

# ALUMINIUM

Dernière mise à jour : 11/05/2015

## RESPONSABLE DU PROGRAMME

J.-M. BRIGNON : [jean-marc.brignon@ineris.fr](mailto:jean-marc.brignon@ineris.fr)

## EXPERT AYANT PARTICIPÉ A LA REDACTION

A. GOUZY : [aurelien.gouzy@ineris.fr](mailto:aurelien.gouzy@ineris.fr)

Veillez citer ce document de la manière suivante :

INERIS, 2014. Données technico-économiques sur les substances chimiques en France : Aluminium, DRC-14-136881-07004A, 75 p. (<http://rsde.ineris.fr/> ou <http://www.ineris.fr/substances/fr/>).

# ALUMINIUM

## RESUME

L'aluminium est un métal de numéro CAS 7429-90-5. Ubiquitaire, il est très répandu dans la croûte terrestre. Les sources d'aluminium sont à la fois naturelles et anthropiques. La majorité de l'aluminium naturel (non recyclé) provient des minerais.

La production mondiale d'aluminium augmente chaque année pour répondre à la demande industrielle. Les secteurs d'utilisations de l'aluminium sont principalement les transports, le bâtiment et les emballages. Ses composés sont utilisés dans les cosmétiques, la potabilisation de l'eau et les retardateurs de flamme.

Les principales émissions ponctuelles d'aluminium vers l'environnement (eau, sol) sur le territoire français sont répertoriées : tous milieux confondus, selon l'IREP, les émissions industrielles étaient d'environ 13 998 tonnes en 2012. Il n'y a pas ou peu de données quand aux émissions d'aluminium vers l'atmosphère.

L'aluminium est principalement présent dans les milieux aquatiques et terrestres. Quand il est rejeté à l'atmosphère, il se dépose près de sa source.

Les rejets d'aluminium ont fortement augmenté ces dernières années en raison de l'importante utilisation de l'aluminium en tant que substituant d'autres métaux présentant un fort impact environnemental, tels que le plomb, le cadmium, le cuivre ou le chrome. Il existe actuellement assez peu des possibilités de substitution de l'aluminium dans l'industrie.

Dans le secteur des transports, des alternatives à l'aluminium se développent avec des polymères, notamment dans l'automobile.

Il existe des alternatives aux usages de l'aluminium dans le secteur des emballages alimentaires, ou permettant du moins de réduire les quantités d'aluminium en jeu.

Dans le secteur de l'énergie, des métaux autres que l'aluminium peuvent être utilisés et des polymères développés pour le substituer.

Les composés de l'aluminium employés dans les retardateurs de flamme et les cosmétiques peuvent être substitués, mais les caractéristiques des substituts potentiels sont à étudier, notamment leur toxicité et leur écotoxicité.

Des techniques de réductions des émissions urbaines et industrielles de ce métal vers les eaux existent, notamment dans les effluents de stations d'épurations urbaines et lors du traitement des minerais.

# ALUMINIUM

## ABSTRACT

Aluminium is a metal, its CAS number is 7429-90-5. It is a ubiquitous metal, very common in the Earth's crust. Copper sources are both natural and anthropogenic. Most of natural aluminium comes from ores.

The global aluminum production increases each year to meet industrial demand. The sectors of the aluminum uses are mainly transport, construction and packaging. Its compounds are used in cosmetics, drinking water treatment and flame retardants.

The main point emissions of aluminium to environment (water, soil) in France are listed: according to IREP, industrial emissions were about 13 998 tons for all medias for 2012. There is few data about emissions to atmosphere.

Aluminum is mainly present in aquatic and terrestrial compartments. When aluminum is emitted to the atmosphere, it deposits near its source.

Aluminum releases have grown up in recent years due to the extensive use of aluminum as a substituent for other metals with a high environmental impact, such as lead, cadmium, copper and chromium. There are currently quite a few possibilities of substitution of aluminum in industry.

In the transport sector, alternatives to aluminum grow with polymers, especially in the automobile.

There are alternatives to the aluminum uses in the food packaging sector, or at least to reduce amounts of aluminum used.

In the energy sector, some metals may be used and polymers are developed to substitute aluminum.

The aluminum compounds used in flame retardants and cosmetics can be substituted, but the characteristics of potential substitutes have to be studied, especially toxicity and ecotoxicity.

Urban and industrial emissions reductions techniques exist of this metal to water, particularly in sewage treatment plants and when treating ores.

# ALUMINIUM

## SOMMAIRE

Resumé .....	2
Abstract.....	3
1 Généralités .....	6
1.1 Définition et caractéristiques principales .....	6
1.2 Réglementations .....	11
1.3 Valeurs et normes appliquées en France .....	16
1.4 Autres textes .....	17
1.5 Classification et étiquetage .....	18
1.6 Sources naturelles d'aluminium.....	22
1.7 Sources non-intentionnelles d'aluminium .....	22
2 Production et utilisations.....	23
2.1 Principe de production .....	23
2.2 Production et vente.....	24
2.3 Utilisations .....	29
3 Rejets dans l'environnement .....	44
3.1 Emissions anthropiques totales .....	44
3.2 Emissions atmosphériques .....	45
3.3 Emissions vers les eaux.....	45
3.4 Emissions vers les sols .....	46
3.5 Pollutions historiques et accidentelles.....	46
4 Devenir et présence dans l'environnement.....	48
4.1 Comportement dans l'environnement .....	48
4.2 Présence dans l'environnement.....	48
5 Perspectives de réduction des rejets.....	58
5.1 Alternatives aux usages de l'aluminium .....	58
5.2 Réduction des émissions d'aluminium .....	68
6 Conclusions .....	71
7 Références.....	72
7.1 Sites Internet consultés .....	72

# ALUMINIUM

7.2 Bibliographie..... 73

# ALUMINIUM

## 1 GENERALITES

Une bibliographie importante est disponible sur l'aluminium et ses principaux composés. Afin de ne pas alourdir cette fiche, nous n'avons présenté ici que les références les plus significatives. Ce document ne se veut donc en aucun cas exhaustif mais indicatif des aspects technico-économiques de l'aluminium et de ses principaux composés.

### 1.1 Définition et caractéristiques principales

L'aluminium est un métal ubiquitaire que l'on retrouve dans les sols, l'eau et la biosphère.

L'aluminium est, à l'état oxydé, l'élément métallique le plus répandu dans la croûte terrestre, 8 % en Al et 15 % en  $Al_2O_3$  (Vignes, 2013).

#### 1.1.1 Présentation de la substance

Le Tableau 1 synthétise l'identification et la caractérisation de l'aluminium et de ses principaux composés. Le Tableau 2 regroupe les autres composés de l'aluminium répertoriés par l'ECHA. L'aluminium comporte de très nombreux composés, seuls ceux compris dans le Tableau 1 sont étudiés plus en détail dans cette fiche.

# ALUMINIUM

Tableau 1. Caractéristiques de l'aluminium et de ses principaux composés, selon l'ECHA<sup>1</sup>.

Nom	CAS	EC	Forme physique(*)	SANDRE
aluminium Al	7429-90-5	231-072-3	solide	1370
oxyde d'aluminium Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1344-28-1	215-691-6	crystalline	7344
chlorure d'aluminium, basique Al <sub>2</sub> (OH) <sub>n</sub> Cl <sub>6-n</sub>	1327-41-9	215-477-2	solution aqueuse	n.d.
dioxyde d'aluminium et de sodium AlO <sub>2</sub> Na	1302-42-7	215-100-1	solide	n.d.
sulfate d'aluminium Al <sub>2</sub> O <sub>12</sub> S <sub>3</sub>	10043-01-3	233-135-0	solide et solution aqueuse	n.d.
fluorure d'aluminium AlF <sub>3</sub>	7784-18-1	232-051-1	solide	n.d.
hydroxyde d'aluminium AlH <sub>3</sub> O <sub>3</sub>	21645-51-2	244-492-7		n.d.

(\*) dans les conditions ambiantes habituelles.  
n.d. : données non disponibles à la date de rédaction de la fiche

<sup>1</sup> ECHA : European Chemicals Agency : <http://echa.europa.eu/> (consulté en juillet 2014).

# ALUMINIUM

Tableau 2. Caractéristiques des autres composés de l'aluminium répertoriés dans l'ECHA.

Nom	CAS	EC	Forme physique(*)
triisopropanolate d'aluminium $C_9H_{21}AlO_3$	555-31-7	209-090-8	solide
spinelles $Mg(AlO_2)_2$	1302-67-6	215-105-9	solide
boehmite $Al(OH)O$	1318-23-6	215-284-3	solide
aluminatesilicate $Al_2H_2O_{12}Si_4$	1327-36-2	215-475-1	solide
acide silicique, sels d'aluminium $Al_2O_9Si_3$	1335-30-4	215-628-2	solide
acide silicique, sels d'aluminium et sodium $AlNaO_3Si$	1344-00-9	215-684-8	poudre
triformiate d'aluminium $Al(CHO_2)_3$	7360-53-4	230-898-1	solide
chlorure d'aluminium $AlCl_3$	7446-70-0	231-208-1	solide
bis(sulfate) d'aluminium ammonium $AlH_4NO_8S_2$	7784-25-0	232-055-3	poudre
orthophosphate d'aluminium $AlO_4P$	7784-30-7	232-056-9	poudre
aluminium potassium bis(sulfate) $AlKO_8S_2$	10043-67-1	233-141-3	solide
[carbonato(2- )]hexadecahydroxybis(aluminium)hexamagnesium $CH_{16}Al_2Mg_6O_{19}$	11097-59-9	234-319-3	poudre
tétraoxyde de dialuminium et de nickel $Al_2NiO_4$	12004-35-2	234-454-8	
pentaoxyde de dialuminium et de titane $Al_2O_5Ti$	12004-39-6	234-456-9	solide



# ALUMINIUM

Nom	CAS	EC	Forme physique(*)
nonadecaoxyde de dodecaaluminium et de calcium $Al_{12}CaO_{19}$	12005-50-4	234-468-4	solide
acide silicique, sels d'aluminium, magnésium et sodium $AlMgNaO_9Si_3$	12040-43-6	234-919-5	
pentahydroxyde de chlorure de dialuminium $Al_2ClH_5O_5$	12042-91-0	234-933-1	solide et liquide
tétraoxyde d'aluminium sodium $AlH_4NaO_4$	12251-53-5	235-487-0	solide
(octadecanoato-O)oxoaluminium $C_{18}H_{35}AlO_3$	13419-15-3	236-521-7	
nitrate d'aluminium $AlN_3O_9$	13473-90-0	236-751-8	
aluminium tris(dihydrogène phosphate) $AlH_6O_{12}P_3$	13530-50-2	236-875-2	poudre
metaphosphate d'aluminium $AlO_9P_3$	13776-88-0	237-415-3	solide
dihydrogénotriphosphate d'aluminium $AlH_2O_{10}P_3$	13939-25-8	237-714-9	solide
trilactate d'aluminium $C_9H_{15}AlO_9$	18917-91-4	242-670-9	poudre
sulfate d'hydroxychlorure d'aluminium $Al_2Cl_2H_2O_6S$	39290-78-3	254-400-7	solution aqueuse
hydroxychlorure d'aluminium et de zirconium $Al_2Cl_7H_7O_7Zr_2$	57158-29-9	260-599-1	
fluorure d'aluminium et potassium $AlF_6K_3$	60304-36-1	262-153-1	
matériaux et articles en céramiques, produits chimiques (tétraoxyde de dialuminium manganèse, type spinelle) $Al_4Mg_2O_{18}Si_5$	66402-68-4	266-340-9	solide
aluminium, scories	69011-71-8	273-708-2	solide

# ALUMINIUM

Nom	CAS	EC	Forme physique(*)
scories, ferrovanadium-manufac., aluminothermique	84144-98-9	282-220-9	solide
aluminium magnesium zinc carbonate hydroxide	169314-88-9	423-570-6	poudre
oxyde de lithium nickel cobalt aluminium	-	700-042-6	solide
masse de réaction d'aluminium et d'oxyde d'aluminium, d'oxyde de calcium et d'oxyde de magnésium	-	909-586-0	solide
masse de réaction de nitrate d'aluminium et de sulfate d'aluminium	-	914-919-8	liquide
zéolite, parallélépipédique, cristalline, synthétique, non fibreuses	1318-02-1	930-915-9	
matrice de silicate d'aluminium et d'oxyde de titane dopée au vanadium, nickel et antimoine	-	931-210-9	solide
tétraoxyde de dialuminium et de fer, type spinelle	-	931-286-3	

(\*) dans les conditions ambiantes habituelles.

Le Erreur ! Source du renvoi introuvable. montre la grande diversité des nombreux composés de l'aluminium.

## 1.1.2 Toxicité de la substance

De nombreuses compilations bibliographiques des données, limites toxicologiques et écotoxicologiques sont disponibles sur Internet : parmi elles, citons le site de l'INERIS (<http://www.ineris.fr> ; Rubrique Etudes et Recherches / Fiches toxicologiques).

## 1.2 Réglementations

### 1.2.1 Textes généraux

#### REACH

Le règlement 1907/2006 concernant l'enregistrement, l'évaluation et l'autorisation des substances chimiques (REACH) oblige les producteurs et les importateurs de substances en quantité supérieure à une tonne à soumettre une demande d'enregistrement. Ces substances sont ensuite pour certaines évaluées, et éventuellement leur usage est ensuite soumis à

# ALUMINIUM

autorisation. A ce jour, aucun composé de l'aluminium, cité dans le Tableau 1 ou le Tableau 2, n'est listé ni dans l'annexe XIV<sup>2</sup>, ni dans l'annexe XVII<sup>3</sup> du règlement.

## Autres textes

Ni l'aluminium ni ses composés listés au Tableau 1 ne sont cités dans la liste de l'annexe I du règlement (CE) 649/2012 relatif à l'export et l'import des substances dangereuses identifiées par ce texte.

### 1.2.2 Seuils de rejets pour les installations classées

L'arrêté du 26 décembre 2012 modifiant l'arrêté du 31 janvier 2008 concerne le registre et la déclaration annuelle des émissions polluantes et des déchets. L'exploitant de l'installation doit déclarer ces rejets dès lors que les seuils d'émissions décrits dans l'annexe II de cet arrêté sont dépassés. Les seuils de rejets d'aluminium et ses composés (exprimés en tant que Al) sont :

- de 2 000 kg/an dans l'eau,
- de 2 000 kg/an dans le sol.

Ce texte ne spécifie pas de seuils de rejets dans l'air.

L'arrêté du 2 février 1998 relatif aux prélèvements et à la consommation d'eau ainsi qu'aux émissions de toute nature des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) soumises à autorisation indique que, concernant la pollution des eaux superficielles, les rejets des ICPE ne doivent pas excéder les valeurs limites de concentrations suivantes : fer, aluminium et composés (en Fe+Al) 5 mg/L si le rejet dépasse 20 g/j.

Dans le cas de la fabrication ou de la transformation d'aluminium et de fer, la valeur limite de concentration ne doit pas excéder 5 mg/L d'un des deux métaux, la valeur limite de concentration de l'autre métal est alors fixée à 2 mg/L.

### 1.2.3 Cosmétiques

Plusieurs composés de l'aluminium sont cités dans le règlement 1223/2009 relatif aux produits cosmétiques.

Les composés suivants de l'aluminium sont interdits dans les cosmétiques (Annexe II) :

<sup>2</sup> Liste des substances soumises à autorisation.

<sup>3</sup> Liste des restrictions en vigueur.

# ALUMINIUM

- le sel d'aluminium de l'acide 2-(3,6-dihydroxy-2,4,5,7-tétrabromoxanthène-9-yl)-benzoïque; 2',4',5',7'-tétrabromofluorescéine (Pigment Red 90:1 Aluminium lake CAS 15876-39-8) en cas d'utilisation comme substance dans les teintures capillaires ;
- le sel d'aluminium du 2',4',5',7'-tétraiodofluorescéine, (Pigment Red 172 Aluminium lake CAS 12227-78-0) en cas d'utilisation comme substance dans les teintures capillaires.

Les composés suivants de l'aluminium sont cités à l'annexe III, ils sont ainsi autorisés sous certaines conditions :

- le fluorure d'aluminium (CAS 7784-18-1) dans les produits bucco-dentaires à une concentration maximale de 0,15 % en F ;
- les hydroxychlorures d'aluminium et de zirconium hydratés comme antiperspirants, à une concentration maximale de 20 % (en hydroxychlorure d'aluminium et de zirconium anhydres) ;
- le 5-hydroxy-1-(4- sulfophényl)-4-(4- sulfophénylazo)pyrazole-3-carboxylate de trisodium et laque d'aluminium comme colorant non oxydant pour la coloration des cheveux à une concentration maximale de 0,5 % ;
- le benzèneméthanaminium, Dihydrogéné(éthyl)[4-[4- [éthyl(3-sulfonatobenzyl)]amino]-2'- sulfonatobenzhydrylidène]cyclohexa- 2,5- diène-1-ylidène](3-sulfonatobenzyl)ammonium, sel de disodium, sel interne, et ses sels d'ammonium et d'aluminium comme colorant non oxydant pour la coloration des cheveux à une concentration maximale de 0,5 % ;
- le 1-(1-naphtylazo)-2- hydroxynaphtalène- 4',6,8-trisulfonate de trisodium et laque d'aluminium comme colorant non oxydant pour la coloration des cheveux à une concentration maximale de 0,5 % ;

L'annexe IV de ce même règlement cite les colorants que peuvent contenir les produits cosmétiques, parmi lesquels les composés de l'aluminium suivants :

- l'aluminium (CAS 7429-90-5) ;
- l'hydroxysulfate d'aluminium (CAS 1332-73-6) ;
- le silicate d'aluminium hydraté naturel ;
- le silicate d'aluminium coloré par de l'oxyde ferrique ;
- le stéarate d'aluminium (CAS 7047-84-9).

