

## ZINC 1996

**MATIÈRES PREMIÈRES** : teneur dans l'écorce terrestre : 80 ppm.

Dans les minerais, Zn est très souvent associé à Pb et Cd ainsi qu'à Fe, Cu, Bi, Sb, As, Ge, In, Ag, Au.... Les minerais de Zn sont la principale source de Ge, In et Cd.

**Minerais** : principal : blende (ZnS), autres : smithsonite (ZnCO<sub>3</sub>), hémimorphite (ou calamine, Zn<sub>4</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>(OH)<sub>2</sub>.H<sub>2</sub>O).

Teneur des minerais tout venant : 4 à 20 % de Zn. 338 mines en exploitation dans le monde.

### **Minéralurgie ou concentration :**

Après extraction du minerai, celui-ci subit un traitement physique consistant à éliminer une grande partie de la gangue. Dans le cas des minerais sulfurés, une flottation est généralement effectuée. La flottation consiste à séparer d'une part les parties valorisables d'un minerai et d'autre part la gangue, en jouant sur leurs propriétés de surface et plus particulièrement sur le caractère hydrophobe ou hydrophile (mouillant) de celles-ci.

Avant de pouvoir séparer les constituants du minerai, il faut "libérer" les particules valorisables par broyage qui sera d'autant plus poussé que, par exemple les sulfures métalliques à récupérer, seront disséminés dans le minerai sous forme de fines particules. Ainsi, les blocs de quelques m<sup>3</sup> extraits de la mine seront broyés jusqu'à atteindre de quelques dizaines à quelques centaines de micromètres.

La flottation est réalisée dans des cuves dans lesquelles le minerai broyé est mis en suspension aqueuse. Des ajouts éventuels sont effectués pour ajuster le pH, modifier les propriétés de surface des particules à l'aide de collecteurs, former des mousses stables. D'autres ajouts permettent de moduler l'action des agents collecteurs : des déprimants augmentent le mouillage, des activants annihilent les effets des déprimants. Par ailleurs, une arrivée d'air permet de former des bulles qui entraînent en surface les éléments valorisables qui se retrouvent dans les "mousses". Ces dernières, après séchage, donnent des concentrés.

Il est également possible de séparer sélectivement divers sulfures métalliques d'une part de la gangue et d'autre part entre eux.

Après flottation les concentrés contiennent de 40 à 60 % de Zn sous forme ZnS. Lors de la flottation le zinc n'est pas transformé chimiquement, il reste sous forme de sulfure. En fin de chapitre, un schéma illustre les opérations de concentration par flottation.

Exemple de flottation concernant un minerai contenant de la blende, de la pyrite et de la galène, dans une gangue de calcite et de dolomie.

Broyage : le minerai a été broyé pour que 80 % du produit passe au tamis de 170 microns.

Flottation : Les résultats moyens du traitement par flottation sont les suivants :

Produits	Masse en %	Teneur en Pb	Teneur en Zn
Tout-venant	100,0	5,7	6,9
Concentré galène	7,2	70,9	3,6
Concentré blende	10,3	0,5	52,1
Rejet final	82,5	0,7	1,6

Consommations de réactifs :

Circuit plomb		Circuit zinc	
CaO	1500 g/t	CaO	2560 g/t
NaCN	70 g/t	CuSO4	300 g/t
Ethyl et amyloxanthate	70 g/t	Ethyl et amyloxanthate	120 g/t
Huile de pin	5 g/t		

Composition des concentrés obtenus :

Éléments	Concentré galène	Concentré blende	Éléments	Concentré galène	Concentré blende
Zn %	4,7	50,3	CaO %	0,6	0,5
S %	16,7	31,5	MgO %		0,3
Pb %	70,0	1,0	SiO2 %	0,4	0,25
Cu %	1,0	0,50	Al2O3%		0,8
Cd %		0,15	Ag g/t	800	70
Fe %	6,0	11,10	Sb g/t	0,2	0,01
Sn %		0,007	As g/t	0,3	0,15
Bi %	0,02				

