

# Rapport *Report*

## **L'histoire du zinc, sa production et sa mise en œuvre**

Dr. Marinanne Schönnenbeck / Frank Neumann

### **Introduction**

Bien avant la découverte du zinc comme métal, le minerai de zinc était utilisé pour la production de laiton, alliage de cuivre et de zinc, et de sels de zinc à des fins médicales. Les objets en laiton sont connus en Babylonie et en Assyrie depuis le 3ème millénaire av. J.-C., et en Palestine depuis la période de 1400 à 1000 av. J.-C. ...

La première addition de zinc au cuivre peut être attestée pour la période autour de 500 av. J.-C. par un bijou trouvé à Rhodes. Bien que le zinc ait été utilisé depuis pour la fabrication de laiton par exemple, il fallut encore plusieurs siècles pour qu'il soit identifié comme métal. Le terme « zinc » s'est établi seulement au cours du XVIIe siècle avec la redécouverte du matériau.

Comme le zinc se présente dans la nature exclusivement sous forme de composés, un sel de zinc était d'abord fabriqué à partir de carbonate de zinc. Le zinc convenait particulièrement pour l'alliage avec d'autres métaux et a ainsi d'abord été utilisé comme composant des pièces de monnaie. Bien que les minerais de zinc aient été utilisés depuis l'âge de bronze, ce n'est que beaucoup plus tard que le zinc a été reconnu comme un élément, c'est-à-dire un matériau de base non décomposable. Le zinc était importé jusqu'à la fin du XVIIIe siècle, le plus souvent de l'Inde, et était considéré comme très onéreux.

### **La production et l'utilisation d'antan en Inde et en Chine**

Vers l'an 1200 de notre ère, du zinc métallique était produit en Inde. Le processus est décrit comme la production d'un nouveau métal ressemblant au zinc. Pour cela, le minerai de zinc était chauffé indirectement dans un creuset fermé avec du charbon de bois. La vapeur de zinc générée se refroidissait au contact de l'air ambiant dans un récipient de condensation placé au-dessus du creuset. Ainsi se forma le zinc métallique (figure 1).

Le Vénitien Marco Polo (1254-1324) rend compte de la production d'oxyde de zinc en Perse. Les Perses utilisaient jadis une solution de vitriol blanc ( $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ ) pour le traitement d'ophtalmies. Le sulfate de zinc ( $ZnSO_4$ ) est encore utilisé dans la médecine d'aujourd'hui comme astringent et antiseptique.

En 1374, le zinc a été reconnu par les Hindous comme un nouveau métal, le huitième à cette époque. Il y avait déjà jadis une production limitée de zinc et un commerce correspondant.

## Rapport *Report*

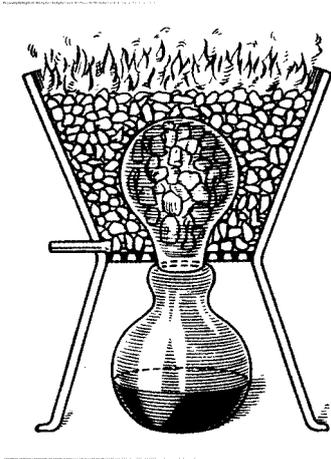


Figure 1:

*C'est en Inde, vers 1200 apr. J.-C. que l'on fabriqua du zinc métallique dans un creuset fermé et qui est dirigé dans un réservoir de condensation, où il a été refroidi par l'air ambiant. (selon Habashi)*

Entre le XII<sup>e</sup> et le XVI<sup>e</sup> siècle, un processus dérivé est connu dans la province du Rajasthan au nord-ouest de l'Inde. Des creusets tubulaires de 25 cm de long de 15 cm de diamètre étaient pourvus d'un tube de diamètre inférieur. Les creusets étaient empilés dans un four chauffé au charbon de bois et à l'aide d'un soufflet. La vapeur de zinc condensait dans les tubes. Environ 1 million de tonnes de zinc métallique et d'oxyde de zinc étaient ainsi extraits – estimation faite d'après les résidus trouvés. Le zinc métallique était utilisé pour la fabrication du laiton, alors que l'oxyde de zinc était utilisé en médecine.