## 1.2.4 Alimentaire

Le règlement UE 2012/231 de la Commission du 9 mars 2012 établit des spécifications pour les additifs alimentaires. Parmi celles-ci, il est précisé que :

# ALUMINIUM

- le E 171 dioxyde de titane ne peut pas contenir plus de 2,0 % au total d'oxyde d'aluminium et/ou de dioxyde de silicium ;
- le E 333 (i) citrate monocalcique ne peut pas contenir plus de 30 mg/kg d'aluminium (uniquement lorsqu'il est ajouté à des denrées alimentaires pour nourrissons et enfants en bas âge) ;
- le E 333 (ii) citrate dicalcique ne peut pas contenir plus de 30 mg/kg d'aluminium (uniquement lorsqu'il est ajouté à des denrées alimentaires pour nourrissons et enfants en bas âge) ;
- le E 333 (iii) citrate tricalcique ne peut pas contenir plus de 30 mg/kg d'aluminium (uniquement lorsqu'il est ajouté à des denrées alimentaires pour nourrissons et enfants en bas âge) ;
- le E 341 (i) phosphate monocalcique ne peut pas contenir plus de 70 mg/kg d'aluminium (uniquement lorsqu'il est ajouté à des denrées alimentaires pour nourrissons et enfants en bas âge) et 200 mg/kg d'aluminium (pour toute autre utilisation) ;
- le E 341 (ii) phosphate dicalcique ne peut pas contenir plus de 100 mg/kg d'aluminium pour la forme anhydre et 80 mg/kg d'aluminium pour la forme dihydratée (uniquement lorsqu'il est ajouté à des denrées alimentaires pour nourrissons et enfants en bas âge) et 200 mg/kg d'aluminium pour les formes anhydre dihydratée (pour toute autre utilisation) ;
- le E 341 (iii) phosphate tricalcique ne peut pas contenir plus de 150 mg/kg d'aluminium (uniquement lorsqu'il est ajouté à des denrées alimentaires pour nourrissons et enfants en bas âge) et 200 mg/kg d'aluminium (pour toute autre utilisation) ;
- le E 450 (i) diphosphate disodique ne peut pas contenir plus de 200 mg/kg d'aluminium ;
- le E 450 (vii) dihydrogéo-diphosphate de calcium ne peut pas contenir plus de 200 mg/kg d'aluminium ;
- le E 450 (ix) dihydrogéo-diphosphate de magnésium ne peut pas contenir plus de 50 mg/kg d'aluminium ;
- le E 957 thaumatine ne peut pas contenir plus de 100 mg/kg d'aluminium (exprimée sur la base matière sèche) ;
- le E 1452 octénylesuccinate d'amidon et d'aluminium ne peut pas contenir plus de 0,3 % d'aluminium (sur la base anhydre).

Les composés de l'aluminium suivant sont autorisés en tant qu'additifs alimentaires :

- le E 173 aluminium ;
- le E 520 sulfate d'aluminium ;

# ALUMINIUM

- le E 521 sulfate d'aluminium sodique ;
- le E 522 sulfate d'aluminium potassique ;
- le E 523 sulfate d'aluminium ammonique ;
- le E 541 sulfate d'aluminium sodique acide ;
- le E 554 silicate alumino-sodique ;
- le E 555 silicate alumino-potassique ;
- le E 556 silicate alumino-calcique ;

De plus, les laques aluminiques<sup>4</sup> sont également autorisées dans les colorants suivants, sans seuils :

- E 100 curcumine ;
- E 101 (i) riboflavine ;
- E 101 (ii) riboflavine-5'-phosphate ;
- E 102 tartrazine ;
- E 104 jaune de quinoléine ;
- E 110 jaune orangé S ;
- E 120 cochenille, acide carminique, carmins ;
- E 122 azorubine, carmoisine ;
- E 123 amarante
- E 124 ponceau 4R, rouge cochenille A ;
- E 127 érythrosine ;
- E 129 rouge allura AC ;
- E 131 bleu patenté V ;
- E 132 indigotine, carmin d'indigo ;
- E 133 bleu brillant FCF ;
- E 140 (i) chlorophylles ;
- E 141 (ii) complexes cuivriques de chlorophyllines ;
- E 142 vert S ;
- E 150a caramel ordinaire ;
- E 153 charbon végétal ;
- E 160a (i) bêta-carotène ;
- E 170 carbonate de calcium ;
- E 200 acide sorbique.

<sup>4</sup> Les laques aluminiques sont préparées en faisant réagir des colorants avec de l'alumine en milieu aqueux (Règlement UE 2012/231).

# ALUMINIUM

## 1.2.5 Contact alimentaire

Le règlement 10/2011 liste les matières plastiques et articles destinés à être en contact avec les aliments. Les composés de l'aluminium autorisés comme additif ou auxiliaire de production de monomère par ce règlement sont :

- l'hydroxyphosphite d'aluminium et de calcium, hydrate ;
- l'oxyde d'aluminium (CAS 1344-28-1) ;
- l'aluminium (fibres, paillettes, poudres) ;
- l'hydroxycarbonate d'aluminium et de magnésium (CAS 11097-59-9) ;
- le sulfoaluminate de calcium (CAS 12004-14-7 et 37293-22-4) ;
- l'hydroxyde d'aluminium (CAS 21645-51-2) ;
- l'hydroxybis [2,2'-méthylènebis(4,6-di-tert-butylphényl)phosphate] d'aluminium (CAS 151841-65-5), avec une limite de migration spécifique (ou LMS) de 5 mg/kg.

## 1.2.6 Agriculture

La Directive 91/414/CEE du Conseil liste les substances actives dont l'incorporation dans les produits phytopharmaceutiques est autorisée. Les seuls composés autorisés de l'aluminium sont :

- le sulfate d'ammonium et d'aluminium (CAS 7784-26-1) en tant que répulsif et à une pureté  $\geq 960$  g/kg ;
- le silicate d'aluminium (CAS 1332-58-7) en tant que répulsif et à une pureté  $\geq 999,8$  g/kg ;
- le silicate aluminosodique (CAS 1344-00-9) en tant que répulsif et pur (pureté égale à 1 000 g/kg) ;
- le phosphore d'aluminium (CAS 20859-73-8) en tant que insecticide, rodenticide, taupicide et léporicide et à une pureté  $\geq 830$  g/kg ;
- le sulfate d'aluminium (CAS 10043-01-3) en tant que bactéricide et à une pureté  $\geq 970$  g/kg.

## 1.2.7 Jouets

La directive 2009/48/CE du Parlement européen et du Conseil du 18 juin 2009 relative à la sécurité des jouets définit les limites de migration de l'aluminium dans les jouets ou composants de jouets, qui sont reportées dans le Tableau 3 ci-après.

# ALUMINIUM

Tableau 3. Limites de migration de l'aluminium pour différents types de jouets.

Élément	mg/kg de matière de jouet sèche, friable, poudreuse ou souple	mg/kg de matière de jouet liquide ou collante	mg/kg de matière grattée du jouet
Aluminium	5 625	1 406	70 000

## 1.3 Valeurs et normes appliquées en France

### 1.3.1 Valeurs utilisées en milieu de travail

En France, les valeurs utilisées pour la qualité de l'air en milieu de travail sont publiées par l'INRS<sup>5</sup>. Le Tableau 4 ci-après montre les valeurs moyennes d'exposition pour l'aluminium.

Tableau 4. Valeurs moyenne d'exposition pour l'aluminium et ses composés, d'après INRS (2012).

Composé	CAS	VME <sup>6</sup> (mg/m <sup>3</sup> )
Aluminium (composés alkylés)		2
Aluminium (fumées de soudage)		5
Aluminium (métal)	7429-90-5	10
Aluminium (pulvérulent)	7429-90-5	5
Aluminium (sels solubles <sup>7</sup> )		2
Aluminium (trioxyde de di-)	1344-28-1	10

Les autres composés de l'aluminium, listés dans le Tableau 1, ne possèdent pas de VME.

### 1.3.2 Valeurs utilisées pour la population générale

Le décret 2001/1220 du 20 décembre 2001 impose une limite de qualité aux eaux destinées à la consommation humaine. Les eaux doivent respecter une valeur inférieure ou égale à 200 µg/L d'aluminium.

<sup>5</sup> INRS : Institut National de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles.

<sup>6</sup> VME : valeurs moyennes d'exposition.

<sup>7</sup> Les sels solubles de l'aluminium ne sont pas précisés.



# ALUMINIUM

## 1.4 Autres textes

### 1.4.1 Actions de recherche RSDE

L'aluminium n'est pas cité dans l'annexe 1 de la circulaire du 5 janvier 2009 relative à la mise en œuvre de la 2<sup>ème</sup> phase des actions RSDE<sup>8</sup> pour les ICPE soumise à autorisation. Cette annexe regroupe les listes par secteurs d'activité industrielle des substances dangereuses.

L'aluminium appartient, en revanche, à la liste des micropolluants à mesurer dans les stations de traitement des eaux usées traitant une charge brute de pollution supérieure ou égale à 6000 kg DBO5/jour (Circulaire du 29 septembre 2010 relative à la surveillance de la présence de micropolluants dans les eaux rejetées au milieu naturel par les stations de traitement des eaux usées) (cf. § 3.3.3).

### 1.4.2 Nanoparticules

Le décret n° 2012-232 du 17 février 2012 relatif à la déclaration annuelle des substances à l'état nanoparticulaire précise que le seuil de la déclaration est fixé à 100 g/an pour la fabrication, l'importation ou la mise sur le marché de nanomatériaux. Des utilisations de nanomatériaux à base d'aluminium ont été rapportées (cf. § 2.3.11).

### 1.4.3 Autres textes

L'aluminium n'est pas cité dans la directive n°2013/39/UE du 12 août 2013 modifiant les directives 2000/60/CE et 2008/105/CE en ce qui concerne les substances prioritaires pour la politique dans le domaine de l'eau.

L'aluminium ne fait pas non plus partie des substances potentiellement préoccupantes définies par OSPAR<sup>9</sup>.

L'aluminium appartient par contre à la liste des 823 substances du plan micropolluants 2010-2013<sup>10</sup>.

<sup>8</sup> Actions RSDE : actions visant à réduire les rejets dans les eaux en provenance des installations classées pour la protection de l'environnement.

<sup>9</sup> Convention OSPAR : Convention pour la protection du milieu marin de l'Atlantique du nord-est. [http://www.ospar.org/content/content.asp?menu=30200304000000\\_000000\\_000000](http://www.ospar.org/content/content.asp?menu=30200304000000_000000_000000) (consulté en septembre 2014).

<sup>10</sup> <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Les-micropolluants-dans-les.html> (consulté en octobre 2014).

# ALUMINIUM

## 1.5 Classification et étiquetage

Le règlement (CE) 790/2009 de la Commission européenne du 10 août 2009 modifiant le règlement dit CLP<sup>11</sup> (CE) 1272/2008 du Parlement européen et du Conseil indique la réglementation relative à la classification, à l'étiquetage et à l'emballage de l'aluminium.

Parmi les principaux composés de l'aluminium, seul l'aluminium ainsi que le tétraoxyde d'aluminium et de nickel sont répertoriés dans le règlement CLP, le premier y est présenté sous deux formes : pyrophore et stabilisé.

### 1.5.1 Poudre d'aluminium (pyrophore<sup>12</sup>)



Classification : H261, H250<sup>13</sup>

Etiquetage : H261, H250

### 1.5.2 Poudre d'aluminium (stabilisé)



Classification : H261, H228

Etiquetage : H261, H228

<sup>11</sup> Le règlement (CE) 1272/2008 du Parlement européen et du Conseil du 16 décembre 2008 dit CLP (Classification, Labelling, Packaging, en français : classification, étiquetage, emballage) modifie et abroge les directives 67/548/CEE et 1999/45/CE et modifie le règlement (CE) 1907/2006. Ce texte européen définit les nouvelles règles en matière de classification, d'étiquetage et d'emballage des produits et des substances chimiques pour les secteurs du travail et de la consommation, dans le cadre de la mise en application du SGH (Système Général Harmonisé).

<sup>12</sup> Pyrophore : qui s'enflamme à l'air.

<sup>13</sup> La signification des codes de danger est donnée en fin de paragraphe.

# ALUMINIUM

## 1.5.3 Tétraoxyde de dialuminium et de nickel



Classification : H317, H350, H372

Etiquetage : H317, H350, H372

Les composés suivants de l'aluminium ne sont pas cités dans le règlement CLP. Néanmoins, d'après le site de l'ECHA<sup>14</sup>, les classifications suivantes peuvent leur être associées par les producteurs<sup>15</sup>.

## 1.5.4 Oxyde d'aluminium (CAS 1344-28-1)



Classification : H302, H315, H317, H319, H332, H335, H341, H350, H361, H370, H372, H373, H412, H413

## 1.5.5 Chlorure d'aluminium, basique (CAS 1327-41-9)



Classification : H290, H302, H314, H315, H318, H319

<sup>14</sup> European Chemicals Agency : <http://echa.europa.eu/fr/information-on-chemicals/cl-inventory-database> (consulté en février 2015).

<sup>15</sup> Tous les industriels n'ont pas forcément attribué aux substances l'ensemble des catégories de danger décrites. Il s'agit ici d'une compilation.

# ALUMINIUM

## 1.5.6 Dioxyde d'aluminium et de sodium (CAS 1302-42-7)



Classification : H271, H290, H314, H318

## 1.5.7 Sulfate d'aluminium (CAS 10043-01-3)



Classification : H290, H302, H315, H318, H319, H335, H400, H410, H411, H412

## 1.5.8 Fluorure d'aluminium (CAS 7784-18-1)



Classification : H301, H302, H315, H319, H331, H335

## 1.5.9 Hydroxyde d'aluminium (CAS 21645-51-2)



Classification : H315, H319, H335

Le Tableau 5 regroupe la signification des codes de danger de l'aluminium.

# ALUMINIUM

Tableau 5. Signification des codes de danger associés aux composés de l'aluminium.

Codes de danger	
H228	Matière solide inflammable
H250	S'enflamme spontanément au contact de l'air
H261	Dégage au contact de l'eau des gaz inflammables
H271	Peut provoquer un incendie ou une explosion; comburant puissant
H290	Peut être corrosif pour les métaux
H301	Toxique en cas d'ingestion
H302	Nocif en cas d'ingestion
H314	Provoque des brûlures de la peau et des lésions oculaires graves
H315	Provoque une irritation cutanée
H317	Peut provoquer une allergie cutanée
H318	Provoque des lésions oculaires graves
H319	Provoque une sévère irritation des yeux
H331	Toxique par inhalation
H332	Nocif par inhalation
H335	Peut irriter les voies respiratoires
H341	Susceptible d'induire des anomalies génétiques
H350	Peut provoquer le cancer
H361	Susceptible de nuire à la fertilité ou au fœtus
H370	Risque avéré d'effets graves pour les organes
H372	Risque avéré d'effets graves pour les organes à la suite d'expositions répétées ou d'une exposition prolongée
H373	Risque présumé d'effets graves pour les organes à la suite d'expositions répétées ou d'une exposition prolongée
H400	Très toxique pour les organismes aquatiques
H410	Très toxique pour les organismes aquatiques, entraîne des effets néfastes à long terme
H411	Toxique pour les organismes aquatiques, entraîne des effets néfastes à long terme
H412	Nocif pour les organismes aquatiques, entraîne des effets néfastes à long terme
H413	Peut être nocif à long terme pour les organismes aquatiques

# ALUMINIUM

## 1.6 Sources naturelles d'aluminium

La teneur moyenne de l'écorce terrestre est de 8 % en aluminium et de 15 % en alumine (Vignes, 2013).

Le FOREGS<sup>16</sup> construit des cartes (cf. paragraphe 4.2) représentant les concentrations en aluminium dans 26 pays européens et dans différents milieux (couches profonde et superficielle du sol, sédiments de cours d'eau et de plaines alluviales, et eau). Ces cartes montrent de grandes différences entre les régions. Ainsi le nord de l'Allemagne, la Pologne et les pays baltes présentent des teneurs en aluminium inférieures à 6 mg/kg, tandis que la Slovénie, la Croatie, le Portugal et l'ouest de l'Espagne présentent des teneurs supérieures à 15 mg/kg. La France présente des teneurs variant entre 6 et 15 mg/kg selon les régions et le type de sol.

## 1.7 Sources non-intentionnelles d'aluminium

Sans objet

---

<sup>16</sup> Forum of the European Geological Surveys : Atlas Géochimique de l'Europe : <http://weppi.gtk.fi/publ/foregsatlas/> (consulté en septembre 2014).

# ALUMINIUM

## 2 PRODUCTION ET UTILISATIONS

### 2.1 Principe de production

#### 2.1.1 Minerais

D'après Vignes (2013), l'aluminium est principalement présent sous forme de silicoaluminates, mais il est plus économique d'exploiter des bauxites ou des latérites bauxitiques.

D'après cette même source, 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.

D'après Vignes (2013), 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 ( $K_2SO_4, Al_2(SO_4)_3, 4Al(OH)_3$ ).

