

Lignes directrices techniques pour la gestion écologiquement rationnelle des déchets de batteries au plomb et acide

*Série de la Convention de Bâle / SBC ? : 2003/9(F)
Publié en Septembre 2003*

numéro de vente : F.03.III.D.29

ISBN : 92-1-257904-3

ISSN : 1020-9093

Imprimé sur papier recyclé sans chlore

Cette publication peut être reproduite en totalité ou en partie et sous quelque forme qui soit dans un but éducatif et de non-profit sans permission spéciale du droit d'auteur, sous réserve que l'utilisation et l'origine de cette publication soient mentionnées.

Le PNUE et le Secrétariat de la Convention de Bâle seraient reconnaissants de recevoir une copie de tout matériel qui fait référence à cette publication.

Cette publication ne peut pas être vendue ou exploitée de façon commerciale sans l'accord écrit préalable du PNUE.

Cette publication est disponible au:

Secrétariat de la Convention de Bâle
Maison internationale de l'environnement
15 chemin des Anémones, CH-1219 Châtelaine, Suisse

Tel.: (4122) 9178218 Fax: (4122) 797 34 54

E-mail : sbc@unep.ch

Web: www.basel.int

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION	1
1. HISTORIQUE	3
2. DONNEES TECHNIQUES SUR LES BATTERIES AU PLOMB ET ACIDE.....	5
2.1. Concepts et définitions.....	5
2.2. Description	6
2.3. Fonctionnement.....	8
2.4. Types et utilisations	8
2.5. Durée de vie.....	9
3. RECYCLAGE DES BATTERIES AU PLOMB ET ACIDE - MESURES PREALABLES AU RECYCLAGE	11
3.1. Mesures préalables au recyclage.....	11
3.2. Récupération.....	11
3.3. Transport.....	12
3.4. Entreposage	13
4. RECYCLAGE DES BATTERIES AU PLOMB ET ACIDE.....	15
4.1. Rupture des batteries	15
4.1.1. Historique de la rupture des batteries.....	15
4.1.2. Procédé moderne de rupture des batteries	16
4.1.3. Rupture des batteries : sources potentielles de contamination de l'environnement.....	18
4.2. Réduction du plomb	18
4.2.1. Méthodes pyrométallurgiques.....	19
4.2.2. Procédés hydrométallurgiques.....	20
4.2.3. Réduction du plomb : sources potentielles de contamination de l'environnement.....	22
4.3. Affinage du plomb	23
4.3.1. Affinage pyrométallurgique.....	23
4.3.2. Affinage du plomb : sources potentielles de contamination de l'environnement.....	25
5. CONTRÔLE DE L'ENVIRONNEMENT	27
5.1. Planification d'une usine de recyclage - Evaluation de son impact sur l'environnement (EIE).....	27
5.2. Améliorations technologiques	28
5.2.1. Traitement des sources de pollution et prévention de la pollution.....	28
5.2.1.1. Electrolyte acide et effluents	28
5.2.1.2. Collecte des poussières et filtrage de l'air	29
5.2.1.3. Emissions fugitives.....	29
5.2.1.4. Elimination de l'anhydride sulfureux (SO ₂).....	30
5.2.1.5. Utilisation d'oxygène (O ₂)	30
5.2.1.6. Choix de l'agent fondant et stabilisation des scories	30
5.2.1.7. Recyclage des matières organiques lourdes	31
5.2.1.8. Recyclage du polypropylène	31
5.2.1.9. Destination sûre pour les déchets non récupérables.....	31
5.3. Surveillance écologique	31
5.3.1. Mesures de contrôle.....	32
5.3.2. Mesures de contrôle.....	33
5.3.3. Dioxines.....	34

6.	QUESTIONS RELATIVES A LA SANTE	36
6.1	<u>Généralités</u>	36
6.2	<u>Cinétique de la toxicité</u>	37
	6.2.1. <i>Absorption, distribution et élimination</i>	37
	6.2.2. <i>Toxicité et effets sur la santé</i>	38
6.3.	<u>Limites d'exposition</u>	39
	6.3.1. <i>Limites au niveau professionnel</i>	39
	6.3.2. <i>Limites au niveau de l'environnement</i>	40
6.4	<u>Prévention et contrôle</u>	41
	6.4.1. <i>Mesures de prévention et de contrôle proposées</i>	41
	6.4.2. <i>Contrôle médical proposé</i>	41
	6.4.3. <i>Périodicité des contrôles</i>	42
7.	MESURES ESSENTIELLES A LA MISE EN OEUVRE DES PROGRAMMES DE RECYCLAGE DU PLOMB	43
7.1	<u>Déterminer et définir les priorités des pays</u>	43
	7.1.1. <i>Recyclage à l'étranger</i>	43
	7.1.2. <i>Recyclage à l'intérieur</i>	43
	7.1.3. <i>Solutions régionales</i>	44
7.2.	<u>Mise en place de systèmes de collecte: plans directeurs</u>	44
	7.2.1. <i>Système simplifié de retour-distribution</i>	46
	7.2.2. <i>Systèmes de collecteurs</i>	47
	7.2.3. <i>Système de retour organisé par les fabricants</i>	48
	7.2.4. <i>Système de retour-distribution</i>	49
7.3.	<u>Amélioration de la communication</u>	49
8.	BATTERIES AU PLOMB ET ACIDE ET DONNEES STATISTIQUES RELATIVES AU PLOMB	52
8.1.	<u>Plomb primaire (ou d'extraction)</u>	52
	8.1.1. <i>Plomb primaire : Production mondiale de minerai concentré</i>	52
	8.1.2. <i>Plomb primaire : Production mondiale de plomb métallique</i>	52
	8.1.3. <i>Plomb primaire : Consommation mondiale de plomb métallique</i>	53
	8.1.4. <i>Plomb primaire: utilisations du plomb métallique</i>	53
8.2.	<u>Plomb secondaire (ou de récupération)</u>	54
	8.2.1. <i>Production de plomb secondaire</i>	54
	8.2.2. <i>Plomb secondaire: pourcentage de plomb secondaire dans la production nationale</i>	54
8.3.	<u>Batteries au plomb et acide</u>	55
	8.3.1. <i>Batteries au plomb et acide - Production annuelle</i>	55
	8.3.2. <i>Batteries plomb-acide: utilisations</i>	55
	8.3.3. <i>Batteries plomb-acide : durée de vie</i>	56
	8.3.4. <i>Batteries plomb-acide: composition</i>	56
9.	CONCLUSIONS	58
	ANNEXE I - EIE : STRUCTURE RECOMMANDEE	59
	ANNEXE 2 - EFFETS TOXIQUES DU PLOMB CHEZ L'HOMME	61
	ACRONYMES ET SYMBOLES	63
	BIBLIOGRAPHIE	64

INTRODUCTION

1. De nos jours, dans la plupart des pays, les batteries usées sont rendues afin de recycler le plomb qu'elles contiennent. Cependant, étant donné qu'un accumulateur normal contient également de l'acide sulfurique et plusieurs sortes de matières plastiques, son processus de recyclage peut présenter des risques s'il n'est pas effectué convenablement. Les présentes directives techniques ont donc pour objectif de donner des conseils aux pays qui prévoient de renforcer leurs capacités de gestion des déchets de batteries plomb-acide. Nous avons adopté une approche globale et donné des informations claires sur plusieurs questions relatives à ces déchets et nous espérons que ces lignes directrices aideront les pays intéressés à prendre des mesures plus efficaces dans les domaines suivants :

- a) protection et amélioration de la qualité de leur environnement;
- b) protection de la santé de leur population;
- c) adoption de technologies propres afin de réduire la génération de déchets au minimum;
- d) recours à la réutilisation et au recyclage pour protéger les ressources naturelles non renouvelables et réduire la consommation d'énergie;
- e) adoption de mesures de gestion rationnelle des batteries plomb-acide usées;
- f) mise en place d'un système durable et réglementé de l'utilisation du plomb;
- g) adoption de plans de gestion des déchets de plomb;
- h) avantages sociaux, économiques et environnementaux tirés de la gestion écologiquement rationnelle des déchets de plomb.

2. Il convient de relever, cependant, que ces lignes directrices ne portent pas sur les technologies. Elles relèvent plutôt d'une démarche plus large consistant à aborder des questions générales relatives au recyclage du plomb. Si le lecteur souhaite obtenir des informations spécifiques sur les technologies, il est invité à consulter la bibliographie qui figure à la fin du texte.

Pourquoi recycler ?

3. Le processus de recyclage est un élément essentiel du développement durable et il offre la possibilité d'utiliser rationnellement des ressources naturelles rares, ou potentiellement rares, comme le plomb. Il présente donc de grands avantages:

- a) **prolongation de la durée de vie des ressources naturelles** - bien qu'il y ait des gisements de minerais qui restent à découvrir dans le monde, ils sont en définitive tous limités et cette limite est fonction de leur taux d'utilisation. Les procédés de recyclage prolongent donc la durée de vie de ces gisements;

b) **réduction des coûts monétaires** - les matériaux secondaires offrent des moyens de réaliser des économies monétaires du fait

a) que les procédés de production sont moins coûteux que l'extraction de minerais primaires;

b) qu'ils rendent moins dépendants des matériaux importés;

c) qu'ils diminuent le coût de l'investissement en équipement; et d) qu'ils réduisent la production de déchets, en particulier ceux provenant de l'extraction primaire;

c) **conservation d'énergie** - peu de métaux se trouvant dans la nature sous une forme directement utilisable, les procédés de recyclage permettent d'en produire avec 25% ou moins¹ de la quantité d'énergie nécessaire à la production primaire. Par ailleurs, la plupart des procédés de production primaire de métaux faisant appel à des méthodes onéreuses en énergie et utilisant généralement des combustibles fossiles, les fours par exemple, le recyclage permet de réduire la pollution.

4. Outre ces considérations qui valent pour tous les procédés de recyclage des métaux, le plomb a d'autres caractéristiques importantes qui rendent son recyclage encore plus rationnel du point de vue écologique :

a) **toxicité pour l'environnement et la santé de l'homme** - les conséquences de l'exposition au plomb, que ce soit pour l'homme ou pour l'environnement, sont bien connues. Il est donc raisonnable de penser que l'absence d'un système de recyclage du plomb augmenterait de façon inquiétante le risque d'exposition puisque les déchets de plomb auraient nécessairement des destinations écologiquement peu sûres.

b) **forte capacité de recyclage** - le fait que le plomb ait un point de fusion relativement bas et qu'il soit facilement raffiné à partir de déchets augmente sa capacité de recyclage, c'est-à-dire qu'il est techniquement relativement simple d'isoler le plomb de ces déchets et de le réintroduire dans le courant de matière première ;

c) **marché important** - le plomb a un large marché et il existe, selon les pays, un système relativement bien organisé qui permet de récupérer jusqu'à 96% d'un produit important dont la longévité est relativement brève et prévisible: la batterie DEA de démarrage, éclairage et allumage.

5. Il ressort clairement de ce qui précède que les décharges, les incinérateurs et autres ne peuvent pas être considérés comme relevant d'une gestion écologiquement rationnelle des déchets de plomb, non seulement pour des raisons économiques mais aussi pour des raisons écologiques et sanitaires.

6. Ceci étant admis, les procédés de recyclage peuvent être considérés comme une réponse technologiquement viable au problème puisque, bien appliqués et contrôlés, ils peuvent offrir une solution écologiquement rationnelle et économiquement saine. En conséquence, il convient de poursuivre le recyclage du plomb comme une solution optimale de gestion écologiquement rationnelle des déchets de batteries au plomb et acide.

