

PLOMB 2015

MATIÈRES PREMIÈRES :

La teneur moyenne en plomb de l'écorce terrestre est de 16 ppm.

Dans les minerais, le plomb est très souvent associé au [zinc](#) mais aussi à de nombreux autres éléments : [Fe](#), [Cu](#), [Cd](#), [Bi](#), [Sb](#), [Ge](#), [As](#), [Ag](#), [Au](#), qui sont en grande partie (sauf Fe) récupérés lors des opérations métallurgiques. Par exemple, 70 % de la production mondiale d'argent provient de concentrés de plomb. En moyenne, pour 1 t de plomb, la production minière donne également 2 t de zinc et 3 kg d'argent.

Les revenus de la raffinerie de Trail, au Canada, du groupe Teck qui traite le minerai de la mine de zinc-plomb de Red Dog, en Alaska, proviennent, en 2011, à 46 % de la production d'argent, 39 % de zinc, 12 % de plomb, 2,7 % d'[indium](#), 1,84 % de germanium, 0,18 % de cadmium.

Les minerais mixtes Pb-Zn représentent 70 % de la production minière de plomb, les minerais de plomb, 20 % et 10 % de la production de plomb provient d'une coproduction lors du traitement de minerais de cuivre, zinc ou d'autres métaux.

En 2010, environ 240 mines sont exploitées dans le monde.

La production minière mondiale ne représente, en 2013, que 45,3 % de la production totale, le recyclage du plomb étant particulièrement bien développé. La part de la production primaire était de 53 %, en 1999.

Minerais : le principal est la galène (PbS) très souvent associée à la blende et à la pyrite.

Autres minerais : la cérusite (PbCO₃) et l'anglésite (PbSO₄) provenant de l'oxydation de PbS, présentes dans les parties supérieures des gisements de galène.

Teneur des minerais tout venant : 1 à 12 % de Pb.

Minéralurgie : effectuée sur les lieux d'extraction, dans des laveries. La concentration a lieu par gravimétrie après broyage grossier ou par flottation après broyage plus fin. On obtient des concentrés de teneurs comprises entre 60 et 80 % de plomb, sous forme de PbS. Voir un exemple de flottation dans le chapitre [zinc](#).

Productions minières : en 2015, en milliers de t de Pb contenu. Monde : 4 347, Union européenne (2014) : 231, en Pologne, Suède, Irlande, Grèce, Bulgarie.

Chine	1 720	Inde	139
Australie	657	Russie	90
Etats-Unis	368	Bolivie	82
Pérou	316	Suède	76
Mexique	253	Turquie	54

Source : ILZSG et USGS

- En Australie :

[South32](#) (issue en mai 2015 de [BHPBilliton](#)) exploite souterrainement la mine de Cannington, dans le nord-ouest du Queensland, avec une production, en 2015, de 183 000 t de Pb, 72 000 t de zinc, 703 t d'argent et des réserves prouvées et probables de 25 millions de t de minerai contenant 6,45 % de Pb, 3,81 % de Zn et 247 g de Ag/t.

[Glencore](#) exploite, en 2015, les mines de :

- Mount Isa, avec une production dans les concentrés miniers de 478 200 t de Zn, 163 000 t de Pb et 203 t de Ag et des réserves prouvées et probables d'un total de 78 millions de t contenant 7,5 % de Zn, 4,0 % de Pb et 69 g de Ag/t.

- McArthur River, avec une production dans les concentrés miniers de 272 700 t de zinc, 53 000 t de plomb et 54 t d'argent et des réserves prouvées et probables de 102 millions de t renfermant 10,0 % de Zn, 4,8 % de Pb et 49 g/t d'Ag.

En 2015, l'exploitation, à Mount Isa, de la mine de Lady Loretta, dont la production avait débuté en 2013, avec des réserves de 8,5 millions de t contenant 13 % de Zn, 5,1 % de Pb et 87 g de Ag/t a été suspendue.

[MMG](#), détenu à 74 % par [China Minmetals Corporation](#), exploite, en 2015, les mines de :

- Rosebery, avec une production dans les concentrés miniers de 92 104 t de Zn, 21 312 t de Pb, et, en 2014, de 2 305 t de Cu, 76 t de Ag et 1,1 t d'or et des réserves prouvées et probables de 5,4 millions de t renfermant 9,7 % de Zn, 3,4 % de Pb, 0,3 % de Cu, 115 g de Ag/t et 1,4 g d'or/t.

- Golden Grove, avec une production dans les concentrés miniers de 55 131 t de Zn, 3 986 t (en 2014) de Pb et 26 048 t de Cu et des réserves prouvées et probables de 1,9 million de t renfermant 12,3 % de Zn, 1,6 % de Pb, 0,6 % de Cu, 107 g de Ag/t et 2,9 g d'or/t.

- Century, qui a cessé de produire mi-2015, après 16 ans d'exploitation. En 2014, la production avait été, dans les concentrés miniers, de 465 696 t de Zn, 64 426 t de Pb et 51 t de Ag.

[LeadFX](#), société canadienne, exploite la mine à ciel ouvert de carbonate de plomb de Paroo Station (ex mine Magellan), située en Australie Occidentale. Pendant quelques années, les autorités australiennes ont interrompu le transport des concentrés jusqu'aux installations portuaires d'exportation, ce qui a entraîné l'arrêt de l'exploitation, jusqu'à ce qu'une solution soit trouvée à l'émission de poussières riches en plomb émises lors du transport. Les conditions de transport adoptées ont été les suivantes :

Les concentrés sont placés dans des sacs hydrofuges de 2 t, nettoyés extérieurement par aspiration. Les sacs sont placés ensuite dans des conteneurs lavés extérieurement sous pression, l'air de conteneurs témoins étant contrôlé ainsi que l'ensemble des opérations par un inspecteur indépendant.