**Productions minières** : en 1996, en 103 t de Zn contenu. Monde : 7 192, Union européenne : 508.

Canada	1 235	Mexique	379
Chine	1 040	Irlande	163
Australie	1 006	Suède	160

Pérou	758	Pologne	158
États-Unis	610	Kazakhstan	156

- Principaux pays exportateurs : Australie, Pérou, Canada, États-Unis, Irlande...
- Principaux pays importateurs : Japon, Allemagne, France, Corée du Sud, Italie...
- Plus grande mine de Zn : Red Dog, en Alaska, minerai contenant 17 % Zn, 5 % Pb, 6 g/t Ag. L'exploitation, par Cominco, qui a démarré en 1990 a permis aux États-Unis de doubler leur production entre 1989 et 1990. La capacité de la mine est, en 1994, de 325 000 t/an. Aux États-Unis, la production provient, en ordre décroissant des États suivants : Alaska (moitié de la production), Missouri, New York, Tennessee. 5 mines extraient 74 % de la production.
- Le projet d'ouverture par le groupe RTZ-CRA de la mine de Century, en Australie, 780 000 t de capacité prévue, est bloqué par le refus des Aborigènes de voir leurs territoires sacrés utilisés.
- La plus importante mine européenne est celle de Tara en Irlande : 200 000 t/an de capacité.
- Principaux opérateurs miniers : Pasminco (Australie), Cominco (Canada, États-Unis), Noranda (Canada), Centromine (Pérou), Trelleborg (Suède, Canada).

**Réserves mondiales** : estimées, en 1993, à 330 millions de t en Zn contenu.

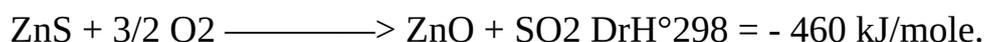
Evolution des réserves entre 1984 et 1993 : nouvelles découvertes : 108,7 millions de t, extraction : 68,7 millions de t.

#### **Situation française :**

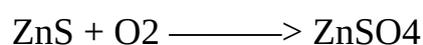
- Les mines, exploitées par Metaleurop, ont fermé en décembre 1991 pour les Malines (30) et en décembre 1993 pour St Salvy (81).
- Importations (1994) : 319 000 t de Zn contenu dans les concentrés.

**METALLURGIE DE PREMIERE FUSION** : 2 étapes : grillage puis réduction.

**Grillage** : il est réalisé par chauffage, à 900 - 1100°C, en présence d'air, selon la réaction :



Des réactions parasites sont susceptibles de se produire, principalement, la formation de sulfate selon des réactions qui ont lieu à 500 à 600°C, le sulfate formé étant décomposé vers 900°C :



Lorsque le concentré est riche en fer, ce qui est souvent le cas, il se forme des ferrites, oxydes mixtes de zinc et de fer, selon la réaction :



Ces ferrites sont insolubles dans l'acide sulfurique dilué utilisé lors des opérations hydrométallurgiques et leur présence a longtemps été un obstacle à ces opérations. Le dioxyde de soufre formé est récupéré et transformé en acide sulfurique (2 t de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/t de Zn) : les producteurs de zinc, ainsi que ceux de plomb, sont également producteurs d'acide sulfurique. Le minerai de zinc, après grillage, est appelé calcine. La réalisation industrielle du grillage dépend des procédés métallurgiques de réduction utilisés par la suite.

- Si la réduction est effectuée par hydrométallurgie, il faut que la finesse initiale du concentré soit préservée afin de faciliter l'attaque acide. Il faut donc éviter tout frittage de la calcine et opérer plutôt à basse température (900-950°C). La présence de sulfate, en faible teneur, n'est pas gênante.

Le grillage en lit fluidisé est utilisé : les particules à griller sont mises en suspension dans de l'air qui est insufflé à travers des orifices, de 5 mm de diamètre, présents dans la sole du four. Le débit d'air est d'environ 10 m<sup>3</sup>/min/m<sup>2</sup> de sole. La combustion a lieu vers 900-950°C. La teneur résiduelle en soufre, principalement sous forme de sulfate, est de 1,5 à 2 %. En France, lors du grillage de leurs concentrés de zinc, les usines de l'Union Minière à Auby (59) et à Calais (62) utilisent ce procédé (procédé Vieille Montagne - Lurgi qui est le plus répandu dans le Monde). Le four de grillage de l'Union Minière à Balen, en Belgique, est le plus important du monde (850 t de concentré/jour).

