

ALUMINIUM

Dr Lynda BENSEFA-COLAS

Service de pathologies professionnelles
et environnementales

HUPC HOTEL DIEU

Lynda.bensefa@aphp.fr

Sources

- 8 % de la croûte terrestre
3ème constituant de la croûte terrestre
- silicates, fluorosilicates
- Minerai rouge : bauxite = 55 % Al_2O_3



Source : wikipedia

Utilisations

- L'aluminium dans les objets métalliques :

Construction, industrie automobile et aéronautique, ustensiles de cuisine, décoration, emballages, films alimentaires, matériels dentaires, matériels électriques

- Revêtements anticorrosion – Peintures

- Tannages ; mordantage des textiles ; encollage du papier

En solution : sulfates d'Al [$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$] se décompose en hydroxyde d'Al → se fixe à la fibre et forme le liant avec le colorant

Utilisations

- Mortiers, ciments
- Traitement de l'eau (sulfates d'Al, silicates d'al Al_2SiO_5 aux propriétés absorbantes importantes)
- Verrerie, Céramique (borates, silicates)
- Médicaments :
 - dérivés de l'aluminium (hydroxyde d'Al $[Al(OH)_3]$, phosphate d'alumine colloïdal) = préparations anti-acides ou anti-diarrhéiques
 - hydroxyde d'Al comme adjuvants dans les vaccins...
- Antiperspirants
- Catalyseurs
- Polissage (émeri (oxyde d'Al)), Abrasifs (alumine cristalline),
- Explosifs

Expositions professionnelles

Les travailleurs les plus exposés = raffinage électrolytique, soudage, découpe et usinage du métal :

- Soudage Al : 0,2 - 37,2 mg/m³
- Production poudre Al : 5 - 21 mg/m³
- Affinage électrolytique : 0,2 - 4,9 mg/m³
- Fonderies : < 1 mg/m³

VME fumées soudage Al : 5 mg/m³

VME poussières métal et sels : 5 mg/m³

VME poussières d'oxydes : 10 mg/m³

VME poussières sels solubles : 2 mg/m³

Expositions dans l'environnement

- **Eau de boisson**

- valeur limite : 200 $\mu\text{g/L}$ (eau chaude : 500 $\mu\text{g/L}$)
fixée en raison du risque de coloration
- concentrations variables : $< 10 \mu\text{g/L} - > 10.000 \mu\text{g/L}$)
- forme variable
- source d'apport mineure : ($< 5 \%$), dans la plupart des cas

Expositions dans l'environnement

- **Végétaux**

- Certaines plantes accumulent Al
- Concentrations inférieures à 6 mg/kg dans les légumes
 - Sauf concombre et laitue
 - Teneurs élevées dans herbes aromatiques (> 20 mg/kg)
 - Thé, cacao : 10 - 100 mg/kg
 - Epices : 5 - 500 mg/kg
 - Pain - gâteaux : 1 - 30 mg/kg (additifs)

Expositions dans l'environnement

- **Animaux**

- Viandes : 1 - 10 mg/kg

- Poissons : < 5 mg/kg

- Lait et produits laitiers : généralement < 5 mg/kg

Expositions dans l'environnement

- **Migration à partir des emballages**

- Dépend de
 - qualité de l'Al
 - existence d'un revêtement (vernis, film plastique)
 - durée du contact
 - pH :
 - . > 8 migration faible
 - . 4 - 8 pas de migration
 - . 2 - 4 migration notable
 - . < 2 migration +++
- Apport Al par les emballages :
 - . **4 - 13 mg/j**

Expositions dans l'environnement

- **Alimentation**

- concentration variable selon
 - . aliments
 - . additifs
 - . mode de stockage (emballages)
 - . mode de préparation
- apports par les denrées alimentaires :
 - 1 - 20 mg/j
 - généralement 5 - 12 mg/j

Expositions dans l'environnement

- **Apports quotidiens**
 - aliments + boissons + emballages
 - 11 - 33 mg/j
 - soit 19 - 55 % DJT (60 mg/j)
- **Médicaments (hydroxyde, phosphate)**
 - plusieurs centaines de mg/j (500 à 5000)
- **Antiperspirants**

