

# PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

Dernière mise à jour : 18/12/2015

## RESPONSABLE DU PROGRAMME

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

## EXPERTS AYANT PARTICIPÉ A LA REDACTION

C. CANTUARIAS-VILLESSUZANNE : [carmen.cantuarias@ineris.fr](mailto:carmen.cantuarias@ineris.fr)

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

Veillez citer ce document de la manière suivante :

INERIS, 2015. Données technico-économiques sur les substances chimiques en France : Plomb, INERIS -DRC-15-136881-10941A, 92 p. (<http://rsde.ineris.fr/> ou <http://www.ineris.fr/substances/fr/>)

# PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

## SOMMAIRE

1	Généralités .....	6
1.1	Définition et caractéristiques principales .....	6
1.2	Réglementation .....	10
2	Production et utilisation.....	21
2.1	Production.....	21
2.2	Utilisations .....	22
2.3	Production accidentelle ou non-intentionnelle .....	34
2.4	Sources naturelles.....	35
2.5	Usages historiques .....	35
3	Rejets dans l'environnement .....	36
3.1	Principales sources de rejet .....	36
3.2	Rejets industriels.....	40
3.3	Rejets liés à l'utilisation des produits .....	50
3.4	Rejets liés aux déchets.....	53
4	Présence dans l'environnement .....	55
5	Possibilités de réduction des rejets.....	56
5.1	Produits et Technologies de substitution .....	56
5.2	Réduction des émissions industrielles.....	67
5.3	Utilisation et collecte des batteries usagées.....	74
5.4	Régénération de batteries .....	75
6	Aspects économiques .....	76
6.1	Le plomb dans l'économie française .....	76
6.2	Sites produisant, recyclant ou utilisant du plomb en France .....	78
7	Conclusion .....	83
8	Références.....	83

# PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

8.1	Entreprises, organismes et experts interrogés.....	83
8.2	Sites Internet .....	84
8.3	Bibliographie .....	85

# PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

## RESUME

Le plomb et ses composés sont concernés par la réglementation européenne, notamment la réglementation REACH. En France, plusieurs décrets limitent son utilisation en raison de ses impacts sanitaires (saturnisme principalement). Les usages restreints sont multiples, dans les peintures, les canalisations, les équipements électriques, les véhicules, les munitions, les jouets, les contenants alimentaires, de l'emballage, certains articles destinés aux consommateurs.

Depuis que les carburants automobiles ne contiennent plus de plomb, les principales sources de rejet de plomb dans l'environnement sont liées à l'industrie : industrie des métaux, batteries au plomb, verreries, traitement des déchets.

La production à partir de minerai baisse à cause de l'efficacité de la récupération de plomb dans les déchets et notamment dans les batteries ; cependant l'utilisation de plomb est toujours en croissance dans les batteries, les produits laminés et extrudés, les verres et les pigments.

Les batteries automobiles représentent le principal usage du plomb. Les autres usages sont généralement fortement réglementés et en déclin (substitution) mais le plomb ne semble pas avoir de substituts viables à court terme pour les batteries automobiles. Toutefois si ces batteries sont produites de façon propre et si elles sont recyclées, il semble possible d'avoir des rejets faibles pour cette activité

Dans l'industrie du verre, les techniques de recyclage doivent être perfectionnées pour réduire la présence de plomb dans le calcin. Dans l'industrie des métaux, il est sans doute nécessaire d'être particulièrement attentifs aux rejets diffus.

Les émissions de plomb ont été très significativement réduites durant ces dernières années et devraient continuer à diminuer. Il semble cependant impossible d'obtenir des rejets proches de zéro. En premier lieu, les sources majoritaires sont des émissions diffuses (eaux de ruissellement). D'autre part la diversité des sources ponctuelles d'émission et la difficulté de la substitution du plomb pour les batteries automobiles rendent très difficile de fortes réductions des rejets à court terme. Les réductions sont peut-être plus à attendre, à long terme, du remplacement des véhicules à combustion interne par des véhicules électriques, qui font peu appel au plomb pour leurs batteries.

# PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

## ABSTRACT

Lead and its compounds are covered by the European regulations, including REACH. In France, several decrees limit its use because of its health impacts (lead poisoning). The restricted uses are many, in paints, electrical equipment, vehicles, pipes, ammunition, toys, food containers, packaging, certain items for consumers.

Since motor fuels contain no more lead, the main sources of releases to the environment are related to the industry: metal industry, lead batteries, glass, wastes treatment.

Production from ore is declining due to the efficiency of the recovery of lead in the waste and in particular in batteries. However, the use of lead is still growing in batteries, rolled and extruded products, glasses and pigments.

Automotive batteries represent now the main use of lead. Other uses are generally highly regulated and declining (substitution) but lead does not appear to have viable alternatives in the short term for automotive batteries. However, if these batteries are produced cleanly and if they are more recycled, it seems possible to lower releases for this activity

In the glass industry, recycling techniques should be improved to reduce the presence of lead in the cullet. In the metals industry, it is probably necessary to pay particular attention to air releases.

Lead emissions have been reduced very significantly in recent years and should continue to decline. However, it seems impossible to achieve near-zero emissions. The first reason is that the majority of emissions come from diffuse sources. The second reason is the diversity of emission sources and the difficulty of substitution for lead batteries for automobiles make it very difficult strong reduction in short-term releases. The reductions may be expected in the long term from the replacement of internal combustion vehicles with electric vehicles, which make little use of lead for their batteries.

# PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

*Nota : Une bibliographie importante est disponible sur le plomb et ses principaux composés. Afin de ne pas alourdir cette fiche à l'excès, nous n'avons présenté ici que les données tirées des références les plus significatives. Ce document ne se veut donc en aucun cas exhaustif mais indicatif des aspects technico-économiques de la substance plomb.*

## 1 GENERALITES

### 1.1 Définition et caractéristiques principales

Le Plomb (Pb) est un métal ubiquitaire que l'on retrouve dans les sols, l'eau et la biosphère. C'est un élément métallique très répandu dans la croûte terrestre.

Son numéro CAS est le 7439-92-1 et son code SANDRE 1382.

Le Tableau 1 présente une liste des composés du plomb enregistrés dans le cadre du règlement REACH, en mentionnant ceux inclus dans la liste des substances extrêmement préoccupantes, et ceux dont l'usage est restreint dans l'annexe XVII de REACH.

*Tableau 1. Composés du plomb enregistrés dans REACH ou concernées par d'autres procédures REACH (Source : ECHA 2013b).*

Numéro CAS	Nom de la substance anglais	Nom de la substance français	Volume enregistré par an à l'ECHA (tonnes)	Statut dans REACH; SVHC*, Annexe XIV ou Annexe XVII
7439-92-1	lead	plomb	1,000,000 - 10,000,000	
78-00-2	tetraethyllead	tétraéthylplomb	1,000 - 10,000	
301-04-2	lead di(acetate)	di (acétate) de plomb	1 - 10	
546-67-8	lead tetraacetate	tétraacétate de plomb	10 - 100	
1314-41-6	orange lead	mine orange ou tetraoxide de plomb	10,000 - 100,000	
1317-36-8	lead monoxide	monoxyde de plomb	100,000 - 1,000,000	
7758-95-4	lead dichloride	chlorure de plomb	1 - 10	
8012-00-8	pyrochlore, antimony lead yellow	pyrochlore, jaune d'antimoine et de plomb	10 - 100	
10099-74-8	lead dinitrate	nitrate de plomb	10 - 100	

# PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

Numéro CAS	Nom de la substance anglais	Nom de la substance français	Volume enregistré par an à l'ECHA (tonnes)	Statut dans REACH; SVHC*, Annexe XIV ou Annexe XVII
11120-22-2	silicic acid, lead salt	silicate de plomb	100 - 1,000	
12036-76-9	lead oxide sulfate	plomb oxyde sulfate	100 - 1,000	
12060-00-3	lead titanium trioxide	trioxyde de plomb et de titane	10 - 100	
12065-90-6	pentalead tetraoxide sulphate	tétraoxysulfate de pentaplob	100,000 - 1,000,000	
12141-20-7	trilead dioxide phosphonate	phosphonate d'oxyde de plomb	100,000 - 1,000,000	
12202-17-4	tetrolead trioxide sulphate	sulfate de plomb tribasique	1,000,000 - 10,000,000	
12578-12-0	dioxobis(stearato)trilead	dioxobis (stéarato) triplomb	100,000 - 1,000,000	
12626-81-2	lead titanium zirconium oxide	oxyde de plomb, de titane et de zirconium	100 - 1,000	
13814-96-5	lead bis(tetrafluoroborate)	fluoborate de plomb, tétrafluoroborate de plomb	10 - 100	
20837-86-9	lead cyanamidate	cyanamidate de plomb	1 - 10	
62229-08-7	sulfurous acid, lead salt, dibasic	acide sulfureux, sel de plomb, dibasique	100 - 1,000	
68784-75-8	silicic acid (H <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ), barium salt (1:1), lead-doped	acide silicique (H <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ), sel de baryum (1 :1), dopé au plomb	10 - 100	
69011-06-9	[phthalato(2-)]dioxotrilead	[phtalato(2-)]dioxotriplomb	100 - 1,000	
91031-62-8	fatty acids, C16-18, lead salts	acides gras en C18-18, sels de plomb	10,000 - 100,000	
68411-07-4	copper lead resorcyate salicylate complex	complexe de cuivre de salicylate de plomb resorcyate	1 - 10	
51404-69-4	acetic acid, lead salt, basic	acide acétique, sel de plomb, basique	10 - 100	
93763-87-2	slags, lead-zinc smelting	scories, de la fusion de plomb-zinc	100,000 - 1,000,000	
1344-37-2	lead sulfochromate yellow	sulfochromate jaune de plomb	1,000 - 10,000	SVHC, Annexe XIV:11
12656-85-8	lead chromate molybdate sulfate red	molybdène orange, orange de molybdène, pigment rouge 104	1,000 - 10,000	SVHC, Annexe XIV:12

# PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

Numéro CAS	Nom de la substance anglais	Nom de la substance français	Volume enregistré par an à l'ECHA (tonnes)	Statut dans REACH; SVHC*, Annexe XIV ou Annexe XVII
13424-46-9	lead diazide	Azoture de plomb	10 - 100	SVHC
15245-44-0	lead 2,4,6-trinitro-m-phenylene dioxide	stypnate de plomb	10 - 100	SVHC
1319-46-6	trilead bis(carbonate) dihydroxide	dihydroxybis (carbonate) de triplomb	10 - 100	Annexe XVII:16
17570-76-2	lead(II) bis(methanesulfonate)	plomb (II) bis (methanesulfonate)	Confidentiel	SVHC
7758-97-6	lead chromate	chromate de plomb	Non enregistré	SVHC, Annexe XIV:10
15739-80-7	PbxSO4	PbxSO4	Non enregistré	Annexe XVII:17
7784-40-9	lead hydrogen arsenate	hydrogéoarsénate de plomb	Non enregistré	SVHC
6477-64-1	lead dipicrate	dipicrate plomb	Non enregistré	SVHC
3687-31-8	trilead diarsenate	arseniate de plomb	Utilisation intermédiaire seulement	SVHC
598-63-0	lead carbonate	carbonate de plomb	Utilisation intermédiaire seulement	Annexe XVII:16
7446-14-2	lead sulphate	sulfate de plomb	Utilisation intermédiaire seulement	Annexe XVII:17
1314-87-0	lead sulphide	sulfure de plomb	Utilisation intermédiaire seulement	
1314-91-6	lead telluride	tellure de plomb	Utilisation intermédiaire seulement	
12069-00-0	lead selenide	séléniure de plomb	Utilisation intermédiaire seulement	
19783-14-3	lead hydroxide	hydroxyde de plomb	Utilisation intermédiaire seulement	
51404-69-4	acetic acid, lead salt, basic	l'acide acétique, sel de plomb, basique	Utilisation intermédiaire seulement	
69011-60-5	lead alloy, base, Pb,Sn, dross	Scories d'alliage de plomb, basique, Pb, Sn	Utilisation intermédiaire seulement	
69029-45-4	lead, dross, antimony-rich	Scories de plomb, riches en antimoine	Utilisation intermédiaire seulement	
69029-46-5	lead, dross, bismuth-rich	Scories de plomb, riches en bismuth	Utilisation intermédiaire seulement	



# PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

Numéro CAS	Nom de la substance anglais	Nom de la substance français	Volume enregistré par an à l'ECHA (tonnes)	Statut dans REACH; SVHC*, Annexe XIV ou Annexe XVII
69029-51-2	lead, antimonial, dross	Scories de plomb, et antimoine	Utilisation intermédiaire seulement	
69029-52-3	lead, dross	Scories de plomb	Utilisation intermédiaire seulement	
69029-58-9	slags, lead reverbatory smelting	scories de la fusion de plomb	Utilisation intermédiaire seulement	
69029-67-0	flue dust, lead-refining	poussières de raffinage de plomb	Utilisation intermédiaire seulement	
69029-84-1	slags, lead smelting	Scories de fusion du plomb	Utilisation intermédiaire seulement	
69227-11-8	Lead, dross, copper-rich	Scories de Plomb, riches en cuivre	Utilisation intermédiaire seulement	
84195-51-7	matte, lead	Matte de plomb	Utilisation intermédiaire seulement	
84195-61-9	speiss, lead	Speiss de plomb	Utilisation intermédiaire seulement	
91053-49-5	leach residues, zinc ore, lead-contg.	résidus de lixiviation, de minerai de zinc contenant du plomb	Utilisation intermédiaire seulement	
94551-62-9	calcines, lead-zinc ore conc.	calcination du minerai concentré de plomb-zinc.	Utilisation intermédiaire seulement	
94551-99-2	wastes, lead battery reprocessing	Déchets de retraitement de batterie au plomb	Utilisation intermédiaire seulement	
94552-05-3	waste solids, lead silver anode	les déchets solides, l'anode plomb argentifère	Utilisation intermédiaire seulement	
97808-88-3	lead, bullion	plomb, lingots	Utilisation intermédiaire seulement	
98246-91-4	speiss, lead, nickel-contg.	Speiss de plomb et nickel-	Utilisation intermédiaire seulement	
102110-49-6	residues, copper-iron-lead-nickel matte, sulfuric acid-insol.	Résidus dematte de cuivre-fer-nickel-plomb,	Utilisation intermédiaire seulement	
102110-60-1	slimes and Sludges, battery scrap, antimony- and lead-rich	Boues et déchets provenant de batteries, contenant de l'antimoine et de plomb	Utilisation intermédiaire seulement	

# PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

Numéro CAS	Nom de la substance anglais	Nom de la substance français	Volume enregistré par an à l'ECHA (tonnes)	Statut dans REACH; SVHC*, Annexe XIV ou Annexe XVII
	lead bullion, Platinum Group Metals rich	lingots de plomb, Platinum Group Metals riches	Utilisation intermédiaire seulement	
	reaction product of lead chloride or lead sulphate with alkaline solution	produit de réaction de chlorure de plomb ou de sulfate de plomb avec une solution alcaline	Utilisation intermédiaire seulement	

\*SVHC : Substances extrêmement préoccupantes.

Les composés ou mélanges complexes de composés contenant du plomb répertoriés ainsi sont en très grand nombre. Un nombre significatif d'entre eux n'ont qu'un usage d'intermédiaire sur des sites industriels. Ils sont identifiés au sein de l'activité de recyclage du plomb mais n'ont pas de fonction dans des produits. Ils ne seront pas étudiés systématiquement et spécifiquement dans le cadre de cette fiche.

## 1.2 Réglementation

Les principaux textes réglementaires concernant le plomb, avec notamment le règlement REACH sont présentés dans le Tableau 2.

# PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

Tableau 2. Textes réglementaires spécifiques au plomb.

Texte réglementaire	Objet
<b>Textes communautaires</b>	
REACH Règlement 628/2015 du 22 avril 2015 (Annexe XVII)	Relatif au plomb dans les articles grand public susceptibles d'être mis en bouche par les enfants et exceptions.
REACH Règlement 836/2012 du 18 septembre 2012 (Annexe XVII)	Relatif au plomb dans les bijoux.
Directive 2006/66/CE du 6 septembre 2006 et abrogeant la directive 91/157/CEE	Relative aux piles et accumulateurs contenant certaines matières dangereuses, considérant le recyclage des batteries (valorisation et élimination).
Directive 2002/95/CE	Relative à l'usage de plomb sans les équipements électriques et électroniques.
Directive cadre sur l'eau (DCE) 2000/60/CE	Le plomb est substance prioritaire.
Directive 2000/53/CE, dernière modification Directive 2013/28/UE du 17 mai 2013	Interdiction du plomb, mercure, cadmium, chrome hexavalent dans les matériaux et les composants des véhicules mis sur le marché après le 1 <sup>er</sup> juillet 2003 ; nombreux exceptions sont signalées (annexe II art. 4.2).
Directive 98/70/CE, dernière modification Directive 2015/1513 du 9 septembre 2015	Concernant la qualité de l'essence et des carburants diesel (essence sans plomb).
Liste de l'OSPAR des produits chimiques	Cela signifie que l'objectif est d'arrêter en 2020 les émissions et les pertes de ce métal. Le plomb est également inclus dans l'annexe 2 de la stratégie OSPAR concernant les substances dangereuses.
Directive 67/548/CEE du 27 juin 1967	Relatif à la classification, l'emballage et l'étiquetage des substances dangereuses. Le plomb est répertorié comme substance dangereuse.
<b>Textes Français :</b>	
Loi n° 98-657 du 29 juillet 1998	Relative à la lutte contre les exclusions et les mesures d'urgence contre le saturnisme.
Décret 2015-849 du 10 juillet 2015	Relatif à la mise sur le marché de piles et accumulateurs et à la collecte et au traitement de leurs déchets.
Arrêté du 9 mai 2005	Interdiction de l'emploi de la grenaille de plomb dans les zones humides pour la chasse aux oiseaux d'eau.
Décret n°88-120 du 1 février 1988, abrogé par Décret n°2003-1254 du 23 décembre 2003	S'applique à la protection des travailleurs exposés au plomb métallique et à ses composées.

# PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

## 1.2.1 Articles destinés à l'usage des consommateurs

Le plomb est restreint dans plusieurs groupes de produits, y compris les peintures (à usage domestique et autres), les équipements électriques, les jouets, les contenants alimentaires, l'emballage et, plus récemment les bijoux.

La réglementation REACH (ECHA 2013b, 2013d) interdit le plomb et ses composés dans les articles qui peuvent être mis en bouche par les enfants, et qui sont disponibles pour les consommateurs ou destinés à l'usage des consommateurs. Cette réglementation vise l'article ou une partie d'un article pouvant être placés dans la bouche par les enfants et définit une valeur limite de 0,05% en poids pour les articles pouvant être mis sur le marché. Quelques exemples de ces articles sont des vêtements, chaussures, accessoires, décorations intérieures, des articles de sport et de loisirs, de la papeterie et des clés.

## 1.2.2 Batteries et accumulateurs au plomb

La décision de la Commission 2000/532/CE a classé les batteries au plomb comme déchets dangereux<sup>1</sup>.

Les batteries contenant plus de 0,4 % de plomb (en poids) sont concernées par la directive 91/157/CEE relative aux piles et accumulateurs contenant certaines matières dangereuses. Cette directive prescrit notamment aux États membres :

- de prendre des mesures appropriées pour que ces batteries usagées soient collectées séparément en vue de leur valorisation ou de leur élimination ;
- d'établir des programmes en vue de réduire leur teneur en plomb, de promouvoir la mise sur le marché de batteries contenant moins de plomb, de réduire progressivement la quantité de batteries dans les ordures ménagères, de promouvoir la recherche sur la réduction de la teneur en plomb dans les accumulateurs ainsi que sur les systèmes de recyclage, d'éliminer séparément les batteries au plomb.

La directive 93/86/CE vise, entre autres, ces mêmes batteries et impose l'apposition d'un marquage clair indiquant qu'elles contiennent du plomb. Certaines dispositions sont actualisées par la directive 98/101/CE<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> Cette décision a été transcrite en droit français par le décret n° 2002-540 du 18 avril 2002 relatif à la classification des déchets.

<sup>2</sup> Ces directives ont été transcrites en droit français par les décrets n° 97-1328, 99-374 et 99-1171. En outre, l'arrêté du 26 juin 2001 impose aux entreprises de déclarer la fabrication, l'importation, la distribution, la valorisation et l'élimination d'accumulateurs

# PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

La directive relative aux piles et accumulateurs 2006/66/CE impose comme objectifs (ADEME, 2015) :

- un taux de collecte de 45 % pour les piles portables, à atteindre d'ici à septembre 2016;
- l'élimination des piles industrielles et automobiles par mise en décharge ou incinération pour atteindre l'objectif de collecte et de recyclage de 100 %<sup>3</sup>
- des objectifs de recyclage afin qu'une proportion élevée du volume des piles soit recyclée (65 % des piles plomb-acide, 75 % des piles nickel-cadmium et 50% pour les autres technologies).

## 1.2.3 Équipements électriques et électroniques

La directive 2002/95/CE relative à la limitation de l'utilisation de certaines substances dangereuses dans les équipements électriques et électroniques prescrit aux États membres de veiller à ce que, à compter du 1<sup>er</sup> juillet 2006, les nouveaux équipements électriques et électroniques mis sur le marché ne contiennent pas de plomb.

Les directives 2008/32/CE et 2011/65/UE modifient la directive 2002/95/CE. Cette dernière signale 36 applications exemptées (Commission européenne 2011), parmi lesquelles :

- le plomb dans le verre des tubes cathodiques, des composants électroniques et des tubes fluorescents, dans les lampes à incandescence linéaires dont les tubes ont un revêtement de silicate ;
- en tant qu'élément d'alliage dans l'acier contenant jusqu'à 0,35 % de plomb en poids, dans l'aluminium contenant jusqu'à 0,4 % de plomb en poids et dans les alliages de cuivre contenant jusqu'à 4 % de plomb en poids ;
- dans les soudures à haute température de fusion, c'est-à-dire des alliages étain-plomb contenant plus de 85 % de plomb ;
- dans les soudures pour les serveurs, les systèmes de stockage et de matrices de stockage, les équipements d'infrastructure de réseaux destinés à la commutation, la signalisation, la transmission et la gestion de réseaux dans le domaine des télécommunications ;
- dans les matériaux de soudure des lampes fluorescentes plates sans mercure (destinées, par exemple, aux afficheurs à cristaux liquides et à l'éclairage décoratif ou industriel) ;
- les composants électriques et électroniques contenant du plomb dans du verre ou des matériaux céramiques autres que les céramiques diélectriques dans les condensateurs

<sup>3</sup> <http://ec.europa.eu/eurostat/fr/web/waste/key-waste-streams/batteries>

# PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

(par exemple, les dispositifs piézo-électriques) ou dans une matrice en verre ou en céramique ;

- dans les coussinets et demi-coussinets des compresseurs contenant du réfrigérant pour les applications liées au chauffage, à la ventilation, à la climatisation et à la réfrigération ;
- utilisé dans les systèmes à connecteurs à broches conformes «C-press», en tant que matériau de revêtement ;
- dans le verre blanc destiné aux applications optiques ;
- l'halogénure de plomb utilisé comme activateur de rayonnement dans les lampes à décharge à haute intensité (HID) destinées aux applications de reprographie professionnelle.

