

ZINC 1992

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 (ZnCO₃), hémimorphite (ou calamine, Zn₄Si₂O₇(OH)₂.H₂O).

Teneur des minerais tout venant : 4 à 20 % de Zn.

Minéralurgie : les concentrés contiennent de 40 à 60 % de Zn sous forme ZnS, voir le chapitre consacré au plomb.

Productions minières : en 1992, en milliers de t de Zn contenu. Monde : 7 232, Union européenne : 500.

Canada	1 312	ex URSS	550
Australie	1 013	Mexique	353
Chine	706	Espagne	206
Pérou	603	Irlande	194
États-Unis	552	Suède	172

- Principaux pays exportateurs : Canada, Australie, Pérou.

- Principaux pays importateurs : Japon, Belgique.

- Plus grande mine de Zn : Red Dog, en Alaska, minerai contenant 17 % Zn, 5 % Pb, 6 g/t Ag. L'exploitation qui a démarré en 1990 a permis aux États-Unis de doubler leur production entre 1989 et 1990.

- Principaux opérateurs miniers : Pasminco (Australie), Cominco (Canada, États-Unis), Noranda (Canada), Centromine (Pérou), Trelleborg (Suède, Canada).

Réserves mondiales : estimées, en 1988, à 300 millions de t en Zn contenu.

Situation française : en 1992.

- Les mines, exploitées par Metaleurop, ont fermé en décembre 1991 pour les Malines (30) et en décembre 1993 pour St Salvy (81).

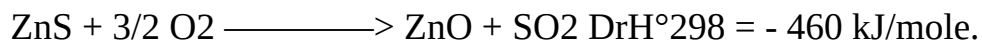
- Production : 16 540 t de Zn contenu.

- Importations : 624 910 t de concentré (Canada : 16 %, Bolivie : 16 %, Pérou : 13 %).

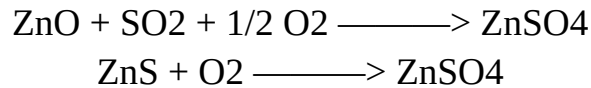
- Exportations : 7 690 t de concentré.

METALLURGIE DE PREMIERE FUSION : 2 stades : grillage puis réduction.

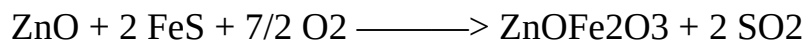
Grillage : il est réalisé par chauffage, à 900 - 1100°C, en présence d'air, selon la réaction :



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 H₂SO₄/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 m³/min/m² 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, 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 à l'aide 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

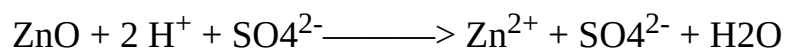
également utilisé pour les concentrés de plomb qui sont, en général, réduits par pyrométallurgie. Les machines Dwight et Lloyd se présentent comme une bande sans fin de chariots mobiles munis de grilles, glissant sur des caissons étanches. L'air est soufflé à travers les grilles. La température de grillage est d'environ 1000°C et peut atteindre 1200 à 1300°C. La désulfuration de concentrés riches en soufre étant difficile, on abaisse la teneur moyenne de la charge à 6 % de S en ajoutant des concentrés préalablement grillés. Une partie de la calcine formée est donc recyclée 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. 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 (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 Zn²⁺ 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 :



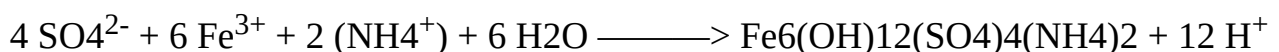
Les autres oxydes métalliques présents dans la calcine passent également en solution sauf l'oxyde de plomb qui donne du sulfate de plomb très peu soluble. Les métaux précieux, argent et or, restent insolubles ainsi que, en général, la gangue.

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 d'oxygène ou par ajout de dioxyde de manganèse ou de permanganate de potassium afin, principalement, d'oxyder les ions Fe²⁺, éventuellement présents, en ions Fe³⁺. A ce stade, tous les ions Fe³⁺ 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, vers 90 - 95°C, par la solution d'acide sulfurique provenant de l'électrolyse (180 à 190 g/l d'acide, 30 à 50 g/l de Zn^{2+}). 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 $Fe_6(OH)_{12}(SO_4)_4M_2$ avec $M = Na^+, K^+, NH_4^+, Ag^+, H_3O^+ \dots$ Pour former une jarosite, on peut ajouter, à la solution contenant les ions Fe^{3+} à éliminer, du sulfate d'ammonium, à chaud, vers 90°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 :

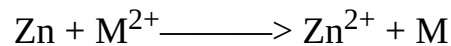


La solution issue de la lixiviation acide réintègre le circuit de traitement, en amont de la "lixiviation neutre". En même temps que les ions ferriques, les éléments suivants sont éliminés par précipitation : Al, Ga, In, Sb, Sn, As et Ge.