- Si la réduction est effectuée par pyrométallurgie (qui concerne les concentrés riches en plomb), selon des techniques proches de celles du haut fourneau, il faut que la calcine puisse supporter la charge du four et donc posséder une bonne résistance mécanique à l'écrasement tout en restant poreuse pour que le monoxyde de carbone puisse la réduire. La calcine est agglomérée par frittage lors d'un grillage effectué à haute température (1000°C et plus). La teneur en soufre total (sous forme de sulfure et de sulfate) doit être la plus faible possible (< 0,5 %).

Le grillage sur machines Dwight et Lloyd est utilisé : ce type de grillage est également utilisé pour les concentrés de plomb qui sont, en général, réduits par pyrométallurgie. Les machines Dwight et Lloyd 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. La température de grillage est d'environ 1000°C et peut atteindre 1200 à 1300°C (voir le chapitre consacré au plomb). En France, la société Metaleurop qui traite par pyrométallurgie (à l'aide du procédé Imperial Smelting) des concentrés mixtes de plomb et de zinc à Noyelles Godault (62) utilise cette technique.

**Réduction** : selon 2 procédés :

- Hydrométallurgique (concerne 90 % de la production).
- Pyrométallurgique (ou procédé thermique).

**Hydrométallurgie** : elle se déroule en 4 étapes.

- Lixiviation : la calcine est attaquée par une solution diluée d'acide sulfurique (180 à 190 g/L). Cette solution est récupérée, à la fin de l'électrolyse, pour être recyclée en amont des opérations hydrométallurgiques. Elle contient également de 30 à 50 g/L d'ions  $Zn^{2+}$  qui n'ont pas été récupérés totalement par électrolyse et qui sont ainsi recyclés. La dissolution est effectuée vers 55 à 65°C, la chaleur étant apportée par la dissolution des oxydes. L'oxyde de zinc passe en solution selon la réaction :



Les autres oxydes métalliques présents dans la calcine passent également en solution sauf l'oxyde de plomb qui donne du sulfate de plomb très peu soluble. Les métaux précieux, argent et or, restent insolubles ainsi que, en général, la gangue.

La dissolution de ZnO et des autres oxydes se traduit par une consommation d'acide et donc par une augmentation de pH. Cette dissolution dure de 1 à 4 heures et de 75 à 90 % du zinc passe en solution. Le zinc qui reste insoluble est celui qui, lors du grillage, a formé, avec l'oxyde ferrique, des ferrites. Ce zinc est récupéré par une opération complémentaire.

- Élimination des ions ferriques : lors de la lixiviation, appelée lixiviation neutre, le milieu est rendu oxydant par injection d'air ou de dioxygène ou par ajout de dioxyde de manganèse ou de permanganate de potassium afin, principalement, d'oxyder les ions  $Fe^{2+}$ , éventuellement présents, en ions  $Fe^{3+}$ . A ce stade, tous les ions  $Fe^{3+}$  ne sont pas dissous, une partie est incluse dans les ferrites insolubles. La solution passe, de façon continue, de cuves en cuves, le pH de la solution augmentant progressivement, par ajout de calcine, pour atteindre 5 dans la dernière cuve. A ce pH, l'hydroxyde ferrique précipite. Une décantation permet de séparer la solution des résidus insolubles.

Le résidu solide peut contenir, si le minerai de départ est riche en fer, une part importante du zinc initialement présent dans le minerai. Il est nécessaire de récupérer ce zinc en attaquant ce résidu, à chaud, vers 90 - 95°C, par la solution d'acide sulfurique provenant de l'électrolyse. Dans ces conditions, la ferrite est dissoute et les ions contenus,  $Fe^{3+}$  et  $Zn^{2+}$ , passent en solution. Cette opération est appelée lixiviation acide.