Le transport des concentrés a repris mi-2013, avec une production, en 2014, de 80 900 t de plomb contenu dans les concentrés. Les réserves prouvées et probables sont de 6,5 millions de t de minerai renfermant 7,0 % de plomb. Début 2015, la production a été de nouveau arrêtée.

- Aux Etats-Unis, en 2015, 11 mines sont en activité, 6 dans le Missouri (mines souterraines de Buick, Fletcher, Brushy Creek, Viburnum avec 2 mines et Sweetwater, exploitées par [Doe Run](#) , filiale du groupe [Renco](#), avec une production d'environ 250 000 t/an de concentrés de plomb), deux en Alaska (mines à ciel ouvert de Red Dog et souterraine de Greens Creek), deux dans l'Idaho (mines Lucky Friday et Galena) et une dans l'état de Washington (mine souterraine de Pend Oreille). En 2000, 19 mines étaient exploitées, avec une production de 465 000 t de plomb contenu.

[Teck](#) exploite les mines plomb-zinc de Red Dog et Pend Oreille. La mine de Red Dog, en Alaska, a produit, en 2015, 567 000 t de zinc et 117 600 t de plomb, voir le chapitre [zinc](#). Les réserves prouvées et probables sont de 56,6 millions de t de minerai renfermant 14,6 % de zinc, 4,1 % de plomb et 73,8 g/t d'argent

La mine de Pend Oreille, dans l'état de Washington, dont l'exploitation souterraine, a redémarré en décembre 2014, a produit, en 2015, 31 000 t de zinc et 6 400 t de plomb dans des concentrés

miniers. Les réserves prouvées et probables sont de 2,8 millions de t de minerai renfermant 7,1 % de zinc et 1,1 % de plomb.

[Hecla Mining](#) exploite les mines d'argent de Greens Creek, en Alaska, avec, en 2015, une production de 61 934 t de zinc, 21 617 t de plomb, 263 t d'argent et 1,9 t d'or et Lucky Friday, dans l'Idaho, avec, en 2015, une production de 18 348 t de plomb, 8 139 t de zinc et 97 t d'argent.

La mine d'argent de Galena, exploitée par [Americas Silver Corporation](#), a produit, en 2013, 640 t de plomb.

- Au Pérou :

[Volcan](#) a produit, en 2015, 285 000 t de Zn, 60 000 t de Pb, 4 300 t de Cu, 762 t de Ag et 1,6 t de Au. Ses revenus proviennent à 49 % du zinc, 40 % de l'argent, 8 % du plomb, 2 % du cuivre et 1 % de l'or. Exploite 4 complexes miniers :

- Yauli avec 4 mines souterraines et une à ciel ouvert et l'extraction de 3,994 millions de t de minerai ayant donné 175 000 t de Zn, 25 000 t de Pb, 3 000 t de Cu et 401 t de Ag.

- Changar avec 2 mines souterraines et l'extraction de 1,896 million de t de minerai ayant donné 89 000 t de Zn, 23 000 t de Pb, 1 000 t de Cu et 143 t de Ag.

- Alpamarca avec une mine souterraine et une à ciel ouvert et l'extraction de 879 000 t de minerai ayant donné 9 000 t de Zn, 6 000 t de Pb et 84 t de Ag.

- Cerro de Pasco avec 2 mines souterraines et une à ciel ouvert et l'extraction de 399 000 t de minerai ayant donné 12 000 t de Zn, 5 000 t de Pb et 31 t de Ag.

- Par ailleurs le traitement par lixiviation de 753 000 t de terrils a donné 112 t de Ag et 160 kg de Au.

Les réserves prouvées et probables sont, fin 2013, de 69,417 millions de t de minerai renfermant 3,93 % de Zn, 0,97 % de Pb, 0,12 % de Cu et 123,8 g/t de Ag.

[Milpo](#), exploite, en souterrain, 3 mines : El Porvenir, Cerro Lindo et à 62,03 % Atacocha. En 2015, la production a été de 269 000 t de zinc, 45 000 t de plomb, 40 000 t de cuivre et 236 t d'argent. En 2014, la mine de Porvenir a produit 129 465 t de concentrés de zinc à 50,3 % de Zn avec un taux de récupération de 91 %, 27 378 t de concentrés de plomb à 56,9 % de Pb et un taux de récupération de 83,4 %, 5 810 t de concentrés de cuivre à 23,3 % de Cu et un taux de récupération de 37,2 % et 70,6 t d'argent contenu dans les concentrés. Les réserves prouvées et probables sont de 21,649 millions de t de minerai renfermant 3,56 % de Zn, 0,61 % de Pb, 0,25 % de Cu et 42,3 g/t de Ag. La mine de Cerro Lindo a produit 293 431 t de concentrés de zinc à 57 % de Zn et un taux de récupération de 92,3 %, 21 589 t de concentrés de plomb à 66,5 % de Pb et un taux de récupération de 73,4 %, 147 115 t de concentrés de cuivre à 26,5 % de Cu et un taux de récupération de 83 % et 86,2 t d'argent contenu dans les concentrés. Les réserves prouvées et probables sont de 39,908 millions de t de minerai renfermant 2,67 % de Zn, 0,27 % de Pb, 0,72 % de Cu et 22,4 g/t de Ag. La mine d'Atacocha a produit 70 985 t de concentrés de zinc à 53,2 % de Zn et un taux de récupération de 89,4 %, 20 411 t de concentrés de plomb à 57,4 % de Pb et un taux de récupération de 85,5 %, 4 692 t de concentrés de cuivre à 24,6 % de Cu et un taux de récupération de 38,6 % et 54 t d'argent contenu dans les concentrés. Les réserves prouvées et probables sont de 6,839 millions de t de minerai renfermant 2,79 % de Zn, 1,29 % de Pb, 0,3 % de Cu et 59,4 g/t de Ag.