Au XVII<sup>e</sup> siècle, un processus de fabrication est décrit pour la Chine (figure 2). Chaque creuset était rempli de charbon de bois coupé en petits morceaux et mélangé au minerai de zinc. Ceux-ci étaient empilés en forme de pyramides avec du charbon dans les interstices. Le tout était chauffé au rouge, puis refroidi et cassé en morceaux. Le zinc se trouvait alors au centre comme un morceau de métal rond. Pendant la dynastie Ming (1368-1644), la monnaie chinoise était déjà composée de 99 % de zinc et de 1 % d'argent. La production de zinc augmenta et fut exportée de l'Inde et de la Chine jusqu'en Europe.



Figure 2:

*La fabrication du zinc en Chine au XVII<sup>e</sup> siècle dans les creusets empilés en forme de pyramides avec le charbon de bois dans les interstices. Après le chauffage jusqu' à ignition et le refroidissement, on rompait les scories et trouvait le zinc au centre. (selon Habashi)*

## Rapport *Report*

### La production et l'utilisation d'antan en Europe

Le géographe et historien grec Strabo (64 av. J.-C. - 23 apr. J.-C.) mentionne que le « minerai de Chypre » contient les composants nécessaires à la production de laiton. Il mentionne également un minéral qui en brûlant se transforme en fer et qui, une fois fondu dans un four avec certains ingrédients, distille le « faux argent » (le zinc). On pouvait alors obtenir le laiton par alliage avec le cuivre.

On suppose qu'à Rome à l'époque d'Augustus (63 av. J.-C. - 14 apr. J.-C.), le laiton était fabriqué en chauffant un mélange de calamine pulvérisé, de charbon de bois et de granulés de cuivre de telle manière que la température demeurait au-dessous du point de fusion du cuivre. Après la réaction de la vapeur de zinc avec le cuivre, la température était augmentée et on fondait ainsi le laiton. La ressemblance entre le laiton et l'or incita certainement de nombreux alchimistes à rechercher un moyen de produire de l'or à partir d'autres métaux.

Le naturaliste, philosophe et théologien Albertus Magnus (1200 - 1280) décrit au milieu du XVIII<sup>e</sup> siècle - sans avoir connaissance du zinc en tant que métal - un processus permettant d'accroître la teneur en zinc du laiton lors de la fusion. Il s'agissait d'épandre du verre concassé comme fondant de scorification. Ainsi, cela empêchait que le zinc s'échappe sous forme de vapeur lors de la fusion, la teneur en zinc du laiton augmenta donc.

L'humaniste, médecin et minéralogiste saxon Georgius Agricola (1494 - 1555) a rédigé les ouvrages « De natura fossilium » (1546) et « De re metallica » (1556). Il y décrit comment, lors de l'extraction d'argent et de plomb dans le Harz, un métal blanc se déposait aux parois du four, ce qui a été utilisé pour imiter l'or. Le médecin et naturaliste Philippus Théophraste Paracelse (1493 - 1543) est le premier à clairement identifier le « zincum » (zinc) comme un nouveau métal qui, par ses qualités, se distingue des autres métaux connus. En ce temps-là, le zinc était encore principalement importé de l'Orient.

Le mot « zinc » provient probablement du persan « sing », signifiant « pierre ». D'autre part, il pourrait aussi être dérivé du terme « Zincke », qui était usité pour les minerais de calamine dentés.

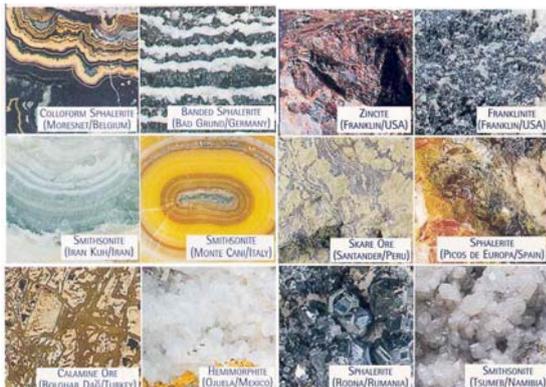


Figure 3:

Minerais de zinc (selon IZA: Pocket Guide).

## Rapport *Report*

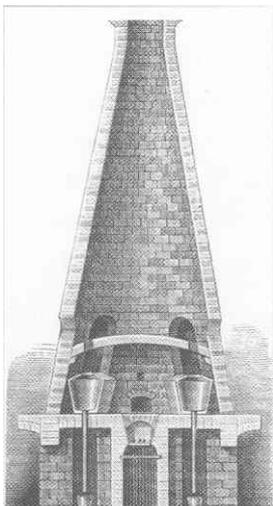
L'aptitude d'évaporation du zinc déjà en-dessous de la température de traitement supérieure à 1000 °C constituait en ce temps-là une difficulté essentielle lors de l'extraction. En présence d'air, le zinc brûle en oxyde de zinc. Lors du traitement des minerais, les vapeurs de zinc naissantes devaient alors être capturées et condensées sans accès d'air, de sorte que le zinc métallique puisse se déposer.