Toute la difficulté de l'hydrométallurgie du zinc réside, pour les minerais riches en fer, ce qui est le cas de ceux actuellement exploités, dans l'élimination des ions ferriques. En effet, par élévation de pH, l'hydroxyde ferrique  $Fe(OH)_3$  précipite. Celui-ci peut être séparé d'une solution par décantation : c'est ce qui se produit lors de la "lixiviation neutre". Mais, si on souhaite, et cela est le cas industriellement, récupérer au maximum les ions  $Zn^{2+}$  de la solution, il est nécessaire de filtrer et de

laver le précipité. Or, l'hydroxyde ferrique est très difficile, sinon impossible industriellement, à filtrer. Pour résoudre cette difficulté, plusieurs procédés sont utilisés, le plus employé étant celui dit "à la jarosite", les jarosites formant une famille de composés de formule  $\text{Fe}_6(\text{OH})_{12}(\text{SO}_4)_4\text{M}_2$  avec  $\text{M} = \text{Na}^+, \text{K}^+, \text{NH}_4^+, \text{Ag}^+, \text{H}_3\text{O}^+ \dots$ . Pour former une jarosite, on peut ajouter, à la solution contenant les ions  $\text{Fe}^{3+}$  à éliminer, du sulfate d'ammonium, à chaud, vers  $90^\circ\text{C}$ , et à pH 5 (l'augmentation de pH étant obtenue par ajout de calcine). La jarosite précipite sous forme d'un solide facilement filtrable selon la réaction suivante :



La solution issue de la lixiviation acide réintègre le circuit de traitement, en amont de la "lixiviation neutre". En même temps que les ions ferriques, les éléments suivants sont éliminés par précipitation : Al, Ga, In, Sb, Sn, As et Ge.

Les quantités de jarosite formées sont très importantes, par exemple, 49 000 t/an pour une production annuelle de 100 000 t de Zn. De façon générale, la jarosite n'est pas valorisée. Elle présente un caractère polluant (en particulier dû à la présence d'arsenic) et doit être stockée dans des lagunes étanches.

- Purification de la solution : après lixiviation, dans la solution, outre  $\text{Zn}^{2+}$ , les ions suivants sont encore présents :  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ . L'élimination de la plupart d'entre eux est effectuée par réduction à l'aide de poudre de zinc. L'emploi de zinc permet d'éviter l'introduction d'ions étrangers. Les ions  $\text{Mn}^{2+}$ , non réduits, resteront en solution, mais par contre, les autres ions seront réduits selon la réaction ( $\text{M} = \text{Cu}, \text{Cd}, \text{Ni}, \text{Co}$ ) :



Les ions  $\text{Cu}^{2+}$  et  $\text{Cd}^{2+}$  sont très facilement réduits, cela est plus difficile pour  $\text{Ni}^{2+}$  et  $\text{Co}^{2+}$  qui demandent la présence d'activateurs et une température de  $75$  à  $95^\circ\text{C}$ . Ces métaux se déposent sur les particules de zinc, d'environ  $30 \mu\text{m}$  de diamètre, en excès. La quantité de zinc utilisée dépend de la teneur en impuretés, elle varie de 16 à plus de 100 kg/t de Zn produit. Cette opération de purification, appelée cémentation, est réalisée, en continu, durant plusieurs heures (de 1 à 8 h). Une filtration sur toile très fine permet de récupérer les particules de zinc enrobées par les métaux déposés. Ce solide, appelé ciment, est traité afin de récupérer les métaux contenus et en particulier le zinc.

La teneur finale de la solution est, en général, pour chacun des ions  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ , et  $\text{Co}^{2+}$  inférieure à  $0,5 \text{ mg/L}$ . La solution de  $\text{Zn}^{2+}$ , est ainsi purifiée des ions susceptibles de se déposer, par électrolyse, en même temps que Zn.

- **Électrolyse** : elle est réalisée, dans des cuves en ciment revêtue de PVC, vers 30 à 40°C. La solution contient initialement de 125 à 170 g/L de  $Zn^{2+}$ .

Les anodes sont en plomb (alliage contenant de 0,5 à 1 % de Ag) inattaquable en milieu sulfate, les cathodes sont en aluminium. La tension est comprise entre 3,2 et 3,7 V, avec une densité de courant de 400 à 700 A/m<sup>2</sup>. L'intensité atteint jusqu'à 115 000 A.

Zn se dépose sur la cathode d'où il est décollé toutes les 24, 48 ou 72 heures par pelage (ou stripping). La production, par cellule qui contiennent jusqu'à 86 cathodes de 1,6 m<sup>2</sup>, peut atteindre 3 t/jour. La consommation d'énergie est de 3 000 à 3 500 kWh/t de Zn produit. Le zinc obtenu très pur (99,995 %) contient moins de 50 ppm d'impuretés, la principale étant Pb. Il n'a pas besoin de subir un raffinage ultérieur.