¹ Heinstock, étude ICME

1. HISTORIQUE

7. Les propriétés physiques et chimiques du plomb telles que sa malléabilité et sa résistance à la corrosion étaient déjà connues dans l'Antiquité. En effet, on extrait et on fond le plomb depuis 8.000 ans au moins comme en témoignent les objets que l'on trouve dans différents musées et les histoires et autres écrits anciens, y compris le Livre de l'Exode. Des perles de plomb retrouvées dans ce qui est maintenant la Turquie ont été datées de 6.500 av. J.-C. environ et les Egyptiens auraient utilisé du plomb avec de l'or, de l'argent et du cuivre dès 5.000 av. J.-C., ce qui montre que la technologie de production de plomb métallique par fusion réductrice en présence de sources de carbone s'est lentement propagée de la Chine au Moyen-Orient, puis vers l'Afrique, aux VIème et Vème millénaires avant J.-C. Dans l'Egypte des pharaons, le plomb était également utilisé pour vernir les poteries, pour la soudure et pour le moulage d'objets d'ornement. Le British Museum possède une statuette en plomb, trouvée dans le temple d'Osiris dans l'ancienne Abydos, en Anatolie occidentale, qui date de 3.500 av. J.-C.

8. Les conduites d'eau de Rome représentent l'une des applications historiquement les plus importantes du plomb. Ces conduites en plomb avaient 3 mètres de long et on les fabriquait en 15 diamètres types différents. Beaucoup de ces tuyaux, encore en excellent état, ont été découverts dans la Rome moderne et en Angleterre. Le terme romain *plumbum*, qui désigne les tuyaux et orifices en plomb, est à l'origine du terme plomberie en français et du symbole de l'élément Pb. Sous le règne de l'empereur Constantin, il y avait environ 8.000 tonnes de conduites en plomb à Rome et on estime à près de 15 millions de tonnes la production de l'empire romain en quatre siècles.

9. Marcus Vitruvius Pollio, architecte et ingénieur romain du 1er siècle av. J.-C., avait mis en garde contre l'utilisation de tuyaux en plomb pour le transport de l'eau et recommandé d'utiliser à la place des tuyaux en terre. Dans ses écrits, Vitruvius fait également allusion au mauvais teint des ouvriers des usines de plomb de l'époque et relève que les fumées dégagées par la fusion du plomb détruisent "la vigueur du sang". Par ailleurs, nombreux étaient ceux qui croyaient que le plomb avait des propriétés médicales. Selon Pline, savant romain du 1er siècle après Jésus-Christ, le plomb pouvait entre autres être utilisé pour faire disparaître les cicatrices, comme liniment ou encore comme ingrédient entrant dans la composition d'emplâtres pour les ulcères et les yeux. Les Romains connaissaient également la résistance du plomb à la corrosion et la Marine de l'Empire était grande consommatrice de ce métal. Les recherches sous-marines effectuées en Méditerranée ont permis de découvrir des galères romaines ayant des charnières et des clous recouverts de plomb.

10. Après la période romaine et au Moyen Age, l'exploitation et l'emploi du plomb ont continué à se développer. A cette époque, la fabrication de tuyaux a fait des progrès et les fabricants ont remplacé le laminage de feuilles de plomb par une technique consistant à enfoncer dans le métal fondu un cylindre glacé de la taille du diamètre intérieur. Mais, à cette époque, ce métal ne servait pas uniquement à fabriquer des tuyaux. Il était également utilisé dans la couverture de la toiture des cathédrales et édifices, dans la fabrication de joints

de soudure, dans l'installation des vitraux et il a aussi trouvé une nouvelle utilisation après la découverte de l'imprimerie.

11. En 1859, un physicien français, Gaston Planté, découvrit que des paires d'électrodes en plomb métallique et à l'oxyde de plomb produisaient de l'énergie électrique et pouvaient ensuite être rechargées lorsqu'on les immergeait dans un électrolyte d'acide sulfurique. Une série d'autres améliorations techniques apportées par d'autres chercheurs ont conduit à la production commerciale de batteries plomb-acide vers 1889. La forte croissance du marché des accumulateurs au 20ème siècle (qui consomme en fin de compte 75 pour cent environ de la production mondiale) a, dans une large mesure, été parallèle à l'essor de l'automobile dans laquelle les batteries ont trouvé des applications pour le démarrage, l'éclairage et l'allumage (batterie DEA).

12. Le tétraéthylplomb, additif de l'essence inventé en 1921 pour résoudre les problèmes de "détonation" devenus courants avec le développement de moteurs à forte compression fonctionnant à des températures élevées, est un autre dérivé important du plomb. Peu après avoir atteint son apogée 50 ans plus tard, l'emploi de ce composé du plomb a diminué en raison de l'installation obligatoire de convertisseurs catalytiques sur les systèmes d'échappement des voitures et des lois sur la protection de l'environnement.

13. En dépit de l'augmentation constante des utilisations du plomb pendant les cinq derniers millénaires, sa consommation et l'exploitation des mines n'ont vraiment atteint une échelle industrielle qu'après le XIXème siècle. On estime que, jusqu'à ce moment-là, la consommation de plomb depuis la préhistoire aurait à peine dépassé les trente millions de tonnes et qu'elle est actuellement d'environ cinq millions de tonnes par an.

2. DONNEES TECHNIQUES SUR LES BATTERIES AU PLOMB ET ACIDE

2.1. Concepts et définitions

Batterie : générateur électrochimique produisant de l'énergie électrique à partir de réactions chimiques contrôlées. Certaines batteries utilisent des réactions chimiques réversibles et peuvent être rechargées, les batteries au plomb et acide par exemple, alors que d'autres utilisent la transformation irréversible de l'énergie chimique en énergie électrique et n'ont qu'une seule durée de vie utile.

Capacité de la batterie : quantité d'électricité qu'une batterie peut fournir avant que son voltage ne tombe au-dessous de sa limite finale avec une charge de 10 heures. La capacité est exprimée en ampères/heure (Ah).

Bac ou caisse : conteneur subdivisé en compartiments par des parois intermédiaires et dans lesquels sont placés les éléments individuels et l'électrolyte.

Couvercle ou bouchon : pièce servant à fermer le bac de la batterie.

Cellule ou cellule électrochimique : générateur électrique constitué par au moins deux réactions électrochimiques (appelées réactions d'éléments incomplètes), l'une d'entre elles étant de nature réductrice, l'autre de nature oxydante.

Charge : opération par laquelle de l'énergie électrique est fournie par une source électrique extérieure et transformée en énergie chimique dans la batterie.

Connecteur de courant : fil métallique conducteur utilisé pour relier entre elles les plaques individuelles qui forment les éléments, et aussi pour relier ceux-ci en série par des connexions qui forment le circuit électrique interne.

Accumulateur électrique : appareil constitué par un électrolyte, un élément et un bac les contenant, capable d'accumuler de l'énergie électrique sous forme d'énergie chimique et de libérer cette énergie lorsqu'il est relié à un circuit externe de consommation.

Accumulateur ou batterie au plomb et acide : accumulateur d'électricité dans lequel les plaques positives sont réalisées en composés à base de plomb et les plaques négatives essentiellement en plomb, l'électrolyte étant une solution d'acide sulfurique diluée.

Electrolyte : conducteur ionique dans lequel les plaques sont immergées. Dans les batteries plomb-acide, l'électrolyte est une solution d'acide sulfurique diluée à 36% par poids (400 gr d'acide sulfurique par litre d'eau distillée). La charge d'une batterie est déterminée par la gravité spécifique ou la densité de son électrolyte : une batterie complètement chargée a un électrolyte dont la densité est de $1,270\text{kg.dl}^{-1}$.

Elément : série de plaques négatives et positives, placées les unes après les autres et isolées entre elles par des séparateurs de plaques. Les plaques de même polarité sont reliées électriquement. Ainsi, un élément peut être considéré comme un jeu de cellules électrochimiques connectées en parallèle.

Plaque négative ou anode : plaque sur laquelle se font les réactions d'oxydation.

Tension nominale : il y a deux types de tension nominale :

a) la **tension nominale d'un élément** - tension que la réaction chimique dans la batterie peut produire; dans le cas des batteries plomb-acide, elle est de 2 V;

b) la **tension nominale d'un accumulateur** - elle est fonction du nombre d'éléments reliés en série : les batteries de voitures ont en général 6 éléments en série qui produisent une tension nominale de 12V (2V x 6 éléments).

Séparateur de plaques : élément intercalé entre 2 plaques électriques consécutives dans une batterie, réalisé en polyéthylène et en PVC à une époque très populaire, en carton ou autres matériaux poreux et perméables à l'électrolyte. Il empêche qu'il y ait un contact métallique entre des plaques de polarité opposée en maintenant un espace entre elles.

Bouchon ou bouchon d'aération : pièce amovible qui permet aux gaz de s'échapper et de contrôler et maintenir le niveau de l'électrolyte.

Plaque positive ou cathode : plaque sur laquelle se font les réactions de réduction.

Joint ou enduit d'étanchéité : matériau utilisé pour sceller la fermeture du bac de la batterie.

2.2. Description

14. Quelle que soit la fonction prévue de la batterie, une batterie plomb-acide typique comprend les éléments suivants :

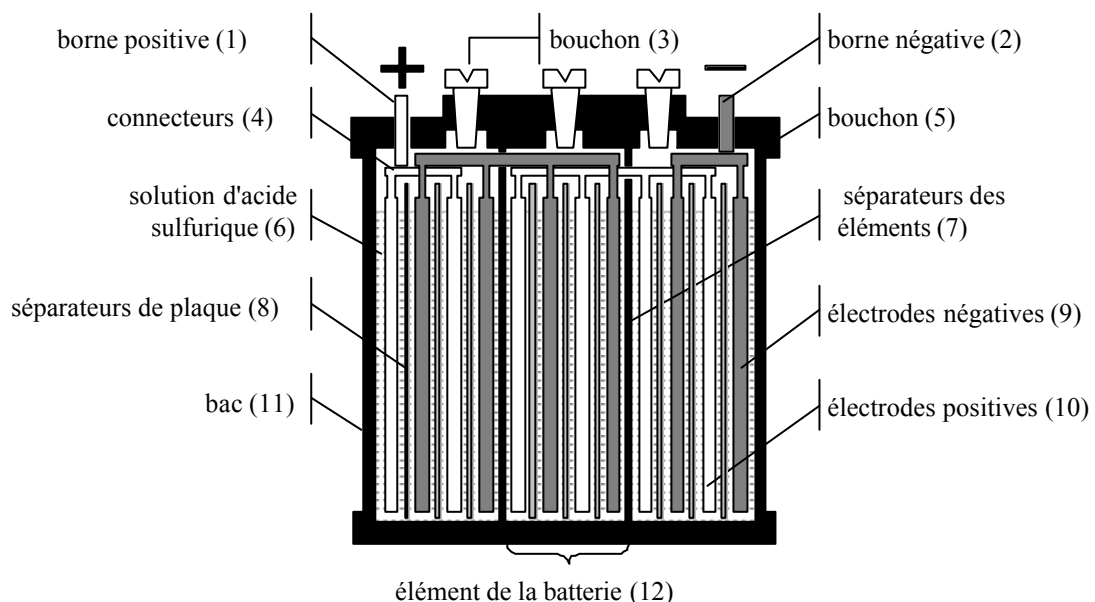


Figure 1 : éléments et structure interne d'une batterie au plomb et acide

a) les **bornes positive (1) et négative (2)** sont en plomb et les dispositifs du consommateur extérieur d'électricité y sont rattachés;

b) **bouchons (3)** : un pour chaque élément; il permet d'ajouter de l'eau distillée/déionisée s'il en manque; il offre aussi une voie de sortie aux gaz éventuels qui se seraient formés dans les éléments;

c) **connecteurs (4)** : ils sont en plomb, établissent le contact électrique entre les plaques de même polarité ainsi qu'entre les éléments séparés;

d) **bouchons (5) et bac (11)** : à l'origine en ébonite mais maintenant plus généralement en polypropylène ou en co-polymère;

e) **solution d'acide sulfurique (6)** : c'est l'électrolyte de la batterie;

f) **séparateurs des éléments (7)** : ils font en général partie du bac et sont fabriqués dans le même matériau, ils assurent l'isolation chimique et électrique entre les éléments électriques. Ils sont reliés en série afin d'augmenter la tension finale de la batterie;

g) **séparateurs de plaques (8)** : en PVC ou autres matériaux poreux, ils évitent qu'il y ait un contact physique entre deux plaques contiguës tout en laissant la possibilité aux ions de l'électrolyte de se déplacer librement ;

h) **électrodes négatives (9)** : grilles en plomb métallique dont les alvéoles sont remplis d'une pâte de peroxyde de plomb (PbO_2);

i) **électrodes positives (10)** : grilles en plomb métallique;

j) **élément de la batterie (11)** : série d'électrodes négatives et positives, placées consécutivement et isolées les unes des autres par des séparateurs de plaques. Les plaques de même polarité sont reliées électriquement.