Toxicocinétique

- **Absorption digestive**
 - . Principale voie d'entrée environnementale
 - . Absorption faible (généralement < 1 %)
 - . **Augmentée par acide citrique et agrumes**

Toxicocinétique

- **Absorption respiratoire**
 - Principale voie de pénétration en milieu professionnel
 - Seulement pour fumées et aérosols micro particulaires
 - Rétention pulmonaire des composés insolubles
 - Pas quantifiée
- **Absorption percutanée**
 - Très faible, chez l'homme

Toxicocinétique

- **Diffusion**

- . 70 - 90 % liés aux protéines (transferrine)
- . stockage dans l'os

- **Excrétion**

- . Principalement rénale
- . Elimination urinaire triphasique à l'arrêt de l'exposition (lié à la rétention dans P et Os)
 - $t_{1/2 \alpha} = 8$ heures
 - $t_{1/2 \beta} =$ quelques semaines
 - $t_{1/2 \gamma} > 1$ an

Toxicité aiguë

- **Dérivés inorganiques :**
 - très faible
 - sels halogénés solubles (chlorure, fluorure) : irritants
- **Dérivés organiques :**
 - irritants
 - dérivés alkylés : inflammables et explosibles

Toxicité aiguë

- Quelques cas d'encéphalopathie :
 - . Al métal au contact avec LCR
 - . Alun utilisé pour lavage de vessie (traitements de cystites hémorragiques)

Toxicité aiguë

- Encéphalopathie des dialysés

Al apporté par dialysats ou gels de phosphate d'aluminium
Excrétion rénale faible ou nulle du métal

- Troubles du langage (dysarthrie, mutisme)
- Troubles de l'équilibre et de la coordination
- Détérioration intellectuelle
- Troubles de l'humeur et de la personnalité
- Hallucinations
- Troubles de conscience, myoclonies, convulsions

Toxicité aiguë

- Encéphalopathie des dialysés
 - **Corrélation avec Al s et symptômes**
 - $N < 15 \mu\text{g/L}$
 - Altération des fonctions supérieures : $\geq 60 \mu\text{g/L}$
 - Signes d'encéphalopathie : $\geq 100 \mu\text{g/L}$
 - Encéphalopathie sévère : $\geq 200 \mu\text{g/L}$
 - **Test à la déféroxamine (DFO=chélateur)**
 - 5 mg/kg dans 100 mL G5 en 30 min, en fin de dialyse
 - $\uparrow \text{Al s} \geq 150 \mu\text{g/L}$ 24 à 48 h plus tard
 - Manifestations associées
 - Syndrome ostéodystrophique (ostéomalacie)
 - Anémie hypochrome et microcytaire

Toxicité Chronique Aluminium et maladie d'Alzheimer

- . Concentration cérébrale élevée d'Al dans maladie Alzheimer
 - inconstamment retrouvée
 - ne démontre pas une relation de cause à effet
- . Enquêtes environnementales
 - corrélation [Al] eau de boisson X altération des fonctions supérieures
 - pas de prise en compte des variables associées
 - eau : source minoritaire de l'Al alimentaire

Maladie d'Alzheimer chez travailleurs exposés

- **Salib et Hillier (1996)**

- . 198 cas maladie Alzheimer
- . 164 témoins avec autre démence
- . 176 témoins sans démence
- . Expo AI : OR = 0,98 (IC 95 % : 0,53-1,75)

- **Gracer et al (1998)**

- . 89 cas/89 témoins appariés sur âge et sexe
- . Expo AI : OR = 1,46 (IC 95 % : 0,62 - 3,42)

Trouble mentaux organiques chez travailleurs exposés

- Méta-analyse : 16 études épidémiologiques
 - . 6 études transversales chez soudeurs
 - . 4 études transversales dans usines affinage
 - . 1 étude cohorte historique dans usine affinage
 - . 1 étude cohorte historique chez mineurs (prévention silicose)
 - . 1 étude de cohorte prospective chez soudeurs
 - . 1 étude transversale production poudre Al
 - . 1 étude transversale recyclage Al
 - . 1 étude transversale fonderie Al