Les ions  $Mn^{2+}$  qui restent dans la solution s'oxydent en  $MnO_2$  sur l'anode en plomb. La solution, après épuisement partiel (au 2/3) des ions  $Zn^{2+}$  et régénération de l'acide à l'anode, avec dégagement de dioxygène, est recyclée en amont des lixiviations neutre et acide.

L'usine d'Auby (59) grille annuellement 200 000 t de concentré et reçoit 175 000 t de minerai grillé à Calais. 99,5 % du  $SO_2$  produit lors du grillage est transformé en  $H_2SO_4$  selon le procédé de contact à double catalyse. L'électrolyse est effectuée dans 2 halls de 100 000 t/an chacun. La puissance nominale absorbée est de 90 MVA. La consommation électrique annuelle de l'usine est de 750 millions de kWh.

**Pyrométallurgie** : concerne les minerais riches en plomb et en autres impuretés métalliques valorisables. La réduction a lieu selon le procédé Imperial Smelting (voir le chapitre consacré au plomb). Un raffinage du zinc d'œuvre (à 98,5 %) ainsi obtenu est nécessaire.

- Raffinage : par distillations fractionnées (procédé New Jersey) : Pb est éliminé dans une première colonne, puis Cd dans une seconde (température d'ébullition de Cd : 767°C). On obtient Zn à 99,99 %. Ce procédé, utilisé par Metaleurop à Noyelles-Godault avec 12 colonnes, permet de plus de recycler des résidus riches en zinc (poussières d'aciéries électriques...). Zn est coulé en lingots de 25 kg.

**PRODUCTIONS** : en 1996, en 10<sup>3</sup> t. Monde : 7 299, Union européenne : 1 975.

Chine	1 079	Allemagne	328
Canada	715	Australie	327
Japon	599	France	324
États-Unis	366	Corée du Sud	287
Espagne	361	Italie	269

- Principaux pays exportateurs : Canada, Australie, Chine, Pays-Bas, Finlande...
- Principaux pays importateurs : Etats-Unis, Allemagne, Taiwan, Singapour, Royaume-Uni...

**Groupes industriels** : Principaux groupes mondiaux.

Union Minière (Belgique, France), Pasminco (Australie, Pays-Bas, Royaume Uni), Metaleurop (France, Italie, Allemagne), Cominco (Canada, 565 000 t en 1995), Noranda (Canada), Metallgesellschaft (Allemagne)...

Principales usines européennes : en 1994, en 103 t de capacités annuelles de production.

Allemagne	Ruhrzink à Datteln (200)	Italie	Enirisorse en Sardaigne (153)
	Metaleurop à Nordenham (130)		Pertusola Sud à Crotone (100)
	Metallgesellschaft à Duisburg (100)	Pays-Bas	Budelco à Budel (205)
Espagne	Asturiana de Zinc à Avilès (320)	Belgique	Union Minière à Balen (225)
France	Union Minière à Auby (225)	Finlande	Outokumpu à Kokkola (170)
	Metaleurop à Noyelles Godault (100)	Norvège	Norzink à Odda (140)
		Royaume-Uni	Pasminco à Avonmouth (105)

**Union Minière** : en 1996.

Groupe contrôlé à 50,19 % par la Société Générale de Belgique, premier groupe financier et industriel belge. Origine de la société : concession octroyée en 1806 par Napoléon 1er à J.J. Dony pour exploiter la mine de calamine de Vieille Montagne, située à Moresnet-La Calamine, car le zinc, alors seulement produit en Angleterre, ne pouvait arriver en France du fait du blocus continental. La concession était liée à la découverte d'un procédé de traitement de la calamine qui a été le procédé des cornues liégeoises, procédé aujourd'hui abandonné.

- Chiffre d'affaires : 131 milliards de FB, réalisé en : Belgique : 56 %, France : 12 %, Allemagne : 10 %. Répartition par activités : raffinage : 31 %, services : 26 %, transformation : 18 %, recyclage : 17 %.
- Effectifs : 10 188 personnes à 61 % en Belgique, 20 % en France.
- Production de Zn brut : parmi les premiers producteurs mondiaux.
- Mine de plomb-zinc : Zinkgruvan, en Suède exploitée par la société Ammeberg. La mine, exploitée depuis 1857, a été vendue le 1er juillet 1995 au groupe australien North Limited.