En 1746, le chimiste berlinois Andreas Sigismund Marggraf (1709-1782) a finalement réussi à isoler le zinc comme métal pur. Lors de son expérience, Marggraf chauffa du minerai de zinc de différente provenance avec du charbon de bois dans des creusets fermés. De l'ensemble, il obtint du zinc métallique. Il montra en particulier que le zinc était également contenu dans les minerais de plomb de Rammelsberg dans le Harz et qu'il pouvait être extrait de la sphalérite (sulfure de zinc).

Peu de temps auparavant, le suédois Anton de Swab (1703-1768) avait distillé du zinc. Pendant son processus, les vapeurs montaient avant d'être redirigées. C'est pourquoi le processus était qualifié de distillation « per ascendum ».

Au XVIII<sup>e</sup> siècle, le métal pouvait être obtenu à grande échelle en Angleterre, en Haute-Silésie et dans la région de Liège-Aachen.

Le procédé de fusion du zinc dans un poêle de cornues a été observé par un Anglais en Chine. William Champion (1709-1789) développa un processus avec un poêle de cornues (Figure 4). Un creuset fermé avec une ouverture au sol était rempli de minerai de zinc et de charbon. Le zinc fondu était dirigé dans un tube en fer vers une chambre froide située plus bas. Le zinc métallique était recueilli à l'extrémité du tube fermé refroidi à l'eau. Ainsi, dans un four avec 6 creusets, on pouvait obtenir en 70 heures env. 400 kg de zinc métallique. En 1743, William Champion ouvrit à Bristol la première zinguerie anglaise.



*Figure 4:*

*Four de fusion de zinc, tel qu'il a été utilisé par William Champion. (selon Habashi)*

## Rapport *Report*

En 1798, Johann Ruhberg (1751-1807) construisit les premiers émaux de zinc en Haute-Silésie. Il développa le poêle de cornues horizontal. Chaque creuset est fixé ici horizontalement dans le four de fusion, si bien qu'il puisse être chargé et déchargé sans refroidissement. Grâce à la disposition des creusets sur des remparts, beaucoup moins de charbon devait être utilisé. Tout d'abord, on utilisa comme matériau de départ la calamine de zinc, un sous-produit de l'exploitation minière du plomb et de l'argent. Plus tard on utilisa la smithsonite ( $ZnCO_3$ ) qui est facile à fondre, et encore plus tard la blende de zinc ( $ZnS$ ) qui était d'abord transformée en oxyde de zinc par calcination. C'est sur cette base que les fonderies de zinc ont été créées en Silésie, dans la région Liège-Aachen et dans la région de la Ruhr. La blende était aussi produite comme déblais lors de l'extraction des minéraux d'argent. Grâce à des techniques plus récentes pour obtenir du zinc, son utilisation est redevenue intéressante.

Du dioxyde de soufre se dégageait lors de la calcification de la blende ( $ZnS$ ), ce qui devenait une charge considérable pour l'environnement aux abords des fonderies. Ce n'est que plus tard qu'on réussit à transformer presque entièrement les gaz de calcination en acide sulfurique.

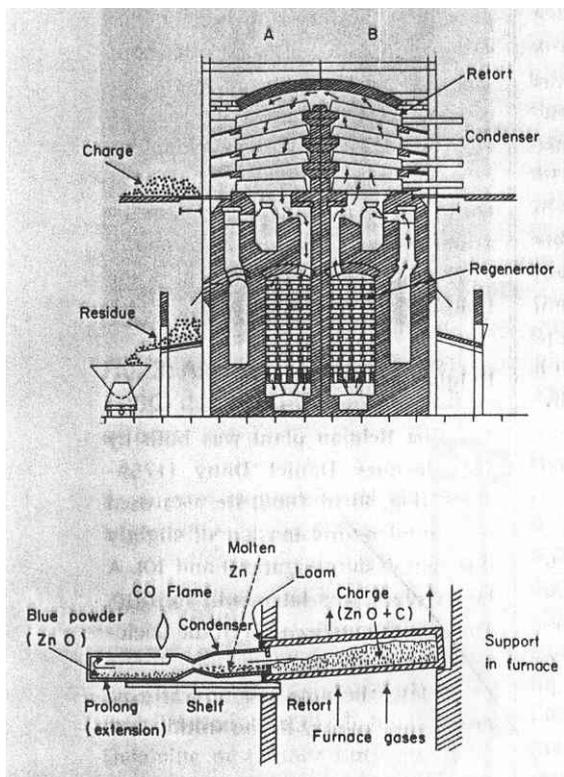


Figure 5:  
Représentation schématique du poêle de cornues horizontal (selon Habashi)