15. Les électrodes de la batterie sont constituées par des grilles métalliques en plomb dont les alvéoles sont remplis d'une pâte de peroxyde de plomb dans le cas des plaques négatives ou d'une pâte de plomb métallique très poreux (appelé parfois "éponge" de plomb métallique) dans celui des plaques positives. Le plomb utilisé dans les deux types de plaques peut aussi contenir plusieurs autres éléments chimiques tels que de l'antimoine, de l'arsenic, du bismuth, du cadmium, du cuivre, du calcium, de l'argent et de l'étain et, parfois, d'autres éléments. Le procédé de fabrication des plaques utilise aussi des produits d'expansion tels que le sulfate de baryum, le noir de carbone et la lignite qui sont ajoutés pour empêcher que les plaques se rétractent lorsque la batterie fonctionne. Une fois préparées, les plaques sont séchées et formées, prêtes à être assemblées dans les éléments de la batterie.

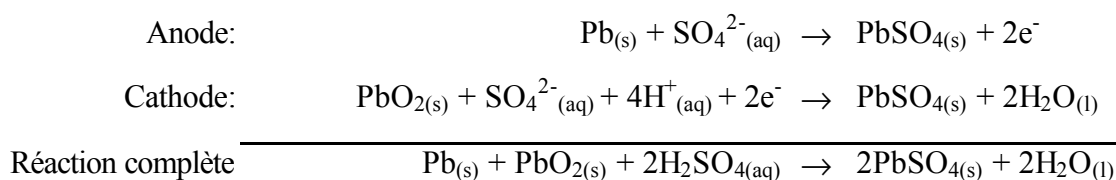
16. Une fois formées, les électrodes de la batterie sont placées de façon à ce qu'une plaque négative soit suivie d'une plaque positive avec un séparateur de plaques en polyéthylène, en PVC ou en papier fibreux intercalé entre elles afin d'empêcher qu'un court-circuit se produise entre deux plaques consécutives. Ce procédé est répété jusqu'à ce qu'il y ait 6 à 20 paires de plaques positives et négatives alignées et isolées électriquement. Les plaques de même polarité sont ensuite reliées électriquement et les sandwichs d'électrodes, appelés maintenant éléments de batterie, sont placés dans leurs compartiments à l'intérieur de la batterie. Un élément type de batterie comprend 13 à 15 plaques et chaque élément peut produire 2 volts à haut ampérage. Les éléments sont ensuite reliés en série par un connecteur en alliage plomb-antimoine pour fournir davantage d'énergie. La tension est d'autant plus

élevée que le nombre d'éléments reliés est grand: une batterie standard de voiture de tourisme comprend 6 éléments en série qui produisent (2V x 6 éléments) 12 V.

17. Enfin, la batterie est assemblée et elle reçoit son électrolyte. Le couvercle est soudé et le produit est contrôlé pour voir s'il y a des fuites, après quoi la batterie reçoit sa charge initiale.

2.3. Fonctionnement

18. Lorsqu'une batterie fournit de l'énergie électrique à un appareil extérieur, plusieurs réactions chimiques se produisent en même temps. Une réaction réductrice se produit aux électrodes positives (cathode) lorsque le peroxyde de plomb (PbO₂) se transforme en sulfate de plomb (PbSO₄). Par ailleurs, sur les plaques négatives (anode), une réaction oxydante se produit et le plomb métallique se transforme en sulfate de plomb. L'électrolyte, de l'acide sulfurique (H₂SO₄), fournit les ions de sulfate pour les deux demi-réactions et agit comme un pont chimique entre elles. Pour chaque électron produit à l'anode, un électron est consommé à la cathode et les équations se présentent comme suit :



19. Lorsque la batterie se décharge, en démarrant un moteur par exemple, la concentration d'acide sulfurique diminue lentement dans l'électrolyte, les ions de sulfate s'incorporant dans le sulfate de plomb qui se forme dans les deux électrodes. Alors que la concentration d'acide sulfurique diminue dans l'électrolyte, la densité de la solution diminue de la valeur de 1,25 kg.dl⁻¹ qui est la densité d'une batterie entièrement chargée, ce qui permet de déterminer le niveau de charge d'une batterie en mesurant simplement la densité de sa solution. Comme le processus continue, les matériaux actifs s'épuisent et la vitesse de la réaction diminue jusqu'à ce que la batterie ne puisse plus fournir d'énergie électrique. Presque tout l'oxyde de plomb et le plomb poreux seront alors sous forme de sulfate de plomb.

20. Lorsque la batterie doit être rechargée, une source extérieure d'énergie électrique est connectée aux bornes, mais avec une polarité inversée par rapport à celles-ci, de façon à ce que les réactions soient inversées et que le sulfate de plomb soit à nouveau transformé en plomb et en oxyde de plomb par voie électrochimique.

21. Le processus charge-décharge peut être répété plusieurs fois avec une bonne réponse de la batterie, mais les plaques à l'oxyde de plomb sont de plus en plus contaminées par le sulfate de plomb et les réactions chimiques finissent par ne plus se produire. De plus, une couche de boue (55-60% de PbSO₄, 20-25% de PbO, 1-5% de Pb métallique) commence à s'accumuler au fond de la batterie. Finalement, il arrive un moment dans la durée de vie d'une batterie où, le niveau de contamination étant trop élevé, il n'est plus possible de la recharger. C'est alors une "batterie usée".

2.4. Types et utilisations

22. Les batteries au plomb et acide ont de nombreuses utilisations qui peuvent demander des tensions, des dimensions et des poids différents et qui vont des batteries incassables de 2kg aux batteries industrielles qui peuvent peser 2.000 kg ou davantage.

Les batteries peuvent être classées comme suit :

a) **batteries pour véhicules** - elles sont utilisées comme source principale d'énergie pour le démarrage, l'éclairage et l'allumage (batteries DEA) dans les véhicules comme les voitures, les camions, les tracteurs, les motocyclettes, les bateaux, les avions, etc.

b) **batteries génériques** - elles sont utilisées dans les instruments et appareils portables, les systèmes d'alarme d'intérieurs, les lumières de secours, etc.

c) **batteries stationnaires** - elles ont des utilisations fixes, par exemple dans les stations de télécommunication, les centrales électriques, pour l'alimentation en énergie en continu, le nivellement des charges, les systèmes d'alarme et de sécurité, l'usage industriel en général et le démarrage de moteurs diesel ;

d) **batteries de traction** - elles sont utilisées pour le transport de charges ou de personnes: chariots élévateurs, voitures pour le golf, transport des bagages dans les aéroports, fauteuils roulants, voitures électriques, etc. ;

e) **batteries pour utilisations spéciales** - ce sont les batteries utilisées dans des applications spécifiques scientifiques, médicales ou militaires, ainsi que celles qui sont intégrées dans des circuits électriques-électroniques.

2.5. Durée de vie

23. La vie d'une batterie est définie comme la période de temps pendant laquelle elle peut être rechargée et conserver sa charge. Une fois que la batterie ne peut plus être rechargée ou conserver sa charge correctement, sa durée de vie touche à sa fin et elle devient une "batterie usée" pour l'usage pour lequel elle avait été conçue. Le processus de sulfatation est la cause principale de cette "mort". On pourrait penser que, vu la réversibilité de tout le processus, la durée d'une batterie devrait être illimitée. Ce processus commence lorsque le sulfate de plomb (PbSO₄) précipite sur les électrodes de la batterie; celui-ci finit par former une couche telle que les ions ne peuvent plus migrer à partir des plaques ou vers elles ou vers l'électrolyte et que les réactions qui produisent l'énergie électrique ne se font plus.

24. Dans des conditions idéales, une batterie d'automobile peut durer jusqu'à 6 ans, mais plusieurs facteurs contribuent à réduire cette durée de vie optimale:

- a) une charge incomplète et une décharge poussée;
- b) une trop longue période de non utilisation ou un laps de temps trop long entre deux recharges;
- c) un climat chaud qui augmente le processus de sulfatation;

d) une forte demande d'énergie: plus une batterie est utilisée plus sa durée de vie sera courte;

e) un bas niveau de l'électrolyte: des plaques exposées à l'air se sulfatent immédiatement.

25. Si l'on prend tous ces facteurs en considération, la durée de vie d'une batterie va de 6 à 48 mois, et pourtant seulement 30% de toutes les batteries atteignent en fait les 48 mois. Cependant certaines procédures peuvent être adoptées pour prolonger la durée de vie d'une batterie:

a) l'étiquette de la batterie devrait décrire les procédures correctes pour prolonger sa durée de vie, par exemple ajouter simplement de l'eau distillée ou donner quelques conseils d'utilisation, ces informations permettant aux consommateurs d'éviter les problèmes mentionnés ci-dessus;

b) ajout d'additifs afin de réduire la production de sulfates sur la surface active des plaques, bien que leur utilisation puisse poser des problèmes pour le recyclage de l'acide sulfurique;

c) adoption de procédés de recherche nouveaux et améliorés susceptibles de prolonger la durée de vie de la batterie.

26. A la fin de sa vie, la batterie devrait être considérée comme déchet dangereux au titre de la Convention de Bâle et, par conséquent, manipulée comme tel pour prévenir les dommages pour la santé de l'homme ou pour l'environnement.

3. RECYCLAGE DES BATTERIES AU PLOMB ET ACIDE - MESURES PREALABLES AU RECYCLAGE

3.1. Mesures préalables au recyclage

27. Avant d'arriver à l'usine de recyclage, les batteries usées doivent être récupérées, transportées et entreposées avec tout le soin voulu afin d'éviter toute contamination environnementale et sanitaire. Ces procédures n'étant pas effectuées à l'intérieur de l'installation de recyclage, on les considère dans le présent document comme des mesures préalables à celui-ci.

3.2. Récupération

28. La seule façon de réussir un programme de recyclage des batteries plomb-acide consiste à mettre en place une infrastructure appropriée et efficace de récupération de ces batteries. Cette infrastructure impliquant différents secteurs de la société tels que les marchands de ferraille, les marchands de batteries, les transformateurs de plomb secondaire et les consommateurs, elle doit être bien planifiée dans un système organisé assurant un flux continu de sources de plomb au processus de recyclage.

29. L'expérience montre que la méthode la plus naturelle de collecte des batteries plomb-acide usées est, en général, celle du double système distribution-récupération dans le cadre duquel fabricants, détaillants, grossistes, stations-service ou autres points de vente au détail fournissent des batteries neuves aux utilisateurs et conservent celles qui sont usées pour les expédier aux usines de recyclage. La viabilité de cette méthode se fonde sur la valeur économique associée à la teneur en plomb des batteries plomb-acide usées.