## 1.2.4 Véhicules

L'usage du plomb est également interdit dans l'industrie automobile (directive 2000/53/CE).

De nombreuses exceptions à l'interdiction dans les automobiles sont toutefois prévues (article 4.2.a), la principale étant l'usage dans les batteries. Les usages encore autorisés concernent aussi :

- Le plomb comme élément d'alliage :
  - l'acier contenant jusqu'à 0,35 % de plomb en poids ;
  - l'aluminium contenant jusqu'à 0,4 % de plomb en poids ;
  - l'aluminium (pour jantes, pièces de moteur et manettes d'ouverture de fenêtres) contenant jusqu'à 4 % de plomb en poids ;
  - les alliages de cuivre contenant jusqu'à 4 % de plomb en poids ;
  - les coussinets et pistons en plomb/bronze.
- Certains usages du plomb et de ses composés dans les composants de:
  - revêtement intérieur des réservoirs d'essence ;
  - amortisseurs ;
  - agents de vulcanisation pour circuits sous haute pression ou tuyaux pour carburant ;
  - stabilisant de peintures protectrices ;
  - soudures dans les plaquettes à circuits électroniques et autres applications.

# PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

La Commission a prévu de modifier régulièrement cette liste d'exemptions, en fonction des progrès techniques et scientifiques<sup>4</sup> et d'en supprimer certaines si l'utilisation du plomb est évitable.

La directive 2000/53/CE relative aux véhicules hors d'usage et de leurs composants veille à la réutilisation, le recyclage et la valorisation des véhicules, dans la mesure du possible.

## 1.2.5 Additifs dans l'essence

Conformément à la directive 98/70/CE concernant la qualité de l'essence et des carburants diesel, la vente d'essence plombée est interdite sur le territoire des pays de l'Union européenne depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2000. Malgré ces dispositions, les États membres peuvent continuer à autoriser la commercialisation de petites quantités d'essence plombée dont la teneur en plomb ne dépasse pas 0,15 g/L, à concurrence de 0,03 % de la quantité totale commercialisée.

## 1.2.6 Peintures au plomb

Les peintures au plomb ont été progressivement interdites en France depuis 1915. L'interdiction de mise sur le marché n'est effective que depuis le 1<sup>er</sup> février 1993 (Guillotini 2004). Le décret n° 2003-1254 du 23 décembre 2003 relatif à la prévention du risque chimique et modifiant le code du travail interdit dans tous les travaux de peinture l'emploi de la céruse (hydrocarbonate de plomb), du sulfate de plomb et de toute préparation renfermant l'une de ces substances. Le carbonate et sulfate de plomb sont interdits (sauf exceptions motivées au niveau national) dans les peintures au niveau de l'UE par l'Annexe XVII du règlement REACH. Toutefois d'autres composés du plomb sont encore autorisés et utilisés comme pigments de certaines peintures pour des usages très spécifiques (voir chapitre 2).

## 1.2.7 Eau potable

En France, l'usage du plomb pour les canalisations est interdit depuis 1995. Le code de la santé publique (article R1321-51) interdit la mise en place de canalisations en plomb ou de tout élément en plomb dans les installations de distribution d'eau destinée à la consommation humaine (décret n° 2003-462 du 21 mai 2003 relatif aux dispositions réglementaires des parties I, II et III du code de la santé publique).

<sup>4</sup> Deux amendements ont été réalisés, le 20/04/2011 et le 11/06/2013.

# PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

L'arrêté du 10 juin 1996 relatif à l'interdiction d'emploi de certaines brasures (soudures des canalisations et tuyauteries) interdit d'utiliser des matériaux de brasure contenant du plomb pour les installations fixes de production, de traitement et de distribution des eaux destinées à la consommation humaine.

Le décret n° 2001-1220 interdit la mise en place de canalisations en plomb ou de tout élément en plomb dans les installations de distribution d'eau destinée à la consommation humaine.

L'arrêté du 11 janvier 2007 établit la limite de qualité du plomb à 10 µg/L pour des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine à partir du décembre 2014, contre 25 µg/L précédemment.

## 1.2.8 Autres

Le règlement 3279/92 du Conseil interdit les capsules en plomb pour les récipients contenant du vin, à partir du 1<sup>er</sup> janvier 1993.

Il existe également des limitations à l'usage de produits de soudure contenant du plomb pour les boîtes de conserve et à celui de plomb dans les ustensiles de cuisine en céramique (OCDE, 1993).

En France, l'arrêté 9 mai 2005 interdit l'emploi de la grenaille de plomb dans les zones humides pour la chasse aux oiseaux d'eau (Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement 2001), car le plomb utilisé dans les granulés comme cartouches de fusil de chasse a été mis en cause pour des impacts sur la santé des oiseaux sauvages dans les zones humides.

## 1.2.9 Substances soumises à autorisation dans le cadre de REACH

Le Tableau 2 présenté plus haut recense notamment les composés du plomb soumis à autorisation dans REACH, donc dont l'emploi est destiné à être à terme substitué. Les usages concernés par ces substances sont encore mal connus. Toutefois, pour certaines, des dossiers d'autorisation pour des usages précis en tant que pigments ont été déposés par des industriels et sont indiquées dans le *Tableau 3*.



# PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

Tableau 3. Autorisations REACH relatives au plomb (Source : site Internet de l'ECHA).

Substance	Numéro CAS	Usage	Date	Période de révision recommandée
Chromate de plomb	7758-97-6	Utilisation industrielle dans la fabrication des munitions pour l'autoprotection navale.	11/06/2015	4 ans
Rouge de chromate, de molybdate et de sulfate de plomb (C.I. Pigment Red 104)	12656-85-8	1. Distribution et mélange de poudre de pigment dans un environnement industriel pour les peintures à base de solvants à usage des non-consommateurs.	28/11/2014	12 ans
		2. Application industrielle des peintures sur des surfaces métalliques (tels que les machines pour véhicules, des structures, des panneaux des routes, le revêtement de bobines, etc.) ou marquage routier.	28/11/2014	12 ans
		3. Application professionnelles des peintures sur des surfaces métalliques (tels que les machines pour véhicules, des structures, des panneaux des routes, le revêtement de bobines, etc.) ou marquage routier.	28/11/2014	7 ans
		4. Distribution et mélange de poudre de pigment dans un environnement industriel en pré-mélange liquide ou solide pour la couleur de plastiques / articles plastifiés pour utilisation des non-consommateurs.	28/11/2014	12 ans
		5. Utilisation industrielle de pré-mélanges de couleurs solides ou liquides et pré-composés contenant des pigments couleur pour le plastique ou des articles plastifiés pour une utilisation des non-consommateurs.	11/12/2014	12 ans

# PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

Substance	Numéro CAS	Usage	Date	Période de révision recommandée
Sulfochromate de plomb jaune (C.I. Pigment Yellow 34)	1344-37-2	6. Utilisation professionnelle de pré-mélanges de couleurs solides ou liquides et pré-composés contenant pigment dans le marquage routier par thermofusible	28/11/2014	7 ans
		1. Distribution et mélange de poudre de pigment dans un environnement industriel des peintures à base de solvants à usage des non-consommateurs.	28/11/2014	12 ans
		2. Application industrielle des peintures sur des surfaces métalliques (tels que les machine pour véhicules, des structures, des panneaux des routes, le revêtement de bobines, etc.)	28/11/2014	12 ans
		3. Application professionnelle de peintures sur des surfaces métalliques (tels que les machine pour véhicules, des structures, des panneaux des routes, le revêtement de bobines, etc.) ou le marquage routier.	28/11/2014	7 ans
		Distribution et mélange de poudre de pigment dans un environnement industriel et pré-mélange liquide ou solide pour la couleur de plastiques / articles plastifiés pour utilisation des non-consommateurs.	28/11/2014	12 ans
		4. Utilisation industrielle de pré-mélanges de couleurs solides ou liquides et pré-composés contenant des pigments couleur pour le plastique ou des articles plastifiés pour une utilisation des non-consommateurs.	28/11/2014	12 ans
		5. Utilisation professionnelle de pré-mélanges de couleurs solides ou liquides et pré-composés contenant pigment dans le marquage routier par thermofusible	28/11/2014	7 ans

# PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

## 1.2.10 Présence dans les milieux

La directive 1999/30/CE fixe la valeur limite de concentration de plomb dans l'air ambiant à  $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Le décret n° 2001-1220 du 20 décembre 2001 relatif aux eaux destinées à la consommation humaine a fixé des limites de concentration en plomb dans les eaux destinées à la consommation humaine :

- $25 \mu\text{g}/\text{L}$  du 25 décembre 2003 au 25 décembre 2013 ;
- $10 \mu\text{g}/\text{L}$  à partir du 25 décembre 2013.
- 

## 1.2.11 Seuils de déclaration de rejets industriels

L'arrêté du 26 décembre 2012 relatif au registre et à la déclaration annuelle des émissions polluantes et des déchets établit les seuils suivants pour le plomb et composés par établissement.

Tableau 4. Seuil de rejets dans l'environnement du plomb et composés (exprimés en tant que Pb) en France (Source : Ministère de l'écologie du développement durable et de l'énergie 2012).

Dans l'air (kg/an)	Dans l'eau kg/an	Dans l'eau g/jour
200 (*)	20	20

(\*) Pour les installations d'incinération de déchets non dangereux et les installations d'incinération de déchets dangereux, ce seuil est fixé à 0

## 1.2.12 Valeurs limites d'émission

La réglementation française des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) inclut pour de nombreux secteurs d'activité des valeurs limites d'émission pour le plomb dans les rejets industriels.

# PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

## 1.2.12.1 Cas général, métallurgie

L'arrêté du 2 février 1998, dit 'arrêté intégré', qui concerne notamment la métallurgie, prévoit des valeurs limites d'émission pour le plomb. La valeur limite de concentration dans les rejets atmosphériques est de 1 mg/m<sup>3</sup> si le flux horaire total de plomb et de ses composés dépasse 10 g/h (arrêté du 15 février 2000, article 1<sup>er</sup>). Pour les rejets dans l'eau la valeur limite est de 0,5 mg/L si le rejet dépasse 5 g/j.

## 1.2.12.2 Verreries

L'arrêté du 12 mars 2003 relatif à l'industrie du verre et de la fibre minérale fixe des valeurs limites d'émission pour le plomb. Pour les rejets atmosphériques, si le flux horaire total de plomb et de ses composés dépasse 5 g/h, la valeur limite de concentration de rejet de plomb est de 3 mg/Nm<sup>3</sup> pour la fabrication des verres de télévision (cônes et écrans) et de 1 mg/Nm<sup>3</sup> dans les autres cas. Pour les rejets aqueux, la valeur limite de concentration en plomb est de 0,5 mg/L (ou 1 mg/L pour les installations dont l'arrêté d'autorisation est antérieur à la publication de l'arrêté du 12 mars 2003).

## 1.2.12.3 Incinération des déchets

L'arrêté du 20 septembre 2002 relatif à l'incinération des déchets, dangereux et non dangereux, fixe à 0,2 mg/L la valeur limite d'émission de plomb dans les rejets aqueux.

Pour les rejets atmosphériques, il prescrit une valeur limite d'émission de 0,5 mg/Nm<sup>3</sup> pour une dizaine de métaux, dont le plomb.

## 1.2.12.4 Autres secteurs

Les arrêtés du 20 juin 2002 et du 30 juillet 2003 prescrivent une VLE de 1 mg/Nm<sup>3</sup> pour les rejets atmosphériques de plomb des installations de combustion (de puissance supérieure à 20 MW) consommant des combustibles solides et liquides. Pour les rejets aqueux, ils fixent une VLE de 0,5 mg/L pour les installations existantes (arrêté du 30 juillet 2003) et de 0,1 mg/L pour les installations nouvelles (arrêté du 20 juin 2002).

Pour les rejets atmosphériques, les arrêtés ministériels pour les cimenteries incluent des VLE pour un ensemble de métaux lourds comprenant le plomb (0,5 mg/m<sup>3</sup> pour la somme de 14 métaux). Pour les rejets aqueux des cimenteries qui co-incinèrent des déchets, l'arrêté du 20 septembre 2002 prescrit une VLE de 0,2 mg/L (contre 0,5 dans l'arrêté du 10 octobre 1996).

La valeur limite relative à la production de dioxyde de titane est de 0,02 kg Pb/kg dioxyde de titane produit, selon l'arrêté du 2 Février 1998 actualisé.

# PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

## 1.2.13 Normes

Il existe des normes AFNOR concernant le plomb et certains de ses usages : la norme NF EN 12659 pour le plomb et les alliages en plomb, la norme NF EN 12 588 pour les feuilles de plomb laminées pour le bâtiment.

## 2 PRODUCTION ET UTILISATION

### 2.1 Production

La production mondiale de plomb raffiné en 2014 est évaluée à 11 Millions de tonnes, avec 5 Millions de tonnes de minerai extrait (ILZSG 2015). Le marché mondial de plomb raffiné est estimé à environ 15 milliards d'euros (ILA non daté).

La Chine est le leader du marché de plomb. Elle produit 2 Millions de tonnes de minerai par an (USGS 2015), détient 42% de la production mondiale de plomb raffiné (BRGM s. d.) et en consomme autant.

Les autres producteurs de plomb raffiné sont l'EU-28 avec 16% de la production mondiale et les Etats Unis avec 12% ; suivis par la Corée du Sud, l'Inde, le Mexique, le Canada, le Japon, l'Australie et le Brésil qui détiennent par pays entre 4% à 2% de la production mondiale.

En 2014, environ 1,15 Million de t de plomb secondaire ont été produites (USGS 2015). Presque tout le plomb secondaire a été récupéré dans des métaux usagés et des batteries (post-consommation) par des fonderies secondaires.

La production de plomb à partir de minerai est de plus en plus minoritaire, au profit de la récupération de plomb à partir de déchets et tout spécialement de batteries au plomb. En France, la collecte de métaux non ferreux enregistre une forte hausse, une augmentation de 21% entre 2001 et 2010. En 2010, l'ADEME signale 0,25 Mt de plomb collecté, ce qui représente une augmentation de 28% par rapport à 2009 (Ademe 2010).

#### 2.1.1 Importation et exportation de plomb

Les volumes du commerce international de plomb comme matière première pour l'UE sont présentés dans le Tableau 5.

# PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

Tableau 5. Commerce international du plomb - valeurs moyennes 2005-2010 (Source : ECHA 2013b).

	Minerais et concentrés de plomb (tonnes par an)	Déchets et débris de plomb (tonnes par an)
Importations de l'UE27	245 000	264 000
Exportation de l'UE27	124 000	399 000
Commerce interne dans l'EU	298 000	157 000

## 2.2 Utilisations

L'utilisation du plomb est toujours en croissance et les usages par application sont présentés dans le Tableau 6.

Le plomb dispose de propriétés intéressantes : flexibilité, résistance à la corrosion et à certains rayonnements, densité élevée, qui le rend utile pour des usages variés. Ainsi sa flexibilité et sa température de fusion peu élevée le rendent facile à travailler. Sa capacité de résistance à la corrosion le fait utiliser comme matériau étanche dans le bâtiment (feuilles de plomb pour les toitures, peintures au plomb) et pour des équipements en contact avec des acides (batteries plomb-acide, production d'acides). Sa densité élevée lui permet d'être une protection efficace contre les radiations ou le bruit (Tukker, 2001).

# PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

Tableau 6. Principaux usages du plomb dans les pays de l'OCDE (chiffres de production) en 1990 (Sources : OECD Environment Directorate (1993) ; dans Tukker et al. (2001)), dans l'Union européenne en 1998 et en France en 1998 (Sources : ILZSG, 2000 ; en Royal Haskoning (2003)), dans le monde en 2011 (Sources ILA ; ECHA en 2013) en kilotonnes de plomb.

Usages	Pays de l'OCDE		Union européenne		France		Monde	
	1990		1998		1998		2011	
	kt	%	kt	%	kt	%	kt	%
<b>Batteries</b>	<u>2 120</u>	<u>63,20</u>	<u>919</u>	<u>58</u>	<u>196</u>	<u>73</u>	<u>8500</u>	<u>85</u>
SLI (batteries automobiles)	1 644	49,01						
Batteries de traction	293	8,73						
Industrielles	165	4,92						
Particuliers	18	0,54						
<b>Produits laminés et extrudés</b>	<u>302</u>	<u>9,01</u>	<u>233</u>	<u>15</u>	<u>18</u>	<u>7</u>	<u>360</u>	<u>4</u>
Matériaux de construction	243	7,24						
Matériaux anti-radiations	30	0,88						
Applications chimiques	15	0,44						
Matériaux d'insonorisation	8	0,23						
Capsules de bouteilles de vin	6	0,18						
Canalisations	1	0,03						
Tuyaux pliants	0	0,00						
<b>Pigments et autres composés</b>			<u>193</u>	<u>12</u>	<u>18</u>	<u>7</u>	<u>560</u>	<u>5</u>
<b>Pigments pour verre</b>	<u>224</u>	<u>6,68</u>						
Tube cathodique	145	4,32						
Cristal	55	1,64						
Verres spéciaux / optiques	14	0,42						
Ampoules	10	0,30						
<b>Autres pigments et composés</b>	<u>139</u>	<u>4,14</u>						
Additifs pour plastiques	84	2,50						
Émaux	33	0,98						
Peintures	16	0,48						
Céramiques	6	0,18						
<b>Munitions</b>	<u>100</u>	<u>2,97</u>	<u>59</u>	<u>4</u>	<u>8</u>	<u>3</u>	<u>140</u>	<u>1</u>
'Sporting shot'	81	2,40						

# PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

Usages	Pays de l'OCDE		Union européenne		France		Monde	
	1990		1998		1998		2011	
	kt	%	kt	%	kt	%	kt	%
'Steel malding shot'	19	0,57						
Alliages			32	2	4	2	130	1
<u>Soudure</u>	<u>80</u>	<u>2,38</u>						
Électronique	47	1,40						
Plomberie	12	0,36						
Radiateurs automobiles	9	0,27						
Carrosserie automobile	8	0,24						
Boîtes de conserve	4	0,12						
Autres alliages	<u>38</u>	<u>1,13</u>						
Laiton et bronze	23	0,69						
'Bearings and bushings'	8	0,24						
Placage	7	0,21						
Gaines de câbles	154	4,58	35	2	16	5	90	-
Additifs pour essence	72	2,15	38	2	0	0	9	
Divers	126	3,76	65	4	12	5	210	2
Métaux d'imprimerie	7	0,19						
Poids d'équilibrage des roues	35	1,04						
<i>Produits coulés divers</i>	68	2,02						
<b>Total</b>	<b>3 355</b>		<b>1574</b>		<b>270</b>		<b>9999</b>	

## 2.2.1 Batteries ou accumulateur au plomb-acide

Les batteries plomb-acide contiennent du plomb, des composés du plomb et de l'acide sulfurique pour accumulateurs, le tout contenu dans un boîtier en plastique. Les plaques positives des accumulateurs sont constituées d'une grille en alliage de plomb sur laquelle est déposée du dioxyde de plomb (PbO<sub>2</sub>) (Vignes et al., 1998). La composition moyenne (en masse) des batteries plomb-acide est la suivante :

- Plomb : sulfate de plomb (24,5 %), alliage de plomb (21 %), oxyde de plomb (16 %), et
- Autres composants : H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (24 %), polypropylène (7,7 %) et PVC (3,8 %)(Vignes et al., 1998).



# PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

Il s'agit de l'usage dominant du plomb (près de 75 % en France, près de 60 % en Europe) : dans le monde, la part du plomb utilisé pour les batteries est passée de 28 % en 1960 à 75 % en 1999 (ILZSG, 2001 ; in Royal Haskoning, 2003). Elles sont principalement destinées aux automobiles et aux motos (batteries de démarrage, ou batteries 'starter lighting and ignition' (SLI) ; 77 % du plomb utilisé pour les batteries dans l'OCDE en 1990). La durée de vie des batteries SLI a été multipliée par deux (de trois à quatre ans en moyenne, actuellement) et la quantité de plomb utilisé a diminué de 12 à 8 kg. Les batteries pour usage 'stationnaire' sont conçues pour durer 25 ans (Vignes et al., 1998).

Le Tableau 7 présente les principales applications des batteries au plomb.

Tableau 7. Applications industrielles des batteries au plomb dans la zone EMEA. (Source : EUROBAT, 2015).

	Secteur d'application	Part du plomb dans les batteries
Applications stationnaires	Alimentations sans coupure	Plomb : >90%
	Télécommunications	Plomb : >90%
	Productions et distribution d'énergie	Plomb : >90%
	Systèmes domestiques d'énergies renouvelables	Plomb : >90%
	Systèmes d'énergies renouvelables industriels	Différentes technologies (plomb, lithium, NiMH, etc.)
Applications mobiles	Chariots élévateurs et équipements de manutention	Plomb : >90%
	Transport ferroviaire et routier (trains, tramways, bus)	Différentes technologies (plomb, lithium, NiMH, etc.)