La Sociedad Minera Corona, détenue à 81,84 % par [Sierra Metals](#), qui exploite la mine souterraine de Yauricocha, a extrait, en 2015, 832 225 t de minerai pour donner 19 103 t de zinc, 17 901 t de plomb, 2 527 t de cuivre, 55,7 t d'argent et 156 kg d'or. Les réserves prouvées et probables sont de

5,377 millions de t de minerai renfermant 2,34 % de Zn, 1,41 % de Pb, 0,80 % de Cu, 75,5 g/t de Ag et 0,92 g/t de Au.

[El Brocal](#), détenu à 56,29 % par [Buena Ventura](#), exploite à ciel ouvert la mine de plomb-zinc de Tajo Norte et celle souterraine de cuivre de Marcapunta Norte. En 2015, l'extraction de 5,064 millions de t de minerai a donné, 53 319 t de zinc, 32 061 t de cuivre, 18 854 t de plomb, 114 t d'argent et 350 kg d'or. Les réserves prouvées et probables de Tajo Norte sont de 43,622 millions de t de minerai renfermant 2,53 % de zinc, 0,86 % de plomb et 28 g/t d'argent.

Los Quenuales, détenu à 76,89 % par [Glencore](#) avec 2 mines : Iscaycruz, dont l'exploitation a été suspendue en novembre 2015, et qui a produit en 2015, 84 000 t de zinc, 9 600 t de plomb et 57,6 t d'argent avec des réserves prouvées et probables de 2,9 millions de t renfermant 6 % de Zn, 0,8 % de Pb, 0,2 % de Cu et 44 g/t de Ag et Yauliyacu qui a produit 30 800 t de zinc, 12 600 t de plomb et 113,4 t d'argent avec des réserves prouvées et probables de 3,8 millions de t renfermant 2,0 % de Zn, 0,3 % de Pb, 0,2 % de Cu et 130 g/t de Ag.

Producteurs : principaux, en 2015, en milliers de t de plomb contenu dans les concentrés miniers.

Glencore (Suisse)	298	Nonfemet (Chine)	110
Doe Run (Etats-Unis)	186	MMG (Australie)	104
South32 (Australie)	183	JSC Gorevsky (Russie) en 2013	103
Teck (Canada)	124	GoldCorp (Canada)	79
Hindustan Zinc (Inde)	113	Volcan (Pérou)	60

Sources : rapports des sociétés et Volcan

[Glencore](#) exploite des mines :

- Au Kazakhstan au travers de 69,7 % de [Kazzinc](#), avec, en 2015, une production de 193 400 t de zinc, 26 300 t de plomb, 51 900 t de cuivre, 113,6 t d'argent et 16,2 t d'or et des réserves prouvées et probables de 30 millions de t renfermant 4,2 % de Zn, 0,7 % de Pb, 0,9 % de Cu, 29 g/t de Ag et 1 g/t de Au.
- En Australie, dans le Queensland, à Mount Isa et Lady Loretta avec une production, en 2015, de 478 200 t de Zn, 163 000 t de Pb et 203 t de Ag et des réserves prouvées et probables d'un total de 78 millions de t contenant 7,5 % de Zn, 4,0 % de Pb et 69 g de Ag/t et Mc Arthur River avec 272 700 t de zinc, 53 000 t de plomb et 54 t d'argent et des réserves prouvées et probables de 102 millions de t renfermant 10,0 % de Zn, 4,8 % de Pb et 49 g/t d'Ag.
- Au Pérou à Iscaycruz et Yauliyacu avec 97,6 % de parts.
- En Bolivie à Sinchi Wayra avec les mines de Bolivar et Porco et Illapa, avec 45 % de parts, et les mines de Poopo et Caballo Blanco.
- En Argentine, à Aguilar.
- En Namibie, à Rosh Pinah, avec 80,1 % de parts.
- Au Burkina Faso, à Perkoa, avec 90 % de parts.

Au total, au Pérou, en Bolivie, en Argentine, en Namibie et au Burkina Faso, la production a été, en 2015, de 279 900 t de zinc, 42 700 t de plomb, 266,4 t d'argent et les réserves prouvées et probables de Glencore dans ces pays sont de 20 millions de t renfermant 8,1 % de Zn, 1,5 % de Pb, 0,1 % de Cu, 71 g/t de Ag.

Commerce international : en 2015, en milliers de t de concentrés miniers.

Exportations : total mondial, en 2014 : 3,605 millions de t.

Pérou	571	Belgique	246
Australie	475	Turquie	129
Etats-Unis	354	Bolivie, en 2014	115
Russie	284	Corée du Nord, en 2014	106
Mexique	259	Pays-Bas	90

Source : ITC

Les exportations du Pérou ont été dirigées à 44 % vers la Chine, 21 % la Corée du Sud, 18 % le Canada, 6 % l'Italie. Celles d'Australie ont été à 49 % vers la Chine, 27 % la Corée du Sud, 12 % le Japon, 9 % la Belgique.

Importations : total mondial, en 2014 : 3,391 millions de t.

Chine	1 902	Canada	116
Corée du Sud	400	Kazakhstan, en 2014	102
Allemagne	258	Italie	89
Belgique	161	Bulgarie	73
Japon	136	Australie	47

Source : ITC

La Chine malgré sa production très importante a importé, en 2015, 1,902 million de t de concentrés de plomb, soit 1,03 million de t de plomb contenu, provenant à 18 % des Etats-Unis, 15 % d'Australie, 12 % du Pérou, 10 % de Russie, 5 % de Corée du Nord.

Réserves mondiales : en 2015, en milliers de tonnes de Pb contenu. Monde : 89 000.