#### 2.1.2 Principe de production

Selon Vignes (2013), l'aluminium métal est obtenu principalement à partir de bauxite ou de latérites bauxitiques. Les minerais riches en néphéline ou en alunite, tels que disponibles en Russie peuvent également être exploités.

L'alumine est extraite de la bauxite. Elle est ensuite transformée en aluminium de première fusion qui est raffiné pour obtenir le degré de pureté souhaité.

En France, il a été produit 334 milliers de tonnes d'aluminium de première fusion en 2011 et 425 milliers de tonnes d'aluminium recyclé en 2010 (Vignes, 2013).

En 2012, la production mondiale d'aluminium était de 45 207 milliers de tonnes (Vignes, 2013).

Il n'y a pas de gisement exploité en France.

Le Tableau 6 ci-après présente les principaux pays producteurs d'aluminium en 2012.

# ALUMINIUM

Tableau 6. Principaux producteurs d'aluminium en 2012, d'après Vignes (2013).

Pays	Production en milliers de tonnes
Chine	21 300
Russie	4 200
Canada	2 700
Etats Unis	2 000
Australie	1 900
Emirats Arabes Unis	1 850
Inde	1 700
Brésil	1 450
Norvège	1 000
Bahreïn	900
Islande	800
Afrique du Sud	600

La Chine représentait près de la moitié de la production mondiale d'aluminium en 2012.

## 2.2 Production et vente

### 2.2.1 Cours de l'aluminium

La Figure 1 présente le cours de l'aluminium de haut grade entre 1990 et 2014.



# ALUMINIUM



Figure 1. Evolution du cours de l'aluminium de haut grade entre 1990 et 2014, d'après l'INSEE<sup>17</sup>.

Les prix de l'aluminium ont été relativement faibles, inférieurs à 2 000 dollars US/tonne jusqu'en fin 2005, date à laquelle les prix ont augmenté puis chuté. A la fin 2014, le prix de l'aluminium était environ de 2 000 dollars US/tonne.

## 2.2.2 Production minière

Selon Vignes (2013), la production mondiale de minerai était en 2012 de 263 000 milliers de tonnes de bauxite et de 2 500 milliers de tonnes de bauxite pour l'Union européenne en 2011. Toujours selon Vignes (2013), les réserves mondiales de bauxite étaient estimées en 2012 à 28 milliards de tonnes. La répartition des principales réserves est détaillée dans le Tableau 7 ci-après.

<sup>17</sup> Institut National de la statistique et des études économiques : <http://www.insee.fr/fr/bases-de-donnees/bsweb/graph.asp?idbank=000455739> (consulté en février 2015).

# ALUMINIUM

Tableau 7. Répartition des principales réserves mondiales de bauxite en 2012, d'après Vignes (2013).

Pays	Réserve en millions de tonnes de bauxite
Guinée	7 400
Australie	6 000
Brésil	2 600
Viet Nam	2 100
Jamaïque	2 000
Indonésie	1 000
Inde	900
Guyane	850
Chine	830
Grèce	600

Les pays ayant les plus importantes réserves de bauxite au monde sont la Guinée, l'Australie et le Brésil. La Guinée et l'Australie détiennent près de la moitié des réserves mondiales. A noter que la Russie ne figure pas dans ce tableau, car elle n'exploite pas de bauxite, mais de la néphéline.

## 2.2.3 Métallurgie

### 2.2.3.1 Extraction de l'alumine

La seule usine qui traite la bauxite pour en extraire de l'alumine en France est Alteo à Gardanne (13). Cette production d'alumine est destinée à 80 % à des usages non métallurgiques.

#### Extraction à partir de la bauxite

L'alumine est extraite à partir de bauxite dans des raffineries selon le procédé Bayer.

La bauxite est traitée par une solution de soude concentrée et chaude, ce qui permet de séparer l'aluminium, sous forme d'ions aluminates hydratés  $\text{Al}(\text{OH})_4(\text{H}_2\text{O})_2^-$ , des oxydes de fer et de la silice. Ensuite  $\text{Al}(\text{OH})_3$  précipite par dilution et refroidissement. Lors de la précipitation de l'alumine, la soude est régénérée (Vignes, 2013).

# ALUMINIUM

## Extraction à partir de la néphéline

La néphéline est calcinée avec de la chaux, traitée par lixiviation avec de la soude puis traitée au CO<sub>2</sub> pour obtenir de l'alumine. Cette méthode d'extraction de l'alumine est notamment utilisée sur le minerai extrait en Russie (Volsky, 2012).

En 2011 la production mondiale d'alumine était de 91 600 milliers de tonnes et la production de l'UE était de 6 590 milliers de tonnes. Le Tableau 8. Principaux pays producteurs d'alumine en 2011, d'après Vignes (2013).

ci-après détaille les principaux pays producteurs d'alumine (Vignes, 2013).

*Tableau 8. Principaux pays producteurs d'alumine en 2011, d'après Vignes (2013).*

Pays	Production (en milliers de tonnes d'Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )
Chine	34 100
Australie	19 399
Brésil	10 300
Inde	3 880
Etats-Unis	3 570
Russie	2 825
Jamaïque	1 960
Irlande	1 927
Kazakhstan	1 670
Ukraine	1 601
Surinam	1 500
Allemagne	1 405

90 % de la consommation d'alumine sont utilisés pour élaborer l'aluminium (Vignes, 2013).

### 2.2.3.2 Aluminium de première fusion

Il existe deux sites de production d'aluminium de première fusion en France, à Dunkerque (59) et Saint-Jean de Maurienne (73). La production française d'aluminium a été de 334 milliers de tonnes en 2011.

# ALUMINIUM

Le procédé de fabrication industrielle de l'aluminium est l'électrolyse de l'alumine en sel fondu dans des fonderies.

D'après le site internet du CNUCED<sup>18</sup>, la fonte se déroule dans des fours en acier plus connus sous le nom de cellules de réduction. L'alumine est introduite dans la cuve dont les parois internes recouvertes de carbone forment la cathode et où elle est dissoute dans un bain de cryolithe<sup>19</sup> à haute température (entre 950°C et 960°C). Un courant continu compris entre 100 000 et 320 000 ampères circule entre l'anode et la cathode dans un bain composé de cryolithe et d'alumine. Le courant électrique permet à l'alumine de réagir en contact avec l'anode de carbone et d'obtenir de l'aluminium et du dioxyde de carbone qui va se concentrer au sommet de la cellule. L'aluminium obtenu par cette méthode est pur à 99,5 %.

## 2.2.3.3 Raffinage

Il existe un site d'aluminium raffiné en France, à Mercus (09), qui produit de l'aluminium de pur à 99,9995 %.

Pour obtenir de l'aluminium plus pur, il est raffiné. Il existe deux techniques de raffinage : l'électrolyse en sel fondu et la cristallisation fractionnée. Ces deux méthodes conduisent à de l'aluminium pur au minimum à 99,99 %.

L'électrolyse en sel fondu (raffinage 3 couches) : l'aluminium primaire 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. L'aluminium est transporté par l'électrolyte de l'anode à la cathode d'où il est extrait (Vignes, 2013).

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<sup>20</sup> avec l'aluminium ont tendance à être séparées de l'aluminium tandis que les impuretés formant un système binaire péritectique<sup>21</sup> avec l'aluminium ont tendance à se concentrer dans l'aluminium (Vignes, 2013).

<sup>18</sup> CNUCED : Conférence des Nations Unies sur le commerce et le développement <http://www.unctad.info/fr/Infocomm/Metaux-Mineraux/> (consulté en octobre 2014).

<sup>19</sup> La cryolithe est un minerai de formule  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ , qui peut être naturel ou de synthèse.

<sup>20</sup> Un système eutectique est un mélange de deux corps purs qui fond et se solidifie à température constante, il se comporte donc comme un corps pur du point de vue de la fusion.

<sup>21</sup> Un système péritectique est un mélange de deux corps purs dans des proportions définies, et qui en fondant se décompose en un liquide et en un solide.

# ALUMINIUM

## 2.2.4 Recyclage

Dans l'Union européenne, en 2010, le recyclage a représenté 4,4 millions de tonnes.

Il existe deux origines à l'aluminium récupéré :

- les chutes de fabrication, facilement recyclables, et les résidus de production et transformation du métal qui nécessitent des traitements plus complexes de préparation et d'affinage ;
- les objets en fin de vie.

Selon Vignes (2013), en 2012, l'aluminium recyclé provient :

- des transports : 42 % ;
- des emballages : 28 % ;
- des équipements électriques et mécaniques : 11 % ;
- des bâtiments : 8 %.

L'automobile est la première source de déchets, 90 à 95 % de l'aluminium utilisé dans une voiture<sup>22</sup> est réutilisé ou recyclé (OEA<sup>23</sup>).

## 2.3 Utilisations

### 2.3.1 Variété des utilisations

D'après Vignes (2013), il a été consommé en 2010 dans le monde 41 100 milliers de tonnes d'aluminium primaire. Les principaux pays consommateurs sont :

- la Chine : 40 % ;
- les Etats-Unis : 11 % ;
- l'Allemagne : 5 % ;
- le Japon : 5 % ;
- l'Inde : 4 % ;
- la Corée du Sud : 3 %.

Le Tableau 9 présente les différents secteurs d'utilisations de l'aluminium (cf. § 2.3.2 à 2.3.5)

<sup>22</sup> L'aluminium est utilisé dans la carrosserie, les roues, le moteur.

<sup>23</sup> OEA : Organisation of European Aluminium Refiners and Remelters.

# ALUMINIUM

Tableau 9. Différents secteurs d'utilisations de l'aluminium, d'après Vignes (2013).

Secteurs d'utilisations 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
Equipement électriques et mécaniques	17	18,5	18,8
Construction	12	18,8	13,6
Autres <sup>24</sup>	11	8,5	13

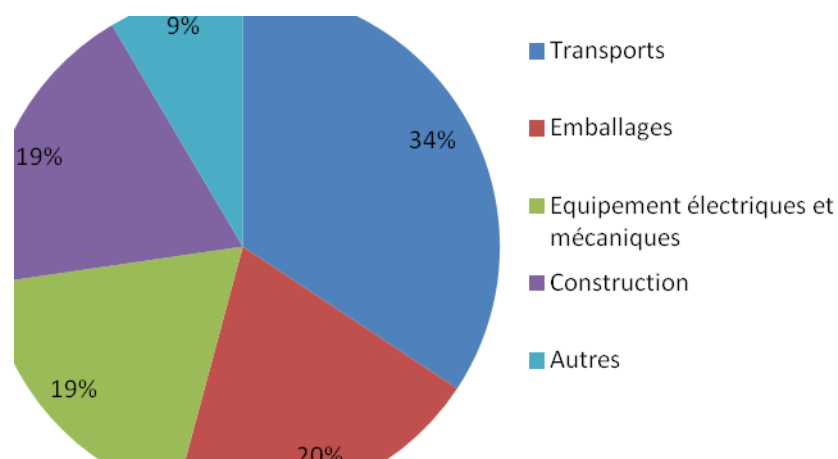


Figure 2. Répartition des utilisations d'aluminium en Europe en 2010, d'après Vignes (2013).

Le Tableau 9 et la Figure 2 montrent qu'au niveau mondial et au niveau des pays présentés, le secteur des transports est celui qui consomme le plus d'aluminium.

<sup>24</sup> Calculé par différence des secteurs à 100 %.

# ALUMINIUM

## 2.3.2 Secteur des transports

D'après le CNUCED, au niveau mondial, le secteur des transports constitue le premier débouché pour l'aluminium. Dans le cas de l'Australie, par exemple, il représentait 9 % des utilisations totales d'aluminium en 1980 et 13 % en 1997, faisant ainsi passer ce secteur de la cinquième à la troisième place des secteurs utilisateurs d'aluminium en l'espace de deux décennies. Pour le Canada, les transports représentent près de 30 % des utilisations globales d'aluminium. Aux États-Unis, il est le premier débouché et représente près de 2,5 millions de tonnes en 2000. Il tend à devenir le troisième matériau le plus employé dans l'automobile. En Europe, en 2012, il y a en moyenne 140 kg d'aluminium dans une voiture.

En France, d'après l'INSEE<sup>25</sup>, il y avait environ 31 575 000 voitures en circulation en 2012. Il est donc possible d'estimer à environ 4 millions de tonnes d'aluminium en stock dans les véhicules particuliers (en fonction) en France.

D'après Vignes (2013), l'aluminium est aussi utilisé dans le secteur de l'aéronautique. Ainsi dans un Airbus A 340, 66 % des 118 t correspondent à des parties et matériels en aluminium, et 60 % du poids structurel d'un Airbus A380 est constitué d'aluminium. Les alliages les plus utilisés (à haute résistance mécanique) sont ceux des séries 2000 (Al-Cu) et 7000 (Al-Zn-Mg-Cu).

## 2.3.3 Secteur du bâtiment

D'après le CNUCED, dans le secteur du bâtiment, l'aluminium peut aussi bien servir à la réalisation de l'ossature, qu'à celle des bardages ou des toitures. De plus, l'emploi des alliages d'aluminium offre une durée de vie pratiquement illimitée, une large gamme de formes et de couleurs ainsi que de nombreux avantages techniques.

Les dernières avancées significatives en matière de technologie ont permis le développement des profilés thermo-isolants et des éléments isolants en tôle d'aluminium doublée de mousse qui contribue à la réduction des coûts énergétiques.

## 2.3.4 Secteur de l'emballage

D'après le CNUCED, dans le domaine de l'emballage, l'aluminium est devenu un matériau de première importance. Il protège les denrées alimentaires des effets de la chaleur et de la lumière.

<sup>25</sup> INSEE : Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques  
[http://www.insee.fr/fr/themes/tableau.asp?reg\\_id=0&ref\\_id=NATTEF13629](http://www.insee.fr/fr/themes/tableau.asp?reg_id=0&ref_id=NATTEF13629) (consulté en février 2015).

# ALUMINIUM

On peut distinguer dans cette catégorie :

- les produits rigides, tels que les boîtes de conserves, les canettes de boisson ou les aérosols ;
- les produits semi-rigides tels que les barquettes pour aliments ou les boîtes de nourriture pour animaux.

On peut également citer les emballages composites constitués de couches successives de papier et d'aluminium permettant notamment de protéger certaines denrées comme le lait.

Le secteur de l'emballage représente environ 20 % des utilisations totales d'aluminium aux Etats-Unis et au Canada, 28 % en Australie. En ce qui concerne la distinction entre produits rigides et semi-rigides, des pays comme le Royaume-Uni ou les États-Unis sont les premiers consommateurs d'emballages non rigides employés principalement dans l'industrie agroalimentaire pour le conditionnement de plats préparés.

## 2.3.5 Autres secteurs

### 2.3.5.1 Transport de l'énergie

D'après le CNUCED, l'aluminium est très utilisé dans le secteur du transport de l'énergie où il remplace désormais de plus en plus couramment les métaux traditionnels du fait de son moindre poids et de sa bonne conductibilité électrique. Il tient une place prépondérante dans ce secteur. Par exemple en Allemagne, la quasi totalité des lignes à haute tension aériennes est réalisée avec ce métal (environ 95 % des lignes à haute tension).

### 2.3.5.2 Spatial

Le réservoir principal d'Ariane V est en aluminium : 23 m de haut, 5 m de diamètre, 2 mm d'épaisseur.

D'après la page dédiée aux « Lanceurs et orbitographie » du site Educanet<sup>26</sup>, les « étages accélérateurs à poudre » du lanceur Ariane 5 contiendraient 18 % de poudre d'aluminium utilisée comme carburant.

### 2.3.5.3 Fabrication de miroirs

L'aluminium peut être utilisé dans la fabrication des miroirs. Ils sont fabriqués par dépôt sous vide en phase vapeur de divers métaux (Al, Ag...). L'argent était traditionnellement utilisé pour cet usage. Actuellement le coût de l'aluminium étant inférieur à celui de l'argent, il est avantageux d'utiliser l'aluminium.

<sup>26</sup> <http://eduscol.education.fr/orbito/lanc/chimie/chim11.htm> (consulté en février 2015).



# ALUMINIUM

## 2.3.6 Vue d'ensemble des composés de l'aluminium et leurs utilisations

De façon générale pour ce paragraphe, le cas de l'alumine sera traité dans un paragraphe spécifique (cf. § 10).

Les composés de l'aluminium ayant été enregistrés dans REACH (selon la base publique de l'ECHA consultée en août 2014), pour des usages autres que des intermédiaires de synthèse, et à des tonnages des composés supérieurs à 100 t/an, sont présentés dans le Tableau 10 ci-après en tonnage décroissant.

# ALUMINIUM

Tableau 10. Composés de l'aluminium enregistrés dans REACH.