**Les accumulateurs automobiles**, destinés à alimenter un système de démarrage, d'éclairage ou d'allumage automobile, sont exclusivement au plomb. Cette technologie est stable, peu coûteuse et devient en fin de vie un déchet économiquement valorisable, ce qui favorise la pérennisation de son utilisation pour les batteries de démarrage. En 2014, en France 7,56 millions d'accumulateurs automobiles au plomb ont été mis sur le marché représentant 114 964 tonnes d'accumulateurs automobiles au plomb (ADEME 2015), et environ 65 % de

## PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

accumulateurs automobiles collectés. L'évolution des tonnages depuis 2009, reprise dans la Figure 1, semble orientée à la baisse :

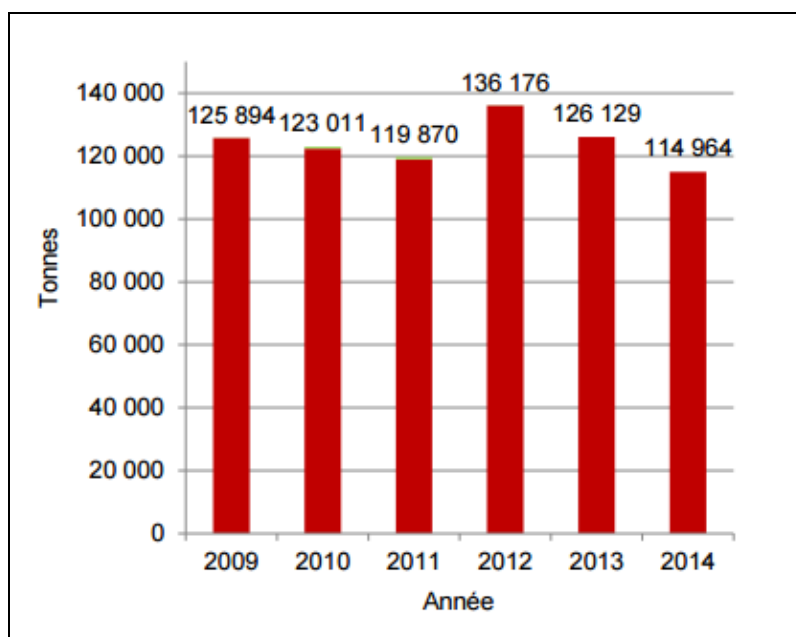


Figure 1. Evolution des quantités (exprimée en poids) de batteries automobiles mises sur le marché en France (Source : ADEME, 2015).

Concernant les **applications industrielles** des batteries au plomb, EUROBAT (Aschke et Geiger 2015) estime à environ 1,6 milliard d'euros le marché des accumulateurs au plomb dans la zone EMEA<sup>5</sup> en 2014

Les batteries plomb-acide peuvent également servir de batteries de traction pour certains véhicules électriques (14 %), comme batteries d'urgence, en appoint du réseau électrique (dans les hôpitaux et les télécommunications notamment) (8 %) et, très minoritairement, comme batteries portables pour les particuliers.

<sup>5</sup> Europe, Moyen-Orient et Afrique

# PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

## 2.2.2 Produits laminés et extrudés

Ces produits laminés et extrudés servent essentiellement de matériaux de construction, notamment pour les toitures, comme accessoires de couverture (souches de cheminées, chenaux, recouvrement de balcons, 10 000 t/an), pour l'entretien et la rénovation des monuments historiques (environ 2 000 tonnes de plomb par an en France), comme protection contre l'humidité ou comme matelas anti-vibrations (Vignes et al., 1998). Ils peuvent également servir de protection contre les radiations, de matériau d'insonorisation, particulièrement pour les basses fréquences.

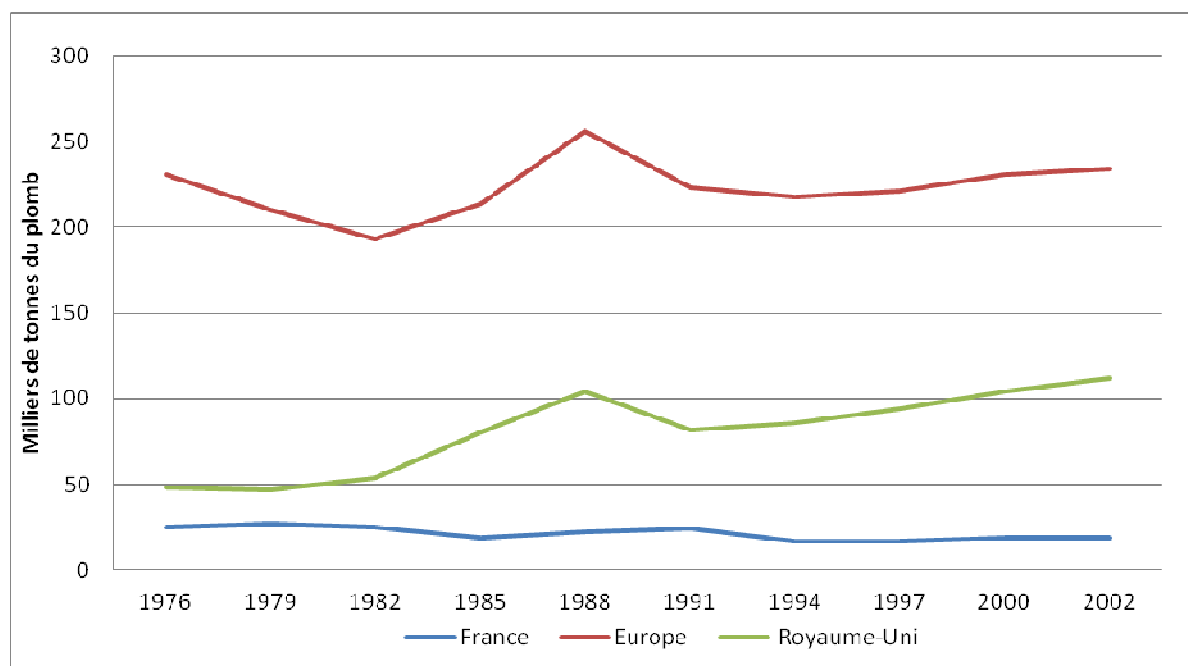


Figure 2. Consommation de plomb (exprimée en milliers de tonnes de plomb) en France entre 1976 et 2002 (Source : Woodhead Publishing 2006).

L'usage de plomb dans des produits laminés et extrudés dépend principalement de l'industrie de la construction. Le Royaume-Uni est le traditionnel consommateur pour la toiture et les solins, tandis que dans le reste de l'Europe le zinc demeure le matériau préféré. La consommation en France entre 1976 et 2002 est restée en moyenne autour de 21 milliers de tonnes de plomb (Woodhead Publishing 2006).

# PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

## 2.2.3 Gains de câbles

Le plomb est utilisé pour les gaines de câbles sous-marins et souterrains, haute tension ou de télécommunications, car il est parfaitement imperméable aux liquides. Cependant des produits de substitution, tels le polyéthylène et le PVC, peuvent parfois remplacer le plomb. Actuellement le plomb est principalement utilisé pour les câbles sous-marins, usage pour lequel il est encore supérieur à ses concurrents.

Entre 1965 et 1990, la consommation de plomb dans l'Europe des 15 est passée de 109 kt à 0 kt pour les câbles terrestres et est restée à peu près constante, aux alentours de 58 kt, pour les câbles sous-marins. Cette demande pour les câbles sous-marins est supposée être restée à peu près stationnaire depuis cette période (OCDE, 1993 ; Tukker, 2001).

## 2.2.4 Plomb à munition

80 % du plomb pour munition sert à produire des munitions et 20 % sont utilisés dans certains alliages d'acier pour améliorer l'usinabilité de l'acier.

Entre 1993 et 1998, la production de plomb pour munition est passée de 7,9 kt à 7,5 kt en France et de 53 à 58 kt dans l'Europe des 15 (ILZSG, 2000 ; Tukker, 2001). Conformément aux accords internationaux signés par la France, le ministère chargé de l'environnement a interdit l'utilisation de la grenaille de plomb dans les zones humides depuis 2006.

## 2.2.5 Alliages

Les alliages au plomb (principalement la litharge,  $PbO$ , et le minium,  $Pb_3O_4$ ) ont différents usages :

- produits de soudure, très utilisés dans l'industrie de l'électronique, principalement pour établir des connexions électriques sur des circuits imprimés ((Lohse et al., 2003), les produits de soudure utilisés pour les circuits imprimés contiennent généralement 63 % d'étain et 37 % de plomb) ;
- produits de soudure utilisés dans l'industrie automobile, les boîtes de conserve et la plomberie ;
- alliages à base de plomb (associé à de l'étain le plus souvent, parfois à de l'antimoine également) utilisés comme revêtement pour le fer et l'acier pour les protéger de la corrosion ;
- produits en laiton, à des concentrations de l'ordre de 2% de plomb (ECHA 2013b), et en bronze, pour réduire les frottements et l'usure dans certains types de machines. Le plomb est connu pour améliorer l'usinabilité du laiton ;

# PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

- des alliages métalliques contenant du plomb ont été identifiés principalement dans les boutons, les fermetures éclair, des rivets et des clous dans les vêtements et accessoires, des clés, des porte-clés, décorations intérieures et de la papeterie (ECHA 2013b). L'utilisation du plomb dans les différentes parties métalliques (en alliages) dans les articles de consommation est souvent involontaire.

## 2.2.6 Verres

Le numéro atomique élevé du plomb en fait le meilleur élément pouvant entrer dans la composition de verres de protection contre les rayonnements (X et nucléaires).

L'oxyde de plomb a été utilisé dans des verres pour les écrans plasma, mais il semble que cet usage soit très déclinant voire obsolète (du fait de la domination des écrans LED d'une part, et d'autre part de solutions sans plomb pour ces écrans<sup>6</sup>).

Le plomb entre également dans la composition de verres anti-radiations. Ainsi, l'usine de retraitement des combustibles irradiés de La Hague utilise plus de 200 fenêtres de verre au plomb (jusqu'à 80 % de PbO). Les fenêtres sont formées par des dalles de verre collées les unes aux autres. L'épaisseur peut atteindre 1,2 mètres et la masse plusieurs tonnes (Vignes et al., 1998).

L'oxyde de plomb peut remplacer en majeure partie l'oxyde de calcium pour produire du cristal. Ce type de verre comprend entre 25 et 30 % d'oxyde de plomb. Cette formulation donne au verre une densité et un indice réfringent élevés<sup>7</sup>, d'où une sonorité et une brillance excellentes et une forte capacité à être travaillé. La production de cristal en France est sans doute de l'ordre d'une centaine de tonnes par jour (Fédération des chambres syndicales de l'industrie du verre).

Une autre utilisation du plomb dans l'industrie du verre est la production de certaines fibres optiques qui sont constituées d'une peau en verre ordinaire (indice de réfraction de 1,5) et d'un cœur en verre au plomb (50 % de PbO) d'indice 1,62 (Vignes et al., 1998 ; Jacquier, 2012).

Entre les années 1970 et 2000, la consommation de plomb dans l'industrie du verre est restée à peu près stable pour la plupart des applications. La prédominance des écrans plats LED pour les écrans (informatique et télévision) a maintenant provoqué un arrêt de cet usage. Les autres applications devraient continuer à rester stables (Tukker et al., 2001).

<sup>6</sup> <http://news.panasonic.com/press/news/official.data/data.dir/en061102-1/en061102-1.html>

<sup>7</sup> L'oxyde de plomb augmente l'indice de réfraction des verres : cet indice peut ainsi passer de 1,5 à 1,8.

# PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

## 2.2.7 Stabilisants de PVC

Du plomb est parfois ajouté au PVC pour réduire la dégradation causée par la chaleur et les rayons ultraviolets pendant la production et l'usage de ces plastiques. Ce plomb est souvent utilisé sous forme d'oxyde (litharge). Il est surtout utilisé dans les produits PVC rigides (qui contiennent alors environ 1 % d'oxyde de plomb (Vignes et al., 1998) lorsque ceux-ci sont destinés à des emplois durables, dans le bâtiment notamment : cadres de fenêtres (8 % des applications de PVC) et tuyaux (33 % des applications du PVC) (Tukker et al., 2001).

Les principales propriétés de composés en PVC incorporant des stabilisants au plomb comprennent : la chaleur et la stabilité à la lumière, bonnes propriétés électriques, bonnes propriétés mécaniques à court et à long terme, faible absorption d'eau, une large gamme de traitement et un bon ratio coûts/performances (ECHA 2013b). La réglementation REACH a enregistré les stabilisants suivants (voir Tableau 8).

Tableau 8. Stabilisants à base de plomb enregistrés dans REACH (Source : ECHA 2013b).

Numéro CAS	Nom	Formule
1317-36-8	Monoxyde de plomb	PbO
12036-76-9	Oxyde sulfate de plomb	Pb <sub>2</sub> SO <sub>5</sub>
12065-90-6	Plomb penta tetraoxyde sulphate	Pb <sub>5</sub> SO <sub>8</sub>
12141-20-7	Plomb (III) dioxyde phosphonate	Pb <sub>3</sub> HPO <sub>5</sub>
12202-17-4	Tetraplomb trioxyde sulphate	Pb <sub>4</sub> SO <sub>7</sub>
12578-12-0	dioxobis(stearato)plomb (III)	C <sub>36</sub> H <sub>70</sub> O <sub>6</sub> Pb <sub>3</sub>
62229-08-7	Sulfurous acid, plomb salt, dibasic	PbSO <sub>3</sub>
69011-06-9	[phthalato(2-)]dioxotri-plomb	Pb <sub>3</sub> C <sub>8</sub> H <sub>4</sub> O <sub>6</sub>
91031-62-8	Fatty acids, C16-18, plomb salts	-

Cette application a diminué de 70 % dans les années 1970 (OCDE, 1993).

# PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

D'après l'ESPA (European Stabilisers Producers Association), en 2000, environ 170 kt de stabilisants étaient utilisés annuellement en Europe. 71 % de ces stabilisants étaient à base de plomb<sup>8</sup>.

Depuis cette date, l'industrie européenne du PVC (VinyPlus) s'est engagée à volontairement remplacer en Europe tous les stabilisants au plomb du PVC par des stabilisants au calcium, avant la fin de l'année 2015.

## 2.2.8 Émaux et céramiques

Le plomb sert à donner une finition lisse et anti-rayures à divers produits céramiques. Pour ce faire, il est souvent employé sous forme de minium ( $Pb_3O_4$ ). Utilisé dans les glaçures, il sert d'opacifiant en formant un silicate. Cette application décline lentement depuis longtemps, suite à des changements technologiques (Tukker, 2001). Au début des années 1990, de 70 à 90 % de l'oxyde utilisé dans ce secteur était employé à la fabrication de carrelages (en 1991, 59 g de  $PbO/m^2$ ) (Vignes et al., 1998). Les interdictions récentes (2014/2015) dans le cadre de REACH du Plomb dans les bijoux fantaisie et dans les articles pouvant être mis en bouche par des enfants (voir chapitre 1) vont contribuer à poursuivre la tendance à la substitution du plomb dans ce domaine.

## 2.2.9 Métallurgie

Il existe diverses applications du plomb en métallurgie :

- De fines couches de plomb peuvent être plaquées par électrolyse sur des pièces en acier pour les protéger contre la corrosion.
- Galvanisation. Une couche de plomb fondu est utilisée dans le fond d'un bain de zinc fondu pour aider à la séparation des impuretés lorsqu'une couche de zinc est appliquée à l'acier.
- Des bains de plomb fondu sont également utilisés lors des procédés de recuit pour refroidir les produits en acier lors de leur fabrication.

## 2.2.10 Pigments

Bien que l'utilisation de certains mélanges de pigments soit restreinte dans l'annexe XVII de la réglementation REACH, et que plusieurs composés du plomb concernés soient soumis à

---

<sup>8</sup> Site Internet de l'ESPA (<http://www.stabilisers.org/breakdown.htm>).

# PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

autorisation dans REACH (voir Chapitre 1), ils peuvent apparaître comme constituants dans des articles fabriqués à l'intérieur et à l'extérieur de l'UE.

Si le sulfate et le carbonate de plomb ont été interdits dans les peintures, d'autres pigments à base de plomb sont disponibles dans les couleurs de base comme le blanc, le rouge et le jaune. Ils sont utilisés pour des applications de niche (peintures et objets de signalisation se sécurité notamment) Ces pigments sont aussi probablement la source du plomb retrouvé dans les polymères colorés utilisés dans la fabrication d'accessoires et de détails des vêtements, ainsi que dans les peintures de surface dans d'autres groupes d'articles. Ils sont également la source de plomb probable dans certaines gravures de plastique sur les textiles. Les substances enregistrées dans la réglementation REACH sont présentées dans le Tableau 9.



# PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

Tableau 9. Pigments à base de plomb enregistrés dans REACH (Source : ECHA 2013b)

Numéro CAS	Nom	Formule	Synonymes/ autre information
1314-41-6	Plomb Orange	Pb <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	Tetroxyde de plomb Pigment Red 105 Plomb rouge
1317-36-8	Monoxyde de plomb	PbO	Litharge Également utilisé comme stabilisant
8012-00-8	Pyrochlore, antimony Plomb jaune	Pb <sub>2</sub> Sb <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	C.I. 77588 Pigment jaune 41
10099-74-8	Di-nitrate de plomb	Pb(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	C.I. 77600
1344-37-2	Sulfochromate de plomb jaune	Pb(Cr,S)O <sub>4</sub>	C.I. 77603 Pigment jaune 34 SVHC Annexe XIV:11
7758-97-6	Chromate de plomb	PbCrO <sub>4</sub>	Pigment jaune 34 SVHC Annexe XIV:10 C.I. 77605
12656-85-8	Chromate de plomb molybdate sulphate rouge	Pb(Cr,S,Mo)O <sub>4</sub>	C.I. Pigment Rouge 104 Chrome vermillon SVHC Annexe XIV:12

# PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

## 2.2.11 Divers

Il existe d'autres usages, relativement moins significatifs, du plomb :

- quilles de bateau ;
- équilibrage des roues de véhicules ;
- balance de pesée ;
- poids de volet ;
- matériel de pêche ;
- métal d'imprimerie (alliages plomb-étain-antimoine) ;
- Protection contre les radiations dans l'imagerie médicale
- Matériaux pyrotechniques.
- Semi conducteurs (transistors, ...) <sup>9</sup>

## 2.3 Production accidentelle ou non-intentionnelle

Le plomb peut également être un contaminant d'autres produits et être émis sans être utilisé directement. Ainsi des engrais au phosphate ou des combustibles fossiles (charbon notamment) peuvent contenir du plomb à cause de la présence naturelle de ce métal dans certains minerais et substances. Cette présence dans les engrais peut notamment contribuer à expliquer les importantes émissions diffuses liées au ruissellement sur des terres agricoles.

L'industrie du métal (hors production de plomb) utilise des minerais ou des matières recyclées qui contiennent du plomb. Dans la production du zinc, le plomb n'est qu'un contaminant des matières premières ; il n'est pas utilisé lors des phases de production. Les producteurs cherchent à récupérer ce plomb pour l'envoyer dans d'autres usines mais une partie de ce métal peut-être émis dans les eaux.

L'industrie du verre utilise des matériaux recyclés contenant du plomb également.

D'autres contaminations peuvent être d'origine anthropique mais indirectes et involontaires, via la réutilisation de déchets contaminés : boues de station d'épuration, fumier, réutilisation de cendres dans le béton et la construction de routes, ... (Tukker et al., 2001).

<sup>9</sup> <http://www.smm.co.jp/E/business/material/product/Leadframe/>

# PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

## 2.4 Sources naturelles

Le plomb peut être rejeté par quelques sources naturelles. Les émissions de plomb par les volcans sont estimées entre 540 et 6 000 tonnes/an. (Independent Consultants, 2000 ; in Royal Haskoning, 2003) Une autre source naturelle provient de l'érosion du sol, contenant entre 50 et 75 mg de plomb par kg de sol. Dans les régions agricoles modernes, où le sol est nu la plus grande partie de l'année, cela peut conduire à des émissions importantes (Eurometaux ; en Royal Haskoning, 2003).

Ces sources naturelles ne sont pas négligeables, surtout si l'interdiction du plomb dans l'essence se généralise dans le monde. En effet, d'après Weiss et al.(1999), au niveau global, les émissions atmosphériques mondiales naturelles de plomb sont de l'ordre de 12 kt/an, les émissions anthropiques de l'ordre de 332 kt/an mais dont 248 kt proviennent du plomb contenu dans l'essence.

## 2.5 Usages historiques

### 2.5.1 Additifs dans l'essence

Les additifs de plomb dans l'essence (plomb tétra éthyle ou plomb tétra méthyle) ont longtemps été une des principales applications du plomb. Cependant cet usage a été progressivement banni en Europe. En France, la vente d'essence plombée est interdite depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2000.

### 2.5.2 Canalisations

La pose de nouvelles canalisations ou branchements en plomb ne se pratique plus depuis des années en France. Cependant, certaines canalisations existantes sont encore en plomb, ce qui peut constituer une source d'émissions dans l'environnement. Si les branchements en plomb ont été remplacés sur les réseaux publics, beaucoup resterait à faire dans le domaine des réseaux privés (HCSP, 2014).

### 2.5.3 Peintures

Le minium ( $Pb_3O_4$ ) a été utilisé comme peinture antirouille. Des pigments de couleur étaient élaborés à partir différents composés de plomb : pigments jaunes (chromate :  $PbCrO_4$  entrant dans la fabrication de la peinture des anciennes bandes jaunes routières) ou rouges (molybdate :  $PbMoO_4$ ) (Vignes et al., 1998). Ces pigments ne sont plus ou peu utilisés (sauf dans certaines peintures pour signalétique de sécurité, par exemple pour le marquage au sol

# PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

dans des aéroports). Les peintures au plomb (céruse<sup>10</sup>) ont été interdites progressivement. En France, l'interdiction de mise sur le marché est effective depuis février 1993.

## 2.5.4 Tubes cathodiques

Le plomb a été utilisé dans les tubes cathodiques pour son exceptionnel pouvoir d'absorption des rayonnements ionisants, en vue de protéger le téléspectateur. L'oxyde de plomb (PbO) représentait entre 22 et 23 % du verre des cônes, soit environ 7 % du tube cathodique (Fédération des chambres syndicales de l'industrie du verre).

## 2.5.5 PVC

Pour ce qui est du PVC produit dans l'UE, conformément à l'engagement de VinylPlus, l'usage de stabilisants au plomb devrait devenir dès 2016 obsolète, et le plomb ne concerner que les stocks de PVC en place ou sous forme de déchets, et des produits importés.

## 3 REJETS DANS L'ENVIRONNEMENT

### 3.1 Principales sources de rejet

Le principal secteur source de rejets ponctuels de plomb dans l'environnement au sein de l'UE, dans l'air, l'eau et le sol est la production et transformation des métaux (voir Tableau 10).

---

<sup>10</sup> La céruse est un pigment blanc de carbonate de plomb.

# PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

Tableau 10. Rejets de plomb de l'UE dans l'environnement par secteur économique en 2007 et 2013  
(Source : E-PRT 2013).

Secteur	2007			2013		
	Air kg/an	Eau kg/an	Sol kg/an	Air kg/an	Eau kg/an	Sol kg/an
Energie	969	72		516	349	
Production et transformation des métaux	30 569	6 451		21 171	14 991	
Industrie minière	28 414	225		3 494	400	
Industrie chimique	811	407	749	227	950	21
Gestion des déchets et des eaux usées	725	3 866	5 598	-	2 048	2 028
Production de papier et transformation du bois	377	195	1 920	962	469	
Produits du secteur alimentaire et des boissons	-	-	1 905	-	68	
Total	61 865	11 216	10 172	26 370	19 275	2 049

### 3.1.1 Principales sources de rejet dans l'eau

Le plomb est une substance de l'état chimique des eaux de surface et un polluant spécifique de l'état écologique des eaux de surface à surveiller dans les six bassins versants (Ministère de l'écologie du développement durable et de l'énergie, 2015).