- Grillage (en 103 t de capacités annuelles de minerai grillé) : Balen (Belgique) : 330, Calais (62) : 170, Auby (59) : 170.
  - Électrolyse : 450 000 t de capacités annuelles de Zn brut à Auby (59) et Balen (Belgique).
  - Zn laminé (t/an) à Auby (59) : 75 000 et Viviez (12) : 75 000.
  - Poussières de Zn (54 000 t/an) et fil de zinc à Angleur (Belgique), fil de zinc à Bray-et-Lû (95), poudre de zinc, pastilles et godets pour piles à Overpelt (Belgique).
  - ZnO : à La Ciotat (13), Barking (Royaume-Uni), Eijsden (Pays-Bas). Les capacités de production sont de 78 500 t/an.
  - Zn de 2ème fusion à Fécamp (76), alliages de Zn à Overpelt (Belgique).
  - 1/3 de la production mondiale de zinc est assurée par de la technologie Union Minière.
  - Productions liées à celle de Zn : acide sulfurique, cadmium, indium, germanium.
- Autres productions :
- Cuivre et autres métaux : voir le chapitre consacré à ce métal.
  - Diamants naturels (participation dans la société zaïroise Miba qui exploite un gisement dans la région de Mbuji-Mayi, 6,8 millions de carats en 1996), diamants synthétiques (participation dans le groupe Megapode, n°1 mondial, aux côtés de De Beers).

**Metaleurop** : activités dans le zinc, pour d'autres informations voir le chapitre : plomb.

- Production métallurgique de zinc, en 1995/96 : 251 700 t en Allemagne par hydrométallurgie (Nordenham) et en France par pyrométallurgie (Noyelles-Godault), n°7 mondial.
- Galvanisation : 12 usines en Allemagne, une usine en France (Conimast International) à Saint-Florentin (89).
- Fonderie sous pression : à Velbert en Allemagne.
- Oxyde de zinc : à Langelsheim en Allemagne.
- Recyclage : Fouquières-lez-Lens (62) et Goslar (Allemagne).

**RECYCLAGE ET METALLURGIE DE SECONDE FUSION** (affinage) :

Le zinc récupéré après usage ou les chutes et déchets des usines métallurgiques sont soit réutilisés directement, soit réemployés après refusion (c'est le cas, par exemple, des alliages de fonderie) soit encore retraité en suivant le circuit de la métallurgie de 1ère fusion (c'est le cas, en particulier, des oxydes de zinc).

Recyclage : en 1996 , en milliers de t. Monde occidental : 1 958.

	Par métallurgie de 1ère fusion	Par refusion	Direct
--	--------------------------------	--------------	--------

Monde occidental	516	319	1 123
Etats-Unis	146	4	220
Japon	98	48	236
Allemagne	74	56	168
Italie	35	20	144
France	40	20	60

Sources de zinc recyclé neuf et usagé : par secteur industriel, en 1990, dans le monde occidental, en %.

Industrie du laiton	32 %	Poussières d'aciéries	8 %
Galvanisation	23 %	Industrie chimique	4 %
Fonderie	16 %	Laitiers des fonderies	3 %
Zinc laminé	10 %	Autres poussières	3 %

Industries recyclant le zinc, en 1990, dans le monde occidental, en % :

Industrie du laiton	32 %	Alliages de Zn de 2ème fusion	11 %
Zn de 1ère fusion	24 %	Zn de 2ème fusion	10 %
Industrie chimique	21 %		

Le zinc contenu dans les laitons est recyclé par l'industrie du cuivre.

Le zinc de galvanisation se retrouve dans les ferrailles utilisées par la sidérurgie et peut être récupéré par traitement des poussières des aciéries électriques dans lesquelles Zn est sous forme de ZnO. 1 t d'acier produit 20 kg de poussières contenant de 15 à 30 % de Zn.

- Mise en route, en 1993, de l'usine Recytech à Fouquières-lez-Lens (62) qui traite, dans des fours Waelz, des poussières d'aciéries pour récupérer, principalement, ZnO, production de 15 000 à 20 000 t/an, comptées en Zn. L'usine est détenue à égalité par Berzélius Umwelt Service (BUS, Allemagne) et Metaleurop. ZnO obtenu est ensuite réduit dans l'usine Metaleurop de Noyelles Godault (62) où la part du zinc recyclé atteint 20 %.