Nom	CAS	tonnage t/an
oxyde d'aluminium	1344-28-1	10 000 000 +
hydroxyde d'aluminium	21645-51-2	1 000 000 - 10 000 000
dioxyde d'aluminium et de sodium	1302-42-7	100 000 - 1 000 000
chlorure d'aluminium, basique	1327-41-9	100 000 - 1 000 000
fluorure d'aluminium	7784-18-1	100 000 - 1 000 000
sulfate d'aluminium	10043-01-3	100 000 - 1 000 000
[carbonato(2-)]hexadecahydroxybis(aluminium)hexamagnesium	11097-59-9	100 000 - 1 000 000
sulfate d'hydroxychlorure d'aluminium	39290-78-3	100 000 - 1 000 000
zéolite, parallélépipédique, cristalline, synthétique, non fibreuses	1318-02-1	100 000 - 1 000 000
spinnelle (Mg(AlO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> )	1302-67-6	10 000 - 100 000
boehmite (Al(OH)O)	1318-23-6	10 000 - 100 000
acide silicique, sels d'aluminium et sodium AlNaO <sub>3</sub> Si	1344-00-9	10 000 - 100 000
chlorure d'aluminium	7446-70-0	10 000 - 100 000
bis(sulfate) d'aluminium ammonium	7784-25-0	10 000 - 100 000
acide silicique, sels d'aluminium, magnésium et sodium	12040-43-6	10 000 - 100 000
tétraoxyde d'aluminium et de sodium	12251-53-5	10 000 - 100 000
fluorure d'aluminium et potassium	60304-36-1	10 000 - 100 000
matériaux et articles en céramique, produits chimiques (tétraoxyde de dialuminium manganèse, type spinnelle)	66402-68-4	10 000 - 100 000
aluminium, scories	69011-71-8	10 000 - 100 000
matrice de silicate d'aluminium et d'oxyde de titane dopée au vanadium, nickel et antimoine	-	10 000 - 100 000
pentahydroxyde de chlorure de dialuminium	12042-91-0	10 000 +
aluminatesilicate	1327-36-2	1 000 - 10 000
triformate d'aluminium	7360-53-4	1 000 - 10 000
nonadecaoxyde de dodecaaluminium et de calcium	12005-50-4	1 000 - 10 000
aluminium tris(dihydrogène phosphate)	13530-50-2	1 000 - 10 000
dihydrogénotriphosphate d'aluminium	13939-25-8	1 000 - 10 000
trilactate d'aluminium	18917-91-4	1 000 - 10 000

# ALUMINIUM

Nom	CAS	tonnage t/an
hydroxychlorure d'aluminium et de zirconium	57158-29-9	1 000 - 10 000
scories, ferrovanadium-manufac., aluminothermique	84144-98-9	1 000 - 10 000
masse de réaction d'aluminium et d'oxyde d'aluminium, d'oxyde de calcium et d'oxyde de magnésium	-	1 000 - 10 000
tétraoxyde de dialuminium et de fer, type spinelle	-	1 000 - 10 000
triisopropanolate d'aluminium	555-31-7	100 - 1 000
aluminatesilicate	1327-36-2	100 - 1 000
aluminium potassium bis(sulfate)	10043-67-1	100 - 1 000
tétraoxyde de dialuminium et de nickel	12004-35-2	100 - 1 000
pentaoxyde de dialuminium et de titane	12004-39-6	100 - 1 000
(octadecanoato-O)oxoaluminium	13419-15-3	100 - 1 000
nitrate d'aluminium	13473-90-0	100 - 1 000
metaphosphate d'aluminium	13776-88-0	100 - 1 000
lithium nickel cobalt aluminium oxide	-	100 - 1 000
masse de réaction de nitrate d'aluminium et de sulfate d'aluminium	-	100 - 1 000
orthophosphate d'aluminium	7784-30-7	1 000 +
aluminium magnesium zinc carbonate hydroxide	169314-88-9	1 000 +
acide silicique, sels d'aluminium	1335-30-4	100 +

Le **chlorure d'aluminium** (CAS 1327-41-9) est utilisé comme catalyseur, dans les fibres résistantes aux hautes températures, comme agent hydrophobe pour l'imprégnation du coton, pour le tannage du cuir (prétraitement), comme agent de rétention dans la production du papier et comme antiperspirant dans les produits de soins (Helmboldt *et al.*, 1986 ; European Commission, 2013, Cosmetics Info<sup>27</sup>).

Le **dioxyde d'aluminium et de sodium** (CAS 1302-42-7) est principalement utilisé dans le traitement de l'eau, comme adjuvant dans les systèmes d'adoucissant et pour améliorer la floculation. Il est aussi employé pour accélérer la solidification du béton et dans l'industrie papetière pour augmenter l'opacité, la rétention des fibres et la résistance du papier (Helmboldt *et al.*, 1986).

Le **sulfate d'aluminium** (CAS 10043-01-3) est utilisé dans l'industrie du papier pour augmenter la résistance du papier et la tenue des teintures. Il est employé dans la purification de l'eau comme agent de floculation et comme mordant dans les teintures,

<sup>27</sup> Site internet Cosmetics Info : <http://www.cosmeticsinfo.org/ingredient> (consulté en février 2015).

# ALUMINIUM

comme antiperspirant dans les produits de soins et les cosmétiques (Helmboldt *et al.*, 1986 ; Cosmetics Info).

Le **fluorure d'aluminium** (CAS 7784-18-1) est principalement utilisé comme agent régulateur de température et de pH dans les procédés de production d'aluminium. Il est aussi employé pour les revêtements optiques et les semi-conducteurs (European Commission, 2008).

Les polychlorures d'aluminium sont utilisés dans la potabilisation de l'eau du réseau urbain.

L'**hydroxyde d'aluminium** (CAS 21645-51-2) peut être utilisé comme retardateur de flamme dans les gommés, le PVC (notamment dans les câbles où il est le principal retardateur de flamme), comme imperméabilisant dans le textile, comme agent opacifiant dans les cosmétiques et les produits de soins, dans les médicaments comme antiacide. (Subsport, 2013 ; Morgan et Wilkie, 2014 ; Cosmetics Info ; site internet Vidal<sup>28</sup>).

## 2.3.7 Cosmétiques

D'après le site Cosmetics info<sup>29</sup>, l'aluminium, sous forme de sels (chlorhydrate d'aluminium et chlorhydrate d'aluminium et de zirconium), est utilisé dans les produits de soins comme pigment, comme agent épaississant, comme antiperspirant, comme agent opacifiant.

D'après l'AFSSAPS<sup>30</sup> (2011), de nombreux composés de l'aluminium peuvent être utilisés dans les cosmétiques pour des usages différents, qui sont détaillés dans le Tableau 11.

<sup>28</sup> <http://www.vidal.fr/> (consulté en mars 2015).

<sup>29</sup> <http://www.cosmeticsinfo.org/ingredient> (consulté en février 2015).

<sup>30</sup> AFSSAPS : Agence Française de Sécurité Sanitaire des Produits de Santé.

# ALUMINIUM

Tableau 11. Usages des composés de l'aluminium dans les cosmétiques, d'après l'AFSSAPS (2011).

types de cosmétiques	composés de l'aluminium	usages
déodorants	chlorohydrate d'aluminium, aluminium capryloyl glycol, sulfate d'aluminium et de potassium, sesquichlorohydrate d'aluminium + aluminium capryloyl glycol	antiperspirant
	hydroxychlorure d'aluminium	déodorant
produits de rasage	sulfate d'aluminium et de potassium	agent apaisant
crèmes, émulsions, lotion, gels et huiles pour la peau	aluminium starch octenylsuccinate, silicate d'aluminium	agent de viscosité
	sulfate d'aluminium	astringent
masques de beauté	aluminium starch octenylsuccinate, silicate d'aluminium	absorbant
produits de maquillage et de démaquillage des yeux et du visage	silicate d'aluminium et de magnésium	épaississant
produits de maquillage du visage	oxyde d'aluminium	agent de support des laques de colorants
		hydratant
produits de soins pour le visage et le corps	stéarates d'aluminium	épaississant
	silicate d'aluminium	abrasif
		absorbant
produits solaires	hydroxyde d'aluminium	agent d'enrobage du dioxyde de titane
		hydratant
dentifrices	oxyde d'aluminium	abrasif
	fluorure d'aluminium	-
colorants	hydroxyde d'aluminium, oxyde d'aluminium, silicate d'aluminium	-

# ALUMINIUM

D'après le site internet Pharmashopi<sup>31</sup>, certains de ces produits sont en vente en France (déodorant, maquillage, produits pour le visage et le corps).

## 2.3.8 Potabilisation de l'eau

L'aluminium peut être utilisé dans la potabilisation de l'eau pour la coagulation et la floculation. D'après le site internet Feralco<sup>32</sup>, les composés de l'aluminium généralement utilisés sont les chlorures et polychlorures d'aluminium, ainsi que les sulfates et polysulfates d'aluminium (cf § 3.3.4).

Les sels d'aluminium sont les flocculants les plus utilisés en France. D'après François (2012), dans la région Limousin, 93 % des usines de traitement utilisent des sels d'aluminium.

## 2.3.9 Médical

Les adjuvants les plus communs pour les vaccins humains et vétérinaires sont le phosphate d'aluminium (CAS 7784-30-7), l'hydroxyde d'aluminium (CAS 21645-51-2) et le sulfate de potassium et d'aluminium (7784-24-9) (Frayssinet, 2014).

D'après le site internet Vidal, l'hydroxyde d'aluminium est aussi utilisé dans les médicaments comme antiacide.

## 2.3.10 Secteurs d'utilisation de l'alumine

Les secteurs d'utilisation de l'alumine, hors fabrication de l'aluminium sont présentés dans la Figure 3 ci-dessous. Ils représentent environ 10 % de la production totale d'alumine.

<sup>31</sup> <http://www.pharmashopi.com/corps-et-hygiene-xsl-25356.html> (consulté en février 2015).

<sup>32</sup> <http://www.feralco.com/FR/FR/page501-polychlorure-d-aluminium.php> (consulté en février 2015).

# ALUMINIUM

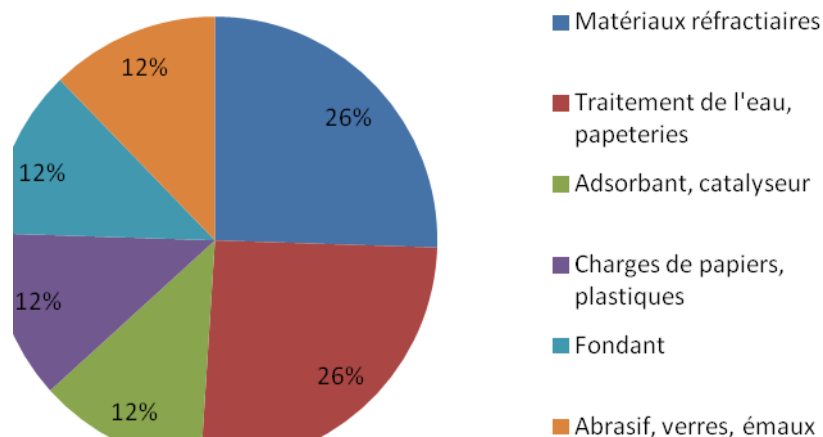


Figure 3. Différents secteurs d'utilisation de l'alumine hors fabrication de l'aluminium, d'après Vignes (2013).

Les principaux secteurs d'utilisations de l'alumine, hors fabrication de l'aluminium, sont les matériaux réfractaires, les traitements de l'eau et les papeteries.

## 2.3.11 Les nanoparticules

D'après l'ANSES<sup>33</sup> (2013), les composés nanoparticulaires de l'aluminium ayant été enregistrés en France dans le cadre de la réglementation sur les nanoparticules, ainsi que leurs usages, sont détaillés dans le Tableau 12.

<sup>33</sup> Bilan 2013 de déclarations des substances importées, fabriquées ou distribuées en France en 2012. [http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Rapport\\_public\\_format\\_final\\_20131125.pdf](http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Rapport_public_format_final_20131125.pdf) (consulté en mars 2014).

# ALUMINIUM

Tableau 12. Composés nanoparticulaires de l'aluminium, d'après l'ANSES (2013).

Nom du composé	Tonnage (en tonnes de composés)	Usage
Acide silicique, sel d'aluminium, de magnésium et de sodium	151	Adhésifs, produit d'étanchéité Fabrication de produits en caoutchouc Fabrication de pâte, papier et produits papetiers Autres usages confidentiels
Acide silicique, sel d'aluminium et de sodium	492	Articles en caoutchouc Préparations et composés à base de polymères Revêtements et peintures, solvants, diluants Mélange dans des processus par lots pour la formulation de préparations et d'articles (contacts multiples et/ou importants) Formulation de préparations et/ou reconditionnement (sauf alliages) Fabrication de produits en caoutchouc Fabrication de produits en matières plastiques, y compris formulation et conversion Bâtiment et travaux de construction Recherche scientifique et développement Fabrication de pâte, papier et produits papetiers Fabrication de substances chimiques en vrac, à grande échelle (y compris les produits pétroliers) Fabrication de substances chimiques fines Autres usages confidentiels



# ALUMINIUM

Nom du composé	Tonnage (en tonnes de composés)	Usage
Oxyde d'aluminium	2 194	<p>Véhicules</p> <p>Articles en pierre, plâtre, ciment, verre et céramique</p> <p>Produits de traitement de surface des métaux, y compris produits pour galvanisation et galvanoplastie</p> <p>Encres et toners</p> <p>Cosmétiques, produits de soins personnels</p> <p>Revêtements et peintures, solvants, diluants</p> <p>Charges, mastics, enduits, pâte à modeler</p> <p>Pulvérisation en dehors d'installations industrielles</p> <p>Production de préparations ou d'articles par pastillage, compression, extrusion granulation</p> <p>Manipulation de substances solides inorganiques à température ambiante</p> <p>Utilisation dans des processus fermés par lots (synthèse ou formulation)</p> <p>Utilisation dans des processus par lots et d'autres processus (synthèse) pouvant présenter des possibilités d'explosion</p> <p>Mélange dans des processus par lots pour la formulation de préparations et d'articles (contacts multiples et/ou importants)</p> <p>Pulvérisation dans des installations industrielles</p> <p>Formulation de préparations et/ou reconditionnement (sauf alliages)</p> <p>Fabrication de produits en caoutchouc</p> <p>Fabrication de produits en matières plastiques, y compris formulation et conversion</p> <p>Fabrication d'autres produits minéraux non métalliques, par ex. plâtre, ciment</p> <p>Fabrication de produits métalliques, à l'exclusion des machines et équipements</p> <p>Fabrication générale, par ex. machines, équipement, véhicules, autres matériels de transport</p> <p>Bâtiment et travaux de construction</p> <p>Services de santé</p> <p>Recherche scientifique et développement</p> <p>Fabrication de substances chimiques fines</p> <p>Autres usages confidentiels</p>
Hydroxyde d'aluminium	137	<p>Formulation de préparations et/ou reconditionnement (sauf alliages)</p> <p>Fabrication de produits en caoutchouc</p> <p>Fabrication de produits en matières plastiques, y compris formulation et conversion</p> <p>Bâtiment et travaux de construction</p>

# ALUMINIUM

Nom du composé	Tonnage (en tonnes de composés)	Usage
Oxyde d'aluminium	1 - 10	<p>Cosmétiques, produits de soins personnels</p> <p>Revêtements et peintures, solvants, diluants</p> <p>Utilisation en tant que réactif de laboratoire</p> <p>Manipulation à faible énergie de substances intégrées dans des matériaux et/ou articles</p> <p>Utilisation dans des processus fermés par lots (synthèse ou formulation)</p> <p>Utilisation dans des processus par lots et d'autres processus (synthèse) pouvant présenter des possibilités d'explosion</p> <p>Mélange dans des processus par lots pour la formulation de préparations et d'articles (contacts multiples et/ou importants)</p> <p>Pulvérisation dans des installations industrielles</p> <p>Transfert de substance ou de préparations (chargement/déchargement) à partir de récipients ou de grands conteneurs, ou vers ces derniers, dans des installations spécialisées</p> <p>Formulation de préparations et/ou reconditionnement (sauf alliages)</p> <p>Fabrication générale, par ex. machines, équipement, véhicules, autres matériels de transport</p>
Acide silicique, sel d'aluminium et de sodium (aluminosilicate de sodium synthétique amorphe)	-	<p>Revêtement et peintures, solvants, diluants</p> <p>Autres</p>
Acide silicique, sel d'aluminium et de sodium	-	<p>Revêtements et peintures, solvants, diluants</p> <p>Mélange dans des processus par lots pour la formulation de préparations et d'articles (contacts multiples et/ou importants)</p> <p>Formulation de préparations et/ou reconditionnement (sauf alliages)</p>
Silicate de sodium aluminium	0,01 - 0,1	<p>Articles en plastique</p> <p>Mélange dans des processus par lots pour la formulation de préparations et d'articles (contacts multiples et/ou importants)</p> <p>Fabrication de produits alimentaires</p>
Silicate de sodium magnesium aluminium	-	<p>Fabrication de pâte, papier et produits papetiers</p>

# ALUMINIUM

Le Tableau 12 cite tous les usages possibles, sans distinction entre les principaux et les plus anecdotiques. Ainsi certains des secteurs cités peuvent utiliser des quantités très faibles d'aluminium.

L'oxyde d'aluminium est le nanocomposé de l'aluminium dont le tonnage est le plus important et dont les usages sont les plus nombreux. Le second composé le plus important est l'acide silicique, sel d'aluminium et de sodium, dont le tonnage est plus de quatre fois inférieur à celui de l'oxyde d'aluminium.

D'après le site internet NanoSafePack<sup>34</sup>, du nano-aluminium peut être utilisé dans les emballages alimentaires en polymères (polyester, polyamide, polyuréthane, polyéthylène, polypropylène ou polystyrène). L'utilisation de nano-aluminium sert à améliorer les propriétés de volume, de surface et la stabilité chimique du polymère.

D'après le site internet EPRUI Nanoparticles & Microspheres<sup>35</sup>, l'oxyde d'aluminium nanoparticulaire peut être utilisé dans :

- les céramiques transparentes : lampes au sodium à haute pression, fenêtres ;
- les cosmétiques ;
- les céramiques d'oxyde d'aluminium haute résistance : matériaux d'emballages, outils de coupe ;
- le polissage des matériaux : produits en verre, métalliques, matériaux semi-conducteurs ;
- la peinture, le caoutchouc, le plastique ;
- les catalyseurs.