En Belgique, une usine de zinc, dont la Société de la Vieille Montagne est issue, a été construite en 1810, et fut quelques années plus tard la société de production de zinc la plus importante dans le monde entier. Un processus horizontal légèrement modifié était utilisé (figure 5). Aux Etats-Unis, les zingueries travaillaient depuis le milieu du XIXe

## Rapport *Report*

siècle selon le même procédé. Elles produisaient au début du XXe siècle presque un tiers de la production mondiale de zinc.

Après le développement en 1805 d'un procédé de laminage du zinc à une température de 100 à 150 °C en une feuille lisse, le matériau a aussi pu être utilisé avec succès dans la construction pour la couverture, les gouttières et les tuyaux de descentes. Par conséquent, les premières usines, dans lesquelles le zinc était extrait, traité et laminé en feuilles de dimensions standards 1 m x 2 m, ouvrirent en Belgique et en Silésie. Au début du XIXe siècle, le matériau brillant blanc bleuté a trouvé, entre autres grâce à Karl Friedrich Schinkel, son application dans le domaine de l'ornementation. Une multitude de textes de techniques de mise en œuvre l'atteste et traite en particulier des questions de techniques de pose de feuilles lisses ainsi que de leurs détails de raccordement. Ce n'est qu'au milieu des années 60 que ce procédé de laminage par paquet a été remplacé par des technologies plus modernes à cause des propriétés du matériau alors considérées comme insuffisantes.



*Figure 6:*

*Fabrication de feuilles de zinc par le procédé de laminage par paquet.*



*Figure 7:*

*Ornemenation du Château de Glienicke construit de 1825 à 1828 par Karl Friedrich Schinkel.*

Grâce aux propriétés protectrices contre la corrosion, le zingage de la tôle d'acier et des grands éléments de constructions métalliques se développa comme l'une des applications les plus importantes du zinc. Depuis le XIXe siècle, la production du zinc augmente donc avec l'utilisation croissante de l'acier. Le zinc est aussi utilisé dans la

## Rapport *Report*

fabrication d'alliages (laiton, bronze, maillechort). Les pièces coulées sous pression constituent un autre domaine d'application. Comme précédemment mentionné, le zinc est aussi utilisé dans les médicaments, les cosmétiques et comme additif pour l'alimentation animale.

### Les processus de fabrication actuels

Dans la nature, le zinc se trouve sous forme de composé avec l'oxygène ou le soufre. Le sulfure de zinc ou blende de zinc (ZnS) est le principal minéral de zinc. Il se trouve souvent associé avec la galène, la pyrite, la chalcopirite et d'autres minéraux.

Lors de l'érosion de la blende de zinc, il se forme des minéraux de zinc à base de carbonate et de silicate que l'on désigne comme minerais d'oxyde de zinc ou comme calamine. De plus, les gisements de zinc contiennent le plus souvent d'autres métaux précieux dans une proportion intéressante sur le plan économique. Il s'agit le plus souvent de plomb. D'autres métaux importants sont le cuivre, l'argent, le fer, le manganèse et le cadmium, et d'autres en quantité plus faibles. Env. 90 % des minerais de zinc sont issus des exploitations souterraines. Normalement, les minerais sont conditionnés en concentrés par flottation en plusieurs étapes à proximité des gisements, fournissant ainsi la matière de base pour la fusion ultérieure.

Pour produire du zinc à partir des concentrés, il existe les procédés suivants :

- l'électrolyse de zinc,
- le procédé Imperial smelting et le procédé de distillation de type New Jer-sey (pour le raffinage de zinc brut)

En outre, il existe des installations pour la refonte et le ressuage, c'est-à-dire pour la dissociation thermique de la ferraille de zinc.