- Inauguration en janvier 1996, de l'usine pilote de la Compagnie Européenne de Dézingage (association Compagnie Française des Ferrailles - Hoogovens), à Saint-Saulve (59) destinée à dézinguer les tôles automobiles. Sa capacité de traitement sera

de 45 000 t/an. Le procédé utilisé consiste en une attaque du zinc par la soude suivie d'une électrolyse de la solution d'attaque.

**SITUATION FRANÇAISE** : en 1996, y compris l'industrie de première transformation.

- Chiffre d'affaires : 2 850 millions de F.
- Effectifs : 1 996 personnes, dans 12 entreprises.
- Production de zinc raffiné : 324 341 t.
- Production de zinc de seconde fusion : 20 000 t. Au total 120 000 t ont été recyclées.
- Importations (1994) : 115 500 t (Belgique : 21 %, Allemagne : 21 %, Pays-Bas : 19 %)
- Exportations (1994) : 129 900 t (Belgique : 78 %, Allemagne : 12 %).
- Usines métallurgiques : productions en 1994.
- Grillage : Calais (62) pour les usines Union Minière d'Auby et de Balen (Belgique).
- Hydrométallurgie (et grillage) : Auby (59, Union Minière), 231 200 t de Zn raffiné.
- Pyrométallurgie (et grillage) : Noyelles-Godault (62, Metaleurop), 77 400 t de Zn raffiné.
- Recyclage pour la chimie : la plus importante, à La Ciotat (13, Union Minière), pour produire ZnO.

**UTILISATIONS :**

**Consommations mondiales\*** : en 1996, en 103 t de Zn. Monde : 7 441, Union européenne : 1 946.\* ne concernent que les consommations de zinc primaire et d'alliages de zinc.

États-Unis	1 205	Italie	337
Chine	760	France	248
Japon	718	Belgique	235
Allemagne	480	Royaume-Uni	226
Corée du Sud	365	Inde	214

**Répartition de la consommation** : en 1996, en France, et ( ) dans le monde occidental.

Galvanisation	41 % (47 %)	Autres alliages (Zamak...)	12 % (14 %)
Demi-produits	24 % ( 8 %)	Usages chimiques	8 % ( 9 %)
Laiton et bronze	14 % (19 %)	Autres produits	1 % ( 2 %)

**Principales utilisations** : en 1995, en France.

- Revêtements anticorrosion dans l'acier zingué, voir ce chapitre.

- **Bâtiment** : outre les utilisations dans l'acier galvanisé (avec parfois des revêtements à l'aide des alliages 55 % Al, 43,5 % Zn, 1,5 % Si ou 95 % Zn, 5 % Al, utilisés pour les toitures de bâtiments industriels), Zn est utilisé pur ou faiblement allié. Zn est protégé de la corrosion par une couche passive de carbonate-hydroxyde de zinc ( $2\text{ZnCO}_3, 3\text{Zn}(\text{OH})_2$ ). La vitesse moyenne annuelle de corrosion est de 1  $\mu\text{m}$  en atmosphère rurale et de 10  $\mu\text{m}$  en atmosphère industrielle. L'épaisseur moyenne de Zn laminé est de 0,7 mm. Des ajouts de Cu (0,1 % minimum) et Ti (0,05 % minimum) permettent de diminuer le coefficient de dilatation de Zn. La consommation de zinc laminé est en France de 94 100 t, en 1995. 1 million de  $\text{m}^2/\text{an}$ , en France, de feuilles de Zn sont utilisées en couverture. Consommation de 13 000 km/an, en France, de gouttières et accessoires d'évacuation d'eaux pluviales. Paris couvre ses toits, depuis le baron Haussmann, de Zn laminé : 5 millions de  $\text{m}^2$  de surface.