30. Cette méthode de récupération devrait être utilisée pour favoriser la gestion écologiquement rationnelle des déchets de plomb mais des mesures de contrôle n'en doivent pas moins être prises aux points de collecte afin d'éviter des accidents susceptibles de nuire à l'homme ou à l'environnement.

a) **Les batteries ne devraient pas être vidées aux points de collecte:** à l'exception de quelques batteries sèches qui peuvent être mélangées aux autres, presque toutes les batteries usées conservent leur électrolyte d'acide sulfurique. Le drainage de ce liquide peut présenter plusieurs dangers pour la santé de l'homme et pour l'environnement: a) il contient des niveaux élevés de plomb sous forme de ions solubles et de particules; b) son degré d'acidité est très élevé et peut produire des brûlures et autres dommages s'il se renverse par accident; c) il doit être entreposé dans des conteneurs spéciaux résistant à la corrosion; d) les ouvriers doivent être protégés pour éviter les accidents, etc. La vidange des batteries peut

donc être considérée comme une activité potentiellement dangereuse qui exige non seulement des outils, des conteneurs et des équipements de sécurité spéciaux mais aussi du personnel qualifié. Etant donné que tout ceci fait souvent défaut, ce qui augmente considérablement le taux d'accidents, il vaut mieux ne pas faire cette opération aux points de collecte;

b) Les batteries doivent être entreposées dans des endroits appropriés aux points de collecte: l'idéal pour entreposer les batteries plomb-acide usées est un conteneur résistant à la corrosion qui peut être simplement scellé pour servir au transport; il permet ainsi de réduire les risques d'accident au minimum. Cependant, ce n'est pas souvent le cas et il convient d'adopter quelques lignes directrices concernant le stockage:

- i) les batteries qui fuient, c'est-à-dire celles dont l'électrolyte s'écoule, doivent être placées dans des conteneurs résistants à l'acide car elles risquent autrement de contaminer l'environnement et de causer des dommages à la santé;
- ii) le lieu d'entreposage doit être à l'abri de la pluie et autres sources d'eau et, si possible, éloigné de toute source de chaleur;
- iii) le sol du lieu d'entreposage doit être recouvert de préférence d'un plastique ou de tout autre matériau résistant à la corrosion afin de contenir toute fuite éventuelle et de renvoyer le liquide vers un conteneur d'où il puisse ensuite être éliminé;
- iv) le lieu d'entreposage doit être équipé d'un dispositif d'échappement ou tout simplement d'un système rapide de renouvellement de l'air afin d'éviter une accumulation dangereuse de gaz;
- v) l'accès au lieu d'entreposage doit être limité et signalé comme dépôt de substances dangereuses;
- vi) tout autre matériau en plomb que l'on pourrait éventuellement trouver, du matériel de tuyauterie par exemple, devrait être emballé soigneusement et entreposé conformément à ses caractéristiques.

Bien que ces quelques considérations aient un caractère général et que chaque établissement puisse avoir des problèmes et des besoins spécifiques, elles constituent une série de mesures élémentaires qui diminuent les risques d'accident et offrent un environnement protégé pour le stockage des batteries usées.

c) Il ne faut pas stocker de trop grandes quantités de batteries usées aux points de collecte: même après avoir organisé la protection du lieu d'entreposage, il faut éviter de stocker un grand nombre de batteries usées à chaque point de collecte qui ne doit pas être considéré comme un entrepôt permanent. La quantité appropriée à entreposer dépend naturellement du rythme commercial de l'établissement et l'entrepôt doit avoir des dimensions suffisantes pour répondre à une demande précise. Le stockage de grandes quantités de batteries usées ou pendant trop longtemps, augmente cependant les risques d'accident ou de fuite. Il est donc à éviter.

d) Les batteries rassemblées aux points de collecte ne doivent pas être vendues à des fondeurs de plomb non autorisés: les fondeurs non autorisés étant l'une des sources les plus importantes de contamination par le plomb, tant pour l'homme que pour l'environnement,

il y a lieu de souligner que les batteries usées réunies aux points de collecte ne doivent pas être vendues à des établissements qui ne suivent pas des normes de protection élevées.

3.3. Transport

31. Les batteries plomb-acide usées doivent être considérées comme des déchets dangereux pendant leur transport. Là encore, le problème principal est l'électrolyte qui peut s'écouler des batteries usées ; des mesures de contrôle s'imposent donc afin d'éviter des accidents et des mesures spécifiques doivent être prises s'il s'en produit :

a) **les batteries usées doivent être transportées dans des conteneurs** : quel que soit le moyen de transport employé, c'est-à-dire bateau, chemin de fer, etc., les batteries plomb-acide usées doivent être transportées dans des conteneurs scellés à cause du risque de fuite qui peut être élevé même si elles sont transportées comme il se doit en position verticale. Pendant le transport, les batteries peuvent se déplacer par rapport à leur position originale, les bacs peuvent se casser ou se renverser ce qui entraînera sans nul doute un écoulement de l'électrolyte ; il est donc nécessaire de fournir des conteneurs scellés, résistants aux chocs et à la corrosion par l'acide;

b) **les conteneurs doivent être bien emballés à l'intérieur du moyen de transport**: les conteneurs ne devraient pas pouvoir bouger pendant le transport. Par conséquent, ils doivent être attachés, emballés sous film rétractible ou empilés de façon appropriée pour éviter ce problème;

(c) **le transport devrait être identifié avec des symboles**: le véhicule, que ce soit un navire, un camion ou un fourgon, doit être correctement identifié, conformément aux conventions internationales relatives aux symboles et aux couleurs, indiquant qu'il s'agit de produits corrosifs et dangereux;

d) **équipement spécifique**: fourniture d'un minimum d'équipement indispensable pour faire face à tout accident ou fuite simple à l'équipe chargée du transport qui devrait recevoir la formation nécessaire pour savoir comment l'utiliser;

e) **les chauffeurs et les auxiliaires devraient être formés**: les personnes qui s'occupent de déchets dangereux devraient toujours recevoir la formation nécessaire à des interventions d'urgence, y compris incendie, écoulement, etc. et savoir par quels moyens contacter le personnel qui peut intervenir dans un tel cas. De plus, elles devraient être au courant du type particulier de matériel dangereux qui est transporté et de la façon de le traiter;

f) **équipement de protection individuel**: l'équipe responsable du transport devrait recevoir un équipement de protection individuel et la formation nécessaire pour l'utiliser convenablement en cas d'accident ;

g) **calendrier et carte de transport**: dans la mesure du possible, les transporteurs de déchets dangereux devraient toujours prévoir des accidents éventuels ou d'autres problèmes particuliers. Ceci est possible s'ils suivent un trajet déterminé prévu à l'avance et s'ils s'en tiennent à un calendrier connu.

32. Cette liste n'est pas exhaustive. Une formation et des instructions beaucoup plus spécifiques pourraient, et en fait devraient toujours, être données aux équipes chargées du

transport, celui-ci pouvant comporter la traversée de zones fortement urbanisées ou celle d'autres localités sensibles qui seraient fortement affectées par des accidents.

3.4. Entreposage

33. Après leur transport, les batteries arrivent maintenant à l'usine de recyclage. Bien que certaines des mesures de protection soient très semblables aux procédures d'entreposage aux points de collecte, la grande différence réside dans la quantité de batteries qui doivent être stockées dans ces usines et qui peut facilement atteindre plusieurs milliers de tonnes. Il convient donc d'adopter une approche différente:

a) **les batteries devraient être vidées et préparées en vue de leur recyclage** : le recyclage de batteries vides donne de meilleurs résultats et cause moins de problèmes écologiques. Elles devraient donc être vidées, l'électrolyte envoyé à la station de traitement et les batteries entreposées vides et prêtes à être recyclées;

b) **les batteries devraient être répertoriées et séparées selon leur catégorie**: les différentes batteries peuvent exiger des méthodes de recyclage distinctes. Par conséquent, elles doivent être correctement répertoriées, étiquetées et entreposées à des endroits différents;

c) **les batteries doivent être entreposées dans un hangar ou sous abri**: à moins que des circonstances particulières ne l'exigent, l'entreposage en conteneur n'est plus pratique à l'usine de recyclage, puisque les batteries devraient déjà être classées, identifiées et soigneusement triées en différentes catégories. Par conséquent, un hangar approprié ou, dans le pire des cas, un lieu abrité répondant à certaines caractéristiques devrait être construit pour les entreposer:

- i) le sol doit être imperméable et résistant à la corrosion par l'acide;
- ii) il doit comporter un système efficace de collecte des eaux qui envoie les solutions renversées vers la station de traitement de l'effluent ou électrolyte acide;
- iii) il ne devrait avoir qu'une seule entrée, qui resterait fermée sauf en cas de nécessité, afin d'éviter la libération de poussières;
- iv) il devrait être équipé d'un dispositif de collecte des gaz qui filtre l'air afin d'éliminer les poussières de plomb et en même temps renouvelle l'air à l'intérieur du hangar afin d'éviter la concentration de gaz toxiques;
- v) il doit comprendre un véritable équipement de lutte contre l'incendie². Il est peu probable que les batteries provoquent un incendie, mais il faut penser que des accidents dus à d'autres causes pourraient mettre le feu aux batteries en raison de leur teneur élevée en carbone, par exemple des caisses en plastique. Un équipement de lutte contre l'incendie est donc nécessaire;
- vi) seul le personnel autorisé devrait avoir accès au hangar.

² PAS D'EAU, afin d'éviter la production de gaz toxiques tels que arsine et stibine.

34. Là encore, ce ne sont que des considérations générales qui doivent être adaptées aux conditions particulières de chaque usine de recyclage. Des approches plus restrictives et plus prudentes sont encouragées. En particulier, et chaque fois que cela est possible, la zone d'entreposage devrait être une fosse résistante à la corrosion et enterrée de façon à ce qu'il ne puisse y avoir de fuites d'acide. Elle devrait être équipée d'une cuvette d'égouttage et d'une pompe pour éliminer le liquide excédentaire de la niche d'évitement et de barrières de sécurité pour empêcher les camions de tomber dans la fosse lorsqu'ils déchargent. Une ventilation efficace est également essentielle.

4. RECYCLAGE DES BATTERIES AU PLOMB ET ACIDE

35. Le pré-recyclage prend fin lorsque les batteries arrivent à l'usine de recyclage et y sont convenablement entreposées. Les batteries usées entrent alors dans le processus de recyclage qui, dans l'idéal, pourrait être divisé en trois phases principales:

- a) ouverture ou rupture des batteries
- b) réduction du plomb
- c) raffinage du plomb.

4.1. Rupture des batteries

36. Quelle que soit la technologie à adopter, les batteries doivent toujours être vidées avant d'être recyclées, l'électrolyte acide entraînant plusieurs complications dans la réduction et la fusion du plomb. Une fois vidées, elles peuvent être cassées ou non, selon le procédé spécifique de recyclage choisi.

37. Dans les méthodes classiques de recyclage du plomb, y compris celle de la chemise d'eau, les fours à réverbération, les fours électriques et les fours à chaleur tournante à rythme lent et rapide, il n'est pas nécessaire de briser les batteries avant de les fondre. Les batteries vides passent directement dans le processus de recyclage, les techniques pyrométallurgiques acceptant les substances organiques et autres qui sont brûlées ou incorporées dans la formation de scories.