<sup>34</sup> <http://www.nanosafepack.eu/> (consulté en mars 2015).

<sup>35</sup> <http://www.nanoparticles-microspheres.com/Products/Aluminum-Oxide-alpha.html> (consulté en mars 2015).

# ALUMINIUM

## 3 REJETS DANS L'ENVIRONNEMENT

### 3.1 Emissions anthropiques totales

Les principales données sur les émissions d'aluminium dans l'environnement, identifiées lors de cette étude, concernent les émissions industrielles.

L'évolution des émissions d'aluminium et de ses composés déclarées dans le cadre de l'arrêté du 31 janvier 2008 par les industriels, entre 2009 et 2012, est présentée dans le Tableau 13 ci-après. Les données affichées sont issues du registre français des émissions polluantes IREP<sup>36</sup>.

Rappelons que le registre français des émissions polluantes IREP différencie les émissions directes dans l'eau de celles qui sont indirectes. Un rejet direct est défini comme un rejet isolé, après station d'épuration interne au site industriel ou directement dans le milieu naturel, un rejet indirect est défini comme un rejet raccordé à une station d'épuration extérieure à l'installation industrielle émettrice.

Tableau 13. Emissions d'aluminium et de ses composés, d'après l'IREP.

Emissions d'aluminium et de ses composés	IREP			
	2009	2010	2011	2012
Eau direct (kg/an)	12 589 930	17 478 340	959 720	13 134 730
dont Alteo Gardanne (kg/an)	12 000 000	17 000 000	518 000	12 700 000
dont Alteo Gardanne (% total)	95	97	54	97
Eau indirect (kg/an)	9 450	5 170	2 550	2 320
Sol (kg/an)	448 000	345 000	560 500	861 000

En France, les émissions d'aluminium ont lieu essentiellement dans l'eau. Elles sont principalement issues d'Alteo Gardanne (13), un producteur d'alumines et de ses composés. Les chiffres donnés par Alteo Gardanne en 2011 sont très faibles par rapport aux autres années, aucune explication pour cette valeur n'a pu être identifiée.

Il est à noter que les rejets indirects dans l'eau diminuent depuis 2009, alors que les émissions vers les sols augmentent.

<sup>36</sup> <http://www.irep.ecologie.gouv.fr/IREP/index.php> (consulté en septembre 2014).

# ALUMINIUM

## 3.2 Emissions atmosphériques

L'IREP ne recense pas d'émissions d'aluminium vers l'atmosphère.

Lors de cette étude, nous n'avons pas identifié de sources d'informations sur des émissions atmosphériques d'aluminium.

## 3.3 Emissions vers les eaux

### 3.3.1 Rejets directs

L'IREP recense, entre 2008 et 2012, 45 émetteurs directs d'aluminium et ses composés dans l'eau. En 2012, les émissions étaient estimées à 13 135 tonnes/an.

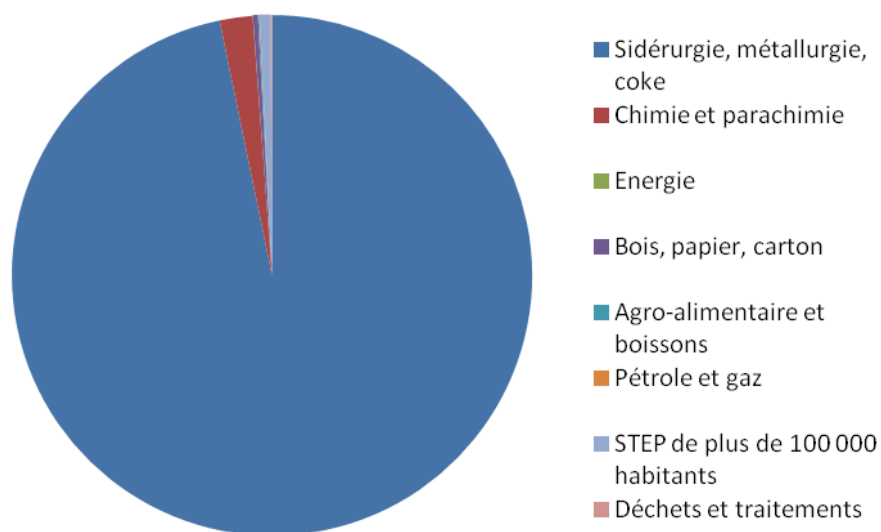


Figure 4. Emissions directes d'aluminium et de ses composés dans l'eau, d'après l'IREP.

Le secteur de la sidérurgie, métallurgie, coke représente 97 % des émissions totales d'aluminium vers les eaux directes, ce qui est cohérent avec le fait qu'Alteo Gardanne, principal contributeur, appartient à ce secteur (il représente plus de 99 % de ce secteur).

### 3.3.2 Rejets indirects

L'IREP recense, entre 2008 et 2012, 6 émetteurs indirects d'aluminium et ses composés dans l'eau. En 2012, les émissions étaient estimées à 2 tonnes/an.

# ALUMINIUM

Les secteurs émettant de façon indirecte de l'aluminium vers les eaux sont la chimie et parachimie, le bois, papiers et cartons et la mécanique, traitements de surface.

### 3.3.3 Rejets de STEU

Les rejets des STEU sont faibles : de l'ordre de la dizaine de microgrammes d'aluminium par litre. L'aluminium présent dans l'eau est stocké dans les boues, où les concentrations peuvent atteindre le millier de mg d'aluminium/kg PS<sup>37</sup> de boues. Les boues semblent donc être une voie potentielle de contamination des sols via l'épandage.

### 3.3.4 Potabilisation de l'eau

Les sels d'aluminium servent à assurer la coagulation et la floculation des particules fines en suspension ou solubles, pour en permettre ensuite la sédimentation et la filtration. Lors du processus d'agglomération ou de coagulation, la plus grande partie des sels d'aluminium ajoutés s'hydrolyse pour produire de l'hydroxyde d'aluminium qui précipite et devient partie intégrante du floculat. Cet aluminium fait donc partie de la boue générée par le processus de traitement. Il est possible qu'une petite quantité de l'aluminium ajouté persiste dans l'eau traitée, soit sous forme particulaire, soit sous forme soluble, selon les conditions du processus de traitement et plus particulièrement du pH (Environnement Canada, 2010).

Même si elle n'est pas majoritaire, cette technique est utilisée en France, il est donc possible que les mêmes effets se produisent également.

## 3.4 Emissions vers les sols

L'IREP recense, entre 2008 et 2012, 7 émetteurs d'aluminium et ses composés dans le sol. En 2012, les émissions étaient estimées à 861 tonnes/an.

Les industries émettant de l'aluminium sont le bois, papier et carton, l'industrie des cuirs et peaux, les stations d'épuration urbaines de plus de 100 000 habitants, la chimie et parachimie et les déchets et leurs traitements.

## 3.5 Pollutions historiques et accidentelles

La base de données ARIA<sup>38</sup> (Analyse, Recherche et Informations sur les Accidents) recense les incidents ou accidents qui ont, ou auraient pu, porter atteinte à la santé ou à la sécurité publique, l'agriculture, la nature et l'environnement. En France, 398 accidents impliquant

<sup>37</sup> PS : poids sec.

<sup>38</sup> <http://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/> (consulté en août 2014).

# ALUMINIUM

l'aluminium ou ses composés ont été recensés depuis 1992, dont les conséquences sont détaillées dans le Tableau 14.

Les accidents sont classés selon l'échelle européenne, qui est croissante de 0 (sans conséquence) à 6 (conséquences les plus graves)

Tableau 14. Conséquences des accidents, d'après la base de données ARIA.

Critères d'échelle européenne	0	1	2	3	4	5	6
Matières dangereuses relâchées	166	226	4	2	0	0	0
Conséquences humaines et sociales	285	75	28	9	1	0	0
Conséquences environnementales	365	24	5	3	1	0	0
Conséquences économiques	380	9	4	5	0	0	0

La majorité des accidents n'a eu aucune conséquence humaine, sociale, environnementale ou économique, ou peu de conséquences en ce qui concerne les matières dangereuses relâchées.

# ALUMINIUM

## 4 DEVENIR ET PRESENCE DANS L'ENVIRONNEMENT

### 4.1 Comportement dans l'environnement

#### 4.1.1 Dans l'atmosphère

L'aluminium est présent dans l'atmosphère dans les particules, généralement de diamètre supérieur à 2 µm, qui se déposent près de leur source.

Dans l'air, le chlorure d'aluminium hydraté réagit en milieu humide pour produire de l'acide chlorhydrique et de l'oxyde d'aluminium (Vasiloff, 1991). De même, le nitrate et le sulfate d'aluminium peuvent réagir avec l'humidité pour former l'acide nitrique et l'acide sulfurique respectivement (Environnement Canada, 2010).

#### 4.1.2 Dans le milieu aquatique

Dans le milieu aquatique, la solubilité de l'aluminium en équilibre avec sa phase solide  $\text{Al}(\text{OH})_3$  dépend grandement du pH. A des pH faibles, le complexe  $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$  est prédominant, mais à des pH plus élevés ou si la température augmente, les espèces prédominantes deviennent  $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$ ,  $\text{Al}(\text{OH})_2^+$  et  $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ .

Il existe deux types généraux de ligands<sup>39</sup> qui peuvent former de solides complexes avec l'aluminium en solution. Les ligands inorganiques comprennent notamment des anions comme les sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), les fluorures ( $\text{F}^-$ ), les phosphates ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), les bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ) et les hydroxydes ( $\text{OH}^-$ ). Les ligands organiques comprennent les acides oxalique, humique et fulvique (Environnement Canada, 2010).

Les chlorure d'aluminium, nitrate d'aluminium et sulfate d'aluminium sont extrêmement solubles et forment diverses espèces dissoutes au contact de l'eau (Environnement Canada, 2010).

#### 4.1.3 Dans le milieu terrestre

Dans les sols, l'aluminium est principalement présent sous forme de silicates, d'hydroxydes et d'oxyde. La solubilité de l'aluminium dans les sols augmente avec le pH.

### 4.2 Présence dans l'environnement

Les valeurs ci-dessous sont extraites du site internet du FOREGS<sup>40</sup>. Les pays ayant participé à la campagne de mesure sont : l'Albanie, l'Autriche, la Belgique, la Croatie, la République

<sup>39</sup> Ligands : atome, molécule ou ion ayant des fonctions chimiques lui permettant de se lier à d'autres atomes, molécules ou ions.



# ALUMINIUM

tchèque, le Danemark, l'Estonie, la Finlande, la France, l'Allemagne, la Grèce, la Hongrie, l'Irlande, l'Italie, la Lettonie, la Lituanie, les Pays-Bas, la Norvège, la Pologne, le Portugal, la Slovaquie, la Slovénie, l'Espagne, la Suède, la Suisse et le Royaume-Uni.

Tableau 15. Teneurs en aluminium dans les différents milieux, d'après le FOREGS.

Milieu	Unité	Nombre d'échantillons	Minimum	Médiane <sup>41</sup>	Moyenne	Maximum
Sol couche profonde (en Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	%	788	0,21	11,7	11,2	27,1
Sol couche de surface (en Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	%	845	0,37	11,0	10,5	26,7
Sédiments de cours d'eau (en Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	%	850	0,20	10,3	10,2	25,9
Sédiments de plaines alluviales (en Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	%	749	0,10	10,4	9,8	32,6
Eau (en Al)	µg/L	807	0,70	17,7	75,5	3 370

Les teneurs en aluminium sont du même ordre de grandeur, que ce soit en profondeur ou en surface ou dans les sédiments.

## 4.2.1 Dans le milieu aquatique

Dans les cours d'eau, les valeurs d'aluminium relevées sont comprises entre 0,70 et 3 370 µg/L, avec une médiane de 17,7 µg/L.

<sup>40</sup> <http://weppi.gtk.fi/publ/foregsatlas/article.php?id=15> (consulté en août 2014).

<sup>41</sup> Médiane : valeur d'une série statistique telle que le nombre de valeurs inférieures soit égal au nombre de valeurs supérieures.

# ALUMINIUM

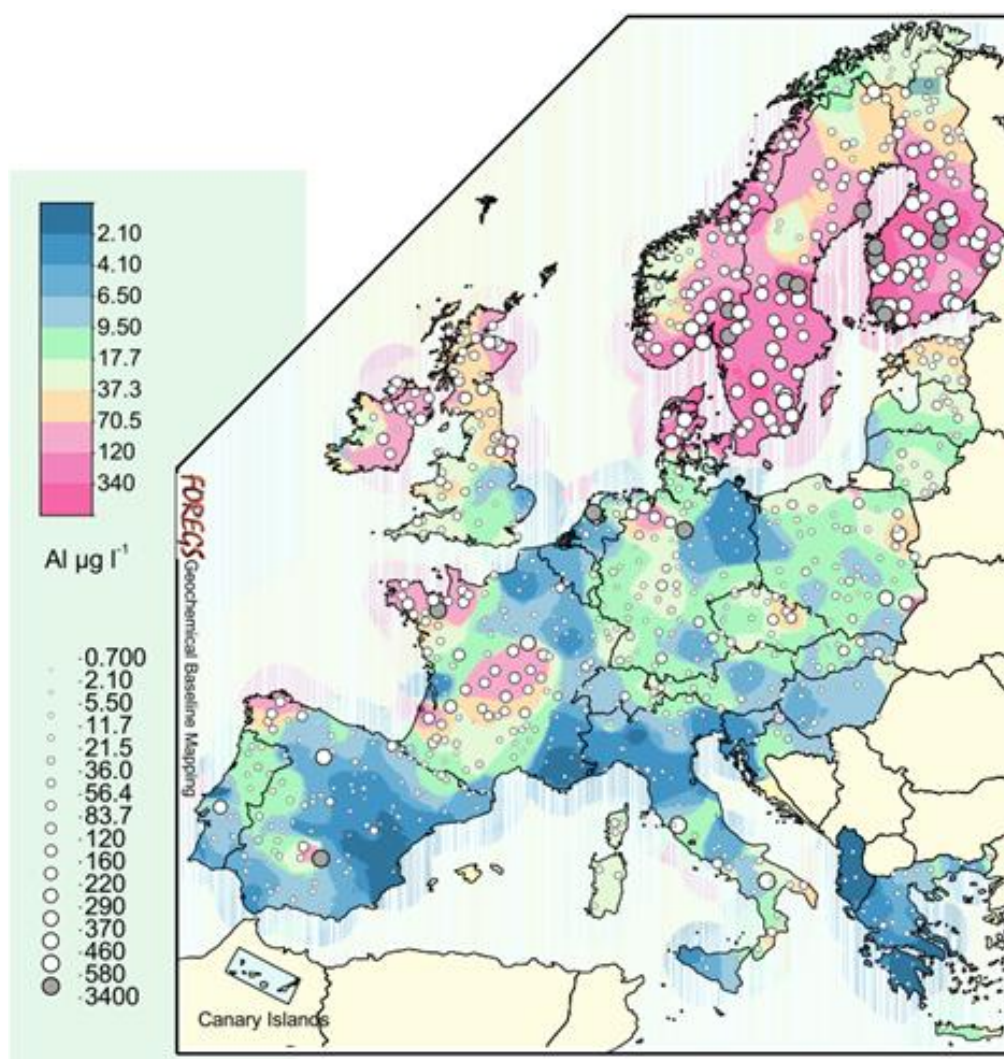


Figure 5. Distribution géographique de l'aluminium dans les milieux aquatiques, d'après le site internet du FOREGS.

Les teneurs les plus élevées sont observées en Scandinavie, au Royaume Uni, dans le centre de la France et en Bretagne. Les concentrations les plus faibles se rencontrent principalement autour du bassin méditerranéen.

# ALUMINIUM

## 4.2.2 Dans le milieu terrestre

### Sédiments de cours d'eau

La valeur médiane en aluminium total dans les sédiments est de 10,3 %, avec une gamme de 0,20 à 25,9 % en  $Al_2O_3$ .