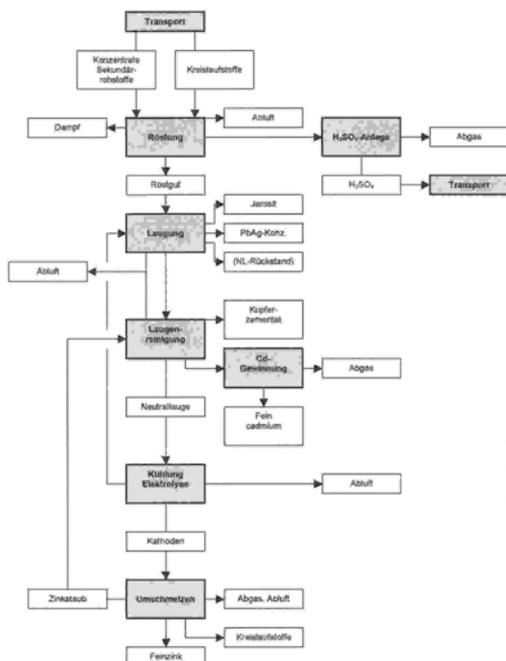


Figure 8:

Lors de l'électrolyse, le zinc est extrait de la solution neutre à la cathode. (Selon Hullmann (éditeur): *Natürlich oxidierende Metalloberflächen* (« Surfaces métalliques s'oxydant naturellement »))

## Rapport *Report*

Lors de l'électrolyse, le zinc fin est produit par voie hydrométallurgique. Le procédé comprend les étapes suivantes :

- Calcination - à partir des concentrés, la blende grillée est oxydée et produit un effluent gazeux contenant du SO<sub>2</sub> qui est retraité en H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dans une installation propre,
- Lixiviation - le produit de grillage (blende grillée) est dissout en acide sulfurique,
- Purification de la saumure - ici, les éléments secondaires, comme le cuivre et le cadmium, sont séparés de la lessive alcaline. Il en résulte une solution dite neutre.
- Electrolyse - le zinc est séparé électrolytiquement de la solution neutre à la cathode,
- Refonte - dans une dernière étape, les cathodes sont refondues en blocs de zinc.

L'électrolyse de zinc permet une très bonne utilisation des concentrés. De plus, des matières secondaires riches en zinc sont également utilisées dans ce procédé d'extraction hydrométallurgique.

Le processus Imperial-smelting permet en tant que processus pyrométallurgique le traitement direct de concentrés et de matières secondaires. La principale source d'énergie est le coke. Outre les principaux produits zinc et plomb, une scorie pouvant être utilisée à des fins de construction est produite. Env. 15 % de la production mondiale de zinc est obtenue d'après cette méthode.

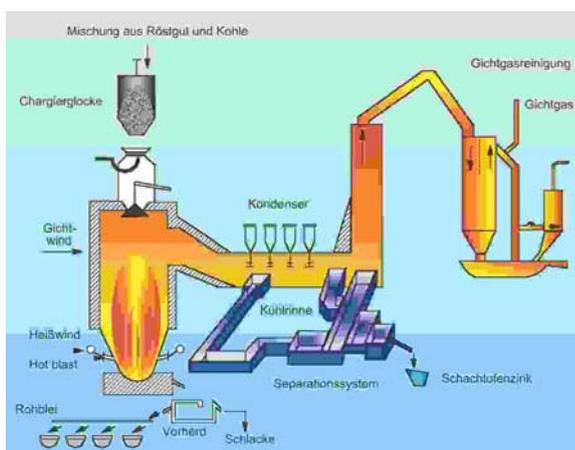


Figure 9

Représentation schématique de l'extraction de zinc et de plomb dans le four à cuve d'après le procédé Imperial smelting (Initiative Graphique du zinc)

## Rapport *Report*

Les différentes étapes du processus de la méthode Imperial-Smelting sont (Figure 10) :

- le briquetage : les matières brutes secondaires et l'oxyde Waelz sont briquetées à chaud,
- le grillage : dans une agglomération par frittage, les concentrés sont désulfurés (grillés) et agglomérés avec des matériaux recyclés,
- la réduction et la condensation : dans le four Imperial-Smelting, les briquettes chaudes et la calamine sont affinées avec du coke. Le zinc est évacué avec le gaz de haut fourneau et condensé en zinc brut. Le plomb est défourné au bas inférieur du four.

Pour l'extraction du zinc fin, il est ensuite effectué une distillation à deux étapes d'après le procédé de New-Jersey, par lequel le reste des métaux accessoires est éliminé et le zinc fin est extrait avec une grande pureté.

