

1- Introduction:

Le zinc métal est produit à partir de minerai sous forme de complexe sulfuré, carbonaté, oxyde et autres combinaisons chimiques. La forme sulfurée connue sous le nom de blende ou sphalérite de formule chimique ZnS est la plus utilisée selon deux procédés technologiques :

- Pyrométallurgie ou voie sèche.
- Hydrométallurgie ou voie humide suivie d'un dépôt électrolytique du Zinc.

Nous décrivons dans ce chapitre ces différentes méthodes d'élaboration du zinc métal en commençant par une présentation de l'usine AIZINC unité de Ghazaouet qui produit le zinc métal par voie humide.

2- Présentation de l'usine :

L'Usine de Ghazaouet fut fondée en 1969 avec la coopération de la société vieille montagne BELGIQUE. Elle est en production depuis 1974. Située juste au bord de la mer, elle est actuellement le centre d'activité industrielle le plus important de la région. Se site fut choisi en fonction de plusieurs facteurs tel que :

- La rapidité de l'acheminement de la matière première importée par bateau et l'exportation des produits par voie maritime.
- Son implantation à proximité de la mer, d'où l'eau est aspirée et déminéralisée pour satisfaire les besoins de l'unité.

L'usine de Ghazaouet raffine de la blende (Association zinc / soufre) par le procédé hydro- métallurgique et produit ainsi le zinc pour une capacité de 36.000 tonnes par An.

Elle emploie 450 personnes qui contribuent à la production du zinc et ses alliages tels que :

- Le ZAMALK5 et le ZAMALK3.

Ainsi que ses dérivés tels que :

-Le cuivre.

-L'acide sulfurique.

ALZINC

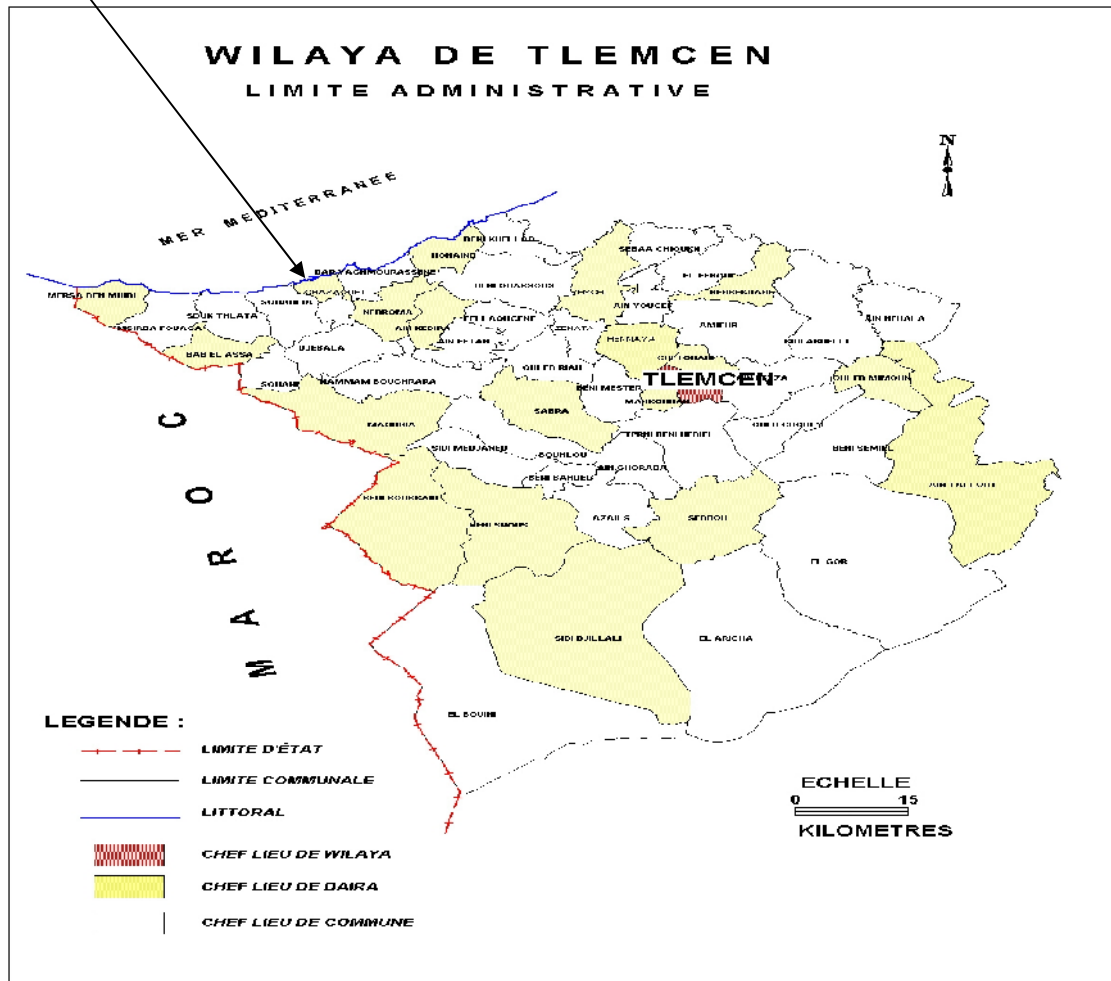


Figure 1: localisation de l'entreprise de production du zinc ALZINC

a- Les différents ateliers de soutien technique :

L'atelier des utilités englobe cinq stations :

- Station de pompage d'eau de mer.
- Station de dessalement d'eau de mer.
- Station de production d'air comprimé.
- Centrale thermique.
- Station de stockage du gasoil.

b-Description de la station de la neutralisation:

Le but de l'atelier de neutralisation consiste à traiter les effluents acides de l'usine de manière à insolubiliser les éléments nocifs, d'une part, et d'autre part, amener les effluents à un pH tel qu'ils puissent être déversés à la mer.

Les effluents en provenance des différentes stations sont stockés en tête de neutralisation puis envoyés par pompes vers une série de trois cuves de traitement équipées d'agitateurs rapides et d'injecteurs d'air.

Un lait de chaux est ajouté en première cuve (facultativement deuxième cuve).L'addition du lait de chaux est contrôlée et régulée par mesure de pH (9-10).

À travers une cuve tampon, la solution de la troisième cuve est envoyée vers un décanteur clarificateur avec rajout d'un flocculant (magnafloc) à fin de faire la séparation solide liquide, ensuite l'underflow sera filtré dans un filtre tambour. Le gâteau de filtration (gypse hydratée et précipitée) sera transféré par camion vers un endroit de stockage.

L'overflow et le filtrat de filtre tambour peuvent être déversée dans la mer. Une partie de cette solution est recyclée en tête pour la préparation de lait de chaux.