38. Toutefois, si une nouvelle usine doit être construite, mieux vaut privilégier les procédés consistant à casser les batteries avant de les recycler car ils permettent :

- a) d'augmenter la production de plomb et de diminuer la formation de scories;

- b) de produire et du plomb malléable³ et du plomb antimonial ;
- c) de récupérer le polypropylène ;
- d) de simplifier le traitement des fumées des fours ; et
- e) parce que les techniques pyrométallurgiques ne peuvent supporter l'acide de l'électrolyte.

39. De plus, les améliorations apportées dans le secteur de la fabrication de batteries permettent de produire en fin de compte des batteries scellées et d'autres systèmes qui sont difficiles à vidanger. Il y a donc toujours plus de batteries qui doivent être brisées avant d'être recyclées.

4.1.1. Historique de la rupture des batteries

40. Avant les années 1960, les batteries étaient essentiellement ouvertes à la hache lorsque le procédé de recyclage exigeait un faible pourcentage de substances organiques dans le four; sinon, elles passaient directement au four. Bien que la situation ait changé dans la plupart des pays, en particulier dans les pays développés, ceci n'a malheureusement pas été le cas dans la majorité des pays en développement. Il convient de souligner, cependant, que l'ouverture manuelle des batteries doit être évitée à tout prix, non seulement parce qu'elle représente un risque important de contamination pour la santé de l'homme mais aussi parce que c'est une méthode écologiquement peu rationnelle de traitement de ces déchets. Néanmoins, certaines fonderies modernes exigent encore l'ouverture manuelle des grosses batteries industrielles qui ne peuvent être brisées dans des appareils normaux en raison de leurs dimensions. S'il est indispensable de recourir à cette technique, toutes les mesures appropriées doivent être prises pour assurer la protection des ouvriers et celle de l'environnement.

41. Pendant les années 1960 et 1970, la rupture des batteries a évolué et elle se fait maintenant à l'aide de guillotines ou de scies mécaniques qui réduisent considérablement le contact humain. Ces techniques se sont encore améliorées avec l'alimentation automatique et ce sont les premiers exemples de systèmes entièrement mécanisés dont certains sont toujours utilisés.

42. Depuis 1980, la plupart des fonderies modernes ont adopté un système entièrement mécanisé de réception, transport et réduction des batteries en morceaux suffisamment petits pour séparer leurs éléments.

4.1.2. Procédé moderne de rupture des batteries

43. Le procédé moderne de rupture des batteries (figure 2) commence par l'arrivée des batteries usées à l'usine de recyclage. Le contact avec l'homme est habituellement, et dans toute la mesure du possible, réduit au minimum de sorte que, à leur réception, les batteries usées sont dirigées vers le dispositif d'ouverture au moyen de tapis automatiques ou de wagonnets lorsque c'est possible.

³ Plomb à faible teneur en antimoine ou sans antimoine

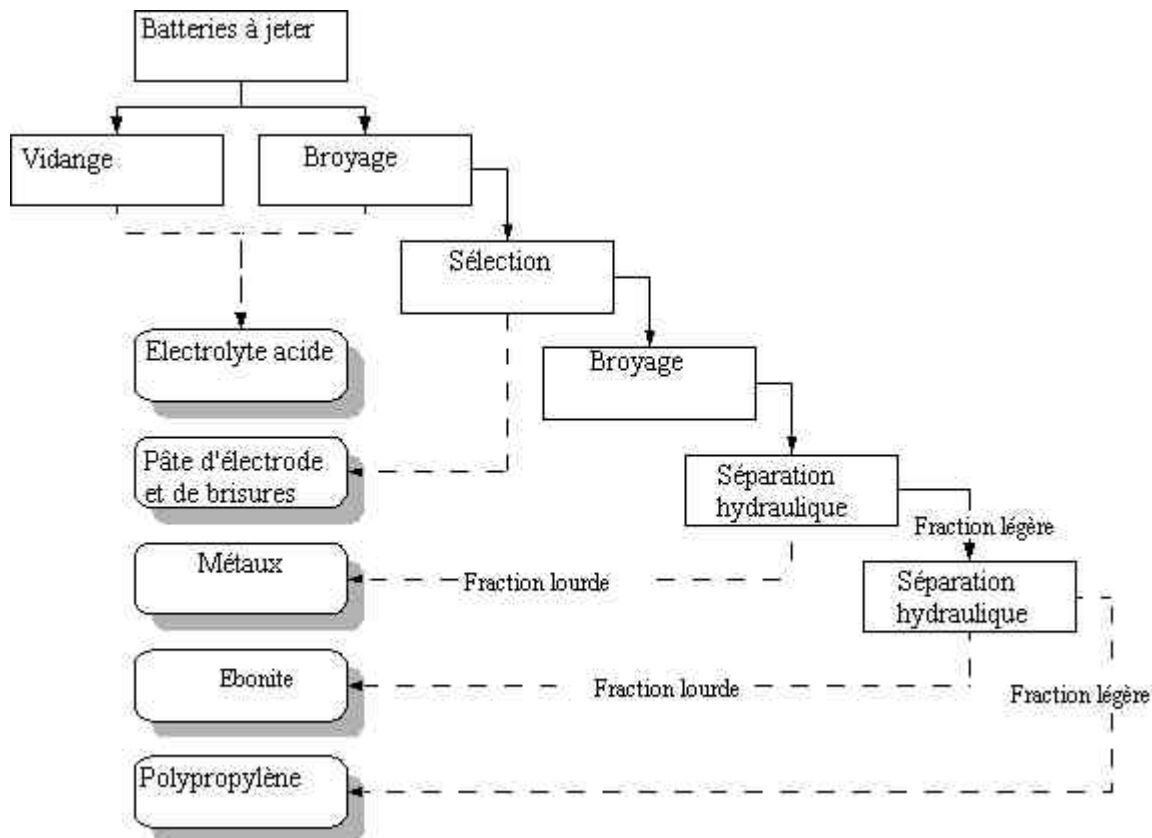


Figure 2 : Procédé de rupture des batteries

44. Lorsque les batteries arrivent au dispositif d'ouverture, elles passent par des broyeurs ou autres concasseurs qui les réduisent en petits morceaux. Cette méthode de casse garantit la séparation facile, dans les étapes subséquentes, de tous les éléments, tels que plaques de plomb, connecteurs, boîtiers en plastique et électrolyte acide.

45. Une fois les batteries cassées, les oxydes et les sulfates de plomb sont séparés des autres matériaux par tamisage sous un jet d'eau au moyen d'un système de tapis roulant à mailles. Après séparation, ils sont dirigés vers le four, s'il s'agit d'un procédé pyrométallurgique ou vers un autre dispositif dans le cas de procédés hydrométallurgiques.

46. Après la première opération de casse grossière, il y a parfois d'autres mécanismes de broyage qui réduisent encore le degré de granulométrie des matériaux restants. Les parties métalliques, y compris les plaques de plomb, les grilles, les connecteurs et les bornes, sont ensuite séparées des parties organiques qui comprennent les bacs en polypropylène, en ébonite ou en PVC et les séparateurs de plaques, etc., en fonction de leur différence de densité, dans des séparateurs hydrauliques qui varient d'un procédé à l'autre.

47. D'autres procédés, mettant à profit les propriétés de la densité et utilisant des mécanismes hydrauliques, séparent les pièces des batteries cassées en trois couches différentes: la première est constituée de petites fractions telles que les plastiques, la deuxième comprend les pièces à granulométrie fine de l'oxyde et des sulfates de plomb et la troisième est la couche lourde composée des électrodes en plomb, des connecteurs, etc. Cette méthode ne comporte donc pas l'étape filtrage qui permet d'éliminer les composés du plomb avant la récupération des plastiques. Cependant, la complexité de ces systèmes les rend difficiles à régler et à utiliser.

48. Après ces étapes de séparation, la couche organique est encore subdivisée en déchets de polypropylène (dits substances organiques légères) et séparateurs et ébonite (dits matières organiques lourdes). Les substances organiques légères sont ensuite lavées pour éliminer les traces d'oxyde de plomb, broyées en petits morceaux, en fonction de leur utilisation future, tandis que l'ébonite et les séparateurs sont commodément entreposés. A moins que le système de rupture ne soit relié au four en continu, les composés de plomb et les parties métalliques sont également entreposés en attendant d'être traités à nouveau.

49. Les méthodes de rupture des batteries diffèrent les unes des autres dans les détails et évoluent au fur et à mesure que de nouvelles technologies font leur apparition. Plusieurs facteurs spécifiques tels que la situation de l'économie locale, la quantité de matières premières et les exigences des fonderies font qu'elles sont plus ou moins bien adaptées à une usine déterminée de récupération du plomb. Metaleurop, Bunker Hill, Engitec et MA Engineering dont on peut trouver une description détaillée dans les ouvrages de référence spécialisés sont quelques exemples de ces systèmes. Néanmoins, tout devrait être fait pour ne plus utiliser les méthodes manuelles de rupture des batteries et éliminer les risques pour la sécurité et la santé qu'elles représentent. Si, pour une raison quelconque, un équipement mécanique de rupture des batteries n'est pas disponible, la méthode la plus sûre pour préparer les batteries pour la fonte serait la suivante: percer l'électrolyte et le vider et le traiter comme il convient; enlever le couvercle de la batterie avec les plaques et les séparateurs à l'aide d'une scie circulaire et respecter les règles d'utilisation correcte des équipements de protection; envoyer les plaques et les grilles avec le couvercle de la batterie à la fonderie; renvoyer le bac de la batterie au fabricant en vue de sa réutilisation.

4.1.3. Rupture des batteries : sources potentielles de contamination de l'environnement

50. Pas plus que les deux autres sections concernant les procédés de réduction et d'affinage du plomb, celle-ci n'a été conçue pour décrire toutes les sources possibles de contamination qui peuvent résulter des procédés de récupération du plomb ni en donner une liste exhaustive. Ce serait en effet une tâche impossible. L'objectif visé était simplement d'établir une liste restreinte des sources courantes et prévisibles de contamination et d'indiquer où les trouver. Les sources spécifiques de contamination devront être déterminées en fonction des procédés utilisés. Les moyens de prévention seront traités dans le chapitre relatif à la protection de l'environnement. Ceci étant, les sources courantes de pollution de l'environnement dans le processus de rupture des batteries sont les suivantes:

a) fuites provenant des batteries - *contamination par l'électrolyte acide et la poussière de plomb* : le déversement accidentel du liquide des batteries peut être une source très commune de contamination de l'environnement et causer un dommage à la santé de l'homme car l'électrolyte est non seulement une solution extrêmement corrosive mais aussi un excellent véhicule pour le plomb soluble et les particules de plomb. Par conséquent, si cette solution se déverse dans une zone non protégée, elle peut contaminer le sol ou blesser les ouvriers. Par ailleurs, après déversement sur un sol non protégé, le sol lui-même se transforme en une source de particules de plomb lorsque la solution sèche et que le plomb s'incorpore dans les particules du sol qui peuvent être soufflées par le vent ou soulevées par le passage de véhicules;

b) rupture manuelle des batteries - *source de risque pour la santé de l'homme et pour l'environnement par déversement important et formation de poussière contaminée par*

le plomb : l'ouverture manuelle des batteries se fait généralement avec des outils primitifs, sans protection d'aucune sorte pour les ouvriers ni pour l'environnement. La situation est encore pire dans le cas de batteries scellées difficiles à vidanger, ce qui augmente considérablement le risque de déversements importants et le danger pour la santé de l'homme. Elle devrait donc être évitée à tout prix;

c) rupture mécanique des batteries - *source de particules de plomb* : l'ouverture des batteries par broyage dans des concasseurs peut propager des particules de plomb. Cependant, le fait que le concasseur soit scellé et l'emploi de quantités d'eau abondantes empêchent la formation de telles particules;

d) séparation hydraulique - *fuite d'eau contaminée*: la séparation par moyen hydraulique tant des substances métalliques et des substances organiques que celle des matières organiques lourdes et légères se fait habituellement dans des machines scellées et avec un système d'eau en circuit fermé. Cependant, si une fuite se produit, l'eau sera fortement contaminée par les composés du plomb;

e) scories d'ébonite et de plastique - *déchets contaminés*: les déchets d'ébonite résultant de l'ouverture des batteries peuvent poser problème car leur teneur en plomb va habituellement jusqu'à 5% (w/w). Il est donc important que les dernières traces de plomb soient éliminées par un deuxième lavage, de préférence dans une solution alcaline, suivi d'un autre rinçage avant le traitement ultérieur ou l'élimination de ces déchets.