Australie	35 000	Etats-Unis	5 000
Chine	15 800	Inde	2 200
Russie	9 200	Pologne	1 700
Pérou	6 700	Bolivie	1 600
Mexique	5 600	Suède	1 100

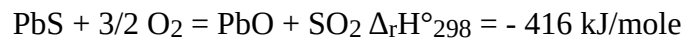
Source : USGS

Situation française :

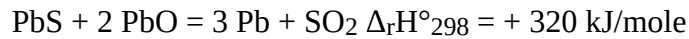
Plus de production minière après la fermeture, en décembre 1991, de la mine des Malines (30), exploitée par la société Metaleurop. La production française avait atteint 30 000 t, en 1970. En 2015, les importations sont de 43 t de concentrés en provenance du Maroc.

MÉTALLURGIE DE PREMIÈRE FUSION : traditionnellement cette métallurgie était réalisée en 2 étapes (grillage puis réduction). Toutefois, de nouveaux procédés pyrométallurgiques, en une étape, (KIVCET, Q.S.L, Isasmelt, ...) sont de plus en plus utilisés.

Grillage : il consiste à éliminer le soufre et à agglomérer le concentré afin qu'il résiste à l'écrasement lors de la réduction. La charge obtenue doit être poreuse afin de permettre sa réduction par le monoxyde de carbone. Le grillage est réalisé vers 1000°C, [SO₂](#) est récupéré pour produire [H₂SO₄](#). La réaction principale est la suivante :



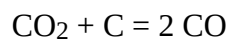
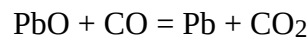
Le procédé le plus utilisé dans le monde consiste à effectuer le grillage sur des machines Dwight-Lloyd qui se présentent comme une bande sans fin de chariots mobiles munis de grilles, glissant sur des caissons étanches. L'air est soufflé à travers les grilles. Afin de décomposer PbSO₄ qui se forme au cours du grillage, la température de grillage doit dépasser 950°C. Lors du grillage il se forme également une faible quantité de plomb fondu, qui reste dans le concentré, selon les réactions :



La réaction de grillage étant très exothermique, il faut éviter une teneur trop importante en combustible (PbS) qui entraînerait une élévation trop importante de la température. Il ne faut pas atteindre 1114°C, température de fusion de PbS, ce dernier, à l'état fondu, ne pouvant plus être grillé. Pour cette raison la teneur des concentrés qui est, comptée en soufre, de 10 à 14 % est abaissée à une teneur moyenne de 6 % en ajoutant des concentrés préalablement grillés. Une partie du concentré grillé est donc recyclé en amont du grillage.

L'épaisseur de la couche grillée est de l'ordre de 30 cm, la surface de 50 à 90 m², la vitesse de défilement d'environ 1m/min, le débit d'air de 15 à 40 m³/min/m².

Réduction : par pyrométallurgie entre 500 et 1000°C.



Avant réduction, le minerai est aggloméré et additionné de [coke](#) (180 kg/t de Pb) et de fondants, les ajouts de fondant intervenant souvent lors du grillage. La réduction a lieu selon 2 types de procédés :

- Au four à cuve, selon le principe du haut fourneau. Le four est rectangulaire, avec souvent un refroidissement extérieur par circulation d'eau (water jacket). Les 3/4 du plomb de Metaleurop à Noyelles-Godault était produit selon ce procédé, la production atteignait jusqu'à 350 t/jour.
- Imperial Smelting (ISP) qui permet de traiter des minerais mixtes Pb-Zn et de produire simultanément les deux métaux. Le four est de type haut-fourneau. Le plomb d'œuvre fondu sur lequel surnagent les scories est récupéré dans le bas du four. Les vapeurs de [zinc](#) (température d'ébullition : 907°C) qui doivent être condensées le plus rapidement possible pour éviter leur oxydation sont absorbées dans des condenseurs par une pluie de plomb à 440°C. Dans les condenseurs, la température du plomb liquide s'accroît jusqu'à 550°C. Le plomb zingueux obtenu est refroidi vers 440 °C. Les différences de solubilité et de densité, entre ces deux températures, permettent de séparer les deux métaux. Il faut faire circuler une quantité de plomb de l'ordre de 420 fois la quantité de zinc récupéré. Ce procédé était utilisé par Metaleurop à Noyelles-Godault pour 1/4 de la production et des capacités annuelles de 90 000 t de zinc et 35 000 t de plomb.

Le plomb d'œuvre obtenu selon ces deux procédés titre 98,5 %. Un raffinage est nécessaire.

Procédés en une seule étape : Kivcet, QSL, Isasmelt

Ils consistent à réaliser, dans le même réacteur, le grillage et la réduction, le grillage apportant la chaleur nécessaire à la réduction. Ils utilisent du [dioxygène](#) pur ou de l'air enrichi en oxygène pour

le grillage. Le bilan énergétique est nettement amélioré, l'étape de frittage sur machine Dwight-Lloyd est inutile, la teneur des gaz émis est élevée en dioxyde de soufre permettant ainsi une transformation plus aisée en acide sulfurique et une pollution atmosphérique moindre.

Le procédé Kivcet a été mis au point en Union Soviétique pour traiter, en 1971, un minerai Cu-Zn kazakh puis en 1985 un minerai Zn-Pb. La fonderie de Trail, au Canada, d'une capacité de 120 000 t/an de plomb, exploitée par la société [Teck](#), utilise, depuis 1997, ce procédé. Un mélange de concentré de plomb, matières recyclées, charbon et coke, silice et argile, est introduit dans la chambre d'oxydation en présence d'oxygène. Les sulfures sont transformés en oxydes qui en présence des fondants introduits (silice et argile) donnent un bain semi-fondu qui percole au travers d'une couche de coke où l'oxyde de plomb est réduit en donnant du plomb fondu. Les matériaux obtenus, laitier et plomb passent ensuite dans une chambre où la fusion totale et la séparation laitier-plomb est achevée. Dans cette chambre, l'énergie est apportée par des électrodes de graphite. Un gaz contenant environ 15 % de dioxyde de soufre est refroidi, purifié et envoyé à la production d'acide sulfurique. A Trail, le passage du procédé classique au procédé Kivcet a permis de diminuer de 127 à 1,6 t/an les émissions atmosphériques de plomb.