Trouble mentaux organiques chez travailleurs exposés

- **Etudes épidémiologiques**

- . examen neurologique clinique
- . questionnaire
- . tests psychométriques
- . ± EEG numérisé
- . ± potentiels évoqués

⇒ ↑ RR dans 12/16 études

- anomalies les plus fréquentes :
motricité, mémoire, organisation visuospatiale
- pas d'étude de l'évolution

Autres effets chroniques

- **Potroom asthma**

- Dans ateliers d'extraction électrolytique exposés aux fluorés,
- Toux spasmodique et dyspnée asthmatiforme
- Hyperréactivité bronchique, puis syndrome obstructif
- Asthme induit par les irritants (HF, F⁻, SO₂)

- **Broncho-pneumopathies chroniques obstructives**

Autres effets chroniques

● **Aluminose pulmonaire**

- Fibrose pulmonaire
- Après exposition massive à des poussières ou des fumées (industries de poudres d'Al , soudeurs)
- Pathologie rare
- Expression clinique pauvre et aspécifique
- Opacités réticulaires ou réticulonodulaires
- EFR : syndrome restrictif ou mixte
- LBA : hypercellularité, hyperlymphocytose, ↑ macrophages, particule Al (++++)
- Pathogénie inconnue

Autres effets chroniques

- **Protéinose alvéolaire**

- Rare
- Accumulation de surfactant dans les alvéoles
- Serait due à empoussièrément massif
- Images radiographiques en ailes de papillon
- Syndrome restrictif et ↓ DLCO

Autres effets chroniques

- **Pathologies cutanées**

- Dermites d'irritation (sels solubles)
- Eczéma de contact
- Télangiectasies face, cou, tronc
 - . atelier d'extraction électrolytique
 - . goudrons, facteur causal ?

Autres effets chroniques

- **Cancérogène CIRC 1**

- **Cancer bronchopulmonaire, laryngé**
- **Tumeurs des voies urinaires**

- liées à l'exposition aux anodes précuites contenant du braie de houille

- lors de l'extraction électrolytique de l'Al par le procédé Söderberg abandonné depuis le début des années 80

= pollution HAP +++

Liées aux HAP libérés par les électrodes des bains

Autres effets chroniques

- **Myofasciite à macrophages (1)**
 - Arthralgies, myalgies
 - Asthénie
 - Biopsie deltoïde :
 - infiltrations macrophagiques
 - inclusions intracytoplasmiques
 - inclusions = hydroxyde d'aluminium

Autres effets chroniques

- **Myofasciite à macrophages (2)**
 - 700 cas français selon Gherardi et Austier (2012), mais pas de cas hors de France
 - Inclusions macrophagiques probablement d'origine vaccinale
 - Mais quid de la relation Al/maladie ?
 - . biopsie chez sujets sains vaccinés ?
 - . biopsie chez sujets sains non vaccinés ?
- **Avis du HCSP en juillet 2013 : les données scientifique ne remettent pas en cause l'utilisation des adjuvants à base d'Al dans les vaccins**

Prévention

- **Prévention médicale (1)**

- Eviter l'exposition répétée des individus porteurs de maladies neurologiques, psychiatriques ou respiratoires chroniques

- Si une exposition répétée est envisagée : RP et EFR de référence

- Protections respiratoires en cas d'exposition aux vapeurs, aux fumées ou aux poussières

Prévention

- **Prévention médicale (2)**

Surveillance médicale

- Rechercher des troubles mentaux organiques débutants

- Rechercher des troubles respiratoires

Surveillance

- **Biométrie**

- **Aluminium sérique**

- population générale : généralement $< 5 \mu\text{g/L}$
(parfois jusqu'à $17 \mu\text{g/L}$)
- travailleurs exposés : $< 20 \mu\text{g/L}$
- indicateur de choix pour dialysés :
 - . neurotoxicité : $> 60 \mu\text{g/L}$
 - . signes fréquents : $> 100 \mu\text{g/L}$
 - . signes constants et graves : $> 200 \mu\text{g/L}$
- Eviction immédiate si $> 60 \mu\text{g/L}$