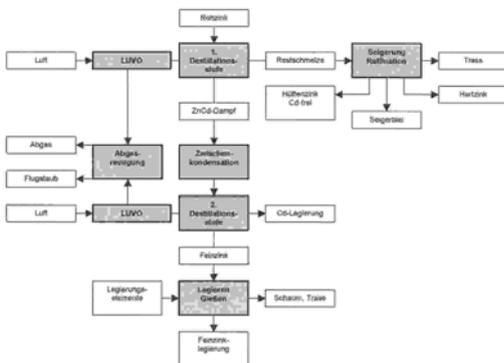


Figure 10:

Schéma de procédure d'une distillation de zinc New-Jersey (selon Hullmann (éditeur): *Natürlich oxidierende Metalloberflächen* (« Surfaces métalliques s'oxydant naturellement »))

Grâce à la distillation selon le procédé New-Jersey pour la fabrication thermique de zinc fin, le zinc brut issu de matières premières primaires et secondaires est distillé en une ou deux étapes. À ce propos, le zinc brut peut être distillé entièrement ou partiellement, de sorte qu'aussi bien du zinc fin que du zinc commercial ou un alliage de cadmium puissent être produits selon les besoins. Les étapes du procédé de distillation de zinc New-Jersey sont représentées à la figure 10.

Pour la distillation de zinc New-Jersey, tous les produits intermédiaires sont retraités, de sorte qu'il n'y a pas de résidus.

## Rapport *Report*

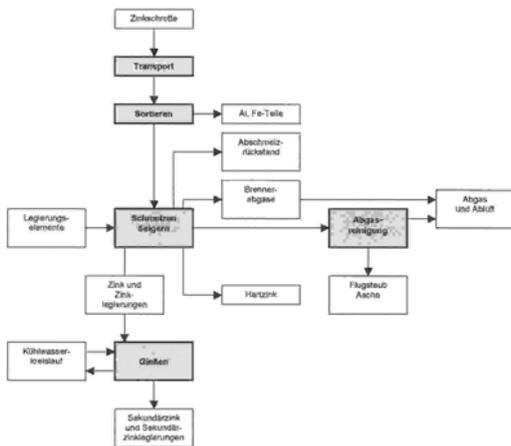


Figure 11:

*Traitement de la ferraille de zinc par la fonte et le ressuage (selon Hullmann (éditeur):  
Natürlich oxidierende Metalloberflächen  
(« Surfaces métalliques s'oxydant naturellement »))*

Le traitement de la ferraille de zinc s'effectue, après épuration, par la fonte et le ressuage. Les différentes étapes du procédé sont représentées à la figure 11. Ce sont :

- le triage : la ferraille de zinc, les pièces d'aluminium et de fer sont séparés.
- la fusion : les déchets de même nature sont raffinés, les déchets propres fondus et ségrévés, les déchets mélangés sont traités dans un four de fusion.
- le ressuage : les composants de la matière fondue sont séparés en raison de leur point de fusion différent ; il en résulte des mattes, un alliage zinc-fer.
- la coulée : les alliages de zinc et le zinc sont ensuite coulés.

Pour le retraitement des matières à faible teneur en zinc, comme cela se produit notamment dans le cadre du processus de recyclage, il est appliqué un traitement par four tubulaire rotatif. Les matières sont d'abord formées en billes humide et puis chauffées dans un four rotatif (tube Waelz). Le zinc contenu s'évapore, s'oxyde et, après refroidissement, peut être récupéré dans un filtre sous forme d'oxyde Waelz.

Une source importante pour les matières pauvres en zinc sont les filtres contenant des poussières de zinc provenant du recyclage de pièces en acier galvanisé. Le recyclage du zinc contenu dans ces poussières lors du processus de laminage répond depuis longtemps aux exigences techniques les plus récentes.

### **La production de feuilles et bobines**

Une étape essentielle dans la production de bobines et feuilles de zinc d'épaisseur prédéterminée a été obtenue par la mise en place par RHEINZINK du procédé de coulée et de laminage en continu à large bande.

## Rapport *Report*

Ici, un alliage de zinc, cuivre et titane est fondu à une température d'env. 760 °C dans un four à induction à creuset. C'est ainsi que se forment les lingots de préalliage, qui sont fondus et mélangés avec du zinc fin dans des fours de coulée à induction.