Les principales sources de plomb dans l'eau sont les suivantes :

- les retombées atmosphériques (les émissions atmosphériques proviennent en particulier de l'industrie, notamment du secteur des métaux) ; Ces retombées, ajoutées aux autres sources diffuses (engrais notamment), expliquent que les rejets dans l'eau sont majoritairement le fait des eaux de ruissellement sur les zones urbaines et sur les sols agricoles (AESN, 2008) ;

# PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

- les rejets aqueux de l'industrie des métaux ;
- les eaux usées domestiques ;
- l'épandage des boues ;
- les autres rejets aqueux industriels.

En 2013, les émissions directes dans l'eau déclarées dans le registre français des émissions polluantes<sup>11</sup> atteignent 20 096 Kg du plomb, sur 475 établissements déclarants. La moyenne des émissions déclarées est de 42 kg/an avec une valeur maximale de 1373 kg/an correspondant à un site industriel destiné à la production d'aluminium, qui représente environ 65% des émissions de 2013.

Annema et al. (1995 ; in Tukker et al., 2001) ont estimé qu'aux Pays-Bas, le plomb contenu dans les boues de station d'épuration en 1990 provenait de la corrosion du plomb des feuilles de plomb utilisées dans le bâtiment (58 %), des émissions industrielles (8 %), de la corrosion du plomb des canalisations d'eau (4 %), des excréments et de l'urine (4 %), de la déposition atmosphérique (essence, 4 % ; autres, 4 %) et d'autres sources non identifiées (17 %). Cette répartition a sans doute évolué depuis 1990 et varie probablement d'un pays à l'autre, mais nous n'avons pas identifié de données plus récentes lors de la mise à jour de cette fiche.

## 3.1.2 Principales sources de rejet dans l'air

Les émissions atmosphériques de plomb ont énormément baissé, de plus d'un facteur 30 sur la période 1990-2013 (CITEPA 2015); essentiellement grâce à la suppression du plomb dans l'essence. Toutefois le transport routier reste l'un des principaux contributeurs aux émissions du plomb, avec l'industrie. Les émissions du secteur des transports hors routier proviennent essentiellement du carburant utilisé par l'aviation. Les émissions du secteur résidentiel/tertiaire sont imputables, en majorité, à la consommation de bois.

<sup>11</sup> Données BDREP (INERIS) - Registre Français des Emissions Polluantes.

# PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

Tableau 11. Émissions atmosphériques de plomb en France métropolitaine (en tonnes) (Source : CITEPA 2015).

Année	Transformation énergie	Industrie manufacturière	Résidentiel / tertiaire	Agriculture / sylviculture	Transport routier	Autres transports (*)	TOTAL	Hors Total (*)
1990	55	230	50	8,7	4 200	48	4 591	17
1995	51	190	36	2,5	1 495	24	1 799	14
2000	25	175	23	0,2	65	7,6	296	14
2001	20	155	22	0,2	58	7	262	13
2002	16	153	19	0,2	59	6,7	255	13
2003	13	105	20	0,2	60	6,1	204	12
2004	11	90	20	0,2	61	5,9	187	12
2005	9,8	87	19	0,2	62	6,3	183	12
2006	6,3	86	16	0,2	62	6,1	177	12
2007	5,7	83	15	0,2	62	6,1	172	12
2008	5,5	73	15	0,2	61	5,7	160	11
2009	4,8	46	14	0,2	62	7	134	13
2010	4,4	56	15	0,2	64	6	146	12
2011	3,2	49	12	0,2	64	7,1	135	13
2012	3,7	50	12	0,2	65	6,4	138	12
2013	3,7	48	13	0,2	66	6,1	136	12
2014 (e)	2,8	49	13	0,2	67	6,1	138	11

(e) Estimation préliminaire ; (\*) Relativement aux périmètres de la CEE - NU / NEC - les émissions répertoriées hors total national sont les suivantes : les émissions maritimes internationales, les émissions de la phase croisière ( $\geq 1000$  m) des trafics aériens domestique et international, ainsi que les émissions des sources biotiques de l'agriculture et des forêts et les émissions des sources non-anthropiques.

### 3.1.3 Principales sources de rejets dans le sol

La fabrication de papier et carton est la principale source des rejets du plomb (via les boues d'épuration), suivie par le traitement des eaux usées non-industrielles. La teneur en plomb dans les boues d'épuration d'après le projet AMPERES (Choubert et al. 2011) est en moyenne de 57 mg de plomb/kg de boue traitée.

Le plomb est davantage piégé par les constituants organiques et minéraux et s'accumule dans la partie superficielle du sol. Environ 1 000 t de plomb sont apportées annuellement en moyenne sur les sols agricoles en France (Bottin, Joassard, et Morard 2014).

# PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

Tableau 12. Emissions du plomb dans le sol en 2011, déclarées par les ICPE (Source : Registre National des Emissions Polluantes).

Secteur	Emission de plomb en kg
Bois, papier, carton, imprimerie	12 947
Construction	79
Eau, déchets et dépollution	8 019
Industries agroalimentaires	527
Industries chimiques et pharmaceutiques	22
Tertiaire et services	714
Total	22 308

ICPE : Installations classées pour la protection de l'environnement. Les exploitants d'ICPE sont tenus de déclarer chaque année les quantités de polluants rejetés dans les milieux.

## 3.2 Rejets industriels

Avant de présenter une analyse des rejets par milieux (eau, atmosphère et sols), nous présentons des informations générales pour certains secteurs industriels.

### 3.2.1 Sidérurgie, Industrie des métaux ferreux

La production d'acier est le secteur industriel qui rejette le plus de plomb, à la fois dans l'eau et dans l'air.

Dans les aciéries électriques, l'expérience montre que seulement 1 % du plomb émis est le fait de rejets canalisés. 99 % sont dus aux émissions diffuses, qui ne sont ni traitées, ni captées. La situation est similaire pour la métallurgie (Bouillot 2004).

Durant le processus d'agglomération, le plomb se transforme en  $PbO-PbCl_2$ ,  $PbCl_2$  et probablement aussi en  $PbCl_4$ . Ces composés sont relativement volatils et entrent dans la phase gazeuse. Ils atteignent des concentrations élevées dans les gaz de sortie, avant traitement jusqu'à  $70 \text{ mg Pb/Nm}^3$ , avec  $2\,100 \text{ Nm}^3/\text{t}$  aggloméré,  $150 \text{ g Pb/t}$  aggloméré. L'efficacité des précipitateurs électrostatiques communs n'est pas très élevée pour les particules très fines. De ce fait d'importantes émissions de plomb se produisent, de l'ordre du gramme de plomb par tonne d'aggloméré (BREF iron and steel, 2001) (entre 0,04 et 7 grammes de plomb par tonne d'acier liquide, dans cinq installations européennes d'agglomération).

Dans les hauts fourneaux, tout élément contenu dans le minerai en plus du fer se retrouve dans le métal chaud, dans les déchets ou se volatilise et se dépose à différents endroits du



# PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

haut fourneau. C'est tout spécialement le cas du zinc et du plomb, présents dans les minerais de fer ou dans les sous-produits recyclés. On retire le plomb et le zinc du haut fourneau en maintenant la température au centre de celui-ci à plus de 400°C (BREF iron and steel, 2001).

Des émissions de plomb ont lieu pendant la fabrication d'acier plombé, lorsque le plomb est ajouté à l'acier liquide. Les gaz de sortie sont en principe traités dans un filtre à manche pour limiter la teneur en poussières à moins de 5 mg/Nm<sup>3</sup>. Mais un tel filtre n'est pas étanche aux gaz ce qui occasionne d'importantes émissions fugitives qui ne sont généralement ni collectées ni traitées (BREF iron and steel)

Dans certains types d'usines, on utilise des laveurs pour réduire les émissions atmosphériques, ce qui transfère la pollution de l'air vers l'eau. L'eau en provenance des scrubbers contient notamment du plomb. Ces eaux sont généralement recyclées et traitées avant d'être rejetées (BREF iron and steel, 2001).

Les autres procédés de l'industrie des métaux ferreux peuvent également émettre du plomb, tout spécialement lors du tréfilage, opération par laquelle le fil machine et le fil sont étirés dans des cônes percés de section inférieure. En effet d'après le BREF « iron and steel » (2001), parmi les principales incidences environnementales du tréfilage, on compte les émissions et les déchets plombés issus des bains au plomb. Ces bains sont utilisés dans le recuit continu et le patentage.

Le plomb peut être émis via les déchets (entre 1 et 15 kg/t dans le cas du recuit continu et entre 1 et 10 kg/t pour le patentage), dans l'air (entre moins de 0,02 et 1 mg/Nm<sup>3</sup> pour le patentage) et dans l'eau (entre 2 et 20 mg/L dans le débordement d'eau de trempe) (BREF iron and steel, 2001).

Les métaux utilisables pour le revêtement par trempage à chaud (opération pendant laquelle la tôle ou le fil sont passés en continu dans un métal fondu ; cela donne lieu à une réaction d'alliage entre les deux métaux, assurant ainsi une bonne liaison entre le revêtement et le substrat) sont ceux qui ont un point de fusion suffisamment bas pour éviter tout changement thermique dans le produit métallique, notamment le plomb ([BREF iron and steel, 2001). Cependant le zinc constitue la grande majorité des revêtements appliqués au trempage à chaud en continu et les revêtements d'aluminium ou plomb-étain ne représentent que des parts minimes.

## 3.2.2 Verreries

D'après le BREF verreries (2012), les émissions atmosphériques de plomb de l'industrie du verre peuvent avoir les sources suivantes :

- impuretés contenues dans certaines matières premières, calcin de verre recyclé et combustibles ;

# PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

- plomb utilisé dans les fondants et les agents colorants dans l'industrie des frites ;
- plomb utilisé dans certains verres spéciaux.

Quant aux émissions aqueuses de plomb, elles proviennent essentiellement de certains processus de production de verres spéciaux ou de frites.

D'après le BREF verrerie (2012), les producteurs de verres rejettent du plomb à des concentrations comprises entre 0,05 et 0,3 mg/L dans des eaux usées.

D'après le BREF verrerie, les émissions des fours verriers dépendent fortement de qualité et de la quantité de verre recyclé utilisé. Le plomb des émissions des verreries est celui qui se trouve dans le verre. Cette présence est essentiellement due au recyclage : on réintègre dans la matière première des éléments étrangers au verre, notamment des capsules de bouteilles (faites en plomb jusqu'au années 1980) ; on réintroduit également les verres riches en plomb (cristal, verres dits électroniques comme le verre des écrans). Actuellement le verre d'emballage, notamment le verre creux, contient un ordre de grandeur de 200 ppm de plomb (Bouillot, 2003).

Les émissions de plomb dépendent également du combustible utilisé (fioul ou autre) et de l'ajout ou non de plomb dans le produit. La réduction des émissions de métaux lourds est souvent une des raisons principales pour installer des équipements de dépoussiérage des fumées (BREF verrerie). Les émissions atmosphériques de plomb lors de la production de cristal peuvent s'élever à 700 mg/Nm<sup>3</sup> (BREF verrerie)]. Elles peuvent s'élever à 4 mg/Nm<sup>3</sup> lors de la production de verre d'emballage et à 1 mg/Nm<sup>3</sup> lors de la production de verre plat.

## 3.2.3 Rejets industriels dans les eaux

### 3.2.3.1 Analyse sectorielle

Les rejets industriels de plomb<sup>12</sup> dans les eaux proviennent essentiellement de l'industrie du métal, du traitement de surfaces métalliques et de la production de plomb (voir Figure 3). Ensuite viennent les stations d'épuration des eaux usées, qui rejettent une partie du plomb dans l'eau traitée (voir Tableau 13). Le projet AMPERES (Choubert et al. 2011) a estimé un taux abattement moyen pour les plomb d'environ 73% pour les STEP étudiés.

<sup>12</sup> Données BDREP (INERIS) - Registre Français des Emissions Polluantes.

## PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

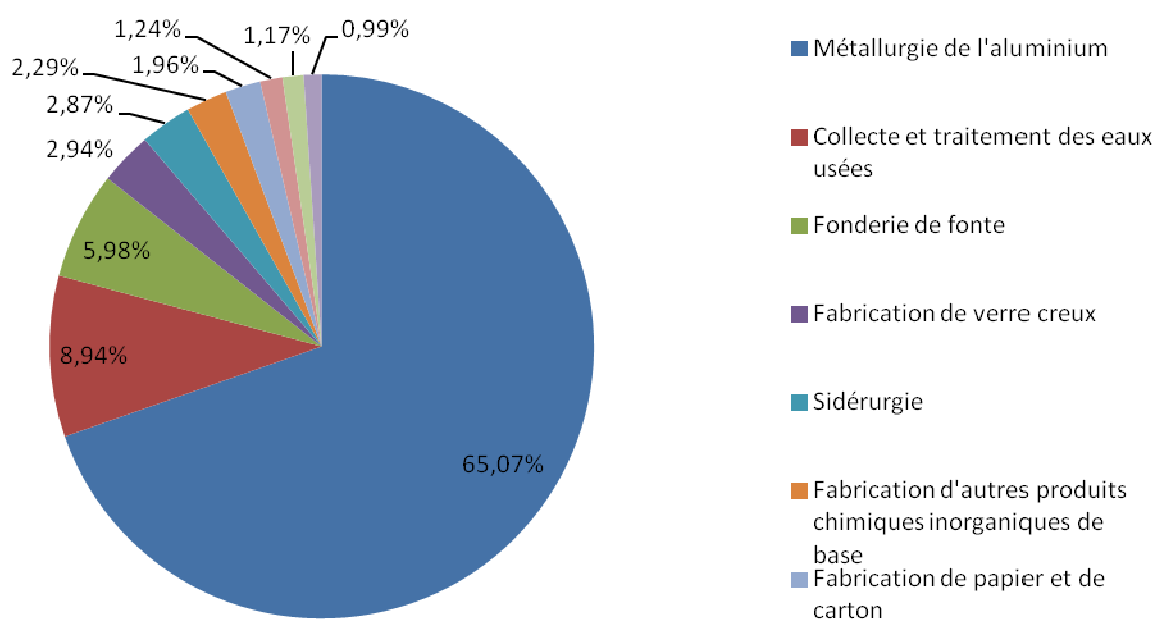


Figure 3. Principales activités émettrices de plomb dans l'eau (émissions directes) en 2013 (Source : BDREP-INERIS).

# PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

Tableau 13. Principaux rejets industriels de plomb dans l'eau en France en 2013 (kg/an) (Source : BDREP-INERIS).

Secteur d'activité	Émissions directes kg/an (*)	Émissions indirectes kg/an (**)
Métallurgie de l'aluminium	13 077	
Collecte et traitement des eaux usées	1 796	122
Fonderie de fonte	1 202	
Fabrication de verre creux	591	
Sidérurgie	577	
Fabrication d'autres produits chimiques inorganiques de base	461	
Fabrication de papier et de carton	394	
Raffinage du pétrole	248	
Fabrication de colorants et de pigments	234	
Captage, traitement et distribution d'eau	199	
Traitement et élimination des déchets non dangereux		111
Fabrication de piles et accumulateurs électriques		88
Fabrication de composants électroniques		38
Fabrication de matières plastiques de base		34
Transport ferroviaire interurbain de voyageurs		29
Production et distribution de vapeur et d'air conditionné		22
Administration publique générale		18
Location et location-bail d'autres biens personnels et domestiques		13
Fabrication de produits explosifs		13
<b>Total</b>	<b>20 095</b>	<b>612</b>

(\*) Emission directe : le rejet est direct dans le milieu.

(\*\*) Emission indirecte : le rejet est raccordé et fait l'objet d'un traitement par une station d'épuration.

### 3.2.3.2 Analyse par installations

Selon la base de données EPER, les installations industrielles les plus émettrices de plomb dans l'eau en 2001 appartenaient à des secteurs relativement variés : métallurgie,

# PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

fabrications et productions mettant en jeu du plomb (tubes cathodiques et batteries) mais également mine de potasse. Deux des principaux sites émetteurs ont fermé depuis cette date. En 2013, l'usine d'aluminium du groupe Alteo continue à représenter le principal flux de plomb dans l'eau, suivie de l'activité de fonderie du groupe Saint Gobain et des stations d'épuration dans diverses régions françaises.

Tableau 14. Installations industrielles les plus émettrices de plomb dans l'eau (rejets directs et indirects) et leurs émissions de plomb dans l'eau (en kg/an)  
(Source : EPER données 2001, E-PRTR données 2007, 2013).

Installation	Commune	Secteur d'activité	Émissions en 2001	Emissions en 2007	Emission en 2013
Aluminium Péchiney (groupe Alteo)	Gardanne (13)	Aluminium	19 000 (*)	5 940	13 100
Metaleurop Nord (groupe Metaleurop) Usine fermée depuis 2002	Noyelles Godault (62)	Plomb 1 <sup>ère</sup> fusion	4 000	s.d	s.d
LG Philips Displays France	Dreux (28)	Fabrication de tubes cathodiques	3 540	s.d	s.d
CEAC (groupe Exide)	Lille (59)	Fabrication de batteries au plomb	2 150	s.d	s.d
Mines de potasse d'Alsace (MDPA) (groupe Entreprise minière et chimique) Activités arrêtées depuis 2002	Wittelsheim (68)	Extraction de potasse	2 130	s.d	s.d
Umicore France	Auby (59)	Zinc	1 710	s.d	s.d
Saint-Gobain PAM (**)	Pont-à-Mousson (57)	Usine et fonderie	s.d	s.d	1 200
Solvay Electrolyse France	Tavaux (39)	Fabrication d'autres produits chimiques inorganiques de base	s.d	s.d	413
STEP - La Havre	Havre (76)	Traitement des eaux usées	s.d	393	s.d
STEP - Lyon - Pierre Bénite	Lyon (69)	Traitement des eaux usées	s.d	340	s.d
Manufacture de Baccarat	Baccarat (54)	Manufacture de verre et cristal	s.d	s.d	337
STEP - Lyon - Saint Fons	Lyon (69)	Traitement des eaux usées	s.d	323	s.d
STEP - Jacques Monod	Calais (62)	Traitement des eaux usées	s.d	319	s.d

# PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

Installation	Commune	Secteur d'activité	Émissions en 2001	Emissions en 2007	Emission en 2013
STEP - Cantaranne	Onet-le-Château (12)	Traitement des eaux usées	s.d	312	s.d
STEP - Grenoble Aquapole	Grenoble (38)	Traitement des eaux usées	s.d	s.d	280
Gascoigne Paper	Mimizan (40)	Production de pâte partir de bois ou d'autres matières fibreuses	s.d	s.d	274
STEP - Chambéry	Chambéry (73)	Traitement des eaux usées	s.d	270	s.d
Tioxide Europe S.A.S	Calais (62)	Production industrielle de produits chimiques organiques de base	s.d	s.d	228
STEP - Strasbourg	Strasbourg (67)	Traitement des eaux usées	s.d	216	s.d
STEP - Nice Haliotis	Nice (06)	Traitement des eaux usées	s.d	180	213

(\*) Les rejets de l'usine de Gardanne sont particuliers car ils sont constitués de résidus inertes issus du traitement de la bauxite et déversés en mer dans la fosse Cassidaigne. Le devenir de ces rejets fait actuellement l'objet d'études quant au niveau de traitement nécessaire pour la protection de l'environnement et de la santé (plusieurs métaux autres que le plomb sont également rejetés).

(\*\*) L'usine de Saint Gobain PAM à Pont-à-Mousson a souligné l'impact de la méthode de mesure pour le plomb dans l'eau. En 2013, il a réalisé une comparaison sur 20 échantillons entre la méthode rapide nanocolor et la méthode normée pour analyser le plomb (ISO 11885-15587/1) ; il a observé que la méthode normée ne détectait pas de plomb dans l'eau contrairement à la méthode nanocolor. L'entreprise signale l'importance de la technique de détection.

s.d : sans donnée identifiée.

L'action de recherche et de réduction des rejets de substances dangereuses dans l'eau - RSDE (INERIS), effectuée entre 2009 et 2014, a identifié que 33% des établissements déclarants, c'est-à-dire 1 070 établissements sur un total de 3 251 sites, ont retrouvé le plomb au moins 3 fois à un flux supérieur à 5g/jour. Les secteurs ayant le plus rejeté de plomb sont : l'incinération des ordures ménagères, les blanchisseries, les installations de séchage de prunes, le regroupement et traitement de déchets, la sidérurgie, les « autres traitements de déchets non dangereux », les fonderies de métaux non ferreux, l'activité vinicole, la production et transformation de métaux non ferreux, l'industrie du plastique, de la chimie et les activités industrielles du verre.

# PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

## 3.2.3.3 Résultats régionaux

Le bassin versant Rhône Méditerranée-Corse contient les principaux flux de rejets de plomb en France (voir Tableau 15). On observe une évolution contrastée des rejets, avec des hausses très fortes, ou des baisses sensibles, selon les bassins, qui est difficile à expliquer. On peut formuler l'hypothèse que certaines hausses soient liées à la mise en place de traitements humides de rejets atmosphériques (voir section suivante).

Tableau 15. Emissions de plomb dans l'eau en France par bassin versant (2007, 2013)  
(Source : E-PRTR).

Bassins versants en France	2007		2013	
	kg/an	%	kg/an	%
Adour-Garonne	787	7%	577	3%
Artois-Picardie	1 054	9%	574	3%
Loire-Bretagne	336	3%	454	2%
Rhin-Meuse	455	4%	2031	11%
Rhône Méditerranée-Corse	7 932	71%	15215	79%
Seine Normandie	652	6%	403	2%
La Réunion	-	-	20	0%
	11 216	100%	19275	100%

## 3.2.4 Rejets industriels atmosphériques

### 3.2.4.1 Analyse sectorielle

Les rejets industriels de plomb dans l'atmosphère ont des origines similaires aux rejets aqueux. Ils proviennent essentiellement de l'industrie du métal, plus particulièrement de l'industrie de l'acier. Ensuite viennent les verreries, qui rejettent une partie du plomb contenu dans leurs matières premières. L'industrie du raffinage, qui rejette certaines impuretés des combustibles fossiles traités, et l'incinération des déchets sont également des sources non négligeables.

Les rejets industriels de plomb dans l'air en France en 2001 étaient estimés à 140 394 kg/an (EPER) et en 2013 ils atteignaient 29 674 kg/an (BDREP). La forte baisse observée dans le secteur industriel, est liée, d'une part, à la fermeture des sites de production de métaux non ferreux, d'autre part, à la mise en place de dépoussiéreurs sur de nombreuses installations industrielles. En effet, la forte baisse des émissions de ce secteur entre 2008 et 2009 est due à la mise en place en 2009 de nombreux équipements de réduction des particules sur des fours verriers, verre creux en particulier (CITEPA 2015).

# PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

Tableau 16. Rejets industriels de plomb dans l'air en France en 2013 en kg/an (Source : BDREP).

Secteur industriel	Emissions 2013	%
Sidérurgie	20 177	62,52
Fabrication de verre creux	3 011	9,33
Fabrication de ciment	2 061	6,38
Production d'électricité	920	2,85
Traitement et élimination des déchets non dangereux	777	2,41
Fabrication de papier et de carton	710	2,20
Tréfilage à froid	544	1,69
Fabrication de placage et de panneaux de bois	512	1,59
Métallurgie du plomb, du zinc ou de l'étain	485	1,50
Fonderie de fonte	477	1,48
<b>Total</b>	<b>29 674</b>	<b>91 ,94</b>

### 3.2.4.2 Analyse par installations

Selon les bases de données EPER et E-PRT, les installations industrielles les plus émettrices appartiennent presque toutes à l'industrie métallurgique.



# PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

Tableau 17. Installations industrielles les plus émettrices de plomb dans l'air et leurs émissions atmosphériques de plomb en 2001 (Source : EPER), en 2007 et 2013 (Source : E-PRT).

Installation	Commune	Secteur d'activité	Émissions en 2001	Émissions en 2007	Émissions en 2013
Sollac Méditerranée (groupe ArcelorMittal)	Fos-sur-mer (13)	Sidérurgie	18 800	6 280	6 510
Metaleurop Nord (groupe Metaleurop) Usine fermée depuis 2002	Noyelles Godault (62)	Plomb 1 <sup>ère</sup> fusion	16 900	s.d	s.d
Sollac Atlantique (groupe ArcelorMittal)	Dunkerque (59)	Sidérurgie	15 300	8 010	8 800
Sollac (groupe ArcelorMittal)	Rombas (57)	Sidérurgie	9 700	s.d	s.d
Ugine (groupe ArcelorMittal)	Laudun (30)	Sidérurgie	8 260	s.d	s.d
SAM (Société des aciers d'armature pour béton)	Neuves Maisons (54)	Sidérurgie	7 060	483	589
Ispat Unimétal (groupe Ispat)	Amneville (57)	Sidérurgie	6 520	s.d	s.d
Arcelor Packaging International (groupe ArcelorMittal)	Florange (57)	Sidérurgie	5 780	2 520	s.d
Ugitech (groupe ArcelorMittal)	Imphy (58)	Sidérurgie	5 440	1 160	1 210
Total	Gonfreville l'Orcher (76)	Raffinerie	4 450	s.d	s.d
Sollac Lorraine (groupe Arcelor)	Florange (57)	Sidérurgie	4 030	s.d	s.d
Celsa France Aciérie Atlantique	Boucau (64)	Sidérurgie	3 230 (*)	2 220	s.d
Saint-Gobain Emballage(**)	Chalon-sur-Saône (71)	Verres et cristal	s.d	5 800	1 410

(\*) Aciérie de l'Atlantique - groupe Arcelor ; (\*\*) En 2015, Saint-Gobain a cédé l'usine de Chalon-sur-Saône au groupe Verallia ; s.d : sans données identifiées.

# PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

## 3.2.5 Rejets industriels sur les sols

### 3.2.5.1 Analyse sectorielle

La base de données BDREP confirme le poids de la fabrication de papier et carton dans les rejets du plomb dans le sol (via l'épandage des boues d'épuration).

Tableau 18. Rejets industriels de plomb dans le sol en 2013 en kg/an (Source : BDREP-INERIS).

Secteur industriel	Emissions 2013	%
Fabrication de papier et de carton	16 435	43,94
Collecte et traitement des eaux usées	13 155	35,18
Fabrication de pâte à papier	3 506	9,38
Traitement et élimination des déchets non dangereux	1 927	5,15
Fabrication d'articles en papier à usage sanitaire ou domestique	711	1,9
Administration publique générale	405	1,08
Fabrication de produits amylacés	344	0,92
Captage, traitement et distribution d'eau	306	0,82
Fabrication de sucre	245	0,66
Transformation et conservation de pommes de terre	100	0,27
<b>Total</b>	<b>37 135</b>	<b>99,29</b>

### 3.2.5.2 Analyse par installation

Selon la base de données BDREP, on constate une augmentation globale des rejets dans le sol : 22 505 kg/an en 2011, 32 482 kg/an en 2012, et 37 399 kg/an en 2013. Ces rejets sont centralisés dans les régions Haute-Normandie, Ile-de France et Nord-Pas-de-Calais.

## 3.3 Rejets liés à l'utilisation des produits

### 3.3.1 Batteries

Les émissions de plomb lors de l'utilisation des batteries sont sans doute très faibles. En fin de vie elles sont très majoritairement recyclées (à plus de 90 % en France).

# PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

Le taux de recyclage (tonnages valorisés / tonnages collectés) déclaré par la filière en France est de 83% ; cela signifie qu'environ 7 000 t de Pb ont été perdues lors du recyclage en 2014. Le devenir de ces pertes n'est pas clair, et nous ne connaissons pas la fraction de cette quantité qui est émise dans l'environnement. Par comparaison aux émissions dans l'air et dans l'eau rapportées par ailleurs il pourrait s'agir de quantités très significatives.

Tukker (2001) a estimé les émissions dues à la fin de vie des batteries au plomb dans l'Europe des 15 :

- 30 tonnes en 2000 qui devaient atteindre 40 tonnes en 2015 d'émissions atmosphériques dues à l'incinération des déchets ;
- 16 tonnes en 2000 qui devaient atteindre 29 tonnes en 2015 d'émissions de plomb dans les sols en provenance des décharges (la hausse est due à l'augmentation du stock de plomb dans les décharges).

D'après ces projections anciennes, ces émissions seraient désormais plus faibles que les émissions industrielles, mais ne seraient pas non plus devenues négligeables.

### 3.3.2 Feuilles de plomb

Les feuilles de plomb utilisées dans la construction peuvent causer des émissions de plomb soit pendant leur utilisation, par corrosion, soit après destruction des bâtiments, si une partie du plomb n'est pas recyclée. D'après l'Association des industries européennes de feuilles de plomb, les feuilles de plomb des toits sont recyclées à plus de 95 % (ELSIA, 2001 ; in Royal Haskoning 2003).

D'après la littérature, la lente corrosion des feuilles de plomb est estimée à 5 g/m<sup>2</sup>, ce qui représente un facteur d'émission annuel d'environ 0,008 % du stock de feuilles de plomb présentes dans le bâti existant. Tukker et al. (2001) estimaient que les émissions atmosphériques dues aux feuilles de plomb dans l'Europe des 15 étaient de l'ordre de 10 kt/an en 2000 et les projetaient à 20 kt/an en 2015. Ils estimaient également que les émissions vers le sol étaient de 11 kt/an en 2000 et les projetaient à 17 kt/an en 2015.

Cependant, d'après Eurometaux, le chiffre de 5 g/m<sup>2</sup> est surestimé pour au moins deux raisons :

- la composition de l'eau de pluie a beaucoup évolué durant les dernières décennies (moins acides), ce qui a sans doute réduit son pouvoir corrosif ;
- ce chiffre a été estimé à partir de feuilles de plomb neuves ; or les feuilles de plomb exposées à l'air plusieurs années forment une patine protectrice (Eurometaux ; cité dans Royal Haskoning, 2003) qui limite in fine les émissions.

# PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

## 3.3.3 Canalisations

Le plomb des canalisations est une source de plomb dans l'eau encore non négligeable même si les canalisations neuves ne sont plus en plomb depuis des années. En effet en France une quantité relativement importante est encore présente dans les réseaux privés. Dans le réseau public de distribution, les canalisations en plomb ont été progressivement remplacées mais les canalisations de raccordement (c'est-à-dire entre le réseau public et les compteurs individuels et/ou généraux) posées avant 1948 sont encore pour partie en plomb : on compte près de 4 millions de branchements en plomb soit plus du tiers du nombre de branchements existants. De même, pour les tuyauteries intérieures des immeubles, même si les canalisations en plomb ont été progressivement abandonnées après 1948 au profit d'autres matériaux (acier galvanisé, cuivre, polyéthylène, PVC), les soudures de raccordement et certaines tuyauteries en PVC peuvent contenir du plomb : on estimait en 2003 que 10 millions de logements, plutôt construits avant 1949, sont encore équipés de tuyauteries en plomb (Agence nationale pour l'amélioration de l'habitat ANAH 2003). Plus récemment (2013), ce nombre est passé à 1,2 millions de branchements.

Tukker et al. (2001) ont calculé les émissions liées à la corrosion du plomb des canalisations d'eau, pour l'Europe des 15 (en extrapolant des calculs réalisés pour les seuls Pays-Bas), à 280 tonnes en 2000 et l'ont projetée à 240 tonnes en 2015. En principe, les canalisations en plomb sont retirées avant la destruction des bâtiments et recyclées.

## 3.3.4 Pigments et stabilisants

D'après l'ESPA (European Stabiliser Producers Association), les stabilisants au plomb utilisés dans le PVC sont pris dans la matrice de PVC ce qui rend leurs fuites dans l'environnement insignifiantes.<sup>13</sup> Comme pour le verre, c'est plutôt en fin de vie que le PVC est susceptible de relâcher le plomb qu'il contient, d'autant plus que le PVC produit dans l'UE l'est désormais sans stabilisants au plomb.

## 3.3.5 Alliages

Encore une fois les émissions dues à l'utilisation d'alliages sont a priori négligeables pendant leur utilisation et ne sont significatives qu'après leur fin de vie. Le plomb des soudures dans les automobiles et dans l'électronique est généralement recyclé (Eurometaux in Royal Haskoning, 2003). Le fort taux en plomb dans les alliages pour les soudures des circuits imprimés, par exemple, peut contaminer en fin de vie le plastique de ces circuits et rendre leur recyclage plus difficile (Lohse et al., 2003).

<sup>13</sup> Site Internet de l'ESPA (<http://www.stabilisers.org/LEAD.htm>).

# PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

D'après Tukker et al.(2001), dans l'Europe des 15, les émissions de plomb dues à l'utilisation d'alliages s'élèvent en 2000 à 10 tonnes dans l'air (incinération) et à 6 tonnes dans les sols (fuite des décharges) et s'élèveront en 2015 à 10 tonnes dans l'air et à 11 tonnes dans les sols.

## 3.3.6 Munitions

Les munitions finissent le plus souvent abandonnées dans la nature, notamment dans des zones humides où des animaux sont chassés. Même s'il ne s'agit pas de l'usage principal du plomb, les munitions constituent une source de plomb pour les sols, par corrosion, relativement importante dans la mesure où la majeure partie du plomb est rejetée dans l'environnement et n'est pas récupérée et recyclée.

En Europe, la production de plomb pour les munitions est estimée entre 35 000t et 45 000 t. en 2011 (ECHA 2013c). En France cela représente des émissions de plomb dans les sols de quelques tonnes par an.

## 3.3.7 Gaines de câbles

Les gaines de câble peuvent émettre du plomb lors de leur utilisation, par corrosion, ou en fin de vie. Les câbles sont parfois recyclés mais pas toujours, surtout s'ils sont difficiles à récupérer. Lorsqu'ils le sont, c'est davantage pour leur contenu en cuivre que pour leur teneur en plomb (Tukker, 2001).] Leur taux de recyclage est estimé à environ 50 % (Royal Haskoning, 2003).

## 3.4 Rejets liés aux déchets

Tukker et al. (2001) ont essayé d'estimer la quantité de plomb arrivant dans les décharges et les incinérateurs de l'Europe des 15, en 2000 et 2015 (projection) notamment, en fonction de l'usage initial du plomb. Ces projections pour 2015 sont probablement à revoir notamment pour les tubes cathodiques, dont la disparition s'est accélérée après 2000.

# PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

Tableau 19. Estimation des quantités de plomb arrivant dans les décharges et les incinérateurs dans l'Europe des 15 en 2000 et 2015 (en kilotonnes) (Source : Tukker et al, 2001).

	Décharges		Incinérateurs	
	2000	2015	2000	2015
Batteries	32	34	8	11
Produits extrudés				
Feuilles de plomb	16	16	4	5
Canalisations	-	-	-	-
Autres produits extrudés	4	3	1	1
Pigments et composés				
Stabilisants de PVC	8	6	2	2
Émaux et céramiques	33	23	8	8
Tubes cathodiques	58	30	14	10
Autres verres	43	34	11	11
Alliages	13	11	3	4
Divers	26	24	7	8
<b>Total</b>	<b>233</b>	<b>181</b>	<b>58</b>	<b>60</b>

Ces quantités de plomb sont sources d'émissions dans les eaux de lixiviation des décharges et dans les gaz de sortie et les résidus solides des incinérateurs. Tukker et al. (2001) estiment que ces déchets contenant du plomb étaient responsables dans l'Europe des 15, en 2000, de l'émission de 120 tonnes de plomb dans l'air et de 360 tonnes dans les sols.

Toutefois, d'après LDAI, on ne trouve pas de plomb (et plus généralement pas de métaux lourds) de matière significative dans les fuites des déchets domestiques mis en décharge (Royal Haskoning, 2003).

L'incinération de déchets contenant du plomb peut provoquer des émissions de ce métal. Les émissions atmosphériques des incinérateurs sont en principe traitées. Les cendres sont généralement soit ré-utilisées, soit mises en décharge. D'après Bouillot (2003), le plomb émis par l'incinération des déchets est principalement celui contenu dans les poussières.

Le recyclage du fer et de l'acier des véhicules conduit à des émissions de plomb de l'ordre de 0,4 g de plomb par véhicule dans l'air et de 0,002 g dans l'eau (Independent Consultants, 2000 ; in Royal Haskoning, 2003).

# PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

La concentration en plomb des eaux usées domestiques est généralement inférieure à 0,1 mg/L et celle des eaux usées industrielles à 13 mg/L (Wilderer et al., 1997 ; in Thornthorn, 2001).

## 4 PRESENCE DANS L'ENVIRONNEMENT

D'après le Réseau national des données sur l'eau (1999), suite à trois années (1995-1997) d'observations des micropolluants dans les cours d'eau français, une soixantaine de stations avaient été déclassées à cause d'une présence excessive de plomb : deux dans le bassin Adour-Garonne, 35 dans le bassin Artois-Picardie, quatre dans le bassin Loire-Bretagne, sept dans le bassin Rhin-Meuse, trois dans le bassin Rhône-Méditerranée-Corse et quatorze dans le bassin Seine-Normandie. Ces pollutions des eaux au plomb étaient dues dans 24 cas aux rejets d'agglomérations et dans 21 cas à des rejets industriels (les autres pollutions sont d'origine indéfinie).

L'AESN (AESN, 2008) indique de les concentrations dans l'eau à l'exutoire du bassin de la Seine, sont orientées à la baisse sur la période 1990 - 2005, passant d'environ 10 à 2 µg/L entre ces deux dates. Dans les sédiments des cours d'eau et du littoral du bassin Seine-Normandie, les teneurs en plomb moyennes sur la période 2004 - 2006 varient entre <20 et > 600 mg/kg de poids sec, alors que le fond géochimique moyen est de 20 mg/kg p.s.. Les teneurs dans les sédiments sont comprises entre 20 et 100 mg/kg p.s. pour la majorité des points du réseau de suivi, la contamination est plus forte en général à l'aval qu'à l'amont des cours d'eau, et plus élevée dans les sédiments du littoral que dans ceux des cours d'eau.

Si le plomb reste un des micropolluants des eaux de surface les plus fréquemment détectés, il n'est pas dans les polluants les plus quantifiés<sup>14</sup>. Il ne semble plus responsable de dépassements des normes de qualité de l'eau en France<sup>15</sup> (donnée pour 2011). Par comparaison avec les données de la période (1995-1997), la situation serait donc en nette amélioration.

Dans le cadre du Plan national d'action contre les micropolluants engagé sur la période 2010-2013, c'est dans les sédiments marins que les produits de dégradation du plomb (trace de l'usage aujourd'hui interdit du plomb dans l'essence) sont retrouvés dans les 12 sites prélevés.

<sup>14</sup> <http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/Lessentiel/ar/1981/0/micropolluants-plus-rencontres-cours-deau.html>

<sup>15</sup> <http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/Lessentiel/ar/1981/0/respect-normes-micropolluants-cours-deau.html>

# PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

Toujours pour le milieu marin littoral, la concentration de plomb dans le biote suit une tendance de long terme décroissante, comme l'indique la Figure 4.

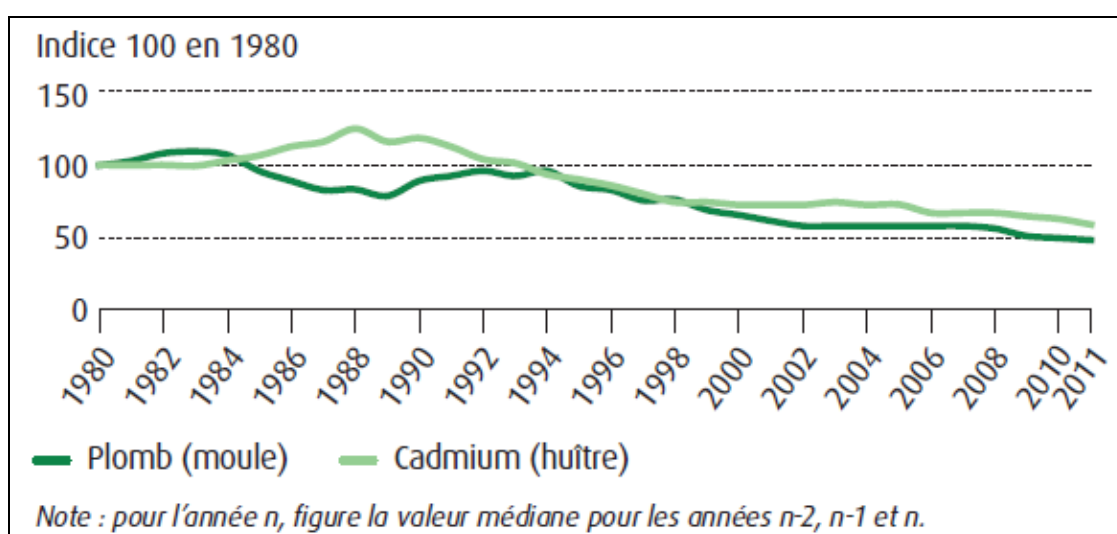


Figure 4. Evolution de la concentration du plomb et du cadmium dans les coquillages (Source : extrait de Bottin et al., 2014).

## 5 POSSIBILITES DE REDUCTION DES REJETS

### 5.1 Produits et Technologies de substitution

#### 5.1.1 Matériel métallique

Les alternatives au plomb sont d'autres matériaux métalliques comme le fer, l'acier, le zinc et le bismuth, mais également des matériaux non métalliques comme le béton (ECHA 2013b).

#### 5.1.2 Batteries au plomb

D'après un acteur industriel important du domaine, dans les automobiles conventionnelles (moteur à combustion), les batteries restent en quasi-totalité au plomb. La technologie alternative Li-ion n'est pas encore compétitive d'un point de vue économique, car son coût



## PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

est plus élevé en raison d'une plus grande sophistication (besoin d'un pilotage électronique embarqué).

Dans le cas des véhicules hybrides ou électriques, les batteries Li-ion sont la solution native. Au fur et à mesure de la croissance de ce marché au détriment des véhicules conventionnels, on peut espérer une réduction des coûts des batteries Li-ion et leur percée croissante pour les véhicules conventionnels.

Pour les applications industrielles, même si le plomb domine en poids (voir Figure 5), les batteries alternatives (Li-ion, Ni-Cd) dominent le marché, notamment dans les domaines qui suivent : batteries de secours (trains à grande vitesse (Ni-Cd), signalisation ferroviaire, avions, les réseaux télécom, stockage des énergies intermittentes dans les réseaux (Li-ion), chariots élévateurs (Li-ion) (Toyota), véhicules industriels et militaires (Li-ion).

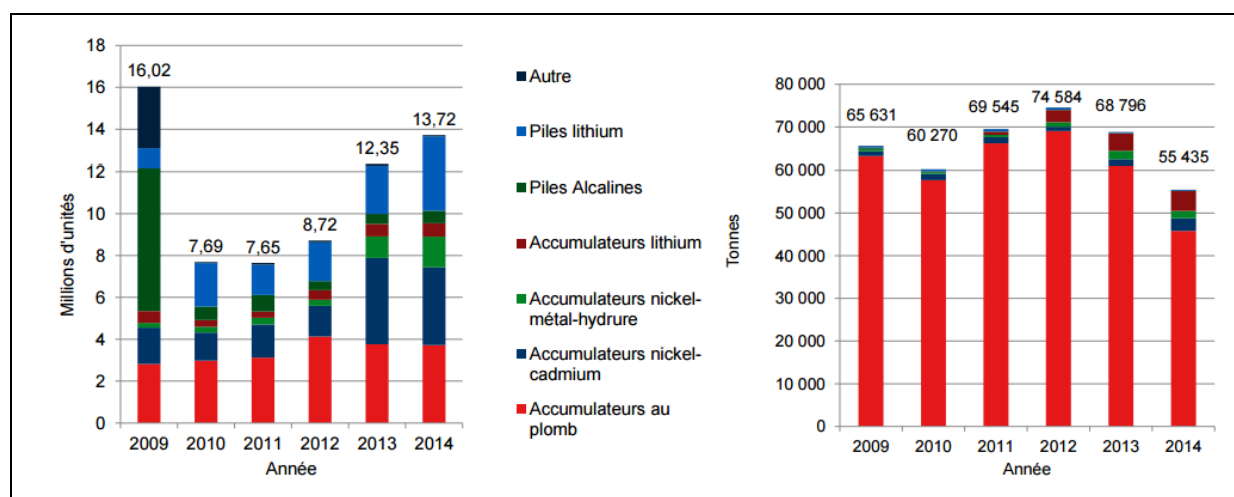


Figure 5. Evolution des différentes technologies pour les batteries industrielles.

D'autres technologies que Li-ion et Ni-Cd sont utilisées dans des applications de niche : Nickel- Métal Hydrure, Ag - Zn,...

Le groupe ECOBAT Technologies (ECOBAT s. d.) a estimé un potentiel de remplacement du plomb par le lithium dans les batteries dans divers secteurs industriels pour les années avenir, ces projections sont présentées dans le Tableau 20. Ces projections dénotent une accélération de la substitution. Par ailleurs, il ne semble pas que d'autres technologies puissent apporter une rupture dans les cinq prochaines années.

# PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

Tableau 20. Pourcentage estimé de substitution du plomb par du lithium dans les batteries en 2020 et 2025 (Source : Summerfield 2015).

Secteur	Augmentation en 2020 par rapport à 2015	Augmentation en 2025 par rapport à 2015
Transports spéciaux	+14%	+23%
Alimentation d'énergie	+5%	+13,1%
Chariots industriels, chariots élévateurs	+2,8%	+8,2%
Réseaux de transport	+1,2%	7,5%

## 5.1.3 .Remplacement dans les alliages

La plupart des alliages de cuivre contiennent du plomb, soit comme un élément fonctionnel soit comme une impureté. Chaque alliage a une composition définie et des caractéristiques uniques. La disponibilité des alternatives dépend du fait si le plomb est présent comme impureté ou comme un élément fonctionnel dans l'alliage. Dans le premier cas, la substitution est a priori simple lorsque la source de plomb est identifiée. Dans le second cas, la substitution peut être plus problématique, étant donné que le substitut doit avoir certaines fonctions.

Des alternatives existent pour l'eau potable : ces alternatives comprennent des laitons contenant du silicium (remplaçant jusqu'à 0,1% de plomb) ou de bismuth (remplaçant jusqu'à 0,25% de plomb).

Les matériaux qui peuvent être utilisés pour remplacer le laiton au plomb comprennent le bronze, l'acier et d'autres alliages sans plomb.

Enfin, il n'existe pas d'alternatives pour le maillechort (Les maillechorths sont des alliages Cu-Ni-Zn, utilisés en orfèvrerie, connectique, lunetterie, pour des instruments de musique,...) (ECHA 2013b).

En ce qui concerne les alliages utilisés pour les soudures des circuits imprimés, divers substituts ont été développés et introduits sur le marché : alliages d'étain avec de l'argent, du cuivre et/ou du bismuth. Ils occasionnent toutefois un surcoût, notamment dû à des modifications du procédé de soudure. La directive 2002/95/CE relative à la limitation de l'utilisation de certaines substances dangereuses dans les équipements électriques et électroniques signale l'adoption de ces produits de substitution (Lohse et al., 2003).

Le Tableau 21 décrit les alternatives au plomb comme additif dans certains alliages. Un seul métal alternatif ne peut pas satisfaire à toutes les fonctions possibles du plomb.

# PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

Tableau 21. Alternatives au plomb comme additifs dans certains alliages (Source : ECHA 2013b).

Substance	Numéro CAS	Poids	Fonctions	
			Constituant principal dans les alliages	Additif dans les alliages
Concrète	65997-15-1	X		
Etain	7440-31-5	X		
Fer	7439-89-6	X	X	
Zinc	7440-66-6	X	X	
Cuivre	7440-50-8	X	X	
Bismuth	7440-69-9	X		X
Silice	7440-21-3			X

## 5.1.4 Pigments

Les pigments à base de plomb sont disponibles dans les couleurs : blanc, rouge et jaune. Plusieurs alternatives sont accessibles sur le marché. Il y a des centaines de différents pigments disponibles dans chaque segment de couleur. Parmi les alternatives disponibles signalées, il y a des pigments contenant du cadmium et du chrome. En raison des risques pour la santé et l'environnement associés à ces substances, ils ne sont pas considérés comme des substituts appropriés à utiliser.

Le Tableau 22 et le Tableau 23 recensent certains pigments sans plomb (ECHA 2013b) .

# PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

Tableau 22. Pigments sans plomb (Source : ECHA 2013b).

Pigments	Numéro CAS
<i>Pigments rouges (exemples)</i>	
C.I. Pigment Red 2 (organochloré)	6041-94-7
C.I. Pigment Red 4 (organochloré)	2814-77-9
C.I. Pigment Red 53 (organochloré)	5160-02-1
C.I. Pigment Red 57(organique)	5281-04-9
C.I. Pigment Red 122 (organique)	980-26-7
<i>Pigments jaunes (exemples)</i>	
C.I. Pigment Jaune 12 (organochloré)	6358-85-6
C.I. Pigment Jaune 17 (organochloré)	4531-49-1
	13515-40-7
C.I. Pigment Jaune 73 (organochloré)	
C.I. Pigment Jaune 74 (organique)	6358-31-2
C.I. Pigment Jaune 184 (organochloré)	14059-33-7
<i>Pigments blancs (exemples)</i>	
Carbonate de calcium	471-34-1 ; 13397-26-7 ; 14791-73-2
Oxyde de zinc (Zinc blanc)	8051-03-4 ; 1314-13-2
Dioxyde de titane	13463-67-7 ; 1317-70-0 ; 1317-80-2

# PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

Les pigments blancs les plus utilisés sont le carbonate de calcium, le dioxyde de titane et oxyde de zinc. L'oxyde de titane est inclus dans le plan d'action continu communautaire (CoRAP) dans le cadre de REACH et évalué en raison de ses propriétés comme allergène respiratoire soupçonné, CMR et vPvB soupçonné. A propos de l'oxyde de zinc, les Pays-Bas ont réalisé une évaluation de risque dans le cadre du règlement (EEC) No. 793/93<sup>16</sup>.

Grâce à une consultation publique des informations supplémentaires (ECHA 2013b) sur la composition des pigments sans plomb ont été obtenues.

Tableau 23. Alternatives aux pigments au plomb (Source : (ECHA 2013b)).

Alternatives inorganiques	
Bismuth Vanadate	PY.184
Oxyde métallique mixte	PY.53, PBr. 24
Oxyde de fer	PR. 42, PR.101
Alternatives organiques	
Azo Diarylides	PO.13 7 PO.34 8 PY.13 9 PY.14 10 PY.83
Azo Dianisidine	PO.16
Azo Benzimidazolones	PO.36 13 PY.151 14 PY.154 15 PY.194
Monazo	PY.65 17 PY.74 18 PY.97
Métal Azo	PY.61 20 PY.62 21 PY.168 22 PY.183 23 PY.191
Spécialité Azo	PO.64 25 PO.67 26 PY.155
Autres	PO.73 28 PY.110 29 PY.138 30 PY.139
DPP	PR.254

## 5.1.5 Stabilisants pour PVC et autres pigments

Les systèmes calcium/zinc et ceux de composés organiques d'étain, sont signalés comme les substituts les plus communs des stabilisateurs au plomb. En raison du risque élevé pour la santé et l'environnement pour les composés d'étain organique, les systèmes de calcium/zinc sont préférés, mais il n'est pas improbable que les composés d'étain organique puissent apparaître comme un substitut au plomb dans les articles importés dans l'UE(ECHA 2013b).

Le remplacement du plomb dans le PVC a donc donné lieu à une croissance rapide du calcium/zinc (Ca/Zn) et des systèmes stabilisants au calcium-organique. Par exemple,

<sup>16</sup> Le rapport d'évaluation des risques est notifiée sur le site web de l'ECHA (<http://echa.europa.eu/information-on-chemicals/information-from-existing-substances-regulation/-/substance/2743/search/1314-13-2/term>)

# PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

l'acétylacétonate de calcium et l'acétylacétonate de zinc sont utilisés comme ingrédients pour des systèmes stabilisants (AkzoNobel s. d.).

Le Tableau 24 et Tableau 25 présentent la production et les ventes des stabilisants publiés par le programme VinylPlus<sup>17</sup>.

Tableau 24. Production des stabilisants en EU-27 (Source : Vinyl, 2010 dans ECHA 2013b).

Systèmes stabilisants en tonnes	2007	2010
Stabilisants au plomb	99 991	37 545
Stabilisants au calcium organique, ex. systèmes Ca/Zn	62 082	91 948
Stabilisants à l'étain	16 628	12 162
Stabilisants liquides, Ba/Zn or Ca/Zn	19 000	14 000

Tableau 25. Ventes de stabilisants en EU-15, Norvège, Suisse et Turquie (Source : Vinyl, 2010 dans ECHA 2013b).

Tonnes of Stabiliser Systems	2000	2010
Stabilisants au calcium organique, ex. systèmes Ca/Zn	17 579	77 750
Stabilisants à l'étain	14 666	11 622
Stabilisants liquides, Ba/Zn or Ca/Zn	16 709	13 229

Dans la période 2007-2014, l'utilisation de stabilisants à base de plomb a diminué de 86 228 tonnes (-86%) dans l'UE-28, tandis que l'utilisation de stabilisants à base de calcium, qui sont utilisés comme une alternative, a augmenté de 29 472 tonnes (VinylPlus 2015).

<sup>17</sup> Le programme VinylPlus est un engagement de l'industrie européenne du PVC pour le remplacement de plomb dans l'UE-27. <http://www.vinylplus.eu/>

# PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

Le programme de VinylPlus comporte un engagement d'abandon total du plomb dans le PVC produit dans l'UE-28 dès la fin 2015. On ne dispose pas encore des chiffres pour 2015 permettant de vérifier cet engagement.

## 5.1.6 Cristal

Des travaux de recherches sont poursuivis depuis des années pour savoir si le plomb entrant dans la composition du cristal pourrait être substitué par un autre composé. Hadeland Glassverk, par exemple, essaie depuis longtemps de supprimer le plomb de son cristal (OCDE, 2000). Pour l'instant, ces travaux ne donnent pas satisfaction dans l'obtention simultanée des caractéristiques recherchées de brillance, de réfraction et de densité. Ainsi, d'après le BREF verreries, l'oxyde de plomb peut être remplacé, en partie ou totalement, par des oxydes de baryum, de zinc ou de potassium. Cela donne ce que l'on appelle du cristallin. Celui-ci a cependant une densité et une brillance moindre que le cristal (BREF verreries, 2001). Les solutions les plus satisfaisantes utilisent des composés dont les gisements sont limités en volume par rapport au besoin (baryum, bismuth) et pour lesquels il n'existe pas à ce jour d'étude de toxicologie. Les solutions évoquées ne sont pas non plus acceptables au niveau économique car ces matières premières sont très chères (Fédération des chambres syndicales de l'industrie du verre).

## 5.1.7 Munitions

Les alternatives au plomb dans les munitions sont (ECHA 2013c):

- L'acier : la grenaille d'acier est l'alternative la plus largement disponible à la grenaille de plomb. Cependant, les propriétés balistiques du plomb et de l'acier diffèrent significativement.
- Les composites de tungstène : le tungstène (W) a été utilisé pour remplacer du plomb.
- Bismuth/alliage d'étain : le bismuth (Bi) est une autre alternative envisageable dans les munitions, mais il est nécessaire d'ajouter d'une petite quantité d'étain pour réduire sa fragilité. Sa performance est comparable à celle du plomb dans les munitions de fusil de chasse. Asarco Globe a breveté un procédé pour fabriquer des munitions (pour la chasse aux oiseaux aquatiques) où le plomb est remplacé par du bismuth/étain (OCDE, 2000).

# PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

## 5.1.8 Autres

Pour un grand nombre des usages du plomb il existe des produits de substitution, notamment pour certaines applications pour les matériaux de construction, certaines gaines de câble, le verre, les quilles de bateaux, etc. (Bjornstad, 1992 ; Royal Haskoning, 2003).

En revanche, Corden (2000) estimait que l'utilisation comme protection anti-radiations devrait également perdurer encore de nombreuses années.

## 5.1.9 Coût de substitution

### 5.1.9.1 Matériel métallique

Le plomb est un métal relativement bon marché, et son faible prix est le principal frein à la substitution. Le prix du marché pour le métal plomb est actuellement d'environ 1,5 EUR/kg (Metal Prices 2015). Les alternatives au plomb sont - à quelques exceptions près (ex. zinc et acier) - souvent plus coûteuses.

Tableau 26. Coûts de métaux de remplacement, prix FOB (Source : ECHA 2013b).

Métaux/substances	Intervalle de prix 2008-2013 (EUR/tonne) (*)	Prix (EUR/tonne 2012) (**)
Plomb	700-2 200	1 467
Cuivre	2 500-7 500	4 809
Antimoine	3 000-14 000	
Zinc	900-2 000	
Acier (Benchmark)	300-1 200	
Etain	8 000-25 000	11 341
Bismuth	12 000-25 000	13 087

(\*) [www.metalprices.com](http://www.metalprices.com) ; (\*\*) [www.infomine.com](http://www.infomine.com). Taux d'échange 1 USD =0,775 EUR (9/12/2012).

### 5.1.9.2 Pigments

L'étude ECHA (2013) fait référence au travail du Conseil des ministres en Norvège sur les opportunités et les coûts de remplacement du plomb dans les pigments pour le plastique. Ils ont estimé un large intervalle de 0-33 euros par kg de plomb substitués. Le plomb contenu



# PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

dans les produits plastiques lié aux pigments varie de 1% à 23% en fonction du type d'injection sur les plastiques.

Les fabricants européens depuis plusieurs années substituent les pigments à base de plomb dans les matières plastiques destinées aux jouets, aux ustensiles de cuisine et aux contenants alimentaires.

# PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

Tableau 27. Référence de prix pour les pigments sans plomb (Source : ECHA 2013b).

Pigments	Intervalle de prix en 2012 (EUR/tonne)
Pigment à base de plomb pour comparaison	775 - 77 489
<i>Pigment rouges</i>	
C.I. Pigment Rouge 2	2 053
C.I. Pigment Rouge 4	23 247
C.I. Pigment Rouge 53	3 487 - 4 262
C.I. Pigment Rouge 57	2 247
C.I. Pigment Rouge 101	N/A
C.I. Pigment Rouge 122	2 053
<i>Pigments jaunes</i>	
C.I. Pigment Jaune 73	N/A
C.I. Pigment Jaune 184	N/A
C.I. Pigment Jaune 12	2 248
(C.I. Pigment Jaune 13	1 473
C.I. Pigment Jaune 42	930
C.I. Pigment Jaune 83	3 178
<i>Pigments blancs</i>	
Dioxyde de titane	1 394- 2 324
Oxyde de zinc (Zinc blanc)	1 208 - 1 286
Carbonate de calcium	N/A

# PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

## 5.1.9.3 Stabilisants

Le Tableau 28 présente le coût des stabilisants alternatifs à ceux à base de plomb. Les estimations retenues dans une étude ECHA (2013) sont de 4 à 15 euros/kg pour le plomb substitué dans le PVC souple, et d'environ 46 euros/kg pour le PVC rigide. L'étude signale que ces valeurs sont probablement surestimées. Les références prises dans ECHA 2013b sont quelque peu différentes, mais permettent une comparaison avec les alternatives.

Tableau 28. Références de coûts de substances utilisées comme stabilisants alternatives au plomb dans le PVC (Source : ECHA 2013b).

Stabilisants pour le PVC	Intervalle de prix en 2012 (EUR/tonne)
Stabilisant à base de plomb pour comparaison	1 046 - 1 565
Acides gras, C16-18, zinc salts	N/A
Acetylacetonate de calcium	5 153 - 6 935
Acetylacetonate de zinc	775 - 6 935

## 5.1.9.4 Granulés dans les cartouches

L'étude ECHA (ECHA 2013c) a examiné les coûts de substitution du plomb avec un certain nombre d'autres métaux dans les cartouches pour la chasse dans les zones humides selon l'accord de pays membres de l'UE et l'accord sur la conservation des oiseaux d'eau migrateurs d'Afrique-Eurasie (AEWA).

## 5.2 Réduction des émissions industrielles

La réduction des émissions de métaux lourds, et notamment de plomb, dans les émissions industrielles vers l'eau ou l'air est une question abondamment étudiée, notamment dans les documents BREF sur les Meilleures Techniques Disponibles. Ainsi, les BREF suivants donnent des valeurs d'émission associées aux meilleures techniques disponibles pour le plomb :

- BREF grandes installations de combustion (eau, < 0,1 mg/L) ;
- BREF verreries (eau, < 0,5 mg/L) ;
- BREF métaux ferreux ;

# PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

- BREF sidérurgie.

On peut donner ici quelques mesures générales visant à réduire la quantité de métaux dans les effluents :

- traitement des gaz de sortie pour retirer les poussières et les gaz acides ;
- collecte et traitement des effluents liquides pour retirer les métaux dissous ou en suspension (Thornton et al., 2001).

## 5.2.1 Industrie des métaux

### 5.2.1.1 Sidérurgie

Les principales émissions dues à l'industrie de l'acier proviennent des installations d'agglomération. Les taux d'efficacité des électrofiltres habituels ne sont pas très élevés pour les particules très fines. De ce fait des émissions importantes de plomb (de l'ordre du gramme de plomb par tonne d'aggloméré) se produisent. Les concentrations de plomb dans l'air ambiant autour des installations d'agglomération restent importantes même si elles sont réduites grâce à l'ajout d'équipements d'épuration humide des gaz à haute efficacité après les électrofiltres communs (UA-OÖ, 1998 ; in BREF Métaux ferreux).

Dans le cas des installations d'agglomération, le BREF sur les métaux ferreux cite notamment comme MTD les techniques ou combinaisons de techniques suivantes :

- Dépoussiérage des effluents gazeux par :
  - précipitation électrostatique avancée (ESP) (ESP à électrode mobile, système d'épuration à impulsions, précipitation électrostatique à haute tension) ;
  - ou précipitation électrostatique, plus filtre en tissu ;
  - ou pré-dépoussiérage (ESP ou cyclones par exemple) associé à une épuration par voie humide à haute pression.

L'emploi de ces techniques permet d'abaisser l'empoussièrément des rejets en dessous de 50 mg/Nm<sup>3</sup> dans les conditions normales de fonctionnement. En cas d'utilisation d'un filtre en tissu, ces rejets sont de 10 à 20 mg/Nm<sup>3</sup>.

- Recirculation des gaz résiduaux, lorsqu'elle n'affecte significativement ni la qualité ni la productivité de l'aggloméré, par :
  - recirculation d'une partie des gaz résiduaux à partir de toute la surface de la bande d'agglomération ;

# PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

- ou recirculation des gaz résiduaux par section.

Plus spécialement pour minimiser les rejets de métaux lourds, le BREF propose les MTD suivantes :

- emploi de systèmes d'épuration fine par voie humide en vue d'éliminer les chlorures de métaux lourds solubles dans l'eau (principalement de plomb), avec une efficacité supérieure à 90 %, ou d'un filtre à manche avec addition de chaux ;
- mise en décharge contrôlée (enrobage hermétique, collecte et traitement des lixiviats) des poussières provenant du dernier étage du séparateur électrostatique au lieu de les recycler vers la bande d'agglomération, éventuellement après extraction de l'eau suivie d'une précipitation des métaux lourds, afin de réduire autant que possible les quantités à mettre en décharge.

Enfin, pour minimiser les quantités de déchets solides, le BREF considère les techniques suivantes comme MTD par ordre de priorité décroissant :

- minimisation de la production de déchets ;
- recyclage sélectif vers le procédé d'agglomération ;
- en cas d'obstacle à toute réutilisation interne, on visera à une réutilisation extérieure ;
- si aucune réutilisation n'est possible, la seule option est la mise en décharge contrôlée associée au principe de minimalisation.

Les effluents aqueux peuvent contenir du plomb en cas d'utilisation d'eau de rinçage ou d'un système de traitement des gaz résiduaux par voie humide. Dans ces cas, l'effluent liquide doit être traité par précipitation des métaux lourds, neutralisation et filtration sur sable. On peut ainsi atteindre des concentrations en métaux lourds (Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn) inférieures à 0,1 mg/L.

Finalement, il faut relever que le document BREF exploité dans cette section n'a pas été révisé depuis 2001, et que les technologies et leurs performances ont vraisemblablement bénéficié d'améliorations depuis cette date.

# PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

## 5.2.1.2 Métaux non ferreux

D'après le BREF sur l'industrie des métaux non ferreux et notamment de production de plomb ou le recyclage du plomb issu de batteries, l'usage de différentes technologies permet d'atteindre des rejets de poussière inférieurs à 5<sup>18</sup> mg/Nm<sup>3</sup>.

Tableau 29. Techniques de traitement des poussières et métaux en fonction de la phase du procédé (Source : BREF métaux non ferreux).

Phase du procédé	Méthode de traitement
Manutention et stockage des matières	Application des pratiques correctes pour les stockages, manutentions et transferts ; captage des poussières et filtres à manches si nécessaire
Broyage, séchage	Conduite du procédé ; captage des gaz et filtres à manches
Frittage/grillage, première fusion, affinage au vent, affinage au feu	Captage des gaz, épuration des gaz par filtres à manches, récupération de chaleur
Traitement des scories	Captage des gaz, refroidissement et filtres à manches
Affinage par chaleur	Captage des gaz filtre à manches
Graphitisation, cuisson d'électrodes	Captage des gaz, condensation et électrofiltres, postcombustion ou épurateur alumine et filtre à manches
Production de métal en poudre, seconde fusion et coulée	Captage des gaz et filtre à manches

D'après le BREF, l'emploi de MTD doit permettre de rejeter dans les eaux moins de 0,05 mg de plomb par litre (page xvi). Les systèmes de traitement des eaux usées maximiseront l'élimination des métaux s'ils utilisent la sédimentation et au besoin la filtration.

## 5.2.1.3 Métaux ferreux

D'après le BREF Métaux ferreux, les principales bonnes pratiques pour les bains au plomb sont les suivantes :

- maintenir une couche protectrice ou couverture sur le bain au plomb pour minimiser les pertes de plomb par oxydation et réduire drastiquement les pertes énergétiques du bain de plomb ;
- éviter la formation de poussière lorsque l'on retire les impuretés du bain au plomb ;

<sup>18</sup> 4 mg/Nm<sup>3</sup> pour les poussières, et 1 mg/Nm<sup>3</sup> pour le Pb, dans le cas de certaines émissions

# PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

- garder les conteneurs contenant des déchets contaminés au plomb dans un endroit séparé et protéger cet endroit de la pluie et du vent ;
- minimiser les pertes par entraînement du plomb avec le fil.

Ces bonnes pratiques permettent d'utiliser au bain de plomb tout en émettant moins de 5 mg de plomb/Nm<sup>3</sup>.

Ce BREF liste également des MTD pour d'autres procédés spécifiques :

- pour le recuit en continu des fils à bas carbone et le patentage, diverses MTD permettent d'émettre moins de 5 mg de plomb/Nm<sup>3</sup> (p14) :
  - mesures de bon entretien concernant les bains au plomb (voir plus haut) ;
  - stocker séparément les déchets contenant du plomb et les protéger de la pluie et du vent ;
  - recycler les déchets contenant du plomb vers l'industrie des métaux non ferreux ;
  - faire fonctionner les bains de trempe en circuit fermé ;
- pour le revêtement par trempage à chaud en continu les MTD (traitement des eaux résiduaires avec une combinaison d'opérations de sédimentation, de filtration et/ou de flottation / précipitation / floculation) permettent d'émettre moins de 0,5 milligramme de plomb par litre.
- pour le revêtement de fil, les MTD (traitement des effluents aqueux par un traitement physico-chimique (neutralisation, floculation, etc.)) permettent également d'émettre moins de 0,5 mg de plomb/L.