4.2. Réduction du plomb

51. Les scories résultant de la rupture des batteries sont en réalité un mélange de plusieurs substances: plomb métallique, oxyde de plomb (PbO), sulfate de plomb (PbSO₄) et autres métaux tels que calcium (Ca), cuivre (Cu), antimoine (Sb), arsenic (As), étain (Sn) et, parfois, argent (Ag). Deux méthodes peuvent être utilisées pour isoler le plomb métallique de ce mélange. Ce sont les méthodes pyrométallurgiques, dites de fusion-réduction et les techniques hydrométallurgiques ou électrolytiques. On peut également combiner les deux et employer une méthode hybride.

4.2.1. *Méthodes pyrométallurgiques*

52. Les méthodes pyrométallurgiques ou techniques de fusion-réduction consistent à ramener chimiquement tous les composés métalliques à leur forme métallique ou à les réduire par chauffage et captage et réduction avec des substances appropriées (figure 3).

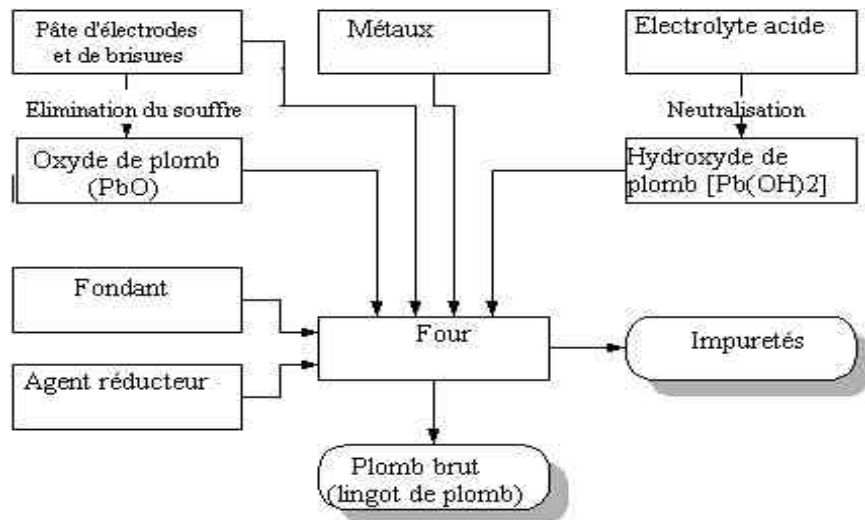


Figure 3 : diagramme d'un procédé de fusion du plomb

53. Avant la fusion, certaines méthodes permettent d'éliminer le soufre de la pâte de sulfate de plomb par réaction avec un mélange de carbonate de sodium (Na_2CO_3) et d'hydroxyde de sodium (NaOH), comme dans les procédés CX et autres procédés similaires, transformant ainsi le sulfate de plomb (PbSO_4) en oxyde de plomb (PbO). On peut aussi utiliser comme agent d'élimination du soufre de l'oxyde de fer (Fe_2O_3) et du carbonate de calcium (CaCO_3). Ce procédé réduit la formation de scories et, en fonction de la technique de fusion retenue, il diminue la quantité d'anhydride sulfureux (SO_2) libéré dans l'air. Toutefois, d'autres méthodes consistent simplement à ajouter directement dans le four certaines quantités contrôlées de sulfate de plomb et d'agent d'élimination du soufre.

54. L'électrolyte acide doit également être traité avant que le plomb qu'il contient puisse être envoyé dans le four de fusion. Pour ce faire, on le neutralise avec de l'hydroxyde de sodium qui précipite tout le plomb présent sous forme d'hydroxyde de plomb $[\text{Pb}(\text{OH})_2]$. Ce composé est ensuite éliminé par décantation ou filtrage et envoyé dans le four. La solution restante, du sulfate de sodium dilué dans de l'eau (Na_2SO_4), peut être encore purifiée et le sel isolé jusqu'à un degré de pureté élevé (jusqu'à une qualité alimentaire), comme dans le cas du procédé CX Engitec Impianti.

55. La partie métallique et les composés du plomb résultant des procédés de neutralisation et d'élimination du soufre sont ensuite ajoutés dans le four et fondus avec des agents fondants et réducteurs. Les sources de chaleur peuvent être, au choix, le pétrole, le gaz, le charbon, l'électricité, etc. Il existe également différents types de cuves dans lesquelles la fusion peut être réalisée: four rotatif, four à réverbération et haut-fourneau ou four électrique, four en céramique rotatif, etc. La méthode la meilleure dépend, là encore, de plusieurs facteurs tels que situation de l'économie locale, quantité de recyclage prévue, etc. On peut trouver des informations spécifiques dans les références données à la fin de ces lignes directrices.

56. On ajoute des agents de flux, qui fondent à une température inférieure à celle de la fusion des composés du plomb, non seulement pour diminuer celle-ci mais aussi pour fournir un solvant liquide qui capture plusieurs composés non désirés pendant le processus de fusion et de réduction. Lorsque le fondant commence à être pollué par toutes sortes d'impuretés provenant du processus de fusion, des scories commencent aussi à se former. Leurs propriétés

physiques et chimiques, caractéristiques importantes pour décider de leur traitement ultérieur, dépendent entièrement de la composition chimique du fondant utilisé.

57 On ajoute, par ailleurs, des agents réducteurs afin de réduire l'oxyde (PbO) et l'hydroxyde de plomb ($[Pb(OH)_2]$) en plomb métallique. Il s'agit habituellement d'un composé à base de carbone tel que du coke, de la houille ou une autre source naturelle.

58. Il convient de contrôler soigneusement la quantité de fondant et de réducteur que l'on ajoute:

a) une quantité insuffisante de fondant ne captera pas tout le soufre et les autres matériaux présents dans les scories et une grande quantité d'anhydride sulfureux risque de se dégager;

b) une quantité insuffisante d'agent réducteur, par contre, ne réduira pas tous les oxydes de plomb qui se trouvent dans les scories et celles-ci seront fortement contaminées par le plomb ce qui peut représenter un risque potentiel pour l'environnement.

59. Une fois le procédé bien équilibré, le plomb métallique fondu commence à s'accumuler au fond de la cuve. Toutefois, comme nous l'avons déjà dit, il est parfois fortement contaminé par d'autres métaux ayant une valeur économique. En conséquence, la barre de plomb doit subir un autre procédé d'affinage avant que du plomb pur puisse en être extrait.

4.2.2. Procédés hydrométallurgiques

60. Les procédés hydrométallurgiques ou électrolytiques consistent à réduire sélectivement par l'électricité tous les composés du plomb pour les ramener à l'état de plomb métallique, comme dans le procédé PLACID (figure 4).

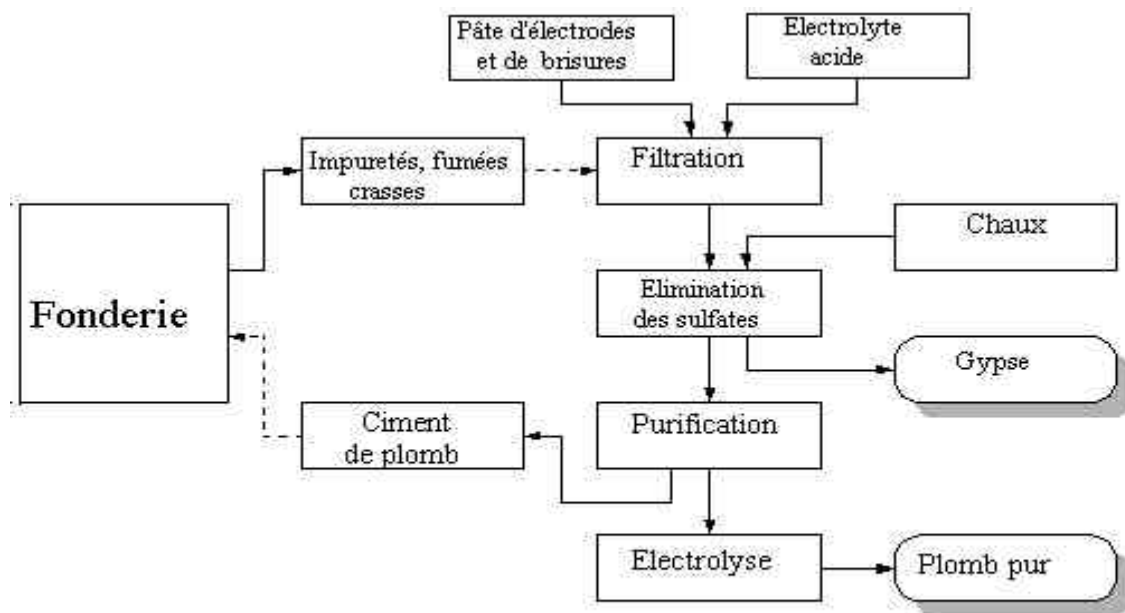


Figure 4 : diagramme d'un procédé de réduction du plomb par électrolyse

61. Bien que, prise isolément, cette installation soit parfois coûteuse, ce procédé donne de bons résultats lorsqu'il est utilisé dans le cadre d'une fonderie à basse température car, avec la séparation appropriée des matières premières, il apporte une solution technologique aux procédés d'affinage du plomb.

62. La notion chimique qui est à la base de l'électrolyse est la transformation de tous les composés du plomb en substances chimiques uniques, soit du plomb avec un degré d'oxydation +II (Pb^{2+} ou oxyde plombeux) dans le cas particulier, réduit ensuite par électrolyse pour produire du plomb métallique (figure 5).

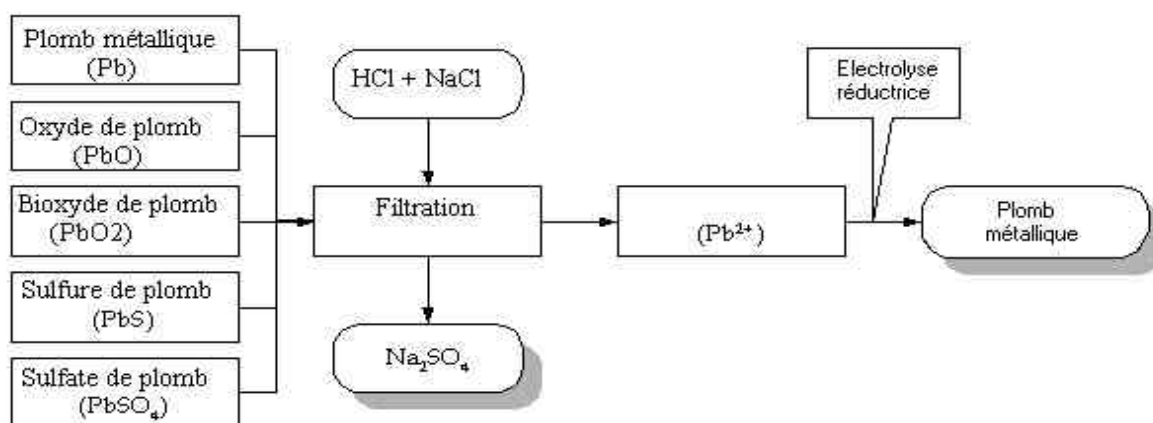


Figure 5 : procédé électrochimique dans la production de plomb par méthode hydrométallurgique

63. L'électrolyse dépose du plomb sous forme de dendrites ou éponge qui sont ensuite secouées et recueillies sur un tapis roulant, puis comprimées pour former des plaquettes de plomb pur (99,99%); celles-ci sont ensuite transportées vers une cuve où elles sont transformées en lingots. Ce procédé d'extraction peut se faire en continu 24 heures sur 24.