Surveillance

- **Biométrie**

- **Repose sur l' aluminium urinaire**

- population générale : $< 20 \mu\text{g/L}$
- soudeurs Al : 6 - 745 $\mu\text{g/L}$ (généralement : 50 - 100 $\mu\text{g/L}$)
- affinage électrolytique : 12 - 135 $\mu\text{g/L}$

(généralement : 50 - 100 $\mu\text{g/L}$)

Surveillance

- **Aluminium urinaire**
 - **Alu fin de poste** : indicateur de l'exposition récente bien corrélée aux concentrations atmosphériques
 - **Alu après quelques jours d'arrêt** : indicateur de la charge corporelle
 - BAT = 200 $\mu\text{g/L}$ fin de poste (\approx expo 6 mg/m^3 poudre Al)
 - VL Finlande : 162 $\mu\text{g/L}$ (6 $\mu\text{mol/L}$) (densité urinaire = 1,024)

Surveillance

- Valeur limite dans l'eau de boisson :
 - 200 µg/L (coloration)
 - 500 µg/L (eau chaude)
- Valeur limite liquides dialyse : 30 µg/L
- Apports alimentaires : 5 - 20 mg/j

Substance chimique	N° CAS	N° EINECS	Synonymes	Forme physique (*)
aluminium Al	7429-90-5	231-072-3	aluminum	solide
bromure d'aluminium Al Br ₃	7727-15-3	231-779-7	aluminum bromide aluminum tribromide	solide cristallisé
chlorhydrate d'aluminium Al ₂ Cl (OH) ₅	1327-41-9	215-477-2	aluminum chlorohydrate aluminum chlorohydroxide aluminum chloride hydroxide basic aluminum chloride aluminum hydroxichloride	solide cristallisé
chlorure d'aluminium Al Cl ₃	7446-70-0	231-208-1	aluminum chloride aluminum trichloride trichloroaluminum	solide cristallisé
hydroxyde d'aluminium Al (OH) ₃	21645-51-2	244-492-7	alumine hydratée hydrate d'aluminium aluminum hydroxide aluminum oxide, hydrate aluminum oxide, trihydrate aluminum trihydrate	solide cristallisé ou poudre amorphe
lactate d'aluminium Al (C ₃ H ₅ O ₃) ₃	18917-91-4	242-670-9	trilactate d'aluminium aluminum tris (alpha- hydroxypropionate) propanoïc acide	poudre
nitrate d'aluminium Al (NO ₃) ₃	13473-90-0	236-751-8	Aluminum nitrate	solide cristallisé
oxyde d'aluminium Al ₂ O ₃	1344-28-1	215-691-6	alumine corindon trioxyde d'aluminium aluminum oxide aluminum trioxide	poudre cristalline

Substance chimique	N° CAS	N° EINECS	Synonymes	Forme physique (*)
phosphure d'aluminium Al P	20859-73-8	244-088-0	aluminum phosphide aluminum monophosphide	solide cristallisé
sulfate d'aluminium Al ₂ (SO ₄) ₃	10043-01-3	233-135-0	aluminum sulfate aluminum trisulfate	solide cristallisé ou en poudre, ou en granules
sulfate de potassium et d'aluminium K Al (SO ₄) ₂	10043-67-1	233-141-3	bis (sulfate d'aluminium et de potassium) alun de potassium sulfate double de potassium et d'aluminium aluminum potassium sulfate	solide cristallisé
sulfate de sodium et d'aluminium Na Al (SO ₄) ₂	10102-71-3	233-277-3	bis (sulfate d'aluminium et de sodium) alun de sodium sulfate double de sodium et d'aluminium aluminum sodium sulfate	solide cristallisé ou en poudre, ou en granules

(*) dans les conditions ambiantes habituelles