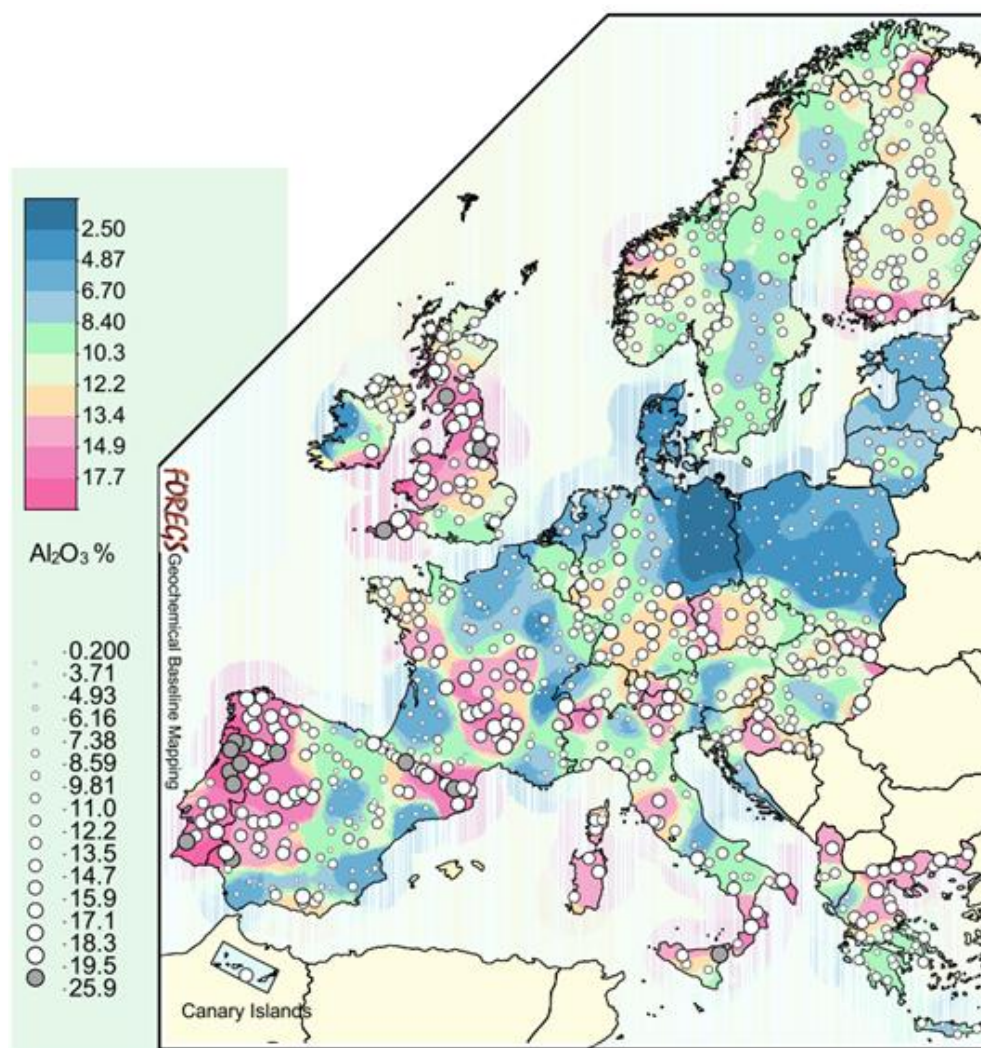


Figure 6. Distribution géographique de l'aluminium dans les sédiments des cours d'eau, d'après le site internet du FOREGS.

# ALUMINIUM

Les teneurs les plus élevées sont observées au Portugal, en Espagne, au Royaume-Uni et dans le centre de la France. Les concentrations les plus faibles sont relevées dans l'est de l'Allemagne, en Pologne et dans les pays baltes.

## Sédiments de plaines alluviales

La valeur médiane en aluminium dans les sédiments varie en 0,10 et 32,6 % en  $Al_3O_2$ , avec une valeur médiane de 10,4 % en  $Al_3O_2$ .



# ALUMINIUM

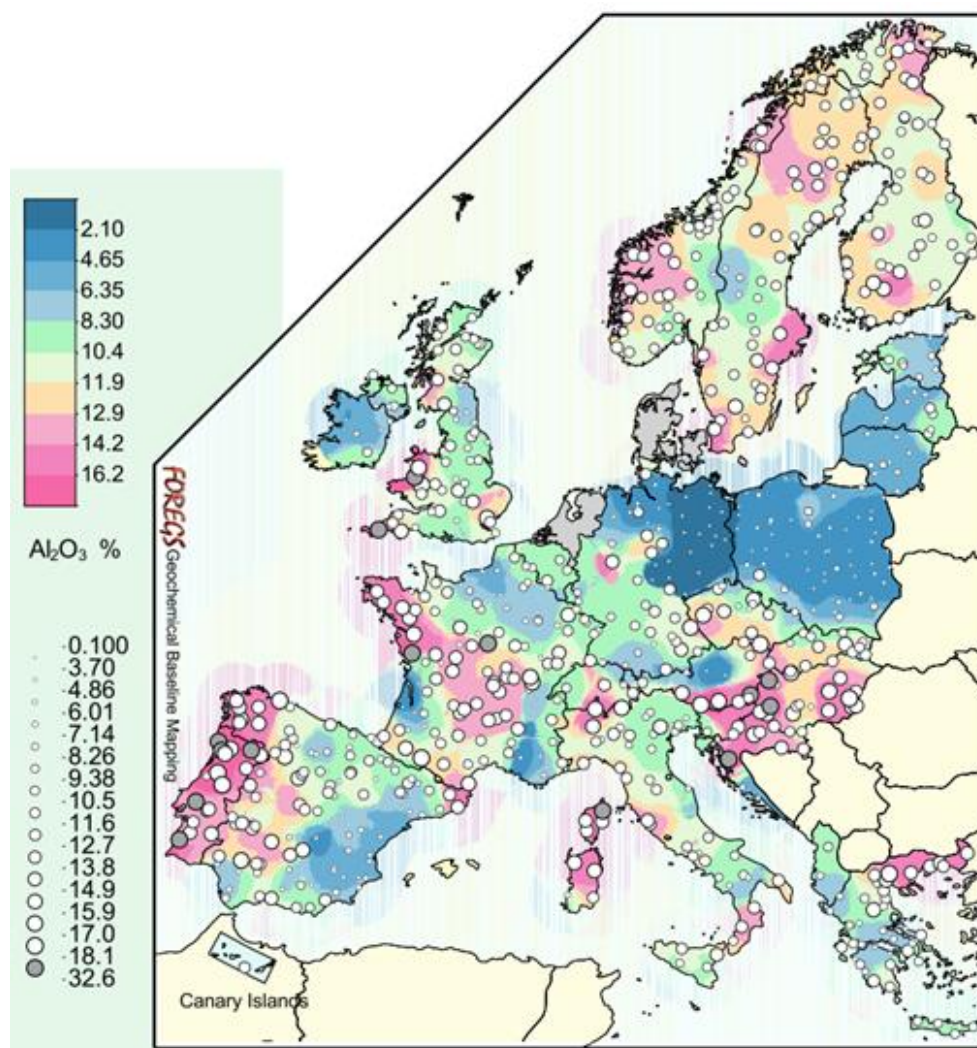


Figure 7. Distribution géographique de l'aluminium dans les sédiments des plaines alluviales, d'après le site internet du FOREGS.

Les teneurs les plus élevées sont observées au Portugal, dans le centre de la France, en Bretagne, en Slovénie et en Croatie. Les concentrations les plus faibles sont relevées dans l'est de l'Allemagne, en Pologne et dans les pays baltes.

# ALUMINIUM

## Sols

La valeur médiane en aluminium est de 11,7 % d'Al<sub>3</sub>O<sub>2</sub> dans les sous-sols, avec une gamme allant de 0,21 à 27,1 % d'Al<sub>3</sub>O<sub>2</sub>. Dans la couche supérieure, la valeur médiane est de 11,0 % d'Al<sub>3</sub>O<sub>2</sub>, avec des valeurs allant de 0,37 à 26,7 % d'Al<sub>3</sub>O<sub>2</sub>.

Le FOREGS établit deux cartes : une pour les couches profondes du sol et la seconde pour les couches superficielles du sol.

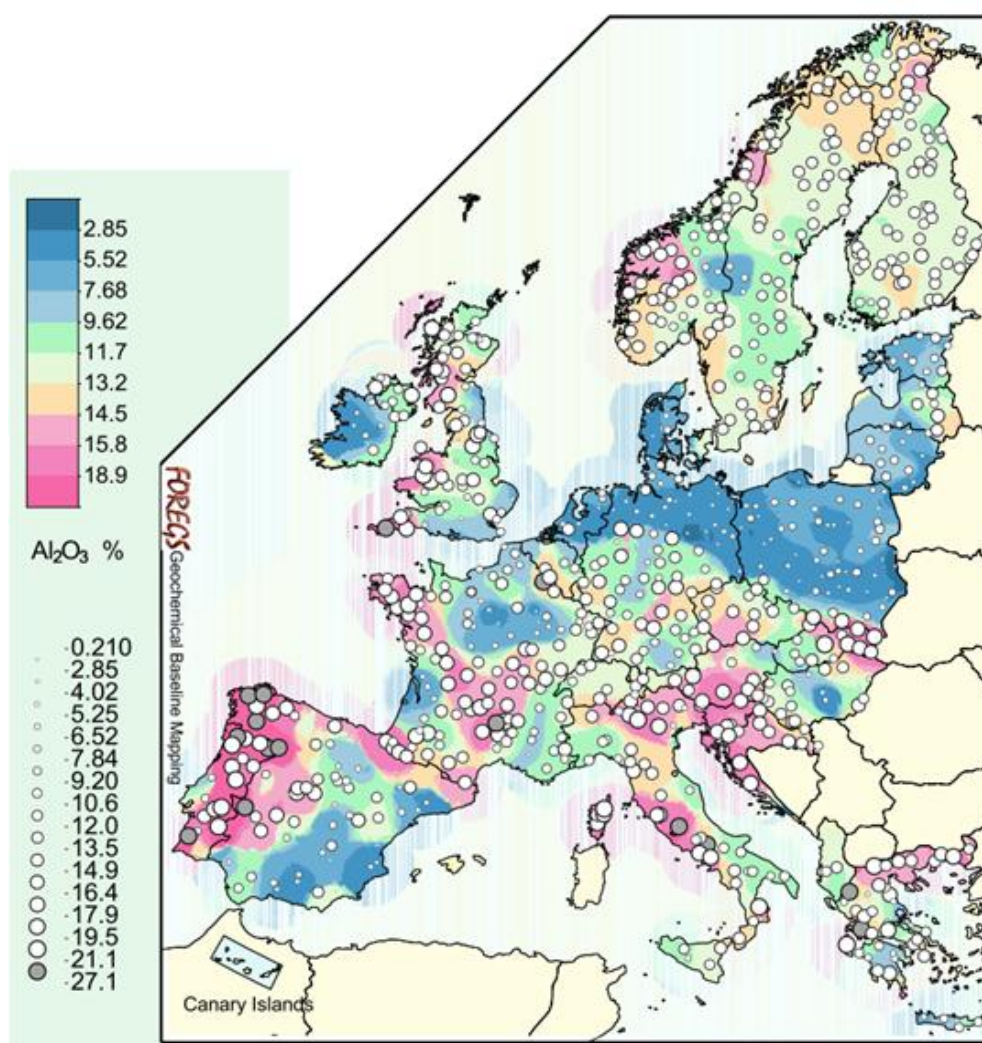


Figure 8. Distribution géographique de l'aluminium dans les couches profondes des sols, d'après le site internet du FOREGS.

# ALUMINIUM

Les teneurs les plus élevées dans les couches profondes du sol sont observées au Portugal, dans le centre de la France, en Bretagne, dans le nord de l'Italie, en Slovénie et en Croatie. Les concentrations les plus faibles sont relevées aux Pays-Bas, au Danemark, dans le nord de l'Allemagne, en Pologne et dans les pays baltes.

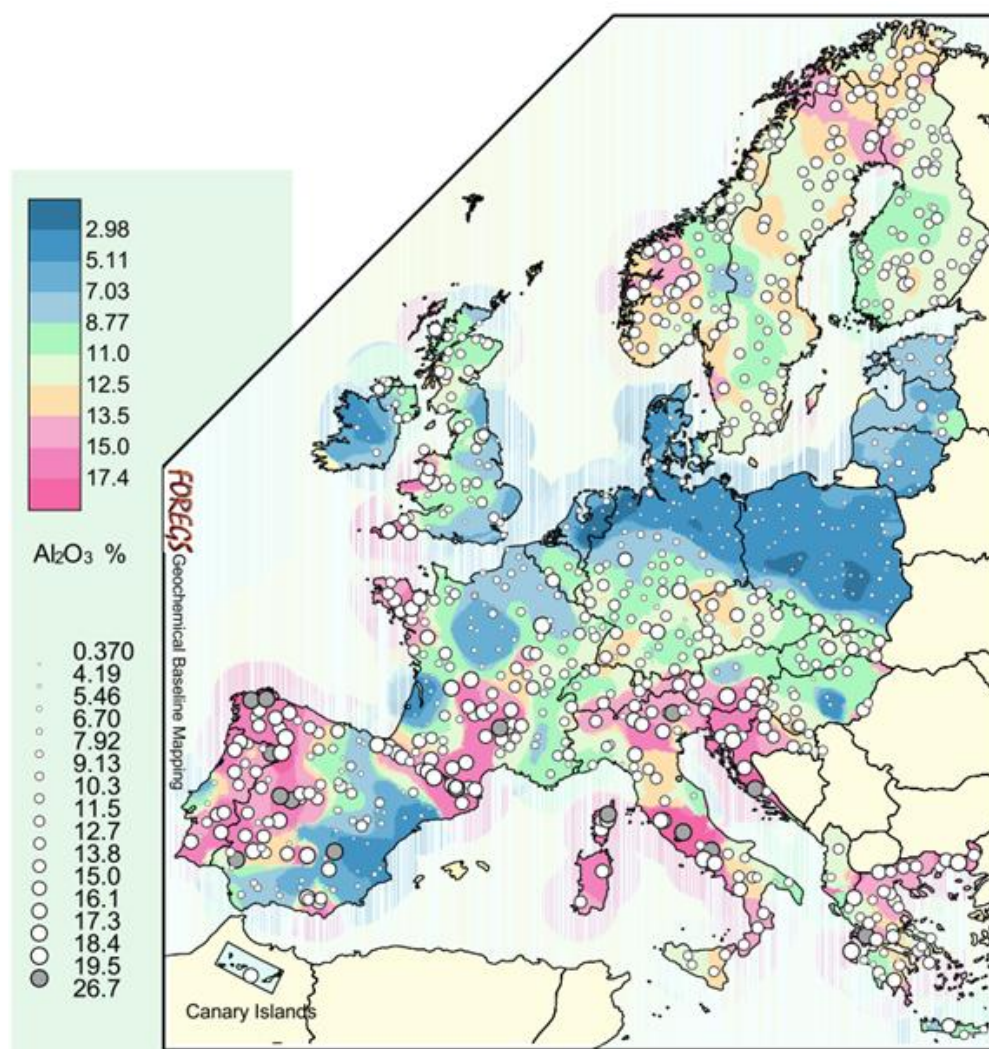


Figure 9. Distribution géographique de l'aluminium dans les couches superficielles des sols, d'après le site internet du FOREGS.



# ALUMINIUM

Les teneurs les plus élevées dans les couches superficielles du sol sont observées au Portugal, dans le centre et le sud-ouest de la France, en Italie, en Slovénie et en Croatie. Les concentrations les plus faibles sont relevées aux Pays-Bas, dans le nord de l'Allemagne, en Pologne et dans les pays baltes.

Les Figure 6, Figure 7, Figure 8 et Figure 9 présentent une grande homogénéité que ce soit dans les sédiments ou les sols, le Portugal, le centre de la France et la Slovénie pour les plus fortes concentrations en aluminium ; l'est de l'Allemagne, la Pologne et les pays baltes pour les plus faibles concentrations.

## 4.2.3 Dans l'atmosphère

Le Tableau 16 ci-après présente les concentrations en aluminium relevées dans les aérosols.

Tableau 16. Concentration en aluminium dans les aérosols, d'après Kuo *et al.* (2007).

Lieu	Année	Type <sup>42</sup>	Concentration (ng/m <sup>-3</sup> )	Source
USA, zone urbaine	1987	PM2,5	35,1	Chow <i>et al.</i> (1994)
USA, aire urbaine	1990	PM2,5	1 824	Chow <i>et al.</i> (1996)
Pologne, nœud routier	-	PM1,9	13,7	Wróbel <i>et al.</i> (2000)
Japon, zone urbaine	1974-1996	TSP	429	Var <i>et al.</i> (2000)
Japon, industrie du fer et de l'acier	1974-1996	TSP	586	Var <i>et al.</i> (2000)
USA, zone industrielle	2000 -2001	PM2,5	66,7	Singh <i>et al.</i> (2002)
Chine, zone industrielle	2000 -2001	PM2,5	330	Ho <i>et al.</i> (2003)
Corée du Sud, zone urbaine	2001	PM2,5	691	Kim <i>et al.</i> (2002)
Taiwan, zone industrielle	2002	PM10	570	Kuo <i>et al.</i> (2007)

<sup>42</sup> PM2,5 : particules en suspension dont le diamètre est inférieur à 2,5 µm ; PM10 : particule en suspension dont le diamètre est inférieur à 10 µm ; TSP : particules totales en suspension.



# ALUMINIUM

Les concentrations en aluminium sont variables et dépendent du lieu où les mesures sont effectuées. Du fait des propriétés physico-chimiques de la substance, ces mesures sont toujours faites à proximité des sources.

# ALUMINIUM

## 5 PERSPECTIVES DE REDUCTION DES REJETS

### 5.1 Alternatives aux usages de l'aluminium

Les utilisations de l'aluminium ont beaucoup augmenté ces dernières années en raison de son emploi en tant que substituant d'autres métaux présentant de forts impacts environnementaux, tels que le plomb, le cadmium, le cuivre ou le chrome<sup>43</sup>. La Figure 10 présente l'évolution de la production mondiale de quelques métaux dont l'aluminium de 1930 à 2010.