Le lait de chaux utilisé est préparé par une chaux hydratée superfine 93% $Ca(OH)_2$ ou de chaux vive (CaO) mélanger avec la solution claire d'overflow.



c-Le laboratoire central :

Le laboratoire est en relation avec tous les ateliers de l'usine et de la chaîne de production. afin de contrôler le procès qualitativement et quantitativement depuis la matière première jusqu'au produit fini.

Le laboratoire comporte **04** sections :

a- Echantillonnage :

C'est un atelier très important, en effet les analyses d'un échantillon ne seront véritablement représentatives du lot d'où a été prélevé que dans la mesure où l'échantillonnage aura été fait d'une manière correcte. Donc il faut faire une série d'options pour que l'échantillon soit prêt à analyser.

b- Section des analyses classiques :

Au niveau de cette section, on utilise les différentes méthodes d'analyses quantitatives telles que: les analyses volumétriques, gravimétrique.

Les principaux dosages à envisager dans cette section sont: le dosage du zinc, cuivre et chlore .Dans les eaux chaque élément a un indicateur spécifique et un mode opératoire approprié.

c- Section colorimétrie :

La colorimétrie est une méthode utilisée pour l'analyse des solutions et spécialement pour les éléments en traces, comme le Thallium, Germanium, Arsenic, Aluminium, Antimoine, Cobalt... chaque élément a un réactif spécifique qui donne une certaine couleur selon la concentration.

d- Section spectrophotométrie :

Cette section comprend trois types d'analyse:

Analyse par absorption atomique: qui consiste à déterminer l'absorbance des métaux en fonction des concentrations par des échantillons standard. Les différents métaux à analyser par cette méthode sont: Cd, Cu, Fe, Pb, Ag, Mg, Ni, Tl, Co, Na, Zn, Bi, K.

Analyse spectrographique: c'est une analyse qualitative et semi quantitative qui permet de reconnaître l'existence de certains éléments et leurs teneurs à partir des raies spécifiques à chaque élément et sa longueur d'onde.

Analyse spectrale: est utilisée pour déterminer les concentrations des éléments chimiques (l'analyse spectrale d'émission optique des éléments).

Les différentes mesures de l'analyse spectrale sont effectuées au niveau des opérations technologiques suivantes :

- Zinc de fonte de: Pb, Cd, Cu, Fe, Ag, Sn, Ti.
- Zinc alliage en pastilles de (bloc de 01 tonne et de 02 tonne): Pb, Cd, Cu, Fe.
- Zinc alliage sous forme de zamak : Al, Mg, Cu, Pb, Cd, Fe, Sn.

3-Procédés d'élaboration du Zinc

La production de zinc métal à partir de minerai est effectuée suivant deux procédés technologiques :

- Pyrométallurgie ou voie sèche.
- Hydrométallurgie ou voie humide.

3-1 Procédé par pyrométallurgie :

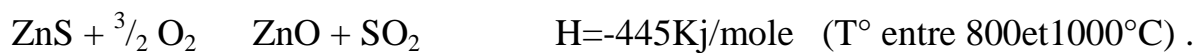
Ce procédé comporte les opérations suivantes :

- Grillage de la blende pour obtenir le zinc sous forme d'oxyde de zinc (ZnO).
- Réduction de l'oxyde de zinc pour obtenir du zinc métallique (Zn).

- Affinage du zinc par liquation et distillation pour supprimer les impuretés comme le plomb ou le fer.

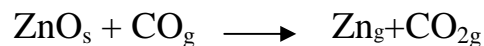
a-Grillage des sulfures :

Le grillage a pour but de transformer le sulfure en oxyde. L'obtention de l'oxyde de zinc ZnO est réalisée à une température comprise entre 910 et 980°C. L'oxyde obtenu s'appelle la calcine. La réaction est exothermique.



b- Réduction de l'oxyde:

Elle est réalisée, dans des hauts fourneaux par CO qui est produit par combustion de coke.



La réaction est endothermique, le chauffage se fait par l'extérieur, à une température de 1300°C. Le Zinc produit est à l'état gazeux, sa récupération se fait par condensation des vapeurs.

c- Affinage : liquation, distillation

Le zinc obtenu lors des opérations précédentes contient encore du plomb et d'autres impuretés (fer, cadmium dans des proportions de l'ordre de 0,1%). Pour augmenter le titre en zinc, il est affiné par deux opérations : la liquation et la distillation.

La liquation est basée sur une différence de miscibilité entre le plomb et le zinc à une température comprise entre 430 et 440°C. De même la solubilité du fer décroît fortement lorsque l'on refroidit le mélange fer zinc.

En traitant le zinc issu des opérations précédentes dans un four à réverbère à une température comprise entre 430 et 440°C pendant un à deux jours on sépare : le zinc qui contient encore 0,9 % de plomb de ce qui s'appelle la "matte de zinc"

contenant du plomb, 5 à 6 % de zinc et un composé ferreux de composition $\text{FeZn}(\text{OH})_3$.

Pour obtenir un zinc pur, il faut passer par une opération de distillation fractionnée qui permet de séparer les différents constituants métalliques en jouant sur leurs températures de fusion. Pour cela, on chauffe le mélange de métaux pour le rendre gazeux. A l'aide de diverses colonnes de distillation on sépare les métaux en les condensants.

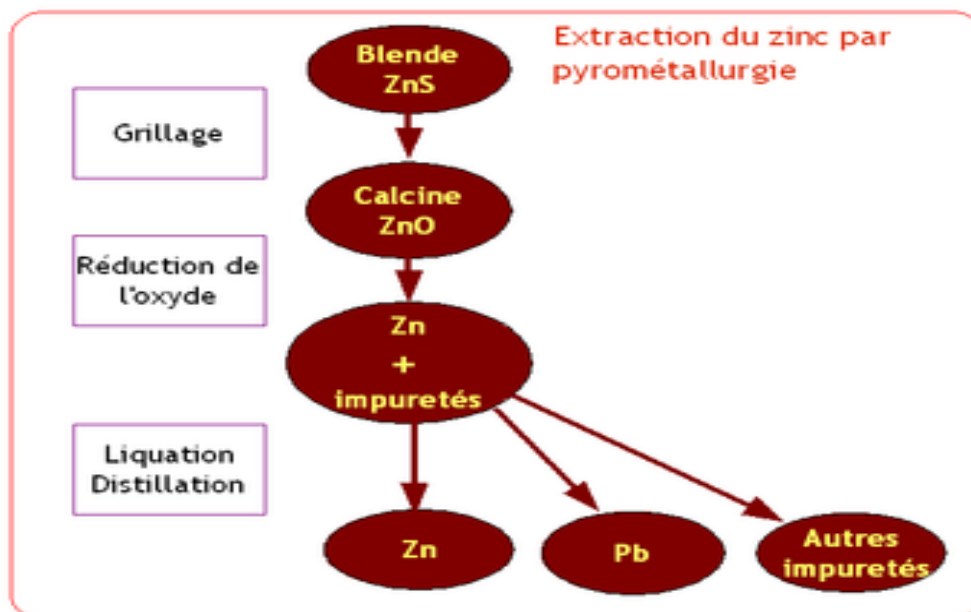


Figure 2 : Opérations technologiques d'extraction du zinc par Pyrométallurgie

3-2-Procédé par hydrométallurgie : procédé actuellement utilisé par (ALZINC)

Le procédé par voie humide ou hydrométallurgie se fait en 4 étapes :

1- Le grillage.