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 du à la présence d'arsenic) et doit être stockée dans des lagunes étanches.

- Purification de la solution : après lixiviation, dans la solution, outre Zn^{2+} , les ions suivants sont encore présents : Cu^{2+} , Cd^{2+} , Ni^{2+} , Co^{2+} , 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 Mn^{2+} , non réduits,

resteront en solution, mais par contre, les autres ions seront réduits selon la réaction (M = Cu, Cd, Ni, Co) :



Les ions Cu^{2+} et Cd^{2+} sont très facilement réduits, cela est plus difficile pour Ni^{2+} et Co^{2+} qui demandent la présence d'activateurs et une température de 75 à 95°C. Ces métaux se déposent sur les particules de zinc, d'environ 30 μm 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 Cu^{2+} , Cd^{2+} , Ni^{2+} , et Co^{2+} inférieure à 0,5 mg/l. La solution de 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/m². 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 m², 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 Pb.

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 Pb et autres impuretés. La réduction a lieu selon le procédé Imperial Smelting (voir le chapitre consacré au plomb). Un raffinage du Zn d'oeuvre (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, permet de plus de recycler des résidus riches en zinc (poussières d'aciéries électriques...). Zn est coulé en lingots de 25 kg. Le 16 juillet 1993, très grave accident survenu dans les installations de distillation de Zn (10 personnes ont perdu la vie).

RECYCLAGE ET METALLURGIE DE SECONDE FUSION (affinage) : les valeurs chiffrées correspondent au monde occidental, en 1990. La production minière de Zn avait été de 4,73 millions de t.

Le zinc recyclé provient de résidus et déchets "neufs" (0,7 million de t) formés lors de la mise en oeuvre industrielle et de déchets "usagés" (1,24 million de t).

Sources de zinc recyclé neuf et usagé : par secteur industriel, 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 %

Collecte du zinc recyclé, par continent, en % :

Europe	43 %	Océanie	4 %
Amériques	30 %	Afrique	1 %
Asie	22 %		

Soit 1,94 million de t de zinc recyclé pour une consommation totale apparente de 6,67 millions de t. Sur ces 1,94 million de t, 0,47 sont recyclées par la métallurgie pour produire du zinc de 1ère fusion et 1,47 sont utilisées comme matériau secondaire soit directement soit après refusion (zinc de 2ème fusion).

Industries recyclant le zinc, 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 %		

En France, en 1991, 95 900 t de Zn ont été recyclées.

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 15 à 30 % de Zn.

- Mise en route, en 1993, de l'usine Recytech à Fouquières-lez-Lens (62) destinée à retraiter, dans des fours Waelz, des poussières d'aciéries pour récupérer, principalement, ZnO, production prévue : 15 000 à 20 000 t/an, comptées en Zn. L'usine est détenue à égalité par Berzélius Umwelt Service, filiale de Metallgesellschaft (Allemagne) et Metaleurop. ZnO obtenu est ensuite réduit dans l'usine Metaleurop de Noyelles Godault (62).

PRODUCTIONS : en 1992, en milliers de t. Monde : 6 893, Union européenne : 1 827.

Japon	729	Allemagne	383
Canada	672	Espagne	352
Chine	632	Australie	333
ex URSS	470	France	305
États-Unis	400	Italie	253

- En 1993, afflux, sur les marchés occidentaux, de métal provenant du Kazakhstan (200 à 300 000 t), de Chine (150 000 t), de Corée du Nord (95 000 t).

Groupes industriels : Principaux groupes mondiaux.

Union Minière (Belgique, France), Pasminco (Australie, Pays-Bas, Royaume Uni), Metaleurop (France, Italie, Allemagne), Cominco et Noranda (Canada), Metallgesellschaft (Allemagne)_

Principales usines européennes : en 1994, en milliers de 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 (195)
France	Union Minière à Auby (215)	Finlande	Outokumpu à

			Kokkola (170)
	Metaleurop à Noyelles Godault (100)	Norvège	Norzink à Odda (140)
		Roy-Uni	Pasminco à Avonmouth (105)

Union Minière : en 1993.