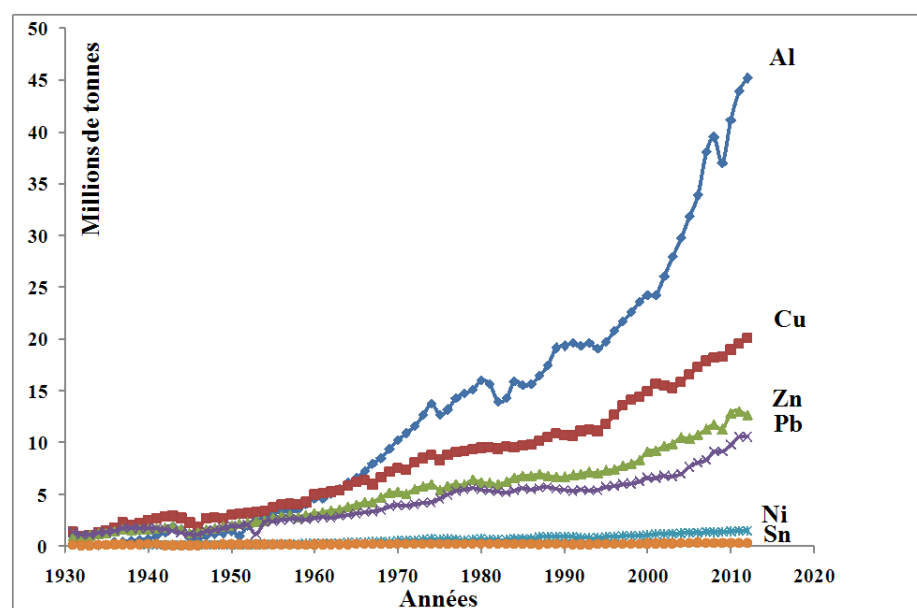


Figure 10. Evolution de la production mondiale d'aluminium, d'après Vignes (2013).

La production mondiale d'aluminium a fortement augmenté, notamment depuis le début des années 2000.

<sup>43</sup> Des fiches technico-économiques pour le plomb, le cadmium, le cuivre et le chrome sont disponibles sur le site [http://www.ineris.fr/rsde/fiches\\_technico.php](http://www.ineris.fr/rsde/fiches_technico.php).

# ALUMINIUM

## 5.1.1 Alternatives à l'aluminium dans l'industrie

D'après le document de référence recensant les meilleures techniques disponibles sur les systèmes de refroidissement industriels rédigé par la Commission Européenne en 2001, les systèmes de refroidissement, les échangeurs de chaleur, les conduites, les pompes, ... sont, entre autres, réalisés en cuivre ou dans un des alliages à base de cuivre.

Afin de réduire les émissions de cuivre dues à la corrosion de ces produits, il est proposé de le substituer par :

- l'acier au carbone ;
- l'acier galvanisé ;
- **l'alliage d'aluminium ;**
- le laiton<sup>44</sup> ;
- l'acier inoxydable<sup>45</sup> ;
- le titane.

Dans ce domaine, l'aluminium est donc un substitut du cuivre, mais d'autres alternatives sont proposées.

A titre d'exemple, des échangeurs thermiques constitués d'alliages d'aluminium, sont proposés à l'échelle industrielle, par exemple les unités de dessalement de l'eau de mer (Techniques de l'ingénieur, 1995).

Ces alliages d'aluminium peuvent être substitués par du titane.

Outre sa forte résistance à la corrosion, même dans de l'eau extrêmement polluée, ce matériau présente plusieurs avantages :

- il est possible d'utiliser des tuyaux extrêmement minces ;
- la conductivité de la chaleur est excellente ;
- le matériau est bien adapté à la réutilisation ;
- la durée de vie probable du matériau est longue.

Cependant, la prolifération biologique est plus importante qu'avec des matériaux contenant du cuivre. Il nécessite donc une utilisation supplémentaire de biocides. Un autre inconvénient est que le titane peut difficilement être utilisé dans un environnement réducteur car aucune couche protectrice d'oxyde ne se forme.

---

<sup>44</sup> Des informations sur le laiton (alliage de cuivre et de zinc) peuvent être trouvées dans la fiche technico-économique sur le zinc, disponible sur le site [http://www.ineris.fr/rsde/fiches\\_technico.php](http://www.ineris.fr/rsde/fiches_technico.php).

<sup>45</sup> Des informations sur l'acier inoxydable peuvent être trouvées dans la fiche technico-économique sur le nickel, disponible sur le site [http://www.ineris.fr/rsde/fiches\\_technico.php](http://www.ineris.fr/rsde/fiches_technico.php).

# ALUMINIUM

Quoiqu'il en soit, la substitution de l'aluminium par le titane est handicapée par le coût de ce matériau alternatif. La Figure 11 ci-après montre les variations du coût du titane entre 1992 et 2014.

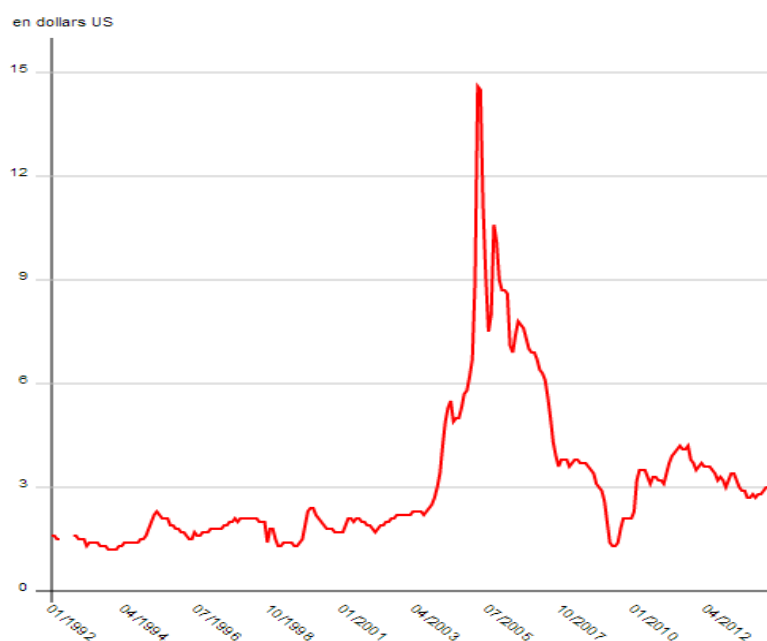


Figure 11. Coût du titane en dollars US par livre US, d'après l'INSEE<sup>46</sup>.

Après avoir fortement augmenté entre 2003 et 2005, le titane est redescendu entre 3 et 4 dollars US la livre US, soit environ entre 6 600 et 8 800 dollars US par tonne<sup>47</sup> (cf. § 2.2.1), soit environ un tiers du prix du titane. Les pics dans les cours du titane et de l'aluminium ne se sont pas produits en même temps, le pic du titane a eu lieu entre 2003 et 2007, tandis que celui de l'aluminium s'est produit entre 2006 et 2009.

<sup>46</sup> Institut National des Statistiques et des Etudes Economiques : <http://www.bdm.insee.fr/bdm2/affichageSeries.action?periodeDebut=1&anneeDebut=1992&periodeFin=7&anneeFin=2014&page=graphique&recherche=idbank&codeGroupe=298&idbank=000852060> (consulté en juin 2014).

<sup>47</sup> [http://www.insee.fr/fr/bases-de-donnees/bsweb/graph.asp?idbank=000455739&date\\_debut=1992&date\\_fin=2014](http://www.insee.fr/fr/bases-de-donnees/bsweb/graph.asp?idbank=000455739&date_debut=1992&date_fin=2014) (consulté en octobre 2014).

# ALUMINIUM

Pour les autres utilisations de l'aluminium dans l'industrie, il n'a pas été identifié d'information concernant ses alternatives.

## 5.1.2 Transport

Les polymères constituent des alternatives possibles à l'aluminium dans le secteur des transports, notamment de l'automobile. Ainsi des composites contenant des fibres de verre ou de carbone peuvent être utilisés dans différentes parties de la structure d'une voiture. Néanmoins ces fibres présentent certains inconvénients, notamment un coût élevé des matières premières et un investissement important pour transformer les procédés existant (Ghassemieh, 2011).

De plus, de nouvelles résines polyéthersulfones (PESU) incorporant de fibres de carbone, de graphite et de polytétrafluoroéthylène (PTFE) développées par BASF possèdent une résistance élevée à l'usure. BASF a conçu cette gamme de résine pour l'industrie automobile, notamment pour les systèmes de refroidissement et le circuit d'huile (BASF).

## 5.1.3 Emballages

Les emballages en aluminium sont le plus souvent recouverts à l'intérieur de résine époxy, pouvant être synthétisée à partir de bisphénol A<sup>48</sup>. C'est surtout en raison de la présence de bisphénol A que l'on cherche à substituer les emballages en aluminium.

Le Tableau 17 ci-après présente des alternatives aux emballages en aluminium.

<sup>48</sup> Une fiche technico-économique sur le bisphénol A est disponible sur le site [http://www.ineris.fr/rsde/fiches\\_technico.php](http://www.ineris.fr/rsde/fiches_technico.php).

# ALUMINIUM

Tableau 17. Alternatives aux emballages en aluminium, d'après INERIS (2012).

Produits de substitutions	Avantages	Inconvénients	Coûts*	Exemple de producteurs - produits (non exhaustif)
<p>Brique alimentaire :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- aliments solides (Tetra Recart®, Combisafe®): 25 % polypropylène (PP) + 2 % aluminium + 73 % de carton.</li> <li>- aliments liquides : 20 % Low Density Polyéthylène (LDPE) + 4 % aluminium + 70 % carton.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aliments conservés à l'abri de la lumière.</li> <li>- Durée de conservation : 2 ans.</li> <li>- Convient aux aliments à haute acidité.</li> <li>- Ces emballages ont une empreinte carbone moins élevée que les autres matériaux, mais leur taux de recyclage est plus faible (en amélioration).</li> <li>- Emballages Tetra Recart® et Combisafe® résistent aux procédés de stérilisation.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Très difficile à recycler de par les différentes couches de matériaux utilisés.</li> <li>- Contient de l'aluminium (en cours d'essais de substitution, mais difficile).</li> <li>- La taille maximale aujourd'hui possible pour Tetra Recart® est de 500 ml, pour des raisons de contraintes liées au procédé de stérilisation (amélioration possible) ; et 1L pour Combisafe®.</li> <li>- Nécessité d'installer une ligne spécifique de conditionnement, qu'il faudra amortir.</li> </ul>	<p>Prix en rayon similaire à celui d'une conserve classique.</p>	<p>TETRA PAK , Groupe SIG Combibloc</p>
<p>Doypack® (Sachets « fraîcheur » multicouche : couche PET extérieure + feuille aluminium+couche PE ou PP intérieure)</p>	<p>Facilités de logistique de l'emballage vide</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Le rythme de conditionnement étant très lent, le produit final est beaucoup plus cher qu'une conserve classique.</li> <li>- Prix élevé, serait destiné à la restauration en priorité, ou peut être proposé pour des conserves haut de gamme (mais peu de demandes aujourd'hui).</li> <li>- Nécessité d'installer une ligne spécifique de conditionnement, qu'il faudra amortir.</li> </ul>	<p>Le produit final est beaucoup plus cher qu'une conserve classique (exemple de la carotte : Conserve en acier 0,99 €, Poche sous vide 2,45 €).</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sachet fraîcheur fruits et légumes appertisés stérilisation douce (Bonduelle : plastique à l'extérieur, aluminium à l'intérieur), DLUO 2 ans à température ambiante.</li> <li>- Appertisation sous vide en sachets aluminisés (Gilles Contres), DLUO 3 ans.</li> <li>- Saumon appertisé Seabear.</li> <li>- Thon appertisé Starkist.</li> <li>- Sardines appertisées Mega.</li> <li>- Producteurs de Doypack® : Daklapack, Amcor...)</li> </ul>

# ALUMINIUM

Produits de substitutions	Avantages	Inconvénients	Coûts*	Exemple de producteurs - produits (non exhaustif)
Verre	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Recyclable.</li> <li>- Inertie chimique.</li> <li>- Résiste aux aliments acides.</li> <li>- Pour éviter la photo-oxydation des aliments, un verre couleur ambrée est utilisé (pour les tomates par exemple). Ceci permet de préserver la qualité gustative, les nutriments et les couleurs.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coût du recyclage, énergie importante pour la refonte du verre.</li> <li>- Coût du transport du fait de la densité du verre (énergie utilisée pour le transport).</li> <li>- Sécurité (cassable).</li> <li>- Le couvercle métallique ou le bouchon sont revêtus d'une couche de résine époxyde (contenant du BPA). Eden Foods utilise toutefois une résine époxyde isolée de l'aliment avec un film PVC sans BPA.</li> <li>- Le verre ambré est plus difficile à se procurer que le verre incolore, et il est plus cher.</li> </ul>		Eden Foods (verre ambré) pour les conserves de tomates bios - USA.
Pot en PET	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Facilités de logistique par rapport au verre.</li> <li>- Incassable et moins lourd que le verre.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- En test chez un fournisseur de Carrefour pour remplacer les pots de confiture en verre : le produit n'est pas encore au point.</li> </ul>		En test chez Carrefour.

Plusieurs des alternatives présentées dans le Tableau 17 contiennent de l'aluminium, mais en faibles quantités.

Même si tous les usages ne sont pas couverts, il semble possible de trouver des alternatives économiquement viables à la majorité des utilisations de l'aluminium dans le domaine des emballages.

## 5.1.4 Energie

### 5.1.4.1 Transport de l'énergie

L'aluminium est utilisé dans les fils et câbles électriques en substitution du cuivre.

# ALUMINIUM

Tableau 18. Conducteurs utilisés dans le secteur de l'électricité et de la communication, d'après Delomel (2003).

Applications	Composition
réseau aérien HT et MT nu	alliage AGS <sup>49</sup> aluminium-acier
réseau MT et BT isolé	aluminium porteur BT en AGS
câble HT	cuivre
réseau BT enfoui	aluminium
domestiques et industriels	filerie en cuivre câbles en cuivre ou en aluminium
aéronautique	cuivre nickelé A4GL <sup>50</sup> nickelé alliage de cuivre nickelé
automobile	cuivre
navires	cuivre étamé
	cuivre
ferroviaire	Cu ETP, CuSn, CuMg
	CuCd, CuMg
électroniques et télécommunications	cuivre cuivre revêtu
transformateurs	cuivre aluminium
machines tournantes	cuivre aluminium
mises à la terre	cuivre
	acier cuivré

L'aluminium est un métal disponible en grande quantité. Il est déjà utilisé pour les lignes hautes tensions et pour les câbles 230 V de distribution d'EDF (Delomel, 2003).

Néanmoins, à l'heure actuelle, l'aluminium est utilisé en tant que substitut du cuivre, plutôt que l'inverse.

<sup>49</sup> Alliage AGS : alliage aluminium, magnésium, silicium.

<sup>50</sup> A4GL : alliage à base d'aluminium.



# ALUMINIUM

## 5.1.4.2 LED

L'aluminium est substitué dans les LED<sup>51</sup> par un composé thermo-conducteur, qui présente plus d'avantages par rapport à l'aluminium : la couleur blanche, la résistance à la chaleur sans besoin de peinture supplémentaire, une productivité améliorée grâce à l'utilisation du moulage par injection et une conformité aux exigences de l'industrie en matière d'isolants électriques (site internet des Techniques de l'Ingénieur<sup>52</sup>).

## 5.1.5 Retardateur de flamme

L'hydroxyde d'aluminium peut être substitué dans certains de ses usages. Ainsi dans son usage de retardateur de flamme dans les gommés et le PVC, les alternatives sont présentées dans le Tableau 19 ci-après.

<sup>51</sup> LED : diode électroluminescente.

<sup>52</sup> [http://www.techniques-ingenieur.fr/actualite/materiaux-innovants-nano-thematique\\_6342/un-compose-thermo-conducteur-remplace-l-aluminium-dans-des-del-article\\_59563/](http://www.techniques-ingenieur.fr/actualite/materiaux-innovants-nano-thematique_6342/un-compose-thermo-conducteur-remplace-l-aluminium-dans-des-del-article_59563/) (consulté en mars 2015).

# ALUMINIUM

Tableau 19. Alternatives à l'hydroxyde d'aluminium en tant que retardateur de flamme, d'après Morgan et Wilkie (2014).

Substituts	CAS	Applications
hydroxyde de magnésium	1309-42-8	câbles
hydroxystannates de zinc	-	
borates de zinc	138265-88-0	
huntite	19569-21-2	
hydromagnésite	-	
hydroxyde de magnésium	1309-42-8	construction
trioxoyle d'antimoine	1309-64-4	
retardateurs de flamme bromés tels décabromodiphenyl-oxide ou 1,2-bis-(pentabromophenyl)ethane	-	
retardateurs de flamme halogénés	-	électronique et électricité
hydroxyde de magnésium	1309-42-8	
boehmite	1318-23-6	
stannates de zinc	-	

De nombreux substituts présentés dans le tableau ci-avant présentent des inconvénients significatifs, soit en raison de leur caractère halogéné, soit en raison de la toxicité de la substance (composés du zinc et de l'antimoine), soit en raison de la présence d'aluminium (boehmite AlOOH).

## 5.1.6 Textile

Dans le domaine textile, les composés de l'aluminium sont utilisés en tant que retardateur de flamme et imperméabilisant. Les alternatives à l'hydroxyde d'aluminium sont présentées dans le Tableau 20 ci-après.

# ALUMINIUM

Tableau 20. Alternatives à l'hydroxyde d'aluminium en tant que retardateur de flamme dans le textile, d'après Subsport (2013).

Composés	CAS
hexachlorocyclodécane	-
décabromodiphényl éther	1163-19-5
1,2-bis(pentabromophenyl)éthane	84852-53-9
hexabromocyclododécane	25637-99-4
éthylène bistétrabromophthalimide	32588-76-4
tétrabromophthalate ester	-
bis(tribromophenoxi)éthane	37853-59-1
tribromophényl allyl éther	3278-89-5
dibromostyrène	31780-26-4
tétrabromophthalate diol	77098-07-8
anhydride tétrabromophthalique	623-79-1
trioxyde d'antimoine	1309-64-4
polymères acryliques	-

De nombreux substituts possibles sont des composés bromés, que l'on cherche par ailleurs à remplacer en raison de leur toxicité. Les composés non-bromés sont donc à privilégier.