2- La lixiviation.

3- La purification.

4- L'électrolyse.

En parallèle d'autres procédés fonctionnent en annexe, pour la production de l'acide sulfurique et du cuivre, par électrolyse.

Procède d'Elaboration :

1- Grillage :

Le but de cette étape est de transformer des sulfures de zinc (ZnS) en oxydes de zinc (ZnO) qui est soluble dans l'acide sulfurique.

Matière première :

La matière première utilisée est la blende (sulfure de zinc ZnS) d'une teneur de Zn qui varie entre 45 et 60% et de nombreux éléments minéraux. La majorité de cette matière est importée du Pérou par voie maritime.

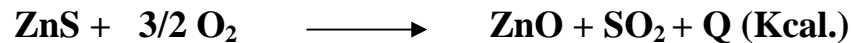
Description du procédé :

1.1- Production de ZnO:

Le concentré de blende alimente les six trémies d'alimentation du four, qui va ensuite vers un broyeur pour réduire la granulométrie des particules grossières.

La blende est alors soutirée de la trémie d'alimentation et chargée dans le four.

Le four utilisé est un four « LURGI » qui fonctionne selon la technique en lit fluidisé d'une capacité de 300 tonne/jours. La température de grillage est de 950°C. A cette température la réaction tend vers la formation de l'oxyde de zinc (ZnO) et l'anhydride sulfureux (SO₂) selon la réaction exothermique suivante :



Le grillé (calcine) le plus grossier est extrait du four par débordement vers le stockage, mais il ne représente que 30% du ZnO formé, le reste est récupéré du gaz par la chaudière, les cyclones et les électrofiltres secs :

a- Chaudière de récupération :

Elle est constituée par une grande chambre renferment six éléments de refroidissement dont quatre évaporateurs et deux surchauffeurs.

Les gaz issus du four de grillage seront refroidis jusqu'à 315°C. Elle récupère une grande partie de poussière entraînée par le gaz à la sortie du four. Les particules retenues par les éléments de chaudière qui seront nettoyés par un dispositif automatique.

b- Les cyclones :

Les gaz sortant de la chaudière sont amenés vers deux cyclones placés en parallèles, où ils sont soumis à un dépoussiérage par l'effet de force centrifuge, pour récupérer une seconde fois les poussières de ZnO.

c- Les électrofiltres secs :

Les gaz sortant des cyclones (T=300°C) traversent deux électrofiltres secs placés en parallèles, chacun renferme deux champs électriques. Les particules entraînées par le gaz se déposent sur les électrodes sous un effet du champ électrique et elles sont récupérées périodiquement par un dispositif de frappe, donc une troisième récupération des poussières ZnO.

Le gaz sort à une température de 270°C et il va à la partie contacte pour produire l'acide sulfurique, le ZnO récupéré est stocké dans deux silos de stockage.

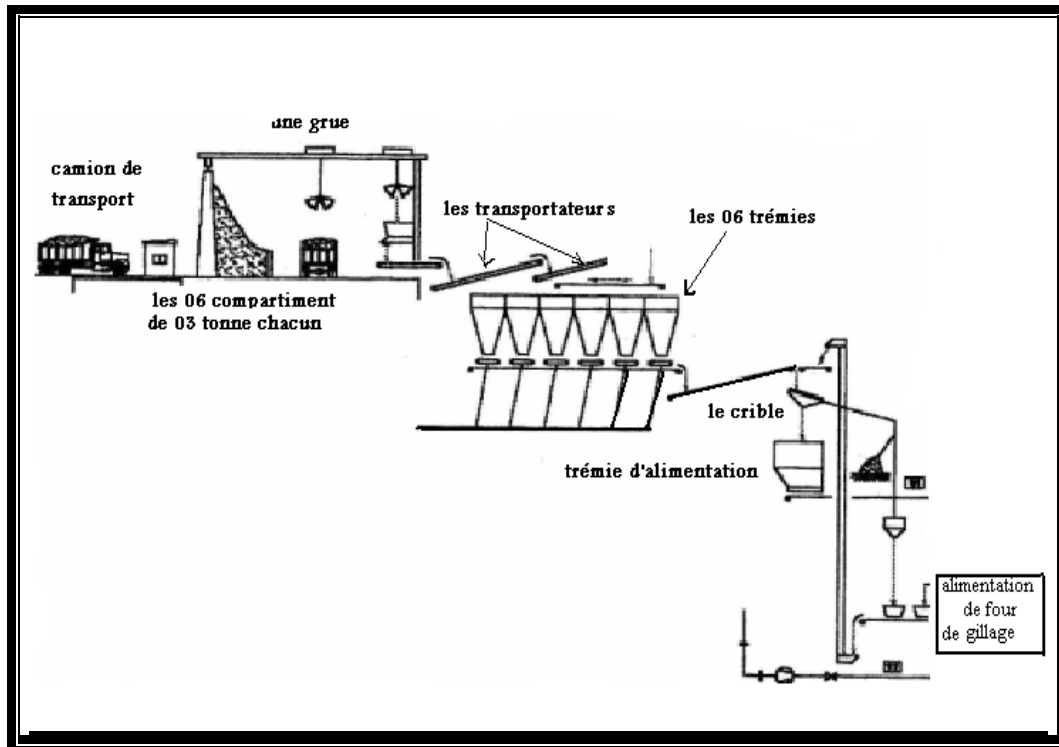


Figure 3: Transport et stockage de la matière première

1.2- Production de l'acide sulfurique :

Les gaz du grillage passent par plusieurs étapes pour produire enfin l'acide sulfurique.

A-La tour de lavage :

Le rôle de la tour de lavage est de refroidir les gaz contenant le SO_2 provenant des électrofiltres secs d'une température de 270°C à 60°C par moyen d'arrosage dont, la majorité es poussières sont éliminées.

b-Les électrofiltres humides :

Le rôle des électrofiltres humides est d'éliminer toutes les minuscules de poussières qui peuvent encore se trouver dans le gaz.