## 5.2.2 Verre

### 5.2.2.1 Amélioration du recyclage

Les émissions de plomb des verreries proviennent essentiellement du plomb contenu dans la matière première. Celui-ci est dû à la présence de plomb dans certains types de verre (cristal ou verre TV notamment). Il est donc important d'améliorer la collecte sélective du verre pour éviter la réintroduction de verres à forte teneur en plomb dans la matière première.

Des techniques d'extraction du plomb (et d'autres métaux ferreux ou non ferreux) existent, par exemple en utilisant des machines à courants de Foucault. Le tri du verre collecté se fait en plusieurs étapes. Plusieurs procédés permettent de retirer du verre les bouchons, les papiers et matières organiques et tout ce qui est métallique. Les phénomènes physiques liés à la séparation des métaux non ferreux permettent de maintenir séparées les fractions

# PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

d'aluminium et celles de plomb ; ils garantissent une récupération spécifique de chaque famille de métaux.

L'entreprise Solover, par exemple, pratique le « démélange » du verre, c'est-à-dire le tri par couleur du verre mélangé pour en extraire le verre blanc. Cela lui permet d'avoir dans ses verres des teneurs en plomb de 2 ppm, alors que le seuil admis est de 30 ppm. L'investissement nécessité par cette installation (hors ligne) s'élève à 7,62 M€. C'est la société autrichienne Binder qui a fourni l'essentiel de l'équipement : machines de tri optoélectronique, système de dépistage et d'élimination. Leur installation est à même de traiter 180 000 tonnes annuelles de calcin, et un projet d'extension de l'usine est en cours<sup>19</sup>.

Les centres de traitement Ipaq utilisent également des séparateurs à courant de Foucault pour isoler les objets métalliques ferreux ou non ferreux qui polluent le verre de collecte et soulèvent des problèmes considérables au moment de la fusion du calcin chez le verrier<sup>20</sup>.

## 5.2.2.2 MTD pour réduire les émissions aqueuses

Le BREF verreries identifie un certain nombre de techniques pour réduire la présence de plomb dans les effluents aqueux :

- traitements physico-chimiques (tamisage, écumage, décantation, centrifugation, filtration) ;
- traitement biologique (boues activées, biofiltration, neutralisation, aération, précipitation, coagulation et floculation) (p13).

Ainsi, lorsque le verre (verre domestique) est trempé dans une solution d'acide, il a une couche de sulfate de plomb à sa surface. Elle est retirée avec de l'eau chaude mais celle-ci devient acide et contient du sulfate de plomb soluble. Cet effluent peut être traité avec une combinaison de techniques chimiques et physiques : on fait réagir le sulfate de plomb pour faire précipiter le plomb (par exemple avec du carbonate de calcium pour obtenir du carbonate de plomb). Ces précipités de plomb peuvent être retirés, généralement par coagulation et floculation, puis par une séparation physique. (p244)

Ces techniques permettent d'atteindre une concentration en plomb inférieure à 0,3 mg/L, en sensiblement inférieures si la production ne concerne pas le cristal.

<sup>19</sup> <http://www.solover.fr/index.php/fr/entreprise/actualite>

<sup>20</sup> Interview de Bernard Favory, Directeur général des centres de traitement Ipaq, sur [www.dechetcom.com](http://www.dechetcom.com) (03/11/2000).



# PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

## 5.2.2.3 MTD pour réduire les émissions atmosphériques des fours

Dans ce secteur on considère généralement que la MTD pour réduire les émissions de poussières des fours est un système d'électrofiltre ou de filtre à manches, conjugué au besoin à un système d'épuration des gaz acides par voie sèche ou semi-sèche. Les valeurs situées dans le bas de la fourchette seront en général obtenues par l'emploi de filtres à manches. »

En ce qui concerne plus spécialement les émissions de plomb pour la production de cristal, les MTD citées auparavant permettent d'atteindre des concentrations en plomb de l'effluent atmosphériques comprises entre 0,5 et 1 mg/Nm<sup>3</sup>, correspondant généralement à un flux compris entre 0,001 et 0,003 kg de Pb/t de verre fondu

En France, la mise en place de filtres d'ici fin 2008 pour le verre d'emballage, conformément à l'arrêté du 12 mars 2003, a permis de réduire les émissions atmosphériques à moins de 1 mg/Nm<sup>3</sup> (Fédération des chambres syndicales de l'industrie du verre).

## 5.2.3 Autres

### 5.2.3.1 Incinération des déchets

D'après Bouillot (2004), la voie d'amélioration passe par la réduction des émissions de poussière, puisque le plomb émis par les incinérateurs se trouve essentiellement dans les poussières.

Le BREF incinération des déchets propose des meilleures techniques disponibles qui permettent de diminuer les émissions de plomb ou de favoriser sa concentration dans les résidus d'incinération, en vue du recyclage.

La société japonaise, Sumitomo Metal Mining propose un procédé de recyclage de ces cendres. Le traitement consiste à chauffer les cendres à une température moyenne de 1000 degrés Celsius dans un four à calciner. En conséquence, les métaux lourds contenus sont volatilisés et les dioxines éliminées. De plus, après le refroidissement, il est désormais possible de récupérer du chlorure de plomb<sup>21</sup>.

### 5.2.3.2 Ciment et chaux

Des MTD pour réduire les émissions de plomb des fours sont notamment :

- baisser la température des gaz de sortie ;
- adsorption sur charbon activé.

<sup>21</sup> « Technologie: Traitement des cendres volantes » (14/01/2003) sur [www.dechetcom](http://www.dechetcom).

# PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

## 5.2.3.3 Grandes Installations de Combustion

Une méthode efficace pour réduire les émissions de certains métaux est la mise en place de systèmes désulfuration des gaz de sortie avec des laveurs humides ('wet scrubber FGD'). Mais la chaux utilisée peut être une source importante de certains métaux (notamment de plomb). Des systèmes ont été conçus spécifiquement pour réduire certains métaux des effluents gazeux (plomb notamment), initialement pour les incinérateurs de déchets : charbon actif ou systèmes de filtration à coke.

## 5.3 Utilisation et collecte des batteries usagées

La mise en place de bonnes pratiques (entretien régulier, contrôle régulier du niveau d'eau de la batterie) permet de limiter fortement les émissions de plomb lors de la production et de l'utilisation des batteries.

L'amélioration du taux de collecte et de recyclage est également un moyen de réduction des émissions.

La collecte est stable depuis plusieurs années en France, selon les statistiques du registre de l'ADEME (Figure 6). Un des paramètres exogènes d'évolution de la collecte est le prix du plomb, relativement stable sur cette période (cf. Chapitre Aspects économiques).

## PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES



Figure 6. Evolution de la collecte des batteries automobiles en France (Source : Ademe, 2014).

### 5.4 Régénération de batteries

Les procédés de « désulfatation », également qualifié de « régénération » par les professionnels du secteur, visent à prolonger la durée d'usage des accumulateurs au plomb de démarrage, de traction ou stationnaire (ADEME 2015). L'ADEME a réalisé en 2011 un état de l'art des technologies de désulfatation des accumulateurs au plomb afin de recenser les procédés existants et les acteurs concernés (ADEME 2011).

En 2015, l'ADEME a répertorié une dizaine de sociétés proposant des prestations de service de désulfatation ou de la vente de matériel de désulfatation. Les efforts en R&D de certains acteurs ont réussi à réduire la durée du procédé de régénération (passant de 10 jours à 2-3 jours) et ainsi assurer une mise à disposition plus rapide pour les utilisateurs. La désulfatation est financièrement intéressante pour les utilisateurs ; elle est facturée entre 30 % et 60 % du prix d'une batterie neuve (ADEME 2015).

# PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

## 6 ASPECTS ECONOMIQUES

### 6.1 Le plomb dans l'économie française

#### 6.1.1 Prix du plomb

Entre 2008 et 2010, la production du plomb est légèrement excédentaire, en générant une progression des stocks et une baisse des prix du métal. Après le pic inédit à 3 958 dollars la tonne en octobre 2007, les cours du plomb sur le LME se sont effondrés jusqu'à moins de 900 dollars fin décembre 2008. Depuis 2011, les prix fluctuent entre 1 700 et 2 450 dollars la tonne (voir les conversions aux euros pour les dernières années dans le Tableau 30). Au cours des premiers mois de l'année 2015 après une baisse notable en fin d'année 2014, les prix se trouvaient dans le bas de cette fourchette, dans la lignée de nombreuses autres métaux cotés (Boursorama s. d.).

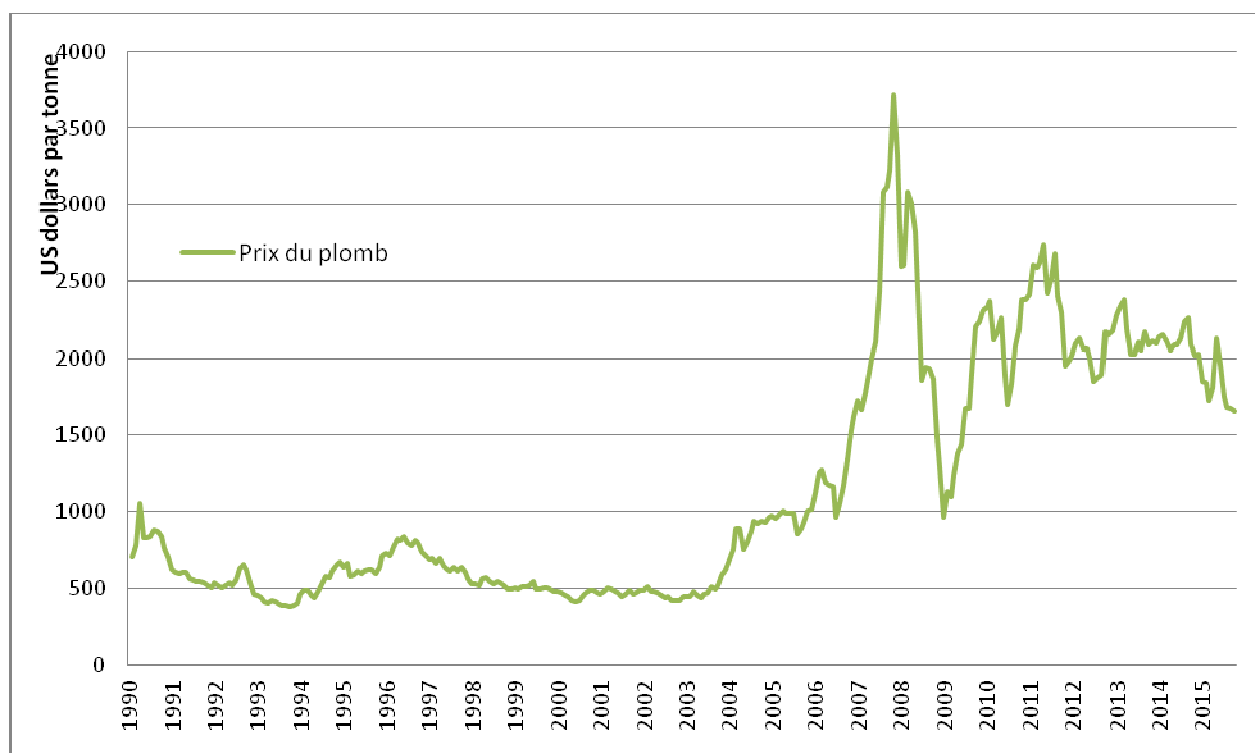


Figure 7. Evolution du prix de plomb (Source : INSEE).

# PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

Tableau 30. Prix du plomb (conversion de prix de US cents/Livre à euros/tonne) (Sources : ECHA 2013b; USGS 2015).

Euros par tonne	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Producteur nord-américain	1 994,64	1 804,88	1 374,53	1 811,63	1 962,17	2 203,13	2 222,46	-
London Metal Exchange	1 882,04	1 425,86	1 233,76	1 618,83	1 788,11	1 806,96	1 878,46	1 662,01

## 6.1.2 Importance du plomb dans l'économie française

Tableau 31. Données économiques sur les entreprises de 20 personnes et plus dans les secteurs d'activité où le plomb est important en 2003 (Source : MINEFI) et en 2013 (Source : Datainfogreffe).

Secteurs d'activité	Nombre d'entreprises	Effectif salarié	Chiffre d'affaires H.T. (M€)	Exportations (M€)	Investissements (M€)
2003					
Production et première transformation du plomb	12	1 640 (*)	517	226	25
Fabrication d'accumulateurs et de piles électriques	12	5 167 (*)	796	361	35
2013					
Métallurgie du plomb, du zinc ou de l'étain	13	954 (**)	679	s.d	s.d
Fabrication d'accumulateurs et de piles électriques	15	937 (**)	410	s.d	s.d

(\*) Effectif salarié au 31/12/2003 ; (\*\*) Effectif salarié au 31/12/2013 ; sans donnée.

D'après Thorax et al. (2001), le chiffre d'affaires du marché mondial des batteries automobiles en 1999 est compris entre 6 et 10 milliards de dollars et celui des batteries de secours est d'environ 2,85 milliards de dollars. Le nombre de personnes employées dans l'extraction, la fusion et le raffinage du plomb sont de l'ordre de 70 000 à 90 000, auxquelles s'ajoutent environ 2 000 travaillant dans la production d'oxydes de plomb. La fabrication de batteries emploie entre 60 000 et 70 000 personnes. Le minerai de plomb est actuellement produit par quantité de 4 Mt de concentré par an, contenant 3,1 Mt de plomb. Cette

# PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

production avait en 1998 une valeur totale de 2,2 G\$. En 1998, 6 Mt de plomb furent raffinées, pour une valeur de presque 4 milliards de dollars.

En France, en 2013 la fabrication des accumulateurs et piles électriques représente 410 M€. Les principales entreprises sont : Exide Technologies SAS (200 M€ de CA en 2013), EnerSys SARL (142 M€ de CA en 2013) et Blue Solutions (52 M€ de CA en 2013).

Le plomb représente une part élevée d'1/5ème du prix d'une batterie (Vignes et al., 1998), et selon les acteurs contactés pour cette mise à jour, le faible prix du plomb et associé à son poids économique demeure son attrait principal pour les batteries automobiles. Si on estime à 9 millions le nombre de batteries automobiles vendues chaque année en France et à 100 € le prix moyen d'une batterie, le chiffre d'affaire annuel du plomb contenu dans les batteries automobiles était de l'ordre de 180 M€.

## 6.2 Sites produisant, recyclant ou utilisant du plomb en France

Les données figurant dans cette section ne prétendent pas à l'exhaustivité mais fournissent des exemples d'activités industrielles liées au Plomb en France.

### 6.2.1 Production de plomb et recyclage des batteries

La filière des piles et accumulateurs s'organise autour des acteurs de la mise sur le marché (producteurs) de piles et accumulateurs neufs et des acteurs de la collecte (éco-organismes ou producteurs) et du traitement (recycleurs) des déchets de piles et accumulateurs. Conformément à la directive 2006/66/CE, la filière du recyclage est segmentée en trois : portable, automobile et industriel (ADEME 2015). Le Tableau 32 montre l'évolution de tonnage collecté de piles et accumulateur les dernières années.

# PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

Tableau 32. Quantités collectées par type de piles et accumulateurs en France (Source :ADEME 2015).

Année	Collecte par type de pile et accumulateur (en tonne)			Total
	Portable (*)	Industriel (**)	Automobile (***)	
2009	10 453	13 992	183 241	207 687
2010	10 791	18 954	193 260	223 005
2011	11 367	13 468	190 960	215 795
2012	11 520	13 825	208 177	233 522
2013	11 366	12 273	184 381	208 020
2014	11 989	12 104	177 606	201 699

(\*) Données des éco-organismes et producteurs ; (\*\*) calculé à partir des données des recycleurs; (\*\*\*) calculé à partir des données des recycleurs.

L'industrie du plomb (production de plomb et récupération du plomb) en France a connu d'importantes restructurations depuis une dizaine d'années :

- fermeture de sites (la plus médiatisée a été celle de Metaleurop Nord à Noyelles-Godault en janvier 2002) ;
- après la faillite de sa filiale Metaleurop Nord, Metaleurop SA a été mis en redressement judiciaire en octobre 2003, et devenu Recylex en 2007; le groupe est très endetté et n'emploie plus en France que quelques dizaines de personnes réparties sur une dizaine de sites ;
- concentrations (achat d'APSM par la STCM en juin 2002 ; achat du premier producteur français de batteries au plomb, la CEAC, par Exide en 1995) ;
- diminution de la production primaire de plomb au profit de la récupération de plomb par recyclage des batteries.
- Les accumulateurs au plomb sont traités par 5 opérateurs présentés dans le Tableau 33.

# PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

Tableau 33. Entreprises opérateurs de traitement pour les accumulateurs au plomb en France en 2014 selon le registre national des producteurs de piles et accumulateurs (Source : ADEME (2015)).

Entreprise Accumulateur au plomb	Principale activité	Sites en France et capacité de traitement annuelle (en tonnes)
EPUR	Tri et préparation au recyclage	Stains (25 000)
STCM	Broyage, filière pyrométallurgique (fusion)	Toulouse (25 000), Bazoches-les-Gallerandes (75 000), Pont Sainte Maxence
METAL BLANC	Broyage, filière pyrométallurgique (fusion)	Bourg-Fidèle (45 000)
RECYLEX	Broyage, séparation densimétrique et par floculation	Villefranche-sur-Saône (50 000) et d'Escaudœuvres (63 000)
GDE	Broyage, séparation densimétrique et par floculation	Rocquancourt (50 000)

Les principaux recycleurs de batteries au plomb en France sont actuellement les suivants :

- EPUR, à Stains (93) a une capacité de traitement annuelle de 25 000 tonnes, emploie 15 personnes et a généré un CA 9M€ en 2013.
- La Société de traitement chimique des métaux (STCM).<sup>22</sup> La STCM emploie 90 personnes et possède deux sites en France : Toulouse (31) et Bazoches-les-Gallerandes (45). En outre la STCM contrôle depuis juin 2002 APSM, Affinerie de Pont Sainte Maxence, ex CEAC, à Pont Sainte Maxence - Brenouille (60), qui emploie 60 personnes. Ces trois sites totalisent une capacité d'environ 85 000 tonnes. L'activité de la STCM consiste à traiter des produits en fin de vie qui contiennent du plomb pour les transformer en plomb pur ou en alliages de plomb que ses clients utiliseront pour fabriquer de nouveaux produits. L'approvisionnement de la STCM est principalement constitué de batteries usagées collectées, produits de broyage, tuyaux et planches de plomb et résidus de fabrication sur le marché français.
- Métal Blanc, à Bourg-Fidèle (08) recycle également les batteries au plomb. Cette usine fait de l'affinage de plomb et produit du plomb raffiné et des alliages pour batteries. Sa production s'est élevée à 25 000 tonnes. Elle emploie une quarantaine de

<sup>22</sup> Filiale française du groupe Eco-Bat Technologies. Avec une capacité de production de plus de 700 000 tonnes, ce groupe est leader mondial (STCM s. d.).



# PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

personnes. Au sein de l'usine de Bourg-Fidèle la récupération de plomb est assurée dans une unité de broyage des batteries, une unité de fusion et réduction des matières plombeuses, une unité d'affinage et un laboratoire de contrôle (Métalblanc s. d.).

- Le groupe RECYCLEX est présent en France, en Allemagne et Belgique. Les unités de traitement sont basées sur les sites de Villefranche-sur-Saône (69) et d'Escaudœuvres (59) en France, et de Goslar en Allemagne. Ils réceptionnent des batteries usagées entières, les broient et en trient les constituants. RECYCLEX est le troisième producteur de plomb en Europe et emploie près de 675 personnes (RECYCLEX s. d.).
- Guy Dauphin Environnement - GDE a son siège à Rocquancourt (14) et a développé un réseau national de plus de 80 sites, classés en deux catégories : sites de collectes avec les apports des particuliers, professionnels et artisans, et sites de production. GDE emploie plus de 1100 salariés. L'entreprise recycle et valorise près de 3 millions de tonnes de matière par an. Son site de Rocquancourt est entièrement automatisé et a une capacité de recyclage de 30 tonnes/h (GDE s. d.).

## 6.2.2 Fabrication de batteries au plomb industrielles

Suite à la fermeture à Outarville (2013) du site de STECO POWER, il n'y a plus de fabricant français de batteries automobiles. En effet, les entreprises EXIDE et ENERSYS fabriquent exclusivement des accumulateurs au plomb de type industriel (ADEME 2015).

La fabrication des autres types d'accumulateurs industriels est assurée par SAFT et BATSCAP (Groupe Bolloré), spécialiste des batteries Lithium Métal Polymère. D'après l'ADEME (2015), 50 % des piles et accumulateurs portables sont fabriqués en Europe (Belgique, Allemagne et Europe de l'Est) et 50 % proviennent d'Asie et des États-Unis.

En France, les principaux producteurs de batteries industrielles au plomb sont les suivants :

- Exide Technologies a son siège à Gennevilliers et une usine à Lille. C'est un groupe américain qui, en 1995, a acheté le n°1 français, la Compagnie européenne d'accumulateurs (CEAC). Exide fabrique et commercialise trois lignes principales de produits : les batteries automobiles, les batteries de traction, les batteries stationnaires. D'après le site Internet d'Exide, une partie des dépenses en R&D se concentrent sur le développement de batteries intelligentes, les matériaux de pointe et la conception de processus, ainsi que sur les batteries du plomb-acide (auxiliaires) de pointe pour les véhicules hybrides et électriques.
- Enersys. D'après son site Internet, il s'agit du plus grand fabricant européen de batteries au plomb. Il produit des batteries stationnaires (alimentation de secours pour les

# PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

télécommunications, UPS), des batteries de traction et des chargeurs. Il dispose d'une usine de production de batteries de traction à Arras (62)<sup>23</sup>.

## 6.2.3 Produits laminés et extrudés

En France l'entreprise D'Huart Industrie - DHI à Marseille (13) fabrique des demi-produits en plomb et alliage tels que tôles et feuilles laminées, extrudés (fils, tubes, tuyaux, etc.), pièces de fonderie injectées ou coulées par gravité. Elle fabrique également des produits de chaudronnerie de plomb et des ensembles complets en plomb pour la chimie ou la protection contre les rayonnements. En 2014, son CA était de 16M€ et son effectif à 46 personnes.