L'alliage obtenu passe ensuite sous forme liquide dans la machine de coulée. Ici, l'alliage est refroidi par un circuit d'eau fermé au-dessous du point de fusion pour former une bande dure. Ce processus doit s'effectuer à la même vitesse que les opérations suivantes (laminage et enroulement).

La bande accède à la cage de laminage via le parcours de refroidissement et les tours de bouclage pour compenser la faible différence de vitesse. Ici, l'épaisseur est progressivement réduite. Grâce à l'adaptation exacte de la pression et du refroidissement, les qualités métallurgiques du matériau - comme la ductilité, la résistance à la traction, la résistance au fluage - sont influencées.

Après le laminage, la bande terminée est enroulée en grandes bobines. Le processus de laminage crée des tensions défavorables à une utilisation ultérieure sur la feuille mince. Afin de les éliminer, la feuille est étirée, pliée et redressée plusieurs fois dans un autre processus. Elle peut ensuite être divisée longitudinalement et transversalement puis transformée, par exemple, en feuilles, pour la couverture ou le bardage, ou en produits d'évacuation des eaux pluviales.

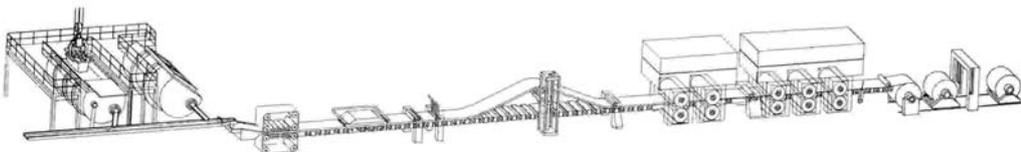


Figure 12: *Par un procédé de coulée et de laminage, des bobines de zinc sont produites, chez RHEINZINK, avec un processus continu du métal liquide à la bobine.*



Figure 13:

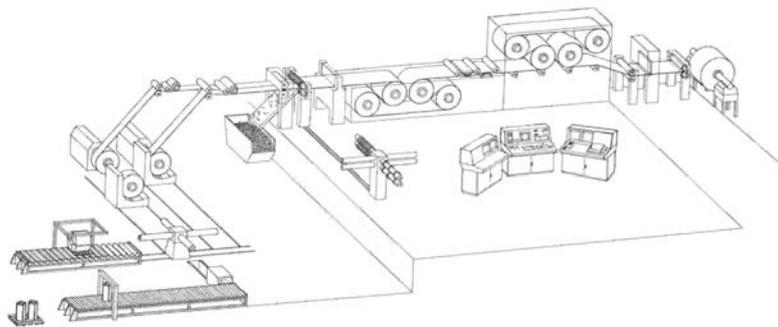
*Dans la machine de coulée, l'alliage final reçoit la coupe transversale de sortie nécessaire simultanément au refroidissement.*

## Rapport *Report*



*Figure 14:*

*À la fin du train de laminage, la bande laminée est enroulée en grandes bobines et entreposée pour refroidir.*



*Figure 15:*

*Dans une installation de dressage par traction et flexion, la feuille est produite sans tension et est ensuite divisée longitudinalement et transversalement en fonction de l'utilisation ultérieure.*

### **Gisements et réserves**

Les gisements de minerais de zinc ne sont connus que dans la mesure où ils sont explorés pour une exploitation dans un futur proche. De nouveaux gisements sont régulièrement exploités. Les limites de la disponibilité sont ainsi déplacées, aussi entre autres en fonction de la technique et du prix réalisable.

En 1999, la teneur en zinc des minerais inventoriés s'élevait à environ 200 millions de tonnes. Ils sont situés pour près de la moitié en Australie, en Chine, aux Etats-Unis et au Canada. Les réserves mondiales identifiées de zinc sont estimées à environ 1,9 milliard de tonnes. La mise en exploitation d'autres ressources en corrélation avec des prix de marché adaptés rendront le zinc disponible sur une longue période. En outre, env. 30 % du zinc utilisé dans le monde est, aujourd'hui déjà, généré par recyclage de matériaux

## Rapport *Report*

zincifères. Ce pourcentage est actuellement plus élevé en Allemagne et augmentera également dans le monde entier au cours des prochaines années.