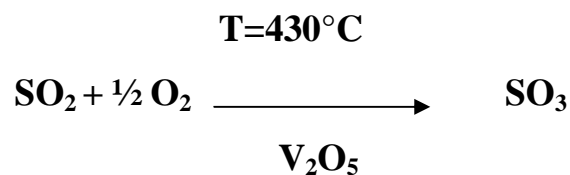
c-La tour de séchage :

Après avoir quitté les électrofiltres humide, le gaz passe dans la tour de séchage ou l'humidité est pratiquement éliminée par le contact avec l'acide sulfurique à 96% injecté par le haut de la tour.

d-La tour catalyse :

La tour contient 4 plateaux de catalyseurs de **Pentoxyde de Vanadium (V₂O₅)** et chaque plateau contient un volume différent. Pour obtenir une bonne conversion dans la tour de catalyse, chaque lit doit être réglé à 430°C.

Le gaz sort du premier plateau, à travers échangeur chaud à une température de 430°C puis entre dans le troisième plateau où le SO₂ est oxydé en SO₃ selon la réaction suivante :



Ensuite le gaz sort du 4^{ème} plateau vers un économiseur.

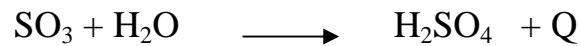
f- L'économiseur :

La température d'entrée du gaz est de 224°C, le refroidissement se fait au moyen d'un ventilateur à air.

g-La tour d'absorption :

L'absorption de SO₃ provenant de la tour de catalyse se fait par contact avec l'acide sulfurique à 98% qui s'accompagne d'un grand dégagement de chaleur, et pour maintenir la concentration on ajoute l'eau et l'acide sulfurique 96%. La température de l'acide quittant la tour est de 97°C tandis que la température d'entrée est 71°C. Cette chaleur est éliminée dans les refroidisseurs à plaque utilisant l'eau de mer. La circulation de l'acide est assurée par une pompe immergée dans le réservoir. Une purge est faite au refoulement de la pompe de

circulation qui passe dans deux groupes de refroidissement d'acide 98% disposé en série puis les pompes à acide produit et se dirige vers le stockage.



L'acide sulfurique obtenu est ensuite refroidi puis passe aux tanks de stockage.

2- La lixiviation:

But :

Mettre le maximum de zinc en solution tout en essayant d'éviter la mise en solution des impuretés (pH=5,2).

Eliminer une grande partie des impuretés par oxydation de fer ferreux en fer ferrique qui sert d'entraîneur des particules.

Eliminer les solides par décantation.

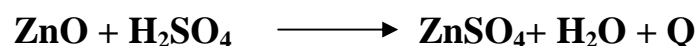
La lixiviation se fait en trois étapes principales qui sont :

- Circuit minéral grillé avec cuve de pulpage.
- Lixiviation neutre.
- Lixiviation acide.

a-Circuit minéral avec cuve de pulpage :

Le grillé (ZnO) en provenance du four de grillage est stocké dans 2 silos de 3000 tonnes avant d'être envoyé dans l'une des cuves de pulpage.

Le ZnO est soluble dans H₂SO₄ suivant la réaction :



La présence d'un peu de sulfate dans le minéral n'est pas nuisible, au contraire elle compense les pertes de SO₄²⁻ sous forme de CaSO₄ dans les aéro-réfrigérants et dans les résidus.

Les composés tels que les ferrites de zinc (FeO_3 , ZnO) et certains silicates sont par contre insolubles dans l'acide dilué, et leur présence entraîne une diminution du rendement de la mise en solution du zinc.

La présence de Zn due à un grillage imparfait gêne l'oxydation de Fe^{2+} au niveau de la cuve du pulpage et dans les cuves de la lixiviation. Il est dans ce cas indispensable d'ajouter de l'oxyde de Manganèse (MnO_2) au niveau de la cuve acide de tête ou des permanganates de potassium (KMnO_4) au niveau des cuves de la lixiviation.

Le grillé (ZnO) est partiellement attaqué par la solution provenant de la cuve de mélange.

Il y a addition simultanée de solution de mélange et de minerai grillé.

Le tout est fortement mélangé à l'aide d'un agitateur pour éviter un dépôt de solides et permettre une meilleure homogénéité afin de former à l'aide de l'acide de tête et de l'oxyde de zinc une pulpe dont la mise en solution sera réalisée à la lixiviation neutre.

La cuve de mélange reçoit l'acide de tête, l'overflow acide, le filtrat des filtres-rotatifs et la solution de retour-cellules.

L'addition de retour-cellules dans la cuve de mélange constitue la première phase du fonctionnement. Ce dernier permet la mise en solution progressive des silicates de zinc solubles et la précipitation de la silice.

L'acide de tête est constitué par le retour purification (O.F. répulpage neutre) et par la solution de manganèse

Les cuves de manganèse reçoivent un mélange de la solution récupérée après le dragage à vide des cellules d'électrolyse et de la purge des bacs de lavage des anodes, au quelle on additionne du bioxyde de manganèse, du sulfate de fer et du retour cellules.

Réaction :



b-La lixiviation neutre :**b.1- La mise en solution :**

La mise en solution se fait en continue dans 4cuves par addition de RC (solution du retour cellule). L'injection d'air sous une pression de 1.2 à 1.5 kg/cm² entraine un mouvement ascendant à la pulpe et oxyde de fer ferreux en fer ferrique. Ce dernier précipite sous forme d'hydroxyde (Fe(OH)₃) entraînent avec lui As, Ge et Sb.

A la sortie de la 4^{ème} cuve on ajoute un flocculant dont le nom commercial est **Magnafloc R155**, ce flocculant a pour but d'agglomérer les particules solides et mettre ainsi une meilleur décantation.

b.2- Décanteurs neutres :

Deux décanteurs neutres permettent de séparer la solution à purifier des boues contenant le ZnO non attaqué dans les cuves de la lixiviation neutre.

L'overflow neutre est acheminé vers une cuve de stockage, il contiendrait des particules solides qui poseraient à la purification des problèmes de redissolution du cobalt et de filtrabilité (fer se réduit).

L'underflow est envoyé à la lixiviation acide ou les boues encore riches en zinc sont attaquées en milieu plus acide.

c- La lixiviation acide :

Les boues Underflow neutre riches en zinc sont attaquées une deuxième fois dans 4 cuves en milieu plus acide. La lixiviation acide complète la mise en solution, en y récupère environs 18% de zinc.