Le procédé [QSL](#) (Queneau-Schumann-Lurgi) consiste à alimenter par un mélange aggloméré de concentré de plomb, matières à recycler, charbon ou coke et fondants (argiles et silice) un four horizontal légèrement incliné (0,5 % de pente), comportant deux zones, l'une d'oxydation, l'autre de réduction. La fonderie de la société [Berzelius](#), à Stolberg, en Allemagne, produit ainsi, depuis 1990, 155 000 t/an de plomb, 100 000 t/an d'acide sulfurique et 700 t/an d'argent. Par rapport au procédé classique, la consommation d'énergie est passée de 15,2 à 4,5 GJ/t de Pb. Le four possède un diamètre de 3,5 m dans la zone d'oxydation et 3 m dans la zone de réduction pour une longueur de 33 m. Dans la zone d'oxydation, à 1000°C, alimentée en oxygène pur par des tuyères plongeant dans le bain fondu, du plomb fondu se forme et est évacué. Le laitier, riche en oxyde de plomb passe, à contre courant dans la deuxième zone où il est réduit, vers 1250°C, à l'aide d'une injection de charbon finement divisé. Le plomb formé coule vers la chambre d'oxydation où il rejoint le plomb obtenu lors de la première étape. Le laitier est évacué du côté de la chambre de réduction. Les gaz produits sont refroidis à 400°C, purifiés et le dioxyde de soufre est transformé, par le procédé de contact, en acide sulfurique.

Le procédé [Isasmelt](#), proposé par Glencore, a été développé à Mount Isa (Australie) où il a fonctionné de 1991 à 1995. Il est employé également dans le traitement pyrométallurgique des concentrés de cuivre. A Quijing, en Chine, le groupe [Yunnan Metallurgical](#) produit ainsi, depuis 2005, 80 000 t/an de plomb. Le procédé consiste à agglomérer le concentré de plomb, les matières à recycler et le fondant (argile, silice...) qui sont introduits dans un four vertical (4 m de diamètre pour 11 m de hauteur) contenant un bain fondu de laitier. La fusion du bain est obtenue à l'aide d'une lance immergée alimentée en air enrichi en oxygène et en charbon pulvérisé. Une oxydation rapide a lieu avec formation de PbO qui réagit, en partie, avec PbS restant pour donner du plomb liquide. Plus de 40 % du plomb est ainsi récupéré. Le plomb restant, sous forme de PbO est récupéré dans le laitier dont une partie est prélevée régulièrement. Ce laitier est réduit ensuite de façon classique dans un haut-fourneau.

Raffinage : soit pyrométallurgique (environ 80 % de la production), soit électrométallurgique (environ 20 % de la production).

- Pyrométallurgique : par purifications successives du plomb à l'état liquide. Il consiste en un décuivrage en présence de soufre, une élimination de As, Sn et Sb, par oxydation à l'aide de nitrate de sodium (procédé Harris), une désargentation en présence de Zn (procédé Parkes), un débismuthage en présence de Ca et Mg (procédé Kroll-Betterton). Les divers sous-produits sont récupérés lors de ces opérations. Par exemple, pour une tonne de Pb peuvent être récupérés : 6 kg de Sb, 4 kg de Cu, 3,5 kg de As, 2 kg de Bi, 1 kg de Ag, 0,3 kg de Sn.

Le plomb obtenu appelé plomb doux à une teneur de 99,99 %. Il est coulé en lingots de 45 kg appelés saumons.

- Électrométallurgique : par électrolyse à anode soluble. Il est utilisé pour le plomb d'œuvre contenant plus de 2 % d'impuretés autres que le cuivre et lorsqu'on désire obtenir du plomb à faible teneur en bismuth (< 10 g/t de Pb), le procédé pyrométallurgique donnant couramment 100 g de Bi/t de Pb. L'électrolyte est généralement de l'acide fluosilicique (H₂SiF₆). La cathode est en plomb pur de 12 mm d'épaisseur, l'anode (200 kg) en plomb d'œuvre préalablement décuivré. La durée de l'électrolyse est de 4 à 8 jours, à 40-50°C, sous 0,3 à 0,5 V, avec une densité de courant de 150 A/m², la consommation électrique est de 150 kWh/t de Pb.

Aux Etats-Unis, la production de plomb de première fusion, avec 114 000 t en 2013, était assurée par une seule usine pyrométallurgique, qui a fermé fin 2013, exploitée depuis 1892, par Doe Run, à Herculaneum, dans le Missouri.

En France toute production de première fusion a cessé avec l'arrêt de l'usine Metaleurop de Noyelles-Godault, en mars 2003.

RECYCLAGE : MÉTALLURGIE DE DEUXIÈME FUSION ou d'affinage :

L'obtention du métal a lieu à partir de la récupération de déchets, les batteries constituant la part la plus importante. Celle-ci est, en 2011, de 95 % aux Etats-Unis.

Le taux de récupération du plomb est important (environ 60 % de la consommation) car il est facile de récupérer le plomb des batteries. En France, la quasi totalité du plomb utilisé dans les batteries est récupéré.

Aux Etats-Unis, en 2015, 69 % de la consommation provient du recyclage. A côté d'une seule fonderie primaire, fermée fin 2013, il y a 20 fonderies secondaires dont 11 produisant plus de 30 000 t/an et représentant plus de 95 % de la production.

Composition moyenne (en masse) d'une batterie :

Sulfate de plomb	24,5 %	Oxyde de plomb	16 %
<u>H₂SO₄</u>	24 %	<u>Polypropylène</u>	7,7 %
Alliage de plomb	21 %	<u>PVC</u>	3,8 %

Principe de la récupération des batteries :

- Casse des batteries, puis triage des sels de plomb, alliages de plomb, polypropylène qui est recyclé . Le polypropylène recyclé est destiné, à 50 % à des pièces automobiles (bacs de batteries), à 30 % à des conteneurs horticoles, à 10 % à des batteries.