## 5.1.7 Potabilisation de l'eau

Les sels d'aluminium utilisés dans la potabilisation de l'eau peuvent être substitués par des sels de fer (chlorure ferrique). Ces derniers présentent des avantages par rapport aux sels d'aluminium : meilleure élimination de la matière organique, plage de pH de coagulation plus large. Néanmoins leur mise en œuvre se heurte aussi à des inconvénients tels que la coloration de l'eau et des boues, ainsi que leur corrosivité (Helmer, 2012 ; Veolia eau, 2012).

## 5.1.8 Cosmétiques

Dans les cosmétiques, nous avons identifié des informations quant à la substitution de l'aluminium dans les déodorants.

Le Tableau 21 ci-après résume les différents sels d'aluminium et leurs substituts utilisés dans les déodorants sur le marché français.

# ALUMINIUM

Tableau 21. Sels d'aluminium et leurs substituts, d'après les sites Pharmashopi<sup>53</sup> et Alibaba<sup>54</sup> (pour les coûts).

Composés	CAS	Coût (US\$/kg)
chlorohydrate d'aluminium	1327-41-9	0,2 - 0,5
sesquichlorohydrate d'aluminium	173763-15-0	
allantoin	97-59-6	4,0 - 10,0
citrate de triéthyle	77-93-0	2,0 - 6,0
Salvia Officinalis (Sage) oil		
piroctone olamine	68890-66-4	5,0 - 10,0
triclosan	3380-34-5	10,0 - 20,0
propanediol	504-63-2	4 - 5
ricinoleate de zinc	13040-19-2	0,01 - 0,1
triethanolamine	102-71-6	
dipropylene glycol	25265-71-8	1,4 - 2,3
ethylhexyl glycerine	70445-33-9	20 - 25

Il apparaît donc des substituts possibles aux sels d'aluminium dans les déodorants, néanmoins une attention particulière devrait être portée à l'innocuité de ses produits, notamment en ce qui concerne le triclosan, le dipropylene glycol et le ricinoleate de zinc.

Utilisés dans les mêmes proportions, les substituts possibles ont dans l'ensemble des coûts plus élevés que les sels d'aluminium.

Néanmoins du fait de la faiblesse des quantités en cause, ce surcoût semble supportable pour les acteurs économiques de ce secteur.

## 5.2 Réduction des émissions d'aluminium

### 5.2.1 Elimination dans les effluents de stations d'épuration urbaines

L'aluminium est recherché dans le cadre du projet AMPERES<sup>55</sup>. Il a été quantifié dans plus de 90 % des eaux usées brutes de STEU étudiées à des concentrations comprises entre 100 et 1 000 µg/L. L'aluminium a été quantifié dans plus de 70 % des eaux traitées secondaires à des

<sup>53</sup> <http://www.pharmashopi.com/corps-et-hygiene-xsl-25356.html> (consulté en février 2015).

<sup>54</sup> <http://www.alibaba.com/> (consulté en février 2015).

<sup>55</sup> Analyse de micropolluants prioritaires et émergents dans les rejets et les eaux superficielles.

# ALUMINIUM

concentrations comprises entre 10 et 100 µg/L et dans 30 à 70 % des eaux traitées tertiaires à des concentrations comprises entre 10 et 100 µg/L (Coquery, 2011).

Le rendement de la filière eau traduit la diminution de la concentration entre l'entrée et la sortie de la STEP : il est en moyenne de 90 % pour l'aluminium (Choubert, 2011).

La majeure partie de l'aluminium semble donc transférée vers les boues. L'épandage des boues de STEP peut constituer une source de contamination des sols en aluminium.

## 5.2.2 Réductions des émissions industrielles lors du traitement des minerais

Le procédé Bayer (cf. § 2.2.3.1) est la technique standard à prendre en compte. Ce procédé comporte plusieurs variantes qui sont les suivantes :

- Manutention, concassage-broyage de la bauxite, de la chaux et des autres matériaux de manière à limiter les émissions de poussières.
- Conception et utilisation d'autoclaves permettant de réduire la consommation d'énergie (ex. : utilisation d'autoclaves tubulaires et d'échangeurs de chaleur thermiques à l'huile afin de pouvoir récupérer un maximum de chaleur et utiliser une température de digestion plus élevée).
- Utilisation de fours de calcination à lit fluidisé dotés d'un système de préchauffage afin de pouvoir utiliser le contenu calorifique des effluents gazeux. Utilisation de filtres à manches ou de filtres électrostatiques pour éliminer l'alumine calcinée et les poussières.
- Mise en décharge des boues rouges dans des zones étanches et réutilisation des eaux de transport et de surface provenant des bassins (Commission européenne, 2001).

## 5.2.3 Réductions des émissions industrielles lors du recyclage de l'aluminium

Lors de la production d'aluminium secondaire, il est utilisé des sels pour faciliter le procédé, en réduisant l'oxydation et en favorisant l'élimination des impuretés. Ces sels sont récupérés en sortie de four sous forme d'un mélange contenant de 4 à 10 % d'aluminium, de 20 à 55 % de sels solubles dans l'eau et de 35 à 75 % d'oxydes métalliques et de sels insolubles. Différentes méthodes permettent de recycler ce mélange, partiellement ou totalement. L'aluminium, insoluble dans l'eau, est typiquement récupéré par tamisage. Il peut être ensuite réutilisé en interne (European Commission, 2014).

## 5.2.4 Réductions des émissions d'Alteo Gardanne

L'usine Alteo de Gardanne (13), qui produit de l'alumine et ses composés, envoie par pipe line les résidus solides provenant de la bauxite (boues rouges), dans une fosse marine profonde 2 500 mètres, à 7 km des côtes.

# ALUMINIUM

Néanmoins, Alteo Gardanne projette de réduire ses rejets en mer, en valorisant les boues rouges issues de la production d'alumine.

Ainsi, plusieurs applications de la Bauxaline® (nom commercial des résidus de boues rouges) ont été étudiées :

- en tant que récifs artificiels en mer ;
- dans le secteur des travaux publics pour les remblais de route ou comme coulis d'injection (ces coulis servent entre autres à la réhabilitation de sites miniers et de carrières) ;
- en tant que substrat de culture en horticulture, dont l'innocuité reste à valider.

# ALUMINIUM

## 6 CONCLUSIONS

L'aluminium est un métal. Présent naturellement dans la croûte terrestre, il est extrait majoritairement de la bauxite. En France, il n'y a pas de gisements exploités.

La production mondiale d'aluminium augmente chaque année pour répondre à la demande industrielle. Les secteurs d'utilisations de l'aluminium sont principalement les transports, le bâtiment et les emballages. Ses composés sont utilisés dans les cosmétiques, la potabilisation de l'eau et les retardateurs de flamme.

Les émissions françaises industrielles d'aluminium représentent, en 2012, 13 998 tonnes/an, dont 93 % déversées directement vers les eaux, d'après l'IREP.

Les rejets d'aluminium ont fortement augmentés ces dernières années en raison de l'importante utilisation de l'aluminium en tant que substituant d'autres métaux présentant un fort impact environnemental, tels que le plomb, le cadmium, le cuivre ou le chrome. Ainsi l'aluminium est utilisé dans l'industrie et il existe actuellement assez peu des possibilités de le substituer.

Dans le secteur des transports, des alternatives à l'aluminium se développent avec des polymères, notamment dans l'automobile.

Il existe des alternatives aux usages de l'aluminium dans le secteur des emballages alimentaires, ou au moins permettant de réduire les quantités d'aluminium en jeu.

Dans le secteur de l'énergie, des métaux autres que l'aluminium peuvent être utilisés et des polymères développés pour le substituer.

Les composés de l'aluminium employés dans les retardateurs de flamme et les cosmétiques peuvent être substitués, mais les caractéristiques des substituts potentiels sont à étudier, notamment leur toxicité et leur écotoxicité.

En ce qui concerne les émissions d'aluminium vers l'environnement, il existe des solutions permettant de les réduire, notamment au niveau des effluents de stations d'épuration urbaines, des émissions industrielles lors du traitement des minerais et lors du recyclage de l'aluminium.

Dans le cas d'Alteo Gardanne, qui représente plus 90 % des émissions d'aluminium vers les eaux, des projets de valorisation des boues rouges, issues du traitement de la bauxite, existent et sont en cours d'évaluation.

# ALUMINIUM

## 7 REFERENCES

### 7.1 Sites Internet consultés

Alibaba <http://www.alibaba.com/>

ARIA <http://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/>

CNUCED : Information de marché dans le secteur des produits de base  
<http://www.unctad.info/fr/Infocomm/Metaux-Mineraux/>

Commission européenne  
<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:51999DC0706&from=FR>

Cosmetic info  
<http://www.cosmeticsinfo.org/ingredient>

ECHA : European Chemicals Agency  
<http://echa.europa.eu/>

EPRUI Nanoparticles & Microperhes  
<http://www.nanoparticles-microspheres.com/Products/Aluminum-Oxide-alpha.html>

Feralco <http://www.feralco.com/FR/FR/page501-polychlorure-d-aluminium.php>

INRS : Institut National de Recherche et de Sécurité  
[http://www.inrs.fr/INRS-PUB/inrs01.nsf/inrs01\\_dossier\\_view\\_view/D527e367530BBBFFC1256CE6003D53C9/\\$FILE/visu.html?OpenElement](http://www.inrs.fr/INRS-PUB/inrs01.nsf/inrs01_dossier_view_view/D527e367530BBBFFC1256CE6003D53C9/$FILE/visu.html?OpenElement)

IREP : Registre français des émissions polluantes  
<http://www.pollutionsindustrielles.ecologie.gouv.fr/IREP/index.php>

NanoSafePack <http://www.nanosafepack.eu/>

OSPAR [http://www.ospar.org/content/content.asp?menu=30950304450153\\_000000\\_000000](http://www.ospar.org/content/content.asp?menu=30950304450153_000000_000000)

Pharmashopi <http://www.pharmashopi.com/corps-et-hygiene-xsl-25356.html>

SFC : Société Française de Chimie  
<http://www.societechimiquedefrance.fr/extras/Donnees/acc.htm>

Vidal <http://www.vidal.fr/>



# ALUMINIUM

## 7.2 Bibliographie

AFSSAPS (2011). Evaluation du risque lié à l'utilisation de l'aluminium dans les produits cosmétiques. A partir de [http://ansm.sante.fr/var/ansm\\_site/storage/original/application/ad548a50ee74cc320c788ce8d11ba373.pdf](http://ansm.sante.fr/var/ansm_site/storage/original/application/ad548a50ee74cc320c788ce8d11ba373.pdf).

ANSES (2013). "Bilan 2013 de déclarations des substances importées, fabriquées ou distribuées en France en 2012" à partir de [http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Rapport\\_public\\_format\\_final\\_20131125.pdf](http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Rapport_public_format_final_20131125.pdf).

BASF (non daté). Ultrason® E for automotive engineering à partir de [http://www.battery-solutions.basf.com/files/pdf/Brochure\\_Ultrason\\_Automotive.pdf](http://www.battery-solutions.basf.com/files/pdf/Brochure_Ultrason_Automotive.pdf).

Choubert J.-M., Martin-Ruel S., Budzinski H., Miège C., Esperanza M., Soulier C., Lagarrigue C., Coquery M. (2011). Evaluer les rendements des stations d'épuration - Apports méthodologiques et résultats pour les micropolluants en filières conventionnelles et avancées. Techniques Sciences et Méthodes, 1/2 : 25-43.

Chow J.C., Watson J.G., Fujita E.M., Lu S., Lawson D.R. (1994). Temporal and spatial variations of PM2.5 and PM10 aerosol in the southern California air quality study. Atmospheric Environment 28, 2016-2080.

Chow J.C., Watson J.G., Lu Z., Lowenthal D.H., Frazier C.A., Solomon P.A., Thuillier R.H., Magliano K. (1996). Descriptive analysis of PM2.5 and PM10 at regionally representative locations during SJVAQS/AUSPEX. Atmospheric Environment 30, 2079-2112.

Commissions Européenne (2001). "BREF- Systèmes de refroidissement industriels" : Document de référence sur les meilleures techniques disponibles.

Commission européenne (2001). Document de référence sur les meilleurs techniques disponibles. Industrie des métaux non ferreux.

Coquery M., Pomiès M., Martin-Ruel S., Budzinski H., Miège C., Esperanza M., Soulier C., Choubert J.-M. (2011). Mesurer les micropolluants dans les eaux brutes et traitées - Protocoles et résultats pour l'analyse des concentrations et des flux. Techniques Sciences et Méthodes, 1/2 : 25-43.

Delomel J.-C. (2003). Conducteurs métalliques - Guide d'utilisation - Données économiques. Techniques de l'Ingénieur, référence D2611.

François D. (2012). L'utilisation de l'aluminium dans le traitement des eaux : Point réglementaire - Données régionales. Colloque organisé par le Groupement de Recherche Eau Sol Environnement.

Environnement Canada (2010). Liste des Substances d'intérêt prioritaire, Rapport d'évaluation, Chlorure d'aluminium, Nitrate d'aluminium, Sulfate d'aluminium.

European Commission (2014). Best Available Techniques Reference Document for the Non-Ferrous Metals Industries - Final Draft.

# ALUMINIUM

European Commission (2013). Best Available Techniques Reference Document for the Tanning of Hides and Skins.

European Commission (2008). Aluminium Fluoride Risk Assessment.

Frayssinet P. (2014). Adjuvants minéraux de vaccination en oncologie. Techniques de l'Ingénieur, référence N4965.

Ghassemieh E. (2011). Materials in Automotive Application, State of the Art and Prospects, New Trends and Developments in Automotive Industry, Prof. Marcello Chiaberge (Ed.), ISBN: 978-953-307-999-8, InTech, Available from: <http://www.intechopen.com/books/new-trends-and-developments-in-automotiveindustry/materials-in-automotive-application-state-of-the-art-and-prospects>.

Helmboldt O., Hudson L.K., Stark H., Danner M. (1986). Aluminium Compounds, Inorganic, Ullmann's Encyclopedia of industrial Chemistry, Fifth Edition.

Helmer C. (2012). Utilisation de l'aluminium en eau potable. Substitution des sels d'aluminium par des sels de fer en potabilisation : retours d'expérience. Colloque organisé par le Groupement de Recherche Eau Sol Environnement.

Ho K.F., Lee S.C., Chan C.K., Yu J.C., Chow J.C., Yao X.H. (2003). Characterization of chemical species in PM2.5 and PM10 aerosols in Hong Kong. Atmospheric Environment 37, 31-39.

INERIS (2012). Données technico-économiques sur les substances chimiques en France : Bisphénol A, INERIS -DRC-10-102861-01251A.

INRS (2012). "Valeurs limites d'exposition professionnelle aux agents chimiques en France" à partir de <http://www.inrs.fr/accueil/produits/mediatheque/doc/publications.html?refINRS=ED%20984>.

Kim K-H., Lee J-H., Jang M-S. (2002). Metals in airborne particulate matter from the first and second industrial complex area of Taejon city, Korea. Environmental Pollution 118, 41-51.

Kuo S-C., Hsieh L-Y., Tsaic C-H., Tsai Y (2007) Characterization of PM2.5 fugitive metal in the workplaces and the surrounding environment of a secondary aluminum smelter. *Atmospheric Environment, Volume 41, Issue 32, October 2007, Pages 6884-6900.*

Morgan A.B., Wilkie C.A. (2014). Non-Halogenated Flame Retardant Handbook, ISBN 978-1-118-68624-9.

OEA (non daté). Aluminium Recycling in Europe à partir de <http://recycling.world-aluminium.org/uploads/media/fl0000217.pdf>.

Singh M., Jaques P.A., Sioutas C. (2002). Size distribution and diurnal characteristics of particle-bound metals in source and receptor sites of the Los Angeles Basin. Atmospheric Environment 36, 1675-1689.

Subsport (2013). Subsport Specific Substances Alternatives Assessment - Chloroalkanes.

# ALUMINIUM

Techniques de l'ingénieur (1995). Récupération, recyclage et valorisation des déchets de métaux autres que le fer : Cuivre, m 2452: 4.

Var F., Narita Y., Tanaka S. (2000). The concentration, trend and seasonal variation of metals in the atmosphere in 16 Japanese cities shown by the results of National Air Surveillance Network (NASN) from 1974 to 1996. Atmospheric Environment 34, 2755-2770.

Vasiloff G.N. (1991). Phytotoxicology Section investigation in the vicinity of Welland Chemical, Sarnia on August 23, 1989. Toronto (ON) : Ministère de l'Environnement de l'Ontario, Rapport PIBS 1434.

Veolia eau (2012). Passage coagulant FeCl<sub>3</sub> -> sel aluminium Protocole de basculement. Journée du 9 février 2012 - Université de Limoges.

Vignes J.-L. (2013). Données industrielles, économiques, géographiques sur les principaux produits chimiques, métaux et matériaux ; Aluminium, Alumines, Société chimique de France, 9ème édition, 2013-2014.

Volsky U. (2012). Prepare Russia to meet IPCC 2050, based on dynamic MFA approach for greenhouse gas emissions. NTNU Trondheim.

Wróbel A., Rokita E., Maenhaut W. (2000). Transport of traffic-related aerosols in urban areas. Science of the Total Environment 257, 199-211.