Elle est basée sur le même principe que la lixiviation neutre avec l'addition de la solution de retour cellule, injection de l'aire et addition d'un autre flocculant (**magnafloc R 351**) à la sortie de la 4^{ème} cuve.

-Décanteurs acides :

Ces deux décanteurs sont identiques à ceux de la lixiviation neutre.

L'Overflow acide (couleur terre) rejoint la goulotte d'alimentation de la cuve de pulpage, tandis que l'Underflow acide sortira par le fond des décanteurs et est envoyé directement vers les bacs des filtres- rotatifs à l'aide de pompes (O.D.S).

-Filtration :

La solution de l'Underflow acide est pompée dans le bac du filtre rotatif (DORR-OLIVER), elle est ensuite aspirée par une pompe à vide.

Ces filtres sont constitués d'un cylindre tournant sur son axe horizontal, la partie inférieure baigne dans les boues à traiter

Le cylindre est divisé en secteurs fermés comportant une toile filtrante .Chaque secteur est soumis au vide lors du passage dans la solution. Juste avant son passage devant le couteau, il est soumis à une surpression pour décoller le gâteau de la toile.

D'une longueur de 4m 68 et d'un diamètre de 3m 66, le filtre Rotatif a une surface filtrante de 50m².

Il comporte 24 cellules d'aspiration et une cellule de gonflage de la toile.

Un système de lavage de gâteau est prévu à la partie supérieure à l'eau chaude (60°C) pour récupérer le ZnSO₄ (zinc soluble dans l'eau).

Le filtrat traverse la toile et retourne en tête de la lixiviation. Le gâteau essoré est décollé est stocké comme résidus.

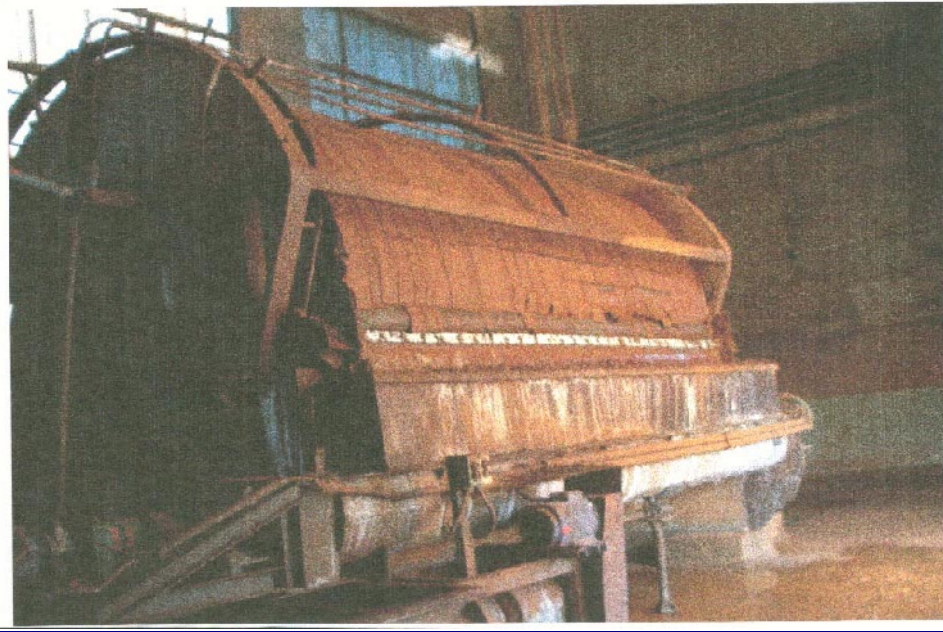


figure1:photo de filtre rotatif

3- La purification :

Les opérations de purification consistent à traiter la solution "overflow" provenant des décanteurs de la lixiviation neutre. Cette solution contient des impuretés qui peuvent éventuellement perturber l'opération d'électrolyse, et sont susceptibles de se déposer avant le zinc et d'influencer la qualité du dépôt électrolytique. Il faudra donc éliminer toutes les impuretés par les opérations de purification. Deux opérations technologiques sont à considérer, et qui peuvent avoir à chaud ou à froid: la cémentation et la filtration.

A- La purification à chaud :

Elle sert à éliminer la plus grande partie des impuretés comme Ni, Co, Cd, Cu, As, Sb, Ge et Sn, de façon à pouvoir obtenir un bon rendement à l'électrolyse. Dans la purification à chaud la solution est tout d'abord portée de 50 - 55°C à 75 °C à l'aide de deux échangeurs à vapeur. Un débitmètre permet de régulariser l'entrée de la solution dans la cuve.

1^{er} cuve : Addition de sulfate de cuivre jusqu'à une teneur de 200 à 250 mg/l puis addition d'antimoine 6 à 11 mg/l (en fonction de la teneur de Co).

2^e et 3^e cuve : ajout de poudre de zinc ; la solution passe dans les autres cuves où elle est fortement mélangée pour parfaire la réaction de cémentation avant d'être envoyée vers les filtres presses.

C'est d'ailleurs le contrôle de l'évolution du cobalt qui permet de se rendre compte du bon fonctionnement de la purification à chaud, il dicte la durée de réaction, la quantité d'antimoine et de zinc à ajouter.

Pour une teneur en cuivre (Cu) < 200 mg/l nous aurons une mauvaise élimination du cobalt. Pour une teneur en cuivre > 300 mg/l il y a redissolution du cobalt et de l'antimoine.

Filtration :

La solution à la sortie de la purification à chaud est envoyée vers l'opération de filtration dans les filtres presses a chaud, puis vers les cuves de purification à froid.