- Réduction des oxydes par CO à 800-1200°C, déchloration par Na₂CO₃, désulfuration par Fe, dans des fours réverbère, à cuve ou rotatif.

- Obtention de plomb d'œuvre contenant 0,2 à 10 % de Sb, 200 à 400 g Cu/t, 200 à 800 g Sn/t.
- Un raffinage donne du plomb doux à 99,97 % ou des alliages (Pb-Sb, Pb-Sb-As, Pb-Sb-Sn...).
- Une partie du recyclage est réalisé dans les fours de réduction de première fusion en même temps que le traitement des concentrés de plomb.

Exemple du traitement des batteries par la société [Recylex](#) : en France, les batteries sont récupérées et cassées à Escaudœuvres (59) et Villefranche-sur-Saône (69). Le polypropylène est conditionné à Villefranche-sur-Saône, le plomb et les sels de plomb sont traités par pyrométallurgie dans l'usine de la société à Nordenham, en Allemagne. En 2014, ont été traitées 136 500 t de batteries qui ont fourni 139 300 t de plomb et 16 000 t de polypropylène.

PRODUCTIONS totales, en 2015, 1^{ère} et 2^{ème} fusion et () 2^{ème} fusion, en 2013, en milliers de t.
 Monde : 10 119 (5 470), Union européenne, en 2014 : 1 688 (1 223).

Chine	3 858 (1 500)	Mexique	356 (300)
Etats-Unis	1 121 (1 120)	Royaume Uni, en 2014	267 (155)
Corée du Sud	640 (200)	Canada	264 (160)
Inde	501 (355)	Japon	231 (115)
Allemagne, en 2014	408 (249)	Australie	220 (24)

Source : ILZSG pour 2015, BGS pour 2014, USGS pour 2013

Producteurs : principaux groupes mondiaux hors Chine.

[Eco Bat Technologies](#) exploite 29 usines, aux Etats-Unis, en Afrique du Sud et en Europe avec une capacité de production de 840 000 t/an de plomb, à 80 % de plomb recyclé et 500 t/an d'argent. La production de plomb primaire et secondaire est assurée par 13 fours, dont 3 aux Etats-Unis, un en Afrique du Sud et 9 en Europe situés :

- En Allemagne, avec une usine de plomb primaire exploitée par la filiale Berzelius, à Stolberg, qui produit 155 000 t/an et deux usines de production de plomb secondaire situées à Braubach, avec 40 000 t/an et Freiberg avec 50 000 t/an.
- En Italie, avec deux usines qui produisent du plomb secondaire à Paderno Dugnano et Marcianise avec 70 000 t/an.
- En France, avec trois usines qui produisent du plomb secondaire à Toulouse (31), Bazoches-les-Gallerandes (45) et Pont Sainte Maxence (60) avec 60 000 t/an de plomb secondaire.
- Au Royaume Uni, avec une usine, à Matlock, qui produit 80 000 t/an de plomb secondaire.
- En Autriche, avec une usine, à Arnoldstein, qui produit 25 000 t/an de plomb secondaire.

En Europe, 2 usines produisent des laminés de plomb, au Royaume Uni à Welwyn Garden City, avec une capacité de production de 60 000 t/an et en France, à Estrée Saint Denis (60) avec [Le Plomb Français](#) et une capacité de 22 000 t/an.

[Glencore](#) : 238 200 t, en 2015. Les usines de production sont situées :

- Au Kazakhstan, avec 69,61,% de la société [Kazzinc](#) qui exploite une fonderie à Ust-Kamenogorsk, selon le procédé Isasmelt, avec une capacité de production de 144 000 t/an.
- Au Royaume Uni, à Northfleet, selon le procédé Isalmelt, avec une capacité de production de 30 000 t/an de plomb secondaire.
- En Italie à Portovesme, en Sardaigne, selon le procédé Kivcet, avec une capacité de production de 80 000 t/an.

- Au Canada, à Belledune, dans le Nouveau Brunswick, avec une capacité de production de 110 000 t/an.
- En Argentine, à Alto la Torre, avec une capacité de production de 14 000 t/an.

[Nyrstar](#) (Australie) : 185 000 t, en 2015, à Port Pirie, en Australie.

[Doe Run](#) (États-Unis) : en décembre 2013, la production primaire à Herculanum a cessé après avoir produit 124 900 t en 2013. Une production secondaire est effectuée à Boss, dans le Missouri, avec une capacité de production de 160 000 t/an.

[Recylex](#) (France, Allemagne) : 139 300 t, en 2014, à Nordenham, en Allemagne.

[Hindustan Zinc](#) (Inde), détenu à 64,9 % par le groupe [Vedanta](#) : 134 898 t, en 2015, produites dans le Rajasthan, à Chanderiya et Dariba.

[Teck](#) (Canada) : 83 500 t, en 2015, à Trail, en Colombie Britannique.

SITUATION FRANÇAISE : en 2015.

Production métallurgique : 72 000 t de plomb de 2^{ème} fusion, en 2014.

Usines métallurgiques de production de plomb de 2^{ème} fusion :

Sociétés du groupe [Eco Bat Technologies](#) :

- [Société de Traitements Chimiques des Métaux \(STCM\)](#) à Toulouse (31) et Bazoches-les-Gallerandes (45),
- [Affinerie de Pont Sainte Maxence \(APSM\)](#) à Pont Sainte Maxence (60) : 85 000 t/an de capacité de production,
- [Le Plomb Français](#), à Estrée Saint Denis (60), pour la fabrication de feuilles laminées.
- [Métal Blanc](#), à Bourg Fidèle (08) : 25 000 t/an de capacité de production.