## 6.2.4 Alliages

Les Établissements Eugène Budin et ses fils (Aubervilliers, 93) fabriquent tous types d'alliages à base d'étain et de plomb, d'alliages pour électronique, de plomb et de pâtes à souder et à étamer. Ils retraitent également des déchets étain/plomb. Leur filiale S.N.E. Berger, située au même endroit, fait de l'étamage à façon, notamment de plomb. L'effectif total de l'entreprise s'élève à environ 20 personnes.

## 6.2.5 Producteur de pigments

En France, l'usine d'Ecka Granules Poudmet (groupe Eckart), liquidée en 2013, produisait des poudres et pigment de plomb. Située à Bailleval (60), elle avait une capacité totale de production de 6 000 tonnes et un effectif de 70 personnes.

## 6.2.6 Divers

L'entreprise Le plomb français (filiale du groupe Eco-Bat Technologies), dont l'usine est située à Estrées-Saint-Denis (60) fait de l'affinage de plomb, fabrique des lingots de plomb doux et affinés, des laminés, des tuyaux, des anodes, des grenailles et des produits de soudure plomb-étain. Sa production s'est élevée à 18 000 tonnes par an et ils employaient 44 salariés (les-industries-technologiques.fr non daté).

---

<sup>23</sup> Site Internet d'Enersys-Hawker  
(<http://www.enersys-hawker.com/customerservice/manufacturing.asp?lang=f>).

# PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

## 7 CONCLUSION

Depuis que les carburants automobiles ne contiennent plus de plomb, les principales sources de rejet de plomb dans l'environnement sont liées à l'industrie : industrie des métaux, batteries au plomb, verreries, traitement des déchets.

L'usage principal du plomb est les batteries automobiles. Les autres usages sont généralement fortement réglementés et en déclin (substitution). L'utilisation pour les batteries est au contraire en croissance et le plomb ne semble pas avoir de substituts viables à court terme. Toutefois si ces batteries sont produites de façon propre et si elles sont recyclées intégralement, il semble possible d'avoir des rejets faibles pour cette activité. Il est donc nécessaire d'accroître au maximum les taux de recyclage des batteries plomb-acide.

Dans l'industrie du verre, les techniques de recyclage doivent être perfectionnées pour réduire la présence de plomb dans le calcin. Dans l'industrie des métaux, il est sans doute nécessaire d'être particulièrement attentifs aux rejets diffus.

Les émissions de plomb ont été très significativement réduites durant ces dernières années et devraient continuer à diminuer. Il semble cependant impossible d'obtenir des rejets proches de zéro. En premier lieu, les sources majoritaires sont des émissions diffuses (eaux de ruissellement). D'autre part la diversité des sources d'émission et la non substituabilité du plomb pour une de ses principales applications (batteries automobiles au plomb) rendent très difficile de fortes réductions des rejets à court terme. Les réductions sont peut-être plus à attendre du remplacement des véhicules à combustion interne par des véhicules électriques, qui font peu appel au plomb pour leurs batteries. Des mesures existent cependant pour s'approcher au maximum de cet objectif, notamment en ce qui concerne l'efficacité du recyclage de divers produits (verre, batteries au plomb) et la captation et le traitement des rejets de certains secteurs industriels (industrie des métaux).

## 8 REFERENCES

### 8.1 Entreprises, organismes et experts interrogés

Lauragais peintures.

Penox (60), responsable sécurité environnement.

SNPE.

Usine Umicore France d'Auby (59).

Usine Aluminium Pechiney de Gardanne (13), service environnement.

# PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

Usine de la Société de traitement chimique des métaux (STCM) de Bazoches-les-Gallerandes (45).

Usine de LG Philips Displays France à Dreux (28).

Comité environnement de la Fédération des chambres syndicales de l'industrie du verre.

Derichebourg, Research and Development.

Groupe Saint-Gobain, Recyclage.

## 8.2 Sites Internet

<http://www.eper.cec.eu.int/> (EPER, European Pollutant Emission Register)

### 8.2.1 Organismes

<http://www.stabilisers.org> (European Stabiliser Producers Association)

<http://www.sfc.fr> (Société française de chimie)

<http://www.eurometaux.org> (Eurometaux)

[www.dechetcom.com](http://www.dechetcom.com) (Portail d'information sur la collecte, la récupération et le recyclage des déchets)

<http://data.mineraux-et-metaux.org/> (Fédération des chambres syndicales des minerais, minéraux industriels et métaux non ferreux)

### 8.2.2 Entreprises

<http://www.stc-metaux.com> (Société de traitement chimique des métaux (STCM))

<http://www.enersys-hawker.com> (Hawker)

<http://www.varta-automotive.com> (Varta)

<http://www.autosil.pt> (Autosil)

<http://www.metaleurop.fr> (Metaleurop)

<http://www.delphi.com/> (Delphi)

# PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

## 8.3 Bibliographie

### 8.3.1 Législation européenne

#### 8.3.1.1 Directives

REACH Règlement 628/2015 du 22 avril 2015 relatif au plomb dans les articles grand public.

REACH Règlement 836/2012 du 18 septembre 2012 relatif au plomb dans le bijoux.

Directive 2006/66/CE du 6 septembre 2006 et abrogeant la directive 91/157/CEE relative aux piles et accumulateurs.

Directive 2002/95/CE du Parlement européen et du Conseil du 27 janvier 2003 relative à la limitation de l'utilisation de certaines substances dangereuses dans les équipements électriques et électroniques.

Directive 2000/53/CE du Parlement européen et du Conseil du 18 septembre 2000 relative aux véhicules hors d'usage.

Directive 1999/30/CE du Conseil du 22 avril 1999 relative à la fixation de valeurs limites pour l'anhydride sulfureux, le dioxyde d'azote et les oxydes d'azote, les particules et le plomb dans l'air ambiant.

Directive 98/101/CE de la Commission du 22 décembre 1998 portant adaptation au progrès technique de la directive 91/157/CEE du Conseil relative aux piles et accumulateurs contenant certaines matières dangereuses.

Directive 98/70/CE du Parlement européen et du Conseil du 13 octobre 1998 concernant la qualité de l'essence et des carburants diesel et modifiant la directive 93/12/CEE du Conseil.

Directive 93/86/CEE de la Commission du 4 octobre 1993 portant adaptation au progrès technique de la directive 91/157/CEE du Conseil relative aux piles et accumulateurs contenant certaines matières dangereuses.

Directive 91/157/CEE du Conseil, du 18 mars 1991, relative aux piles et accumulateurs contenant certaines matières dangereuses.

#### 8.3.1.2 Autres

Décision de la Commission du 3 mai 2000 remplaçant la décision 94/3/CE établissant une liste de déchets en application de l'article 1<sup>er</sup>, point a), de la directive 75/442/CEE du Conseil relative aux déchets et la décision 94/904/CE du Conseil établissant une liste de déchets dangereux en application de l'article 1<sup>er</sup>, paragraphe 4, de la directive 91/689/CEE du Conseil relative aux déchets dangereux.

# PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

Règlement (CEE) n° 3279/92 du Conseil, du 9 novembre 1992, modifiant le règlement (CEE) n° 1601/91 établissant les règles générales relatives à la définition, à la désignation et à la présentation des vins aromatisés, des boissons aromatisées à base de vin et des cocktails aromatisés de produits viti-vinicoles.

## 8.3.1.3 Base de données

BDREP (INERIS) Registre Français des Emissions Polluantes.

IREP (MEDDE) Registre Français des Emissions Polluantes,  
<http://www.irep.ecologie.gouv.fr/IREP/index.php>

E-PRTR Registre Européen de Emission et transferts de polluants,  
<http://prtr.ec.europa.eu/PollutantReleases.aspx>

## 8.3.2 Législation française

### 8.3.2.1 Arrêtés

Arrêté du 9 mai 2005 relatif à l'interdiction de l'emploi de la grenaille de plomb dans les zones humides pour la chasse.

Arrêté du 30 juillet 2003 relatif aux chaudières présentes dans des installations existantes de combustion d'une puissance supérieure à 20 MWth.

Arrêté du 12 mars 2003 relatif à l'industrie du verre et de la fibre minérale.

Arrêté du 20 septembre 2002 relatif aux installations d'incinération et de co-incinération de déchets dangereux.

Arrêté du 20 septembre 2002 relatif aux installations d'incinération et de co-incinération de déchets non dangereux et aux installations incinérant des déchets d'activités de soins à risques infectieux.

Arrêté du 20 juin 2002 relatif aux chaudières présentes dans une installation nouvelle ou modifiée d'une puissance supérieure à 20 MWth.

Arrêté du 26 juin 2001 relatif à la communication des informations concernant la mise sur le marché, la collecte, la valorisation et l'élimination des piles et accumulateurs.

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 soumises à autorisation.

# PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

Arrêté du 10 juin 1996 relatif à l'interdiction d'emploi des brasures contenant des additions de plomb dans les installations fixes de production, de traitement et de distribution d'eaux destinées à la consommation humaine.

## 8.3.2.2 Décrets

Décret 2015-849 du 10 juillet 2015 relatif à la mise sur le marché de piles et accumulateur.

Décret n° 2001-1220 du 20 décembre 2001 relatif aux eaux destinées à la consommation humaine, à l'exclusion des eaux minérales naturelles.

Décret n° 99-1171 du 29 décembre 1999 modifiant le décret n° 99-374 du 12 mai 1999 relatif à la mise sur le marché des piles et accumulateurs et à leur élimination.

Décret n° 99-374 du 12 mai 1999 relatif à la mise sur le marché des piles et accumulateurs et à leur élimination.

Décret n° 97-1328 du 30 décembre 1997 relatif à la mise sur le marché des piles et accumulateurs contenant certaines matières dangereuses et à leur élimination.

## 8.3.3 Documents BREF

European IPPC Bureau (2014). Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Common Waste water and Waste Gas the Chemical Sector.

European IPPC Bureau (2013). Integrated Pollution Prevention and Control - Draft Reference Document on Best Available Techniques for Waste Incineration. (Draft May 2003) European Commission, Institute for Prospective Technological Studies.

European IPPC Bureau (2012). Integrated Pollution Prevention and Control - Reference Document on Best Available Techniques in the Glass Manufacturing Industry. European Commission, Institute for Prospective Technological Studies.

European IPPC Bureau (2001). Integrated Pollution Prevention and Control - Best Available Techniques Reference Document on the Production of Iron and Steel. European Commission, Institute for Prospective Technological Studies.

European IPPC Bureau (2001). Integrated Pollution Prevention and Control - Reference Document on Best Available Techniques in the Ferrous Metals Processing Industry. European Commission, Institute for Prospective Technological Studies.

European IPPC Bureau (2015). Integrated Pollution Prevention and Control - Reference Document on Best Available Techniques in the Non Ferrous Metals Industries. European Commission, Institute for Prospective Technological Studies, Final Draft.

# PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

Les BREF, ou projets de BREF, sont disponibles sur le site Internet du Bureau européen IPPC, à l'adresse suivante : <http://eippcb.jrc.es/> (dans la rubrique 'Activities').

Le site Internet « Aida (la réglementation des installations classées pour la protection de l'environnement) » (<http://aida.ineris.fr/bref/>) propose la traduction des résumés des BREF et celle du texte intégral de quelques-uns.

## 8.3.4 Autres

ADEME. 2003. *Observatoire des piles et accumulateurs* : La situation en 2002 - Rapport sur la mise en œuvre des dispositions réglementaires relatives aux piles et accumulateurs.

Ademe. 2010. Collection Repères *Le recyclage en France Bilan annuel Données 2010*. [http://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/adm00011590\\_adm\\_attache\\_1.pdf](http://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/adm00011590_adm_attache_1.pdf).

ADEME. 2011. *Etat de l'art des technologies de desulfatation des accumulateurs au plomb*. [http://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/83345\\_etat\\_de\\_art\\_de\\_la\\_desulfatation\\_des\\_accumulateurs\\_au\\_plomb\\_rapport\\_final\\_aout\\_2011.pdf](http://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/83345_etat_de_art_de_la_desulfatation_des_accumulateurs_au_plomb_rapport_final_aout_2011.pdf).

———. 2015. Collection Repères *Piles et accumulateurs*. <http://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/registre-pa-donnees2014-rapportannuel-201510.pdf>.

Agence nationale pour l'amélioration de l'habitat ANAH. 2003. *Le Plomb dans l'eau*.

AkzoNobel. « AkzoNobel Polymer Chemistry. » <https://www.akzonobel.com/> (5 novembre 2015).

AESN, 2008, Guide des substances toxiques, Fiche Plomb.

Aschke, Holger, et Michael Geiger. 2015. « Industrial Battery Market Outlook Update 2015. » In *EUROBAT Forum 2015*, Brussels, 4. [http://www.eurobat.org/sites/default/files/industrial\\_battery\\_market\\_outlook\\_update\\_2015\\_0.pdf](http://www.eurobat.org/sites/default/files/industrial_battery_market_outlook_update_2015_0.pdf).

Barbay, D. 2004. *Les Installations classées et les rejets en plomb*.

BEBAT. « BEBAT. » <http://www.bebat.be/fr/Lasociete> (28 octobre 2015).

Bottin, Anne, Irénée Joassard, et Valéry Morard. 2014. « L'environnement en France - édition 2014. » : 384 p.

Bouillot, J.M. 2004. « Situation en région Rhône-Alpes et actions de réduction. » *Techniques*,



# PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

*Sciences, Méthodes* 1(janvier): 46- 49.

Boursorama. « Fondamentaux plomb - évolution du prix. »  
<http://www.boursorama.com/bourse/cours/matieres-premieres/fondamentaux.phtml?symbole=7xPBUSD> (6 novembre 2015).

BRGM. « Le marché du plomb en léger surplus en 2013. » *MinéralInfo*.  
<http://www.mineralinfo.fr/ecomine/marche-plomb-en-leger-surplus-en-2013> (14 octobre 2015).

Choubert, J.-M. et al. 2011. « Evaluer les rendements des stations d'épuration. Apports méthodologiques et résultats pour les micropolluants en filières conventionnelles et avancées. » *Techniques Sciences Méthodes* 1/2: 44- 62.

CITEPA. 2015. *Rapport national d'inventaire*. [http://www.citepa.org/images/III-1\\_Rapports\\_Inventaires/secten\\_avril2015\\_sec.pdf](http://www.citepa.org/images/III-1_Rapports_Inventaires/secten_avril2015_sec.pdf).

Commission européenne. 2011. « DIRECTIVE 2011/65/UE DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL. » *Journal officiel de l'Union européenne*. <http://eur-lex.europa.eu/Legal-content/FR/TXT/HTML/?uri=CELEX:32011L0065> (23 octobre 2015).

Corden, C. 2000. *Socio-Economic Impacts of the Identification of Priority Hazardous Substances under the Water Framework Directive*.

Datainfogreffe. « Portail des données ouvertes des Greffes des Tribunaux de Commerce. »  
<http://datainfogreffe.fr/> (6 novembre 2015).

Descotes, J. 2004. « Actualisation du risque saturnin : toxicologie du plomb, épidémiologie et voies d'exposition. » *Techniques, Sciences, Méthodes* 1(janvier): 40- 45.

ECHA. 2013a. *Annex XV Restriction Report Amendment to a Restriction Cadmium and its compounds - Paints*. Helsinki. <http://echa.europa.eu/documents/10162/dc6816da-9f06-4333-96b7-cefed6552c2d>.

———. 2013b. *Background document to the Opinion on the Annex XV dossier proposing restrictions on Lead and its compounds in articles intended for consumer use*.

———. 2013c. *Estimating the abatement costs of hazardous chemicals A review of the results of six case studies*. Helsinki.  
[http://echa.europa.eu/documents/10162/13580/abatement+costs\\_report\\_2013\\_en.pdf](http://echa.europa.eu/documents/10162/13580/abatement+costs_report_2013_en.pdf).

———. 2013d. *Opinion on an Annex XV dossier proposing restrictions on Lead and its compounds in articles intended for consumer use*. Helsinki.

# PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

- . « List d'autorisations REACH. » <http://echa.europa.eu/fr/addressing-chemicals-of-concern/authorisation/recommendation-for-inclusion-in-the-authorisation-list/authorisation-list> (7 octobre 2015).
- ECOBAT. « ECOBAT Technologies Ltd. » <http://ecobatgroup.com/ecobatgroup-en/>.
- E-PRT. 2013. « Pollutant Releases. » <http://prtr.ec.europa.eu/PollutantReleases.aspx>.
- European IPPC Bureau. 2014. *Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Common Waste water and Waste Gas the Chemical Sector.* [http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/CWW\\_Final\\_Draft\\_07\\_2014.pdf](http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/CWW_Final_Draft_07_2014.pdf).
- Eurostat. « Principaux flux de déchets Piles. » <http://ec.europa.eu/eurostat/web/waste/key-waste-streams/batteries> (27 octobre 2015).
- GDE. « GDE. » <http://www.gde-nonant.fr/> (10 novembre 2015).
- Guillot, L. 2004. « Les peintures au plomb : réglementation et obligation des acteurs. » *Techniques, Sciences, Méthodes* 1(janvier): 50- 53.
- HCSP, 2013, "Avis sur l'analyse et l'évaluation de l'efficacité des actions engagées pour respecter la future limite de qualité de 10 µg/L de plomb dans l'eau du robinet"
- ILA. « Lead Production & Statistics. » <http://www.ila-lead.org/Lead-facts/Lead-production-statistics> (27 octobre 2015).
- ILZSG. 2015. « Review of Trends in 2014 Lead. » *Press Release: 2.* [http://www.ilzsg.org/generic/pages/List.aspx?table=document&ff\\_aa\\_document\\_type=R&from=3](http://www.ilzsg.org/generic/pages/List.aspx?table=document&ff_aa_document_type=R&from=3).
- INERIS. 2012. « Inégalités environnementales - PLAINE Résultats pour l'Ile de France. » <http://www.ineris.fr/centredoc/carte-iledefrance-1412325556.pdf>.
- . « Inégalités environnementales. » <http://www.ineris.fr/dossiers-thematiques-ineris/143912> (13 novembre 2015a).
- . « RSDE Action nationale de recherche et de réduction des rejets de substances dangereuses dans les eaux. » <http://www.ineris.fr/rsde/>.
- INSEE. « Plomb Settlement (Londres) - Prix en US dollars par tonne. » <http://www.insee.fr/fr/bases-de-donnees/bsweb/doc.asp?idbank=000484334> (6 novembre 2015).
- les-industries-technologiques.fr. « Le plomb français. » <http://www.les-industries-technologiques.fr/presentation-entreprise/Le-plomb-francais/> (10 novembre 2015).

# PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

- Jacquier, B. 2012, "Nano-optique du solide", Lavoisier Editions
- Lohse, J., Wirts, M., Ahrens, A., Heitmann, K., Lundie, S., Lißner, L., Wagner, A. 2003. *Substitution of hazardous chemicals in products and processes.*
- Metal Prices. 2015. « LME Lead Summary. » <http://www.metalprices.com/> (19 octobre 2015).
- Métalblanc. « Métalblanc. » <http://www.metalblanc.fr/> (10 novembre 2015).
- Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement. 2001. *Suppression De L'Utilisation De La Grenaille De Plomb De Chasse Dans Les Zones Humides Exposant Les Oiseaux D'Eau Au Saturnisme.* <http://www.ladocumentationfrancaise.fr/var/storage/rapports-publics/014000534.pdf>.
- Ministère de l'écologie du développement durable et de l'énergie. 2012. « Arrêté du 26/12/12 modifiant l'arrêté du 31 janvier 2008 relatif au registre et à la déclaration annuelle des émissions polluantes et des déchets. » *Réglementation de la prévention des risques et de la protection de l'environnement.* [http://www.ineris.fr/aida/consultation\\_document/23106](http://www.ineris.fr/aida/consultation_document/23106) (29 octobre 2015).
- . 2015. « Arrêté du 7 août 2015. » *Journal Officiel de la République Française* Texte 6: 103.
- OECD Environment Directorate. 1993. *Risk Reduction Monograph No. 1: Lead - Background and National Experience with Reducing Risk.*
- RECYCLEX. « RECYCLEX. » <http://www.recylex.fr/fr,notre-groupe,presentation.html> (10 novembre 2015).
- REDUX. « REDUX. » <http://www.redux-gmbh.de/english/index.html> (28 octobre 2015).
- REFIND Technologies. « Products The optical battery sorter. » <http://www.refind.se/theobs/> (28 octobre 2015).
- Réseau national des données sur l'eau. 1999. *Les micropolluants dans les cours d'eau français, 3 années d'observations (1995 à 1997).*
- Royal Haskoning. 2003. *Fact sheets on production, use and release of priority substances in the WFD Royal Haskoning - Lead.*
- SNAM. « The rise of recycling. » <http://www.snam.com/> (28 octobre 2015).
- Soleille, S. 2004. *Installations IPPC en France et valeurs limites d'émission.*
- STCM. « STCM. » <http://www.stc-metaux.com/> (10 novembre 2015).

## PLOMB ET PRINCIPAUX COMPOSES

- Summerfield, David. 2015. « Future Market Prospects for Lead Eco-Bat Facilities Worldwide. »  
In ILZSG, 19.  
[http://www.ilzsg.org/generic/pages/List.aspx?table=document&ff\\_aa\\_document\\_type=P&from=5](http://www.ilzsg.org/generic/pages/List.aspx?table=document&ff_aa_document_type=P&from=5).
- Thornton, I., Rautiu, R., Brush, M. 2001. *Lead - The facts*.
- Tukker, A., Buijst, H., van Oers, L., van der Voet, E. 2001. *Risks to Health and the Environment Related to the Use of Lead in Products*.
- Union luxembourgeoise des consommateurs - ULC. 2003. « Piles, batteries et accumulateurs. »  
<http://www.ulc.lu/> (11 février 2003).
- USGS. 2015. « Lead Statistics and Information. » *Lead: 90- 91*.  
<http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/Lead/mcs-2015-lead.pdf> (12 octobre 2015).
- Vignes, J.L., André, G., Kapala, F. 1998. « Données industrielles, économiques, géographiques sur les principaux produits chimiques, métaux et matériaux - 7ème édition : 1997-98. »  
*Société Française de Chimie*. <http://www.sfc.fr/>.
- VinylPlus. 2015. *VinylPlus Progress Report 2015*.  
[http://www.pvc.org/upload/documents/VINYLPLUS\\_PROGRESS\\_REPORT\\_2015.pdf](http://www.pvc.org/upload/documents/VINYLPLUS_PROGRESS_REPORT_2015.pdf).
- Weiss, D., Shotyk, W., Kempf, O. 1999. *Archives of Atmospheric Lead Pollution*.
- Woodhead Publishing, éd. 2006. *Base Metals Handbook Base Metals Handbook*. Martin Tho. Elsevier. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781845691547500128> (29 octobre 2015).