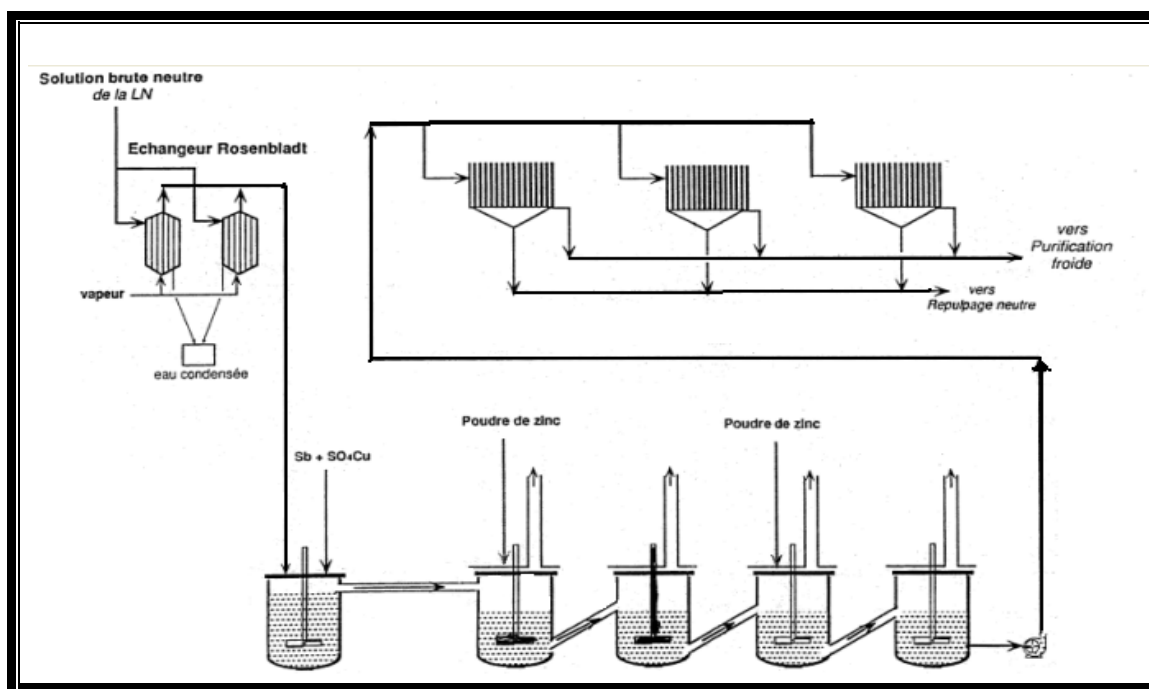


Figure4: montage simplifier de purification a chaud

B- La purification n à froid :

Elle consiste à éliminer les dernières traces de Cd et Tl afin d'obtenir un zinc de qualité.

Après les filtres presses de la purification à chaud, la solution contient encore des traces de Thallium et environ 2mg/l de Cadmium. L'évolution de la teneur en cadmium donne les indications sur le bon déroulement de cette opération.

(2 mg/l à 0.2 mg/l).

La solution est envoyée dans *deux* cuves en série de 2.5 m³ chacun. On ajoute dans la 1^{ère} cuve la poudre de zinc ; à la sortie la solution est envoyée sous une pression de 2 kg/cm² dans 3 filtres presses. La solution à la sortie de la purification sera pompée pour alimenter le circuit d'électrolyse du zinc.

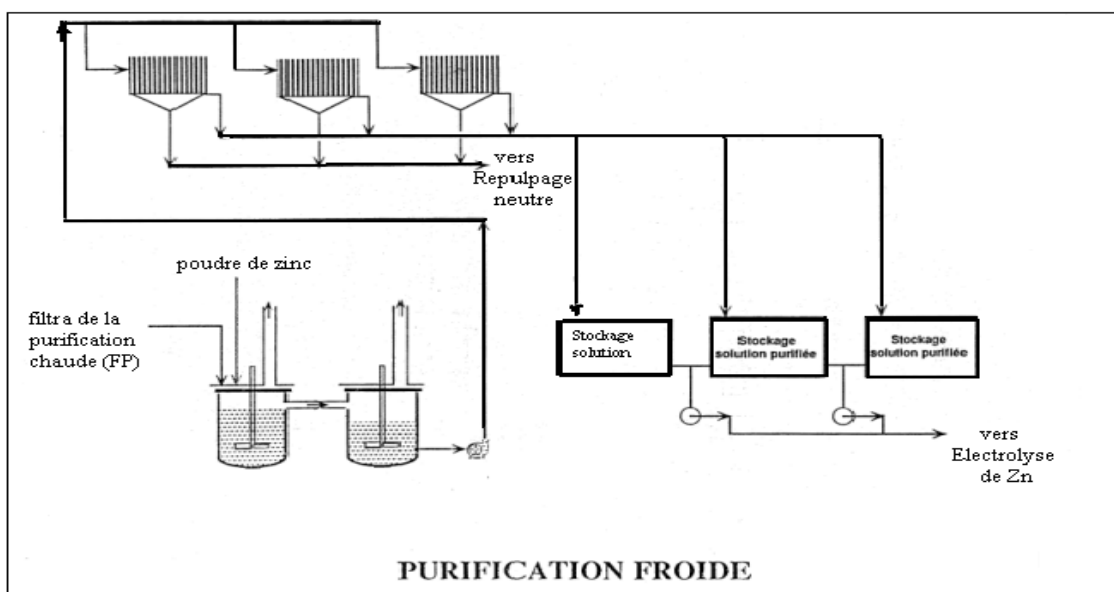


Figure 5 : montage simplifié de purification à froid

c-Repulpage :

Le Répulpage est l'opération technologique qui consiste à traiter les décantations solides provenant du traitement de la solution overflow après traitement de purification. Elle a pour but de récupérer le zinc mis en excès dans le traitement de cémentation à chaud et à froid, et ensuite de récupérer le Cadmium et le Cuivre contenu dans les mêmes boues pour un éventuel dépôt électrolytique. Cette opération est effectuée dans un milieu neutre puis dans un milieu acide.

1) Repulpage neutre:

Les boues sont entraînées dans une première cuve où il y a addition de retour cellule réglé par pH mètre. Le pH réglé entre 5 et 5.1 de façon à ne solubiliser que le zinc ; la teneur en cadmium dans la solution ne doit pas dépasser 500 mg/l et le Co doit être de 5 à 15 mg/l . La solution est maintenue en agitation dans deux cuves de 25 m³ chacune avant d'être envoyée dans un décanteur. L'addition de flocculant a pour but d'accélérer la décantation. L'overflow riche en zinc, 140 à 155 g/l sera recyclé en début de lixiviation, l'underflow passera dans un filtre rotatif pour séparer la solution qui contient du zinc des boues riches en cadmium et en cuivre. Le filtrat revient au repulpage et les boues riches en cadmium et en cuivre sont traitées de nouveau en milieu acide.

2) Repulpage acide:

le but du repulpage acide est de récupérer principalement le cadmium et le cuivre en traitant les boues du repulpage neutre qui renferment également d'autres impuretés tel que ,Thallium , Nickel ,Cobalt ...

Les boues sont envoyées dans trois cuves par addition de retour cellule, le mélange est porté à une température de 60°C par injection de vapeur dans le but de faciliter la mise en solution du cadmium et du cuivre. Après réaction la solution est envoyée aux filtres presses où les boues sont lavées directement sur un filtre presse par injection de H₂O vapeur en évitant l'injection d'air qui peut donner lieu à la formation de sels basiques et un dépôt de CuSO₄ qui peuvent engendrer un phénomène de colmatage de la toile des filtres et par conséquent de diminuer sa durée de vie.