Commerce extérieur :

Plomb d'œuvre :

- Importations : 1 210 t d'Allemagne à 89 %, de Tunisie à 5 %.
- Exportations : 192 t vers la Pologne à 45 %, l'Allemagne à 42 %, la Belgique à 13 %.

Plomb affiné brut :

- Importations : 14 198 t de Belgique à 39 %, d'Allemagne à 30 %, des Pays Bas à 12 %.
- Exportations : 28 445 t vers l'Allemagne à 36 %, l'Espagne à 18 %, le Pakistan à 16 %, la Hongrie à 7 %.

Alliages plomb-antimoine :

- Importations : 25 058 t du Royaume Uni à 74 %, de Belgique à 22 %.
- Exportations : 5 628 t vers l'Allemagne à 70 %, le Brésil à 14 %, la Hongrie à 13 %.

UTILISATIONS :

Consommations mondiales : en 2015, en milliers de t. Monde : 10 056, Europe : 1 718.

Chine	3 866	Japon	265
-------	-------	-------	-----

Etats-Unis	1 586	Brésil, en 2012	260
Corée du Sud	559	Espagne, en 2012	245
Inde	543	Mexique, en 2012	230
Allemagne, en 2012	377	Royaume Uni, en 2012	228

Source : ILZSG pour 2015 et ILA pour 2012.

Répartition de la consommation : en 2013, dans le monde.

Accumulateurs	80 %	Munitions	3 %
Produits laminés et extrudés	6 %	Alliages	2 %
Composés chimiques	5 %	Gânes de câbles électriques	1 %

Source : ILZSG

- En 1960, la part des accumulateurs était de 28 %.

- Aux Etats-Unis, en 2015, 90 % de la consommation du plomb est destinée aux accumulateurs, 5 % à la fabrication de munitions, 2 % à celle de produits laminés et extrudés, 1 % à la fabrication de produits moulés, 1 % à celle d'oxyde.

En Chine, en 2011, 120 millions de batteries destinées aux vélos électriques ont été vendues représentant une consommation de plus d'un million de t de plomb.

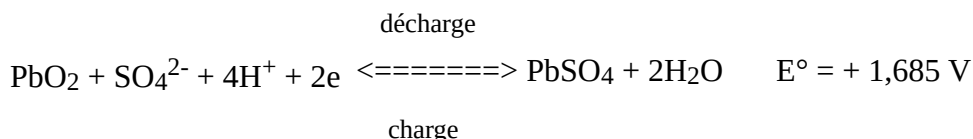
- Accumulateurs : vu l'importance de la part des accumulateurs, la consommation de plomb est liée à la production automobile (parc automobile mondial : 500 millions de véhicules). Marché mondial annuel : 250 millions de batteries (9 millions en France pour le démarrage, dont 3,2 millions en premier équipement). En 10 ans, la durée de vie des batteries a été multipliée par 2 (de 3 à 4 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.

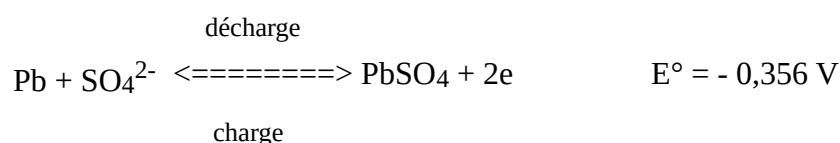
En Amérique du Nord, en 2013, consommation de 126 millions de batteries, à 85 % en remplacement de batteries usées.

- En 2015, dans le monde, les batteries au plomb sont destinées à 58 % aux automobiles, 18 % aux vélos électriques (surtout en Chine), 8 % aux véhicules de traction électrique (chariots élévateurs...), 7 % aux télécom, 5 % sous forme de batteries scellées, 4 % comme batteries stationnaires utilisées en appoint du réseau électrique (hôpitaux, ...).

- Principe de fonctionnement : à la plaque positive :



A la plaque négative :



Les cellules de 2 V sont connectées en série. La matière active est préparée sous forme de pâte constituée de poudre très fine ($< 5 \mu\text{m}$) d'oxyde de plomb, de plomb (20 à 30 %), d'[acide sulfurique](#)

et d'[eau](#), transformée par électrolyse en dioxyde de plomb à la plaque + et en plomb spongieux à la plaque -. La matière active est déposée sur des grilles en alliage de plomb. L'alliage traditionnel (4 à 5 % de Sb) a de bonnes qualités mécaniques, mais [Sb](#) de la grille + a tendance à passer en solution et à se redéposer sur la plaque -. La surtension moindre de Sb/Pb entraîne un dégagement de [H2](#) qui décharge la batterie (autodécharge) et consomme de l'eau. L'alliage Pb-Ca permet d'éviter la consommation d'eau mais du fait de la formation d'une couche passive sur la plaque + gênant la charge de la batterie après décharge complète, cet alliage n'est utilisé que pour la grille -. La grille + est en alliage à 2 % de Sb.

L'électrolyte est de l'acide sulfurique à 4 à 5 moles/L. Les matériaux des séparateurs entre compartiments + et -, en papier cellulosique imprégné de [PVC](#), sont de plus en plus remplacés par des [fibres de verre](#) ou du [polyéthylène](#) poreux, afin de diminuer la résistance interne de la batterie.

- Le plomb représente 1/5 du prix d'une batterie.

- On assiste au développement de grosses batteries destinées à réguler les réseaux de [distribution électrique](#) : 2 500 t de plomb dans des batteries, à Los Angeles, pour une puissance électrique de 400 MW.

- [Alliages](#) : les éléments d'addition peuvent permettre d'abaisser le point de fusion de plomb, d'augmenter les propriétés mécaniques ou d'améliorer les caractéristiques électrochimiques :

- alliages pour soudure "à l'étain" : (62 % [Sn](#), 32 % Pb) (température de fusion : 183°C).