4.2.3. Réduction du plomb : sources potentielles de contamination de l'environnement

64. Les conséquences courantes du procédé de réduction du plomb pour l'environnement sont les suivantes:

a) composés du plomb résultant de la méthode de rupture - *plomb et composés du plomb dans la poussière et dans l'eau*: les matériaux fins qui ont été séparés dans l'opération de rupture sont généralement mouillés puisque les principaux procédés de séparation reposent sur des techniques hydriques. Cependant, s'ils ne sont pas intégrés à un procédé entièrement automatique, il faudra les transporter depuis l'installation où se pratique la rupture jusqu'à celle où se fait la réduction et un peu de matière boueuse et/ou aqueuse peut se renverser et tomber du moyen de transport. Une fois sèches, ces matières se transforment en poudre et peuvent contaminer l'usine et ses alentours comme de fines poussières de plomb;

b) impuretés - *matériaux contaminés par le plomb*: des impuretés se forment pendant la fusion dont la fonction est d'éliminer les matières qui ne sont pas facilement

incorporées ou qui ne devraient pas se trouver dans le plomb brut. Ces impuretés, cependant, contiennent encore du plomb qui peut être récupéré et elles sont recyclées au cours de la fusion. Pour ce faire, les impuretés doivent être éliminées et transportées jusqu'au point de chargement du four mais, comme elles se présentent en général sous forme de poussière et parfois de poudre (scories de cuivre), elles peuvent constituer une source de contamination au plomb pendant le transport;

c) filtres - *poussières contaminées par le plomb* : les fours n'ont pas besoin d'être équipés de filtres pour pouvoir retenir les poussières de plomb qui se sont formées pendant la fusion. Après utilisation, elles sont habituellement recyclées au cours du même processus de fusion puisqu'elles peuvent contenir jusqu'à 65% de plomb. Cependant, la manipulation et l'entretien des filtres usagés peut être une source importante de poussière contaminée qui peut présenter un danger pour la santé de l'homme et l'environnement. De plus, les filtres trop utilisés ne retiennent plus les poussières de plomb et les émissions de poussière provenant du four sont une source importante de pollution. Enfin, il faut bien se rendre compte que l'entrée du four peut, elle aussi, laisser passer de la poussière de plomb dans le milieu ambiant puisqu'il peut s'agir d'un système ouvert. Les fumées à haute température qui s'échappent du four et de la zone de coulée par exemple ont une forte teneur en plomb qui est facilement absorbé par le corps humain;

d) émissions d'anhydride sulfureux (SO₂) - le pourcentage de soufre, sous forme d'anhydride sulfureux (SO₂), provenant d'une quantité donnée d'une charge de scories de plomb traitée par réduction dépend, dans une large mesure, non seulement du four lui-même mais aussi des produits d'écumage qui se forment. Il se situe en général entre 0 et 10% et diminue sensiblement si le fondant utilisé est un mélange de composés à base de fer et de sodium qui produit de l'écume de sodium et des pyrites. L'ébonite a également une teneur en soufre de 6 à 10% qui peut contribuer à l'émission de SO₂ si on l'ajoute dans le four;

e) combustion de matières organiques - *formation de goudron*: une raffinerie bien conçue et bien contrôlée n'a pas à s'inquiéter de la formation de goudron, son procédé de réduction consommant toutes les substances organiques. Par contre, moins le contrôle du procédé de réduction est efficace plus les émissions de goudron sont nombreuses, surtout dans les fonderies artisanales. Si le four de réduction comporte des filtres, l'émission de goudron pose un problème encore plus important, cette matière étant très inflammable et susceptible de provoquer des incendies dans les filtres ce qui augmente les risques d'accident et la possibilité d'une émission indésirable. L'introduction de brûleurs secondaires pour achever la combustion des gaz provenant du four est une solution courante à ce problème, mais une restructuration complète du procédé, avec élimination des substances organiques par exemple, serait peut-être plus prometteuse;

f) émissions de chlore (Cl₂) et de ses composés: la séparation initiale des matériaux qui peuvent entrer dans le processus de réduction diminue considérablement les émissions de chlore. Cependant, les quantités toujours plus grandes de PVC dans les fours augmentent les possibilités qu'il y en ait. La plus grande partie est absorbée par les produits d'écumage de base du calcium ou du sodium mais une partie du chlore est transformée chimiquement en chlorure de plomb, volatile dans les conditions du four mais capturé par les filtres à poussière lorsque la température baisse;

g) production de scories - elles constituent la plus grande partie de la production de déchets pendant l'opération de réduction. En moyenne, une tonne de plomb métallique

produit 300 à 350 kg de scories, selon les caractéristiques particulières du procédé et le type de scories qui se forment (produits d'écumage du sodium ou du calcium), environ 5% (w/w) étant des composés du plomb. En conséquence, si l'on veut éviter des problèmes sanitaires et écologiques, il convient de planifier longtemps à l'avance le lieu de destination et d'entreposage de ces substances en tenant tout particulièrement compte de la filtration qui peut se produire si des scories instables, solubles dans l'eau, sont au contact de l'eau ou de l'humidité.

4.3. Affinage du plomb

65. Comme nous l'avons déjà dit, si une fonderie s'arrête au stade de la fusion-réduction, elle produira ce que l'on appelle du plomb de plus grande dureté ou plomb antimonial. Si on veut produire du plomb doux, le plomb brut doit être affiné, l'objectif de cette opération étant d'éliminer presque tout le cuivre (Cu), l'antimoine (Sb), l'arsenic (As) et l'étain (Sn) puisque ce type de plomb ne peut contenir plus de 10g de ces métaux par tonne.

66. Il existe deux méthodes d'affinage du plomb: les procédés hydrométallurgiques qui ont déjà été décrits dans la section relative à la réduction du plomb et les procédés pyrométallurgiques ou thermiques décrits ci-après.

4.3.1 *Affinage pyrométallurgique*

67. L'affinage thermique se fait en phase liquide. Autrement dit, le plomb brut doit être fondu à des températures allant de 327°C (point de fusion du plomb) à 650°C (point d'ébullition du plomb). En règle générale, le procédé est réalisé par lots de 20 à 200 tonnes selon la capacité de l'installation.

68. Chimiquement, l'affinage consiste à ajouter des réactifs spécifiques au plomb fondu aux températures voulues. Ces réactifs éliminent ensuite les métaux inutiles dans un ordre spécifique puisqu'ils sont ajoutés sélectivement (figure 6).

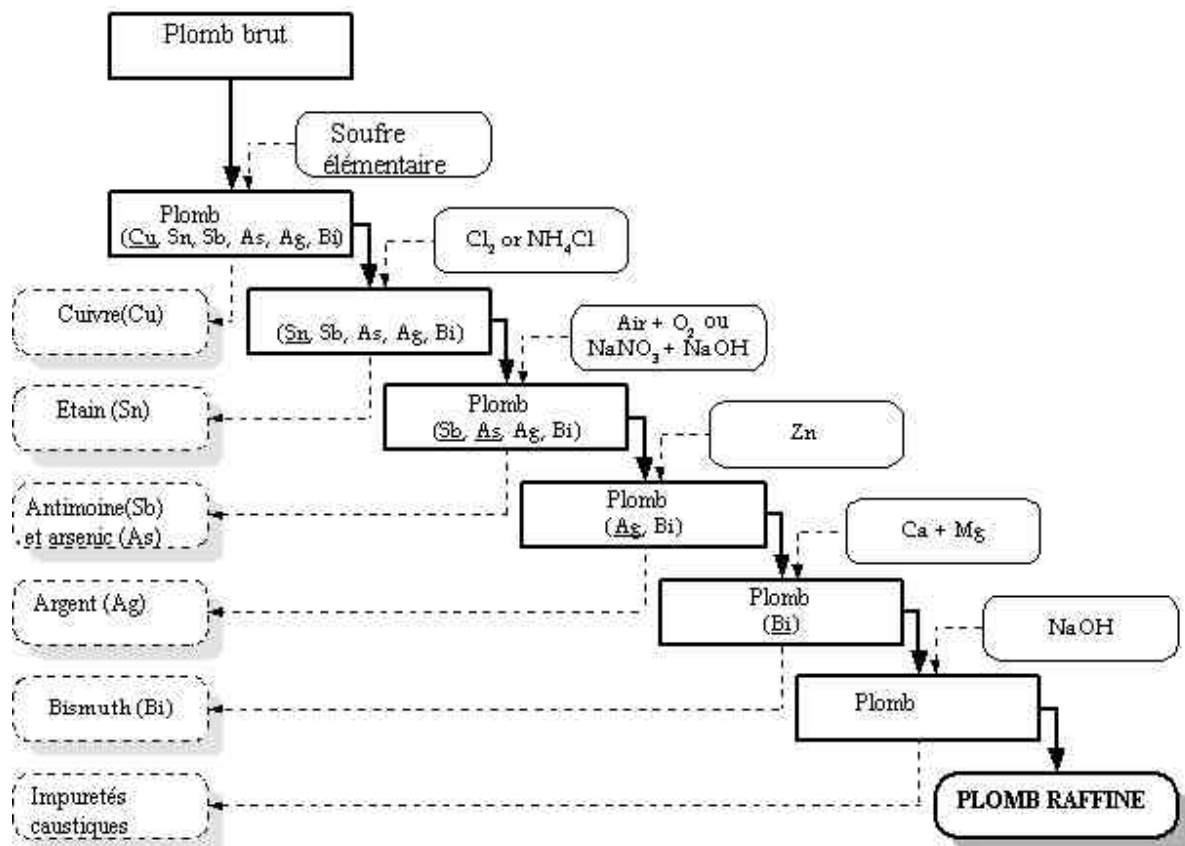


Figure 6: procédé pyrométallurgique d'affinage du plomb

69. Le cuivre (Cu) est le premier élément qui est éliminé avec le soufre élémentaire par une méthode en deux phases. Dans la première, presque tout le cuivre est éliminé car de la matte de sulfure de cuivre (CuS) se forme lorsque du soufre élémentaire est ajouté au plomb fondu à 450°C. La deuxième phase doit permettre d'éliminer tout le cuivre restant en ajoutant de petites quantités de soufre élémentaire au plomb fondu à 330°C jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de réaction du tout. L'emploi de soufre exigeant des règles strictes en matière de santé et de sécurité pour éviter les incendies et la suffocation due à l'âcreté des vapeurs, une solution plus sûre consiste à utiliser du sulfure de fer pour éliminer ces risques.

70. L'étain est généralement éliminé pendant le processus de fusion et il ne soit l'être qu'au stade de l'affinage si l'on a ajouté des grilles en plomb pour retenir les déchets et d'autres matériaux en plomb solide à la cuve d'affinage et s'ils ont fondu dans le bain résultant de la fusion. L'étain est si instable qu'il suffit habituellement pour l'éliminer de brasser le bain et d'ajouter un peu d'hydroxyde de sodium (NaOH). S'il reste encore un peu d'étain résiduel, il peut être éliminé à l'aide d'un jet d'air dans la cuve.