La solution récupérée, riche en cadmium, subira des opérations de cémentation et de décobaltage qui consisteront à éliminer respectivement les impuretés et le cobalt sera stocké pour une éventuelle opération de dépôt électrolytique.

Les boues riches en cuivre (de couleur noire) récupérées par les éléments filtrants seront aussi stockées séparément pour être utilisées dans la production du cuivre par électrolyse.

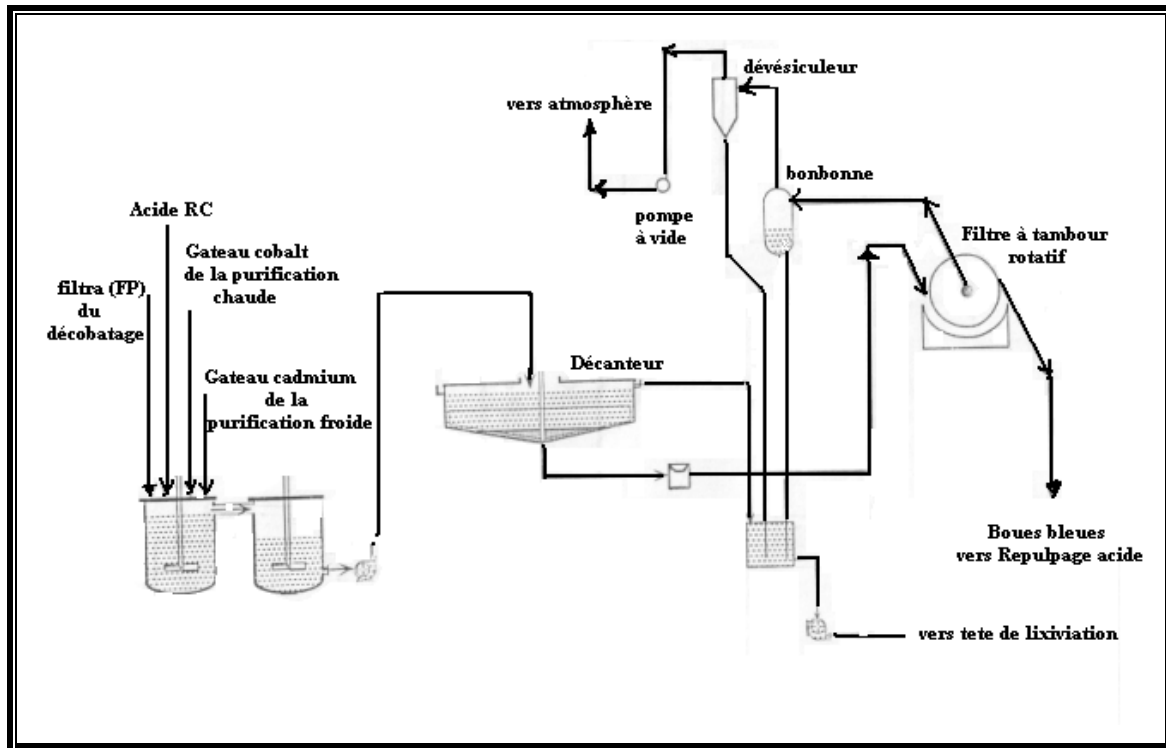


Figure 6: montage simplifier repulpage neutre

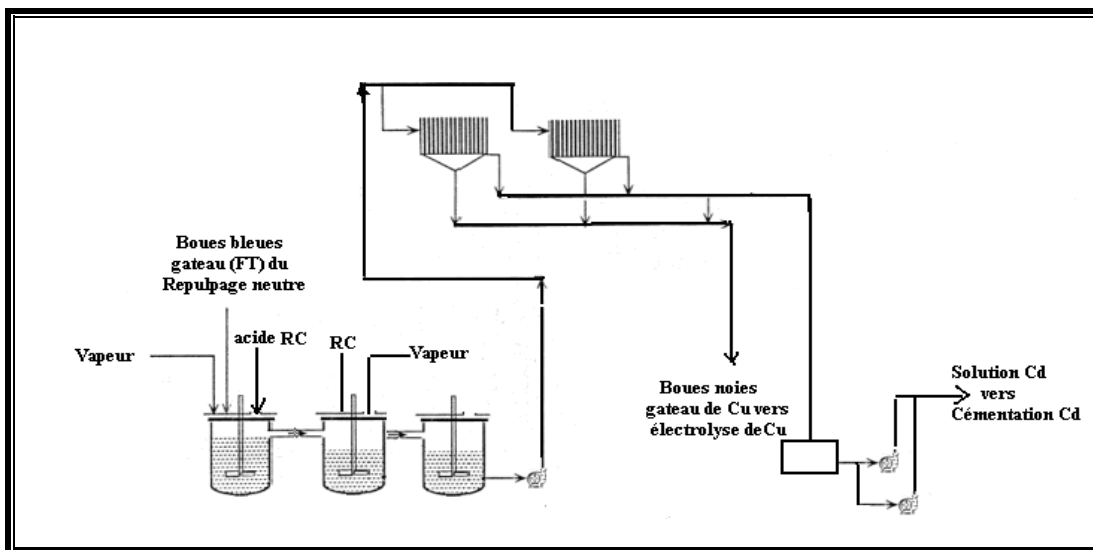


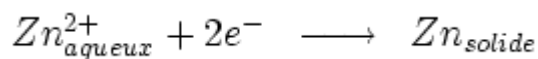
Figure 7: montage simplifier de repulpage acide

4 - L électrolyse :

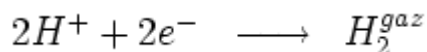
L'Électrolyse est effectuée en faisant passer un courant électrique entre deux électrodes dans la solution de sulfate de zinc obtenue à l'issue de l'opération de cémentation.

Elle met en jeu les réactions suivantes :

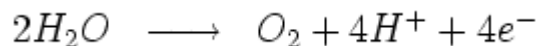
- Cathode en aluminium :



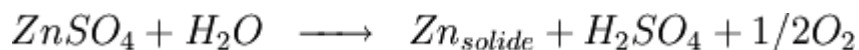
Et



- anode en plomb :



La réaction globale est :



Après épuisement, la solution d'électrolyse est régénérée à la lixiviation où elle est réutilisée pour la mise en solution d'entrée fraîche de minerais grillés. L'électrolyse dure 48 heures et les plaques de zinc sont enlevées manuellement. Cette opération de pelage des cathodes est appelée « Stripping ».

Tandis qu'au niveau de l'anode il y a des pots des dioxydes de manganèse MnO_2 qui sont décapés manuellement par grattage à l'aide d'un tambour contenant des manches en caoutchouc.