Par exemple, une lampe à incandescence demande 300 mg de plomb pour les soudures du culot. En France, la consommation dans ce domaine était de 75 t/an avant la fin programmée de ce type de lampe.

- alliages pour grilles de batteries : ajout de 2 % de Sb.

- [Revêtement des câbles électriques](#) : le plomb est utilisé pour les câbles sous marins haute tension car il est parfaitement imperméable aux liquides.

- [Bâtiment](#) : en France, consommation d'environ 2 000 t/an de feuilles de plomb pour l'entretien et la rénovation des monuments historiques. Utilisé comme matériau de couverture et de décoration pour la rénovation du dôme des Invalides à Paris. Le plomb est également utilisé en insonorisation, particulièrement basse fréquence et comme matelas antivibrations. Utilisation de 10 000 t/an comme accessoires de couverture (souches de cheminées, chenaux, recouvrement de balcons). La Mosquée des Omeyyades, à Damas, en Syrie, a sa toiture couverte de feuilles de plomb.

- [Oxydes](#) : PbO (litharge), Pb₃O₄ (minium), voir également le paragraphe verres au plomb.

- Les plaques positives des accumulateurs sont constituées d'une grille en alliage de plomb sur laquelle est déposée du dioxyde de plomb (PbO₂). La litharge est utilisée, en partie, pour la fabrication de cet oxyde qui se forme lors de la première charge de la batterie.

- Utilisés sous forme de litharge comme stabilisant du [PVC](#) (qui contient 1 % d'oxyde de plomb) lorsqu'il est employé de façon durable (bâtiment...). Toutefois, dans l'Union européenne, cette utilisation est terminée depuis 2015.

- Dans la fabrication des céramiques : le minium, utilisé dans les glaçures, sert d'opacifiant en formant un silicate. De 70 à 90 % de l'oxyde utilisé dans ce secteur est employé à la fabrication de carrelages (59 g de PbO/m²).

- Les pigments, élaborés à partir de litharge : jaune (chromate : PbCrO_4 entrant dans la fabrication de la peinture des ex-bandes jaunes routières), rouge (molybdate : PbMoO_4) ne sont plus utilisés.
- Le minium est de moins en moins utilisé comme peinture antirouille.
- Verres au plomb : l'oxyde de plomb augmente l'indice de réfraction des verres qui de $n = 1,5$, peut atteindre $n = 1,8$. Les verres de cristal ont des teneurs exprimées en PbO d'au moins 24 %. Des fibres optiques sont constituées d'une peau en verre ordinaire ($n = 1,5$) et d'un cœur en verre au plomb (50 % de PbO) d'indice 1,62.

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). Le verre du cône des tubes de télévision contient jusqu'à 30 % de PbO , soit 1 kg de plomb par téléviseur couleur. Ce verre brunissant sous l'impact des rayons X, le verre de l'écran contient des oxydes de strontium et baryum. 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 m et la masse, plusieurs tonnes.

- Plomb de chasse : alliage (1,5 % Sb , 0,8 % As), fabriqué selon le procédé "de la tour".

Pollution de l'atmosphère par le plomb : (d'après pour la Science n°228).

L'étude de la composition en plomb de carottes glaciaires prélevées au Groenland a montré que celle-ci a varié de 0,5 pg (10^{-12} g) de plomb par g de glace en l'an - 1000 à 2 à 3 pg entre - 500 et 200 pour atteindre 10 pg vers 1770, 50 pg vers 1900, 100 pg vers 1969 pour décroître ensuite à environ 10 pg après la quasi-disparition d'abord aux Etats-Unis et au Japon de l'essence contenant des additifs à base de plomb. La pollution à l'époque romaine et jusqu'au début du XX^{ème} siècle est principalement due au fonctionnement des fours de réduction qui, à l'époque romaine, rejetaient dans l'atmosphère jusqu'à 5 % de la production soit 4 000 t/an à l'apogée de l'Empire romain. Depuis 1923 et l'utilisation de l'essence plombée, ce sont le plomb tétraéthyle et tétraméthyle qui transformés en plomb triéthyle et diéthyle ont été les principaux polluants de l'atmosphère.

TOXICITE :

Le saturnisme est une maladie liée à une intoxication aiguë ou chronique au plomb. Incorporés dans l'organisme, les ions Pb^{2+} entrent en compétition avec Ca^{2+} dans la formation des os constitués de phosphate de calcium pour leur partie minérale. Le plomb peut aussi bloquer plusieurs enzymes. L'ingestion doit être limitée à 3 mg Pb/semaine.

Les normes de l'Union européenne sont pour l'eau potable d'un maximum admissible de 10 $\mu\text{g Pb/L}$ depuis fin 2013 et d'une concentration maximale admissible dans l'atmosphère de 0,5 $\mu\text{g/m}^3$, en moyenne annuelle.

La plombémie, taux de plomb dans le sang, varie, en général, de 7 à 20 $\mu\text{g/100 mL}$ de sang, en fonction de la contamination atmosphérique (0,1 à 0,2 $\mu\text{g/m}^3$ dans les zones rurales, 1 à 2 $\mu\text{g/m}^3$ en moyenne dans les grandes villes). En Europe, la valeur maximale admissible est de 35 $\mu\text{g/100 mL}$. Chez l'enfant, 15 $\mu\text{g/100mL}$ sont considérés comme une limite maximale.

La céruse ($2\text{PbCO}_3, \text{Pb}(\text{OH})_2$) qui a été pendant longtemps employée comme pigment blanc dans les peintures est interdite dans ce secteur depuis 1948 mais elle reste présente dans des vieilles

peintures et présente l'inconvénient d'avoir un goût sucré. On évalue, en France, le nombre d'enfants en contact avec ces peintures à 140 000 dont la moitié dans l'Île de France. En 1988, à Paris, 2 enfants sont morts après avoir ingéré des vieilles peintures contenant de la céruse et de nombreux autres sont intoxiqués chaque année.