Lannemezan, arrêtée) a été lié à la production d'hydroélectricité. Le choix du site de Dunkerque a été lié à la proximité de la centrale nucléaire de Gravelines.

Les producteurs disposant de ressources propres en hydroélectricité sont avantagés, par exemple Rio Tinto Alcan au Québec, Rusal en Russie, Hydro en Norvège. Il en est de même pour les producteurs disposant de sources d'énergie peu chères, gaz naturel pour les pays du Golfe, géothermie pour l'Islande.

La consommation d'énergie était de 80 000 kWh/t à la fin du XIX^{ème} siècle (l'intensité d'électrolyse étant de 4 000 A), 21 000 kWh/t en 1950, 15 000 kWh/t actuellement.

Dans le monde, hors la Chine, en 2006, l'origine de l'énergie utilisée pour produire de l'aluminium était la suivante : hydroélectricité : 51 %, charbon : 33 %, gaz naturel : 10 %, nucléaire : 5 %, pétrole : 1 %. La consommation mondiale d'électricité, hors Chine, a été de 308 TWh soit une moyenne de 15,2 MWh/t de Al.

L'énergie, représente 37,5 %, du coût total (incluant extraction minière, transformation en alumine et électrolyse) de l'aluminium primaire produit en Australie. Dans ce pays les coûts se répartissent entre : 4 % pour l'extraction de la bauxite, 25 % pour l'élaboration de l'alumine et 71 % pour l'élaboration de l'aluminium.

- Pureté de Al 1^{ère} fusion : 99,5 à 99,9 % de Al.

Productions : en 2012, en milliers de t. Monde : 45 207, Union européenne, en 2011 : 2 522.

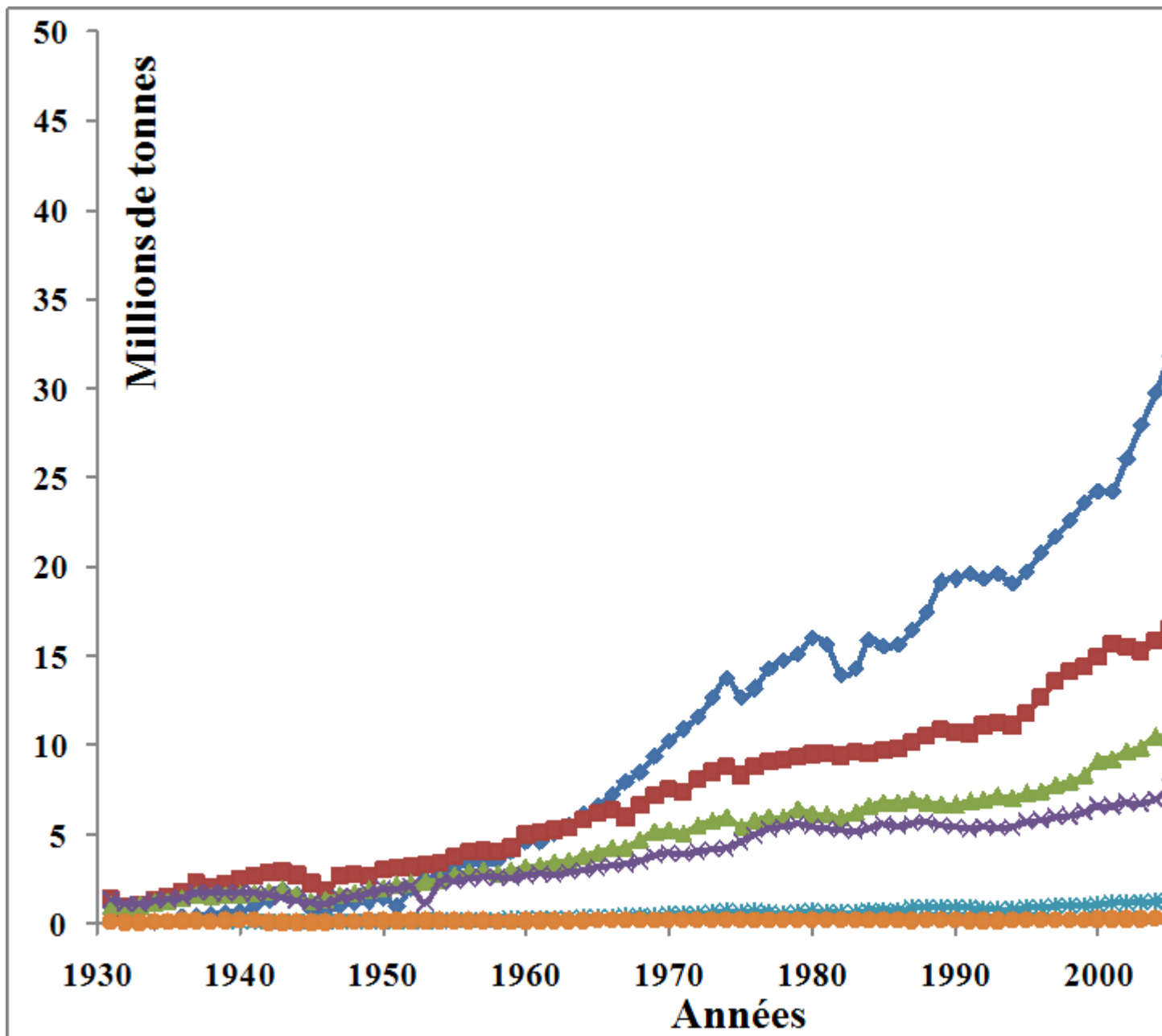
Chine	21 300	Inde	1 700
Russie	4 200	Brésil	1 450
Canada	2 700	Norvège	1 000

Etats Unis	2 000	Bahrain	900
Australie	1 900	Islande	800
Emirats Arabes Unis	1 850	Afrique du Sud	600

Sources : USGC et IAI

De 1888 à 2012, la production totale d'aluminium a été de 1 045,4 millions de t.

- Dans l'Union européenne, avec 26 usines de production, les principaux pays producteurs sont, en 2011, en milliers de t : Allemagne : 433, Espagne : 365, France : 334, Pays Bas : 300, Roumanie : 261, Royaume Uni : 213, Italie : 168, Slovaquie : 165, Grèce : 132, Suède : 111...
- Au Canada, 90 % de la production est réalisée au Québec avec 10 usines, aux États-Unis, en 2012, 10 usines sont en fonctionnement, 11 usines en Russie, 7 en Norvège.
- La production japonaise est actuellement insignifiante (56 000 t en 2011) alors qu'elle était de 1,6 million de t en 1977. La production d'aluminium de deuxième fusion est par contre importante avec 1 million de t en 2005. Les importations sont de 3 millions de t en 2007.
- Évolution de la production mondiale : 1886 : 13 t, 1949 : 1,3 million t, 1973 : 13 millions t, 1995 : 20 millions de t, 2012 : 45 millions de t.
- C'est actuellement le 1^{er} métal non ferreux consommé : sa production a dépassé celle de Sn en 1923, Pb en 1943, Zn en 1954, Cu en 1958.



**Evolution de la production mondiale de quelques métaux, en millions de tonnes
(aluminium de 1ère fusion et cuivre raffiné non allié)**

d'après l'Annuaire Statistique Mondial des Minerais et Métaux (SIM et BRGM) jusqu'en 1999 et l'USGS depuis

Producteurs : en milliers de t de production de Al première fusion, en 2012.

UC Rusal (Russie)	4 170	Hydro (Norvège)	1 980
Chalco (Chine)	4 120	BHPBilliton (Australie)	1 153
Alcoa (Etats-Unis)	3 740	Dubal (Dubai) en 2010	1 043
Rio Tinto Alcan (Canada)	3 450	Alba (Bahrain)	890
China Power (Chine)	2 620		

Sources : rapports d'activités des sociétés

[Rio Tinto](#) a acquis Alcan en 2007 qui avait absorbé Pechiney fin 2003. Les activités de Rio Tinto et Alcan sont regroupées dans [Rio Tinto Alcan](#). En 2012, Rio Tinto Alcan a produit 31,42 millions de t de bauxite dans 6 mines de 4 pays, 7,0 millions de t d'alumine dans 10 usines de 5 pays, 3,45 millions de t d'aluminium primaire dans 24 usines d'électrolyse de 11 pays. Le groupe possède des capacités de production d'hydroélectricité suffisantes pour répondre à la moitié de ses besoins.

[Rusal](#), société fondée en 2007 par fusion entre Rusal, Sual et les actifs dans l'aluminium de la société suisse Glencore, regroupe l'essentiel de l'industrie russe de l'aluminium avec des productions de 12,4 millions de t/an de bauxite dans 8 mines (avec des intérêts en Guinée, Jamaïque, Australie, Guyana), 7,5 millions de t/an d'alumine dans 12 usines et 4,2 millions de t /an d'aluminium primaire dans 15 usines.

[Alcoa](#) qui a absorbé Reynolds en 2000, a produit, en propre ou à travers AWAC, en 2012, 44 millions de t de bauxite dans 7 mines de 5 pays, 15,6 millions de t d'alumine dans 9 usines de 6 pays, 3,7 millions de t d'aluminium primaire dans 23 usines d'électrolyse de 9 pays.

[Hydro](#) possède 91 % de participation dans Alunorte (Brésil) et 35 % dans Alpart (Jamaïque) soit un approvisionnement de 2 millions t/an en alumine. Sa production d'aluminium primaire est, en 2012, de 2 millions de t dans 10 usines situées dans 5 pays. En Norvège, pour approvisionner en électricité ses 5 usines d'électrolyse, Hydro possède 17 usines hydroélectriques avec une production moyenne de 9 TWh/an.

[BHPBilliton](#) a produit, en 2011/12, 12,8 millions de t de bauxite dans 4 mines de 3 pays, 4,2 millions de t d'alumine dans 3 usines de 3 pays, 1,2 million de t d'aluminium primaire dans 4 usines de 3 pays.

Commerce international : en 2007.

- Principaux pays exportateurs : Etats-Unis : 3,6 millions de t, en 2012, Russie : 3,2 millions de t (à 30 % vers l'Union européenne, 23 % le Japon), Canada : 2,5 millions de t (à 77 % vers les Etats-Unis), Australie : 1,7 million de t (à 35 % vers le Japon), Norvège : 1,6 million de t (à 98 % vers l'Union européenne), Brésil : 0,8 million de t (à 27 % vers le Japon).

- Principaux pays importateurs : Union européenne : 5,1 millions de t, en 2010, Japon : 3,0 millions de t, Etats-Unis : 4,5 millions de t en 2012, Allemagne : 2,2 millions de t (à 52 % de l'Union européenne, 11 % la Norvège), Corée du Sud : 1,2 million de t à 44 % de Chine, 21 % de Russie, 20 % d'Australie), Italie : 1,1 million de t.

Aluminium raffiné : obtention de Al à 99,99 % (4N), 99,999 % (5N) ou 99,9995 % (5N5).

L'aluminium 4N est principalement utilisé dans la fabrication de condensateurs électriques, l'aluminium 5N est utilisé dans les écrans plats LCD et comme cibles de pulvérisation cathodique dans certaines technologies de fabrication de panneaux solaires, l'aluminium 5N5 est utilisé principalement comme cibles de pulvérisation cathodique dans la fabrication de semi-conducteurs. Deux techniques de raffinage sont utilisées :

- L'électrolyse en sel fondu (raffinage 3 couches) : l'aluminium primaire, densifié grâce à l'addition de 25 à 30 % de [Cu](#) est fondu à 750°C et forme, dans le fond de la cuve d'électrolyse, l'anode. L'électrolyte fondu est situé au-dessus, lui même étant surmonté par Al raffiné qui forme la cathode. Al est transporté de l'anode à la cathode d'où il est extrait. 2 procédés se différencient par la nature de l'électrolyte. Le procédé Gadeau-Pechiney utilise le mélange : BaCl₂ : 60 %, AlF₃ : 23 %, NaF :

17 %. Ce procédé était utilisé dans l'usine Pechiney de Mercus (09) rachetée successivement par Alcan, en 2003, puis Praxair, en 2006. Cette production a été arrêtée.

- La cristallisation fractionnée, soit par ségrégation, soit par fusion de zone : ce type de raffinage repose sur les équilibres thermodynamiques entre l'aluminium et les différentes impuretés qu'il contient initialement. Les impuretés formant un système binaire eutectique avec l'aluminium ont tendance à être séparées de l'aluminium tandis que les impuretés formant un système binaire péritectiques avec l'aluminium ont tendance à se concentrer dans l'aluminium. Une série de fours de ségrégation permettant d'obtenir des puretés allant de 4N à 5N5 est en activité sur le site [Praxair](#) à Mercus.

- En 2011, la production japonaise d'aluminium raffiné est de 50 000 t.

RECYCLAGE, ALUMINIUM DE DEUXIÈME FUSION (ou d'affinage ou secondaire)

Produit à partir de la récupération des déchets d'aluminium ou d'alliages à base Al.

- Deux origines de l'aluminium récupéré :

- les chutes de fabrication, qui donnent un déchet de composition connue, facilement recyclable, et les résidus de production et transformation du métal qui nécessitent des traitements plus complexes de préparation et d'affinage.

- les objets usagers divers (véhicules, démolitions, [emballages](#)...) qui nécessitent triage manuel et/ou broyage suivi de tri par liqueur dense ou par flottation, avant affinage. La densité des alliages d'aluminium étant comprise entre 2,6 et 3,0, le choix d'une liqueur de densité légèrement supérieure à 3 permet leur récupération. Dans cette gamme de densité, est utilisée la suspension dans l'eau de particules de ferrosilicium qui présentent l'avantage d'être ferromagnétiques et donc de pouvoir être facilement récupérées.

Pour les déchets ménagers et les machefers d'incinération, un triage automatique est mis en œuvre en utilisant un séparateur magnétique à courants de Foucault. Un tambour rotatif (2 600 tours par minute) muni de puissants aimants permanents génère dans les métaux non ferreux à trier, des courants de Foucault qui créent un champ magnétique opposé au champ qui leur a donné naissance. Les objets en aluminium sont repoussés.

L'automobile est la première source de déchets (95 % de Al utilisé dans ce secteur est recyclé).

Autre source importante, particulièrement aux Etats-Unis : les boîtes-boisson.

- De 1888 à 2010, sur une production totale d'aluminium de 955,8 millions de t, 727,4 millions de t sont encore en utilisation, à 34 % dans les bâtiments, 27 % dans les transports (dont 16 % dans des automobiles), 28 % dans des équipements électriques et mécaniques, 1 % dans des emballages. Ce stock représentant environ 75 % de l'aluminium produit est susceptible d'être recyclé.

En 2012, l'aluminium recyclé provient à 42 % des transports, 28 % des emballages, 11 % des équipements électriques et mécaniques, 8 % des bâtiments.

- Dans le monde, en 2009, le recyclage d'objets usagés a fourni 10 millions de t.

- Aux Etats-Unis, en 2012, recyclage de 3,5 millions de t, à 47 % de produits usagés (dont les boîtes-boisson représentent 45 % de la masse totale). Dans ce pays, en 2011, 60,9 milliards de

[boîtes-boisson](#) ont été recyclés soit 65,1 %, la consommation ayant été de 93,6 milliards de boîtes. En Europe, en 2010, recyclage de 67 % des boîtes boisson en aluminium, avec un taux de 96 %, en Allemagne, de 57 % en France.

- Dans l'Union européenne, en 2010, le recyclage a représenté 4,4 millions de t.
- En France, l'aluminium recyclable représente 500 000 à 600 000 t/an. 70 % de cet aluminium est effectivement recyclé. Les taux de recyclage sont de : 85 % dans le bâtiment, 80 % dans le transport, 70 % dans les applications mécaniques et électriques, 65 % dans l'équipement ménager. Il couvre 30 % des besoins. L'aluminium recyclé est consommé à 60 % dans le secteur des transports.
- La production d'aluminium recyclé est économique : 95 % de l'énergie nécessaire pour produire l'aluminium est économisée : il ne faut que 650 kWh/t de Al. Le recyclage de 1 t d'aluminium économise :
 - 2,44 t de bauxite,
 - 1,07 m³ d'eau,
 - 26,6 MWh d'énergie,
 - 6,9 t de rejets en équivalent CO₂.
- On distingue d'une part les usines d'affinage qui produisent, en général à partir de déchets, des alliages de moulage (surtout pour l'automobile : bloc-moteur, carters de boîtes de vitesse) et de l'aluminium destiné à déoxyder les [acières](#) et d'autre part des fonderies qui produisent, en général à partir de chutes de fabrication, des alliages de corroyage sous forme de lingots, billettes et plaques.
- En Europe, en 2008, fonctionnent 278 usines de recyclage, en Amérique du Nord (Etats-Unis et Canada) 316, au Japon, 120, en Chine : 71.
- En France, 17 affineries et 15 fonderies fonctionnent avec 300 000 t de capacité totale. La plus importante est exploitée par [Affimet](#), société du groupe [Aurea](#), à Compiègne (60) qui produit de 50 000 à 80 000 t/an d'alliages d'aluminium.

SITUATION FRANÇAISE : en 2012.

- Productions : 1^{ère} fusion : 334 000 t, en 2011, 2^{ème} fusion : 425 000 t, en 2010.
- Importations d'aluminium non allié brut : 134 286 t, de Russie à 17 %, des Emirats Arabes Unis à 17 %, du Mozambique à 11 %, d'Islande à 10 %.
- Importations de déchets et débris : 267 280 t, d'Allemagne à 35 %, de Belgique à 16 %, du Royaume Uni à 8 %, de Suède à 7 %.
- Exportations d'aluminium non allié brut : 45 168 t, vers l'Allemagne à 70 %, les Pays-Bas à 12 %, la Belgique à 12 %.
- Exportations de déchets et débris : 424 980 t vers l'Italie à 22 %, l'Espagne à 17 %, la Belgique à 15 %, l'Allemagne à 14 %, la Chine à 8 %.
- Un seul producteur d'aluminium primaire : Rio Tinto Alcan dans ses usines de (en capacités annuelles de production) : Dunkerque (59) : 259 000 t, Saint Jean de Maurienne (73) : 135 000 t.
- Productions de demi-produits, hors fonderies, en 2006 : 361 550 t de produits laminés, 211 755 t de produits extrudés, 24 987 t de fils et poudre.

UTILISATIONS :

Consommations d'aluminium primaire : monde, en 2010 : 41,1 millions de t

En 2012, la consommation chinoise est de 21,45 millions de t (elle était de 5,1 millions de t, en 2003), celle des Etats-Unis de 4,52 millions de t, celle du Japon, en 2011, de 1,95 million de t, de la France, en 2010, de 738 000 t.

En 2010, les principaux pays consommateurs étaient, en % d'un total mondial de 39,66 millions de t : la Chine, 40 %, les Etats-Unis, 11 %, le Japon et l'Allemagne, 5 %, l'Inde : 4 %, la Corée du Sud : 3 %, la Turquie, la Russie, le Brésil et l'Italie : 2 %.

Secteurs d'utilisation : en %.

	Etats-Unis, en 2012	Europe de l'Ouest, en 2010	Japon, en 2010
Transports	34 %	34,3 %	42,8 %
Emballages	26 %	19,9 %	11,8 %
Equipements électriques et mécaniques	17 %	18,5 %	18,8 %
Construction	12 %	18,8 %	13,6 %

Source : USGC et IAI

Formes d'utilisation : en milliers de t d'aluminium de première et deuxième fusion.

- Europe (2007) : sur un total de 12,8 millions de t de demi-produits (à 90 % produits dans l'Union européenne) :

- demi-produits laminés : 4,9 millions de t.
- demi-produits extrudés : 3,4 millions de t destinés à 42 % au bâtiment, 17 % les transports, 16 % les équipements électriques et mécaniques.
- Fil, poudre... : 1,1 million de t.
- Fonderie : 3,4 millions de t destinés à 73 % au transport, 12 % les équipements, 8 % la construction.

Utilisations diverses :

Al est concurrencé par les [plastiques](#) et les matériaux composites, mais il tend toujours à remplacer l'[acier](#) et la fonte dans l'automobile et la construction ainsi que le [cuivre](#) dans l'électrotechnique : 1 kg d'aluminium assure les mêmes fonctions électriques que 2 kg de cuivre.

- [Boîtes-boisson](#) : production mondiale, en 2007, de 225 milliards de boîtes.

Le corps de la boîte est en [alliage](#) de la série 3000 (Al-Mn-Mg), le couvercle, plus épais, en alliage de la série 5000 (Al-Mg). Celui-ci représente 1/4 de la masse de la boîte (le gain de masse du modèle 202 a été obtenu en réduisant le diamètre du couvercle). Actuellement, une boîte de 355 mL pèse 13,13 g, elle pesait 20,38 g en 1973. Le métal entre pour 60 % dans le prix de revient des boîtes en aluminium. La cadence de production peut atteindre 2 000 boîtes par minute.

Aux États-Unis, la consommation a été de 93,6 milliards de boîtes en 2011 soit 1,2 million de t de Al. 65,1 % des boîtes sont récupérées après utilisation, soit 800 000 t de Al, et le métal est [recyclé](#) pour produire de nouvelles boîtes. On estime qu'une boîte est recyclée 4 fois par an.

L'aluminium concurrence l'[acier](#) (voir le chapitre [emballages](#)) pour la fabrication des boîtes-boissons. Aux États-Unis, quasiment toutes les boîtes sont en aluminium. En Europe, de 1980 à 2012, la part de marché de l'aluminium est passé de 24 % à 70 %. En 2012, la consommation européenne de boîtes-boisson a été de 59 milliards de boîtes avec un taux de [recyclage](#), en 2009, de 64 %.

En France la consommation a été de 4,3 milliards de boîtes, en 2012, à 70 % en fer blanc. Une usine de production de boîtes en aluminium, exploitée par [Ball Packaging Europe](#), est située à La Ciotat (13). [Constellium](#), possédé à 39 % par Rio Tinto recycle des boîtes-boisson à Neuf-Brisach (68).

- [Aéronautique et spatial](#) : dans un Airbus A 340, 66 % des 118 t, est en aluminium, 60 % du poids structurel d'un Airbus A380 est en aluminium. Les [alliages](#) les plus utilisés (à haute résistance mécanique) sont ceux des séries 2000 (Al-Cu) et 7000 (Al-Zn-Mg-Cu). Le réservoir principal d'Ariane V est en aluminium : 23 m de haut, 5 m de diamètre, 2 mm d'épaisseur.

- [Automobiles](#) : dans une voiture, en Europe, il y a, en 2012, en moyenne, 140 kg d'aluminium (28 kg en 1973, 50 kg en 1990) sur un poids total moyen de 1 389 kg. Des voitures telles que Range Rover, Jaguar XJ, Audi A8 en contiennent plus de 500 kg.

Dans les véhicules courants, l'aluminium est présent à 50 % dans les boîtes de vitesse (carters), 30 %, dans le châssis et le moteur (culasse, bloc moteur), 15 % dans la carrosserie, les radiateurs. Environ 50 % des blocs moteurs sont en aluminium et en France, la totalité des culasses.

Les alliages utilisées sont surtout des [alliages de fonderie](#) (l'automobile représente 75 % des utilisations de ces alliages) du type : AS9U3 ou AS7U3 (7-9 % Si, 3 % Cu). Ces alliages sont, en grande partie, élaborés à partir de [Al recyclé](#). En France, l'aluminium utilisé dans les automobiles est recyclé à 90 %.

On assiste au début de l'utilisation, dans les véhicules courants, de parties de carrosseries en aluminium. Par exemple, Ford produit 1,2 million de capots en Al/an. De 1953 à 1957, la Dyna Z de Panhard avait une carrosserie en Al.

- [Autres utilisations](#) :

- Feuilles minces : épaisseur minimale actuelle : 5,5 micromètres.

- Métallisation, sous vide, de polymères, de papiers, utilisés en emballage alimentaire, condensateurs. Par exemple, les [emballages](#) alimentaires en carton pour conservation du lait sont constitués d'un matériau multicouche : 74 % en masse de papier, 21 % de [polyéthylène](#), 5 % d'aluminium.

- [Sidérurgie](#) : Al est utilisé pour désoxyder les aciers. Dans les installations les plus récentes de métallurgie en poche, la consommation est réduite à 1 kg de Al/t d'acier.

- Navires à grande vitesse.

- Aluminothermie : dans l'industrie d'élaboration des ferro-alliages (de Mo, de V, de [Ti](#)) et du [chrome](#), ainsi que pour la soudure des rails. Les rails du TGV longs de 18 m sont soudés électriquement, en usine, pour donner des rails de 244 m eux-mêmes soudés sur la voie par

aluminothermie. En France, de 130 à 150 000 soudures sont ainsi effectuées par an, soit une consommation de l'ordre de 1 000 t de Al/an.

- Bâtiment : en Europe de l'ouest, en 2006, utilisation de 2,9 millions de t d'aluminium dont 1,7 million de t sous forme de profilés extrudés, 1 million de t de tôles laminées et 200 000 t dans des alliages de fonderie. Réalisations importantes : Institut du Monde Arabe, Arche de la Défense (800 t de Al). L'aluminium pour le bâtiment subit un traitement de surface par anodisation (couche de 5 à 25 micromètres d'oxyde) ou par laquage.

- Poudre de Al : utilisée comme propergol pour les "boosters" de la fusée Ariane (36 t/fusée). Employée pour élaborer les bétons cellulaires. En milieu basique (cas les [ciments](#)) Al donne un dégagement de [dihydrogène](#) qui forme des pores et donc allège le ciment.

- Chimie : production de $AlCl_3$ par combustion de l'aluminium dans Cl_2 . Utilisation comme catalyseur dans les synthèses de Friedel et Crafts.