Description de l'installation :

L'installation est composée de deux halles, Chaque halle comporte neuf rangées de 24 cellules, chacune avec 40 cathodes et 41 anodes, la durée de dépôt est de 48 heures pour chaque cellule, La surface d'une cathode est de 1.3m^2 .

Le zinc est récupéré par action mécanique sur les cathodes.

La solution provenant de la purification arrive dans une cuve de roulement primaire, puis elle passe à travers trois aéro-réfrigérants, d'où elle sort à une température de 32 à 36°C , pour alimenter les cellules d'électrolyse par l'intermédiaire des collecteurs.

La tension d'équilibre théorique est de $2,022\text{ V}$. Compte tenu des différents phénomènes physiques, de la géométrie de l'installation, les tensions réelles sont de $3,2$ à $3,7\text{ V}$ pour des intensités variant de 400 à 700 A/m^2 . La consommation électrique est de 2950 à 3500 kWh/t de zinc produit.



FigureII8: atelier d'électrolyse du Zinc.

Rendement faradique:

Le rendement faradique se traduit par le rapport entre la masse déposée et la masse théorique, qui dépend essentiellement de la teneur en zinc de l'électrolyse, de l'acidité et de la présence d'impuretés.

Remarque :

Des additifs sont ajoutés afin d'améliorer le rendement d'électrolyse, et pour des raisons de sécurité:

- *Jus de réglisse*: son rôle est d'influencer, le dépôt de zinc et former une mousse au-dessous des cellules qui retient les vapeurs acides. !
- *Gélatine*: c'est un agent tensioactif qui joue le même rôle que le jus de réglisse.
- *Carbonate de strontium*: c'est un agent qui entraîne la précipitation du plomb, il est additionné seulement si la teneur en plomb du métal cathodique est trop élevée.

5-Refonte et alliage :

L'atelier de refonte a pour but de transformer le zinc cathodique à une forme commerciale. Autre le zinc pur sous forme de lingots, l'usine produit deux types d'alliages (Zamak) ainsi que la poudre de zinc.

Description du procédé :**Refonte :**

Les feuilles de zinc provenant de l'effeuillage des cathodes sont fondues dans deux fours en parallèles portés à une température de 500°C.

Le zinc liquide alimente une bande roulante équipée de 160 moules. Cet appareil comporte un système de refroidissement par aspiration d'eau, le zinc est alors coulé en lingots de 25 Kg, assemblés en palettes d'une tonne.

En ajoutant du NH_4Cl dans les fours pour qu'il agglomère les impuretés.

Alliage de Zn :

L'atelier d'alliage est destiné à produire deux types d'alliage de Zn :

Le Zamak3 et le Zamak5, ces deux types d'alliages ne se différencient que par leur teneur en Cu et en Zn. Le zinc liquide nécessaire à la production du zamak est amené au niveau d'un four où on maintient sa température de fusion.

En parallèle, l'aluminium nécessaire à la combinaison est porté à son point de fusion.

Ces deux métaux à l'état liquide, sont déversés par l'intermédiaire de goulot dans un four d'élaboration, les métaux de constitution (Ca, Mg) sont ajoutés manuellement suivant le teneur demandée.

Le liquide métallique est pompé, pour être ensuite dirigé vers une chaîne lingotière comporte un système de refroidissement par aspiration d'eau.

Affinage produit a ALZINC :

Les alliages sont produits selon la demande de client mais les plus demandés sont le Zamak 5 et le Zamak3 dont les caractéristiques sont donnés dans le tableau suivant :

<i>Désignations</i>	<i>Nomenclatures</i>	<i>Constituants</i>	<i>%Max.</i>	<i>%Min</i>
ZA₄G	Zamak3	Al	4,30	3,90
		Mg	0,06	0,03
		Zn	95,64	96,07
ZA₄U₁G	Zamak5	Al	4,30	3,90
		Mg	0,06	0,03
		Cu	1,25	0,75
		Zn	94 ,39	95,32

Poudre du zinc :

Les lingots sont refondus dans deux fours à induction en ajoutant 1% de Pb au four pour augmenter la densité de la poudre de zinc utilisé lors de la purification.

Le zinc liquide est pompé vers un creusé chaud ou il coule par gravité en rencontrant de l'air comprimé qui le pulvérise dans une grande chambre de récolte. Les grosses particules descendent par gravité dans une chambre, alors que les poussières sont aspirées par un ventilateur et récupérées puis stockés dans deux trémies.

4-Comparaison des procédés pyrométallurgique et hydrométallurgique :

La fabrication du zinc est réalisée principalement par voie thermique et électrochimique. 80.6% de la production mondial est par le procédé électrochimique, 13.2% par le procédé thermique et 6.2% par d'autres procédés. De part les chiffres annoncés plus haut il est constaté que le procédé hydrométallurgique est généralisé à travers le globe et prend la plus grande part de production mondiale soit le 4/5 de la production globale en raison des avantages qu'il offre et qui se résument comme suit :

- la qualité et la pureté du produit final.
- la capacité de production journalière importante.

Production, en parallèle, d'autres produits dérivés tels que l'acide sulfurique et le cuivre et les alliages de zamak.

- l'énergie mise à la disposition pour la production de produit final.
- prix de revient de produit final.

Cependant, ce procédé présente quelques inconvénients qui méritent d'être cités tels que :

- coût de l'investissement très élevé.
- perte de zinc dans les résidus solides qui en s'accumulant au fur et à mesure, devient très importantes et donne un impact négatif pour l'économie du pays tel est le cas d'ALZINC qui importe sa en devises.

Quant au procédé pyrométallurgique qui contribue à la production mondiale de zinc par à peine 1/7 de la production globale offre certains avantages qui sont les suivantes :

-frais de l'investissement réduit par rapport à celui de l'hydrometallurgique.

-valorisation d'autres métaux tels que le Pb, Co, Ag, Ge...

Dans le volet inconvénient que présente ce procédé il y a lieu de noter :

-l'incapacité d'une production journalière importante.

-consommation énergétique très élevée.

La qualité du produit final.

-prix de revient du produit final.

Tableau comparatif

Procédé hydrometallurgique		Procédé pyrometallurgique	
Avantages	inconvénients	Avantages	Inconvénients
1-qualité et pureté du produit final.	1-cout de l'investissement élevé.	1-coût de l'investissement réduit.	1apacité de production journalière limitée.
2-capacité de production journalière. 3-consommation énergétique. 4-prix de revient du produit final.	2-perte importante en zinc dans les réidus.	2-valorisation d'autres métaux présents dans la matière première de base.	2-consommation énergétique importante. 3-insuffisance sur qualité du produit final. 4-prix de revient du produit final.