Groupe contrôlé à 63,38 % 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 Zn, 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 : 105 milliards de F B (Belgique : 55 %, France : 14 %, Amérique : 10 %). Répartition : raffinage : 56 %, services : 26 %, transformation et recyclage : 21 %, mines : 2,5 %.
 - Effectifs : 13 135 personnes à 54 % en Belgique, 17 % en France.
 - Filiales : aux États-Unis : Union Zinc (vendu début 1994).
 - Production de Zn brut : 527 000 t, premier producteur mondial (8 % de la production).
 - Mines (en 1993) : en Suède (mine de Zinkgruvan à Ammeberg, 126 437 t de concentré de Zn, 23 942 t de concentré de Pb, 30 t d'Ag, exploitée depuis 1857), aux États-Unis 4 mines dans le Tennessee (vendues en 1994), 109 280 t de concentré de Zn, et Ge.
 - Grillage (en milliers de t de capacités annuelles de minerai grillé) : Balen (Belgique) : 330, Calais (62) : 170, Auby (59) : 170, Clarksville (États-Unis, vendu en 1994) : 140.
 - Électrolyse (en milliers de t de capacités annuelles de Zn brut) : Auby (59) : 215, Balen (Belgique) : 205, Clarksville (États-Unis) : 100 (vendue en 1994).
 - Zn laminé (t/an) à Auby (59) : 50 000 et Viviez (12) : 50 000.
 - Poussières de Zn (45 000 t/an) et fil de zinc à Angleur (Belgique), fil de zinc à Bray-et-Lû (95), poudre de zinc et godets pour piles à Overpelt (Belgique).
 - ZnO : à La Ciotat (13), Zolder (Belgique), Barking (Royaume-Uni), Eijsden (Pays-Bas). Les capacités de production sont de plus de 70 000 t/an.
 - Zn de 2ème fusion à Fécamp (76), alliages de Zn à Overpelt (Belgique).
 - 40 % de la production mondiale de Zn 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 Mbujimayi), diamants synthétiques (participation dans le groupe UHPU).

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

- Production métallurgique de zinc, en 1992/93 : 243 600 t dont Allemagne (Nordenham) : 142 300 t et France (Noyelles-Godault) : 101 300 t.
- Galvanisation : 12 usines en Allemagne.
- Recyclage : Fouquières-lez-Lens (62) et Oker (Allemagne).

SITUATION FRANÇAISE : en 1992, y compris l'industrie de première transformation.

- Chiffre d'affaires : 3 200 millions de F (dont 33 % à l'exportation).
- Effectifs : 2 100 personnes, dans 12 entreprises.
- Production : 304 800 t.

dont : première fusion : 285 200 t.

seconde fusion : 19 600 t. Au total 95 900 t ont été recyclées en 1991.

- Importations : 97 900 t (Allemagne : 27 %, Espagne : 19 %, Pays-Bas : 18 %)
- Exportations : 146 800 t (Belgique : 66 %, Allemagne : 22 %, Italie : 6 %).
- Usines métallurgiques : en capacités de production.
- Grillage : Calais (62) pour les usines Union Minière d'Auby et de Balen (Belgique).
- Hydrométallurgie (et grillage) : Auby (59, Union Minière), 215 000 t de Zn raffiné.
- Pyrométallurgie (et grillage) : Noyelles-Godault (62, Metaleurop), 100 000 t de Zn raffiné.
- Recyclage pour la chimie : la plus importante, à La Ciotat (13, Union Minière), pour produire ZnO.

UTILISATIONS :

Consommations mondiales : en 1992, en milliers de t de Zn. Monde : 6 470, Union européenne : 1 711.

États-Unis	1 044	Italie	300
Japon	784	Corée du Sud	266
Chine	540	France	258
Allemagne	531	Royaume-Uni	190
ex URSS	380	Belgique	189

Répartition de la consommation : en 1992, en France, et () dans le monde occidental.

Galvanisation	42 % (49 %)	Autres alliages (Zamak...)	11 % (14 %)
Demi-produits	23 % (7 %)	Usages chimiques	8 % (9 %)
Laiton et bronze	14 % (19 %)	Autres produits	1 % (2 %)

- En 1990, la galvanisation représentait 60 % des utilisations au Japon et 52 % aux États-Unis.

Principales utilisations : en 1992, en France.

- Revêtements anticorrosion : utilisation de 162 300 t de Zn pour protéger 3,3 millions de t d'acier (dans le monde, en 1992, utilisation de 47 millions de t d'acier protégé par Zn) dans l'industrie automobile, le bâtiment (charpentes métalliques), la fabrication de pylônes, de glissières de sécurité pour autoroutes... A l'air humide, Zn se recouvre de carbonate-hydroxyde de zinc ($2ZnCO_3,3Zn(OH)_2$) qui freine la progression de la corrosion. Le revêtement est constitué de plusieurs couches d'alliage Fe-Zn recouvertes d'une couche de Zn pur. L'épaisseur totale est comprise entre 30 et 100 μm .