- **Fonderie** : 44 800 t en 1995. Les alliages "Zamak" (ZA4G, ZA4U1G, ZA4U3G) contenant de 3,9 à 4,3 % de Al, ainsi que Cu jusqu'à 3,5 % et Mg jusqu'à 0,06 % représentent 90 % de la production d'alliages de Zn de fonderie, utilisés, en 1992, à 37 % dans l'automobile, 23 % le bâtiment, 10 % l'électricité, 8 % l'électroménager, 7 % le jouet (petites voitures), 7 % la décoration. Autres alliages de fonderie : ZA 8, ZA 27, Ilzro 12, Kayem. Dans les automobiles, les corps de carburateurs (en voie de disparition) sont en Zamak, les pompes à essence en Ilzro.

- **Laitons** : alliages avec Cu : 5 à 40 % de Zn (voir le chapitre cuivre). Consommation dans ce secteur, en 1995, de 58 800 t de Zn à 83 % dans des barres et profilés.

### **Autres applications :**

- Anodes sacrificielles : 100 t/an en France pour protéger les coques de navires, les citernes enterrées...

- Poussière de Zn : pour la fabrication de l'aniline, la stabilisation de matières plastiques, la cémentation de métaux précieux, la purification ultime des solutions d'électrolyse, comme agent réducteur dans la fabrication des hydrosulfites de sodium et de la formaldéhyde, comme revêtement protecteur de l'acier dans les procédés dits de matoplastie et de shéardisation.

- Sel, poudre et Zn laminé : pour les anodes des piles salines, alcalines et bouton. Dans ces piles, le pôle positif est relié à un mélange de dioxyde de manganèse et de carbone, ou  $\text{HgO-C}$  dans le cas de piles bouton (voir le chapitre consacré au manganèse). Les solutions d'électrolyte sont gélifiées (par de l'amidon) afin d'obtenir des piles sèches. Le pôle négatif est en zinc dont l'état dépend du type de pile.

- Dans le cas des piles salines cylindriques, dans lesquelles l'électrolyte est soit du chlorure de zinc pur soit une solution fortement concentrée de  $\text{ZnCl}_2$  et de  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , le pôle négatif est constitué par un alliage de Zn (avec ajouts de Pb : 0,2 %) sous forme

de godet dont la surface était amalgamée par Hg qui jouait le rôle d'inhibiteur de corrosion (HgCl<sub>2</sub> était ajouté à l'électrolyte). Le mercure a été remplacé par de l'indium. Le pôle positif est axial.

- Dans le cas des piles alcalines, dans lesquelles l'électrolyte est KOH, le pôle négatif, axial, est constitué par un crayon de Zn entouré d'un aggloméré de poudre de Zn et est en contact avec la partie inférieure de la pile. Le boîtier, en acier, constitue le pôle positif.

- La production mondiale de piles est de l'ordre de 10 milliards d'unités/an dont 500 millions en France, à 53 % alcalines, 42 % salines et 5 % bouton. Les piles alcalines représentent 85 % du marché américain et 50 % du marché européen des piles.

- Au début des années 80, aux États-Unis, les pièces de 1 cent qui étaient traditionnellement en cuivre ont été remplacées par des pièces de Zn recouvertes de Cu. La consommation de ces pièces est particulièrement importante, plusieurs milliers de t/an, du fait de la tradition de jeter ces pièces dans les fontaines.

- Organisme humain : besoins : 15 mg/j nécessaires à l'activité d'enzymes.

L'organisme d'un homme de 70 kg contient de 2 à 3 g de Zn. Sa déficience entraîne le nanisme...

**Oxyde de zinc** : préparé, soit par oxydation de produits de récupération et de déchets de zinc après vaporisation du zinc (procédé français), soit par réduction de concentrés miniers et combustion du zinc formé (procédé américain). Il entre dans la fabrication des caoutchoucs et pneumatiques car il accélère la vulcanisation, dans l'agriculture et l'alimentation animale (oligo-élément), en pharmacie (élément cicatrisant), dans les varistances, les émaux et céramiques, les parafoudres moyenne tension du réseau électrique de l'EDF. Consommation française, en 1995, de 29 800 t de Zn pour fabriquer ZnO (soit 93 % des usages chimiques du Zn). En Europe, 24 usines de production, pour une capacité de 250 000 t/an et une consommation de 180 000 t/an.

- Secteurs d'utilisation de ZnO : en 1995, dans le monde.

Pneumatiques	26 %	Alimentation du bétail	12 %
Céramiques	23 %	Lubrifiants	4 %
Produits chimiques	17 %	Peintures	3 %
Autres caoutchoucs	12 %		