71. L'arsenic (As) et l'antimoine (Sb) sont supprimés sélectivement par oxydation soit à l'air enrichi d'oxygène (O₂) soit par un mélange de nitrate de sodium (NaNO₃) et d'hydroxyde de sodium (NaOH). La température du plomb fondu est portée à 550°C et un courant d'air enrichi de O₂ y est insufflé. La réaction est extrêmement exothermique et la température atteint facilement 650°C. Les produits d'écumage sont un mélange d'oxydes (25% Sb, 10% As et 65% Pb).

72. L'argent (Ag) vient ensuite et il est éliminé par le procédé de Parkes qui utilise la solubilité préférentielle de l'argent dans le zinc (Zn) fondu au lieu de plomb (Pb) fondu. Par conséquent, on ajoute du zinc (Zn) métallique à du plomb fondu à 470°C et on laisse refroidir le mélange jusqu'à 325°C. Un alliage argent-plomb-zinc se sépare et forme une croûte à la surface. Celle-ci est enlevée et le zinc est séparé de l'argent par distillation sous vide. L'argent brut est encore affiné à l'aide d'oxygène pour produire de l'argent fin. Le zinc excédentaire est éliminé du plomb dont on a enlevé l'argent par distillation sous vide puis avec de l'hydroxyde de sodium (NaOH).

73. Enfin, le bismuth (Bi) est enlevé par traitement du plomb obtenu avec un mélange de calcium (Ca) et de magnésium (Mg), procédé connu également sous le nom de Kroll-Betterton. Un alliage calcium-magnésium-bismuth forme une couche d'impuretés à la surface du plomb fondu qui est ensuite éliminée par écumage. Les produits d'écumage sont oxydés et encore affinés pour produire du bismuth en poudre.

74. Le plomb pur est alors traité à l'hydroxyde de sodium (NaOH) pour éliminer toutes les impuretés qui restent et il est enfin coulé en blocs ou en lingots. Les vapeurs, les scories, les litharges et autres substances qui se sont formées pendant l'affinage sont généralement fondues dans un petit haut-fourneau pour produire du plomb brut en lingot qui est réintroduit dans le circuit d'affinage.

4.3.2. Affinage du plomb : sources potentielles de contamination de l'environnement

75. L'affinage peut être un procédé extrêmement polluant si l'on ne prend pas de mesures de contrôle. Les incidences de l'affinage du plomb sur l'environnement sont entre autres les suivantes:

a) plomb surchauffé - vapeurs de plomb: le plomb obtenu par réduction est parfois introduit directement dans la cuve d'affinage dont la température peut atteindre 1.000°C. Il n'est donc pas rare que l'affinage du plomb dégage de grandes quantités de vapeurs de plomb. Idéalement, le plomb devrait s'écouler directement du four dans un bain de plomb ou être laissé à refroidir avant d'être versé;

b) émissions d'anhydride sulfureux (SO₂): l'élimination du cuivre par l'addition de soufre élémentaire peut produire de grandes quantités d'anhydride sulfureux (SO₂), le soufre s'oxydant facilement en présence d'oxygène aux températures du four. L'emploi de sulfure de fer élimine ce problème;

c) production et élimination des scories - contaminations du métal: la production et l'élimination des scories de la cuve d'affinage, outre l'affinage de métaux non désirés à partir du plomb brut, peut présenter des risques pour la santé de l'homme et pour l'environnement en raison des caractéristiques physiques des produits d'écumage. Elles se présentent généralement sous forme de poussière très fine et sèche ayant une forte teneur en plomb et autres métaux; il est donc important de transporter ces sous-produits potentiellement dangereux dans des conteneurs couverts et scellés, de les entreposer de façon adéquate et de leur trouver une destination sûre;

d) élimination et récupération du chlorure d'étain (Cl₂ Sn) - *libération de chlore gazeux*: si l'étain est éliminé par le chlore gazeux en vue de sa récupération ultérieure, c'est

une opération très délicate. L'admission de gaz est planifiée de façon à éviter la libération de chlore car celui-ci réagit avec l'étain avant d'arriver à la surface du plomb fondu. Cependant, l'addition non contrôlée de chlore risque de libérer ce gaz toxique dans l'environnement. De plus, le chlore étant corrosif et toxique, son entreposage et sa manutention sont en elles-mêmes des opérations délicates;

e) élimination de l'étain (Sn) par l'air enrichi en oxygène (O₂) - vapeurs de plomb: pendant que l'air passe à travers les métaux fondus, l'azote (N₂) qu'il contient ne réagit pas. Le résultat en est que le gaz produit un fort bouillonnement à la surface des métaux, dégageant ainsi des poussières et des vapeurs métalliques.

5. CONTRÔLE DE L'ENVIRONNEMENT

76. Jusqu'à présent, nous avons décrit plusieurs aspects du recyclage du plomb, notamment la récupération, la manutention, l'entreposage, le transport, la rupture des batteries, la réduction et l'affinage. Il reste encore, cependant, quelques questions importantes à examiner, en particulier en ce qui concerne les mesures de contrôle de l'environnement.

77. Trois cas peuvent se présenter dans le processus de contrôle de l'environnement exercé par l'usine de recyclage: a) l'usine de recyclage n'est pas encore opérationnelle; b) l'usine de recyclage a été construite par le passé et a besoin de conseils en matière d'améliorations technologiques et de surveillance; et c) l'usine de recyclage adopte les meilleures techniques disponibles et a seulement besoin de conseils en matière de surveillance.

5.1. Planification d'une usine de recyclage - Evaluation de son impact sur l'environnement (EIE)

78. L'évaluation de l'impact sur l'environnement (EIE) est une étude réalisée avant la mise en service de toute source éventuelle de pollution et ayant pour objectif d'apprécier les conséquences écologiques d'un projet industriel au stade de sa conception. En conséquence, cette étude fournit des éléments pour améliorer le projet ainsi que des données pour orienter les décideurs, les investisseurs et les pouvoirs publics et leur faire prendre conscience des répercussions qu'il pourrait avoir. Habituellement, les études EIE sont obligatoires dans plusieurs pays du monde et le financement de la réalisation des projets n'est autorisé que lorsqu'elles ont été présentées aux agences gouvernementales et approuvées par elles.

79. En théorie, c'est l'étape par laquelle devrait passer toute installation de recyclage du plomb pour éviter de polluer l'environnement et offrir toute garantie en matière de protection de la santé de l'homme et de l'environnement. C'est aussi l'étape la plus appropriée pour apporter des modifications à un projet à moindres frais et aussi pour planifier à l'avance le choix des meilleures technologies disponibles pour une méthode de recyclage déterminée. Enfin, elle donne des orientations sur la façon dont l'usine de recyclage doit s'intégrer à son voisinage, non seulement du point de vue écologique mais aussi sur le plan économique, social, etc.

80. Un guide plus complet concernant les EIE figure à l'annexe I mais toute étude devrait comprendre les sections décrites ci-dessous :

- a) les buts et objectifs du projet et son importance sociale et économique;
- b) une description du site de mise en oeuvre du projet, du projet lui-même et du rapport entre les deux, y compris le maximum d'éléments quantitatifs disponibles;
- c) une description des activités dans l'ordre chronologique;

- d) la détermination qualitative et quantitative des effets sur l'environnement et des mesures qui seront prises pour les réduire autant que possible;
- e) les mesures éventuelles de réhabilitation du site après la fin du projet ou s'il est mené à bonne fin;
- f) la législation applicable par rapport au projet;
- g) les alternatives à la mise en oeuvre du projet, notamment les autres sites possibles;
- h) les dimensions, les technologies employées, les sources de matières premières, les sources d'énergie et les produits;
- i) la justification des méthodes et technologies employées;
- j) enfin, l'EIE doit être présentée sous la forme d'un rapport concis et objectif et les jugements de valeur doivent autant que possible être évités.

81. Malgré son évidente utilité, l'EIE présente parfois un léger inconvénient car (a) elle n'est pas toujours rendue publique; (b) elle peut être considérée comme une fin et non comme un élément dans un contexte plus large de gestion écologique; (c) elle est généralement réalisée par des partenaires indépendants et ne reflète pas nécessairement les engagements de la société commanditaire; et (d) elle peut être utilisée pour imposer des prescriptions excessivement contraignantes et donner ainsi les moyens d'exercer un contrôle sur le marché.

5.2. Améliorations technologiques

82. Si une EIE n'a pas été réalisée avant la mise en service d'une installation de recyclage du plomb, il est très probable que celle-ci aura des problèmes technologiques et écologiques à résoudre, plusieurs étapes importantes risquant d'être omises ou négligées. Cependant, il convient de souligner que la fermeture pure et simple d'une installation de recyclage du plomb qui ne fonctionne pas trop bien pour en construire une nouvelle n'est pas toujours la meilleure solution car il faudrait, pour ce faire, des fonds considérables. Par conséquent, la meilleure des options, pour ne pas dire la seule, consistera probablement à apporter des améliorations technologiques et à exercer une surveillance écologique. Les améliorations technologiques seront décrites dans la présente section alors que la surveillance écologique sera traitée dans la suivante.

5.2.1. *Traitement des sources de pollution et prévention de la pollution*

83. Dans une installation moderne de recyclage du plomb, le coût du traitement de la pollution, y compris élimination des effluents, fumées et poussières et de l'anhydride sulfureux (SO₂), représente 20 à 30% des coûts de l'investissement.

5.2.1.1. Electrolyte acide et effluents

84. L'élimination directe de ces liquides dans l'environnement, sans traitement préalable, peut avoir des répercussions écologiques considérables. Il est suggéré d'aborder le problème en tentant de les stabiliser autant que possible en fonction du budget disponible:

a) il existe quelques technologies pour éliminer, par extraction liquide-liquide, l'acide sulfurique présent dans l'électrolyte. Ces méthodes permettent de produire de l'acide sans plomb qui peut être réutilisé comme électrolyte ou vendu;

b) l'électrolyte peut être traité avec du carbonate de sodium (Na_2CO_3) ou du carbonate de calcium (CaCO_3), produisant ainsi du sulfate de sodium (Na_2SO_4) ou du gypse (CaSO_4) qui, une fois que les boues de plomb ont été éliminées par filtration, peuvent être encore purifiés et vendus à l'industrie du ciment ou de la construction;

c) l'écoulement direct des électrolytes neutralisés est à éviter autant que possible;

d) l'écoulement des électrolytes non traités n'est pas écologiquement sûr et il est à éviter à tout prix.

85. Toute installation de recyclage du plomb devrait être équipée d'une station de traitement des effluents afin de traiter les eaux qui sortent de cette installation, y compris celles provenant de la neutralisation des électrolytes, l'eau de pluie, les eaux déversées pendant le stockage des batteries, etc. dans le but de contrôler, préserver et améliorer la qualité de l'eau.

5.2.1.2. Collecte des poussières et filtrage de l'air

86. Toutes les opérations de recyclage des batteries dégagent des fumées ou des poussières qui doivent être collectées et renvoyées à l'usine ou traitées avant d'être libérées dans l'environnement. Si l'on considère qu'une installation de recyclage de taille moyenne doit filtrer près de 70 tonnes d'air pour chaque tonne de plomb qu'elle produit, il est évident qu'il est important d'exercer un contrôle.

87. Les poussières dites "mécaniques", c'est-à-dire les particules de matériau qui ont des caractéristiques physiques importantes, sont relativement faciles à filtrer et à éliminer de l'air. Cependant, plus les poussières sont fines, plus elles sont difficiles à éliminer et des techniques spéciales doivent être utilisées pour nettoyer l'air. Il existe une large gamme d'options