Par exemple, exprimé en poids des tôles prérevêtues, la Renault twingo est protégée à 52 %, la Safrane à 52 %, la Peugeot 405 à 67 % (tôles galvanisées et électrozinguées), la XM Citroen à 76 % (galvanisées : 27 %, électrozinguées : 49 %). En France, en 1982, 12 % des tôles automobiles étaient revêtues, 54 % en 1992. En France, en moyenne, 17 kg de Zn par véhicule (5 kg dans la carrosserie, 9 kg dans des pièces en alliages, 3 kg dans les produits chimiques).

On assiste au développement de nouveau alliages de protection : Zn-Ni (9 à 15 %), Zn-Fe, Zn-Co (0,3 à 0,8 %).

Les revêtements sont effectués par galvanisation ou par électrozingage :

- Galvanisation, par trempage dans Zn fondu à 450°C. Utilisation de 152 700 t de Zn.
- en continu de tôles, à la vitesse de 150 à 180 m/min : 20 à 40 μm d'épaisseur de Zn.

Utilisation de 88 100 t de Zn.

- par trempage de pièces : 70 μm d'épaisseur de Zn. Par exemple, le châssis de la Renault Espace est galvanisé après assemblage (25 kg de Zn).

- Par électrozingage en continu de tôles : 5 à 10 μm d'épaisseur. 9 600 t de Zn utilisées principalement dans l'automobile et l'électroménager.

- Peintures riches en zinc : constituées à environ 90 % de poussière de Zn et d'un liant organique ou minéral (silicate alcalin). Consommation française, en 1992, de 9 200 t de poussières totalement importées. Utilisées comme couches primaires d'atelier (par exemple, 15 μm de revêtement pour la coque du paquebot Sovereign of the Seas).

Pour des utilisations finales, la couche atteint 80 à 100 μm .

- **Métallisation** par projection de Zn fondu à l'aide de pistolets utilisant du fil de Zn, consommation de 5 300 t.

- **Bâtiment** : Outre les utilisations dans l'acier galvanisé (avec parfois des revêtements à l'aide de l'alliage 55 % Al, 43,5 % Zn, 1,5 % Si, 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 μm en atmosphère rurale et de 10 μm 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. L'utilisation de Zn dans ce secteur est particulièrement importante en France : 84 100 t en 1992, ainsi qu'en Allemagne et le Benelux. 1 million de m^2/an en France de feuilles de Zn utilisées en couverture. 13 000 km^2/an , en France, de gouttières et accessoires d'évacuation d'eaux pluviales. Paris couvre ses toits, depuis de baron Haussmann, de Zn laminé : 5 millions de m^2 de surface

- **Fonderie** : 43 600 t en 1992. 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 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 1992, de 56 400 t de Zn à 75 % dans des barres et profilés.

Autres applications :

- Anodes sacrificielles : 200 t/an en France pour protéger les coques de navires, les citernes enterrées...

- Les plaques d'imprimerie "offset" sont en Zn.

- Poussière de Zn : pour la fabrication de l'aniline, la stabilisation de matières plastiques, la cémentation de métaux précieux.

- 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 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 ZnCl_2 et de NH_4Cl , le

pôle négatif est constitué par un alliage de Zn (avec ajouts de Pb et/ou Cd) sous forme de godet dont la surface est amalgamée (de moins en moins) par Hg qui joue le rôle d'inhibiteur de corrosion (HgCl_2 est ajouté à l'électrolyte). 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.

- 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.

- Oxyde de Zn : préparé, en général, par oxydation de produits de récupération et de déchets. Entre dans la fabrication des caoutchoucs et pneumatiques (40 % de la consommation de ZnO) car il accélère la vulcanisation, dans les peintures (blanc de zinc), dans les mastics (avec de l'huile), 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 1992, de 26 900 t de Zn pour fabriquer ZnO (représente 91 % 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.

- Pigments : sous forme de blanc de zinc (ZnO) utilisé en peinture dans le bâtiment, mais aussi de lithopone (coprécipité de sulfure de Zn et de sulfate de baryum) pigment économique employé principalement dans les sous-couches, jaune de chrome (chromate de Zn), vert de Zn (mélange de chromate de Zn et de bleu de Prusse).

- Organisme humain : besoins : 15 mg/j nécessaire 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...