### Domaines d'application et recyclage actuels

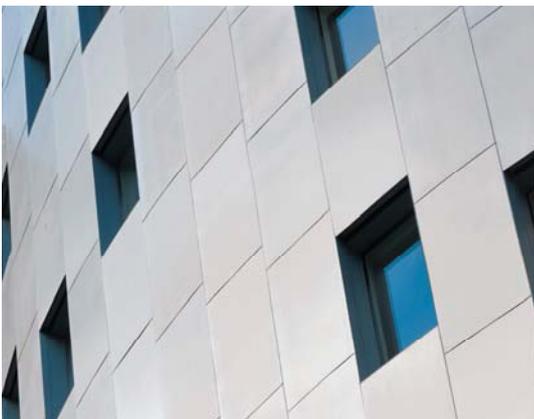
Le zinc est principalement utilisé dans les domaines suivants :

- sous forme de feuilles et autres produits laminés en particulier dans la construction,
- dans les alliages, principalement avec le cuivre pour le laiton et avec l'aluminium dans les pièces de fonte sous pression - environ un tiers de la production totale de zinc,
- pour la protection contre la corrosion de pièces en acier - environ la moitié de la production totale de zinc,
- dans l'industrie chimique en tant qu'oxyde de zinc et poussière de zinc



*Figure 16 :*

*Les toitures en zinc sont aussi une bonne solution pour les monuments historiques ayant des géométries exigeantes.*



*Figure 17 :*

*La réalisation des façades en zinc avec une surface durable à patine naturelle.*

## Rapport *Report*

Les feuilles de zinc sont utilisées dans le bâtiment, hormis pour la protection contre la corrosion de pièces en acier, pour les toitures, les façades et l'évacuation des eaux pluviales. Après la phase d'utilisation, elles peuvent être refondues et réutilisées comme zinc secondaire dans les alliages, pour la galvanisation ou dans l'industrie chimique.

Les pièces de zinc coulées sous pression se trouvent, par exemple, dans les appareils ménagers et les véhicules, qui sont broyées après la phase d'utilisation. Le zinc est ensuite séparé des autres matériaux et retraité.

Les déchets en laiton ont une haute teneur en cuivre et sont principalement recyclés directement par les industries du laiton et du cuivre. Suivant la méthode utilisée, le zinc reste dans l'alliage fondu ou est séparé en tant qu'oxyde de zinc par les cendres volantes et entre dans la composition des nouveaux produits en zinc.

La ferraille des pièces en acier galvanisé est réutilisée lors de la fabrication d'acier. À cette occasion, le zinc s'évapore et est récupéré en tant que poussière de filtration. Celle-ci peut alors être réutilisée pour la production de zinc



*Figure 18:*

*La ferraille de zinc est une substance de base précieuse pour du nouveau zinc.*

Pour décrire la part de recyclage, on place fréquemment la quantité du matériau recyclé en relation avec le nouveau matériau fabriqué au cours de la même période. Cette définition est toutefois trompeuse. En effet, si on place les vieux métaux produits aujourd'hui en relation avec la production totale au moment de la fabrication de ce matériau, il devient clair que du zinc est utilisé mais pratiquement pas consommé (le nouveau métal n'est pas pris en considération, puisqu'il est directement reflué dans le processus de production). La quantité des vieux métaux correspond presque à la quantité de production au moment de la fabrication des produits recyclés en tant que nouveau métal.

Si on prend en considération les différentes quantités et durées d'utilisation propres à chaque domaine d'application, on peut alors supposer une durée de vie moyenne de 30 ans. En Allemagne, le taux de recyclage défini s'élève à près de 100 % pour le zinc utilisé dans le bâtiment.



## Rapport *Report*

*Hullmann, Heinz (Hrsg.)*

Natürlich oxidierende Metalloberflächen

Umweltauswirkungen beim Einsatz von Kupfer und Zink in Gebäudehüllen

Stuttgart: IRB Verlag, 2003

*International Zinc Association-Europe (Hrsg.):*

Pocket Guide to World Zinc

Brüssel: International Zinc Association IZA, 2000

*Rheinzink (Hrsg.):*

RHEINZINK - Anwendung in der Architektur

Datteln: Rheinzink, 2. aktual. Aufl., Nachdr. 2001

*v. Klass, Gerd:*

Stolberger Zink - Die Geschichte eines Metalls

Aachen: Stolberger Zink AG, 1956

*Wellmer, Friedrich-Wilhelm:*

Gewinnung und Nutzung von Rohstoffen im Spannungsfeld zwischen Ökonomie und Ökologie

In: Geowissenschaften 14 (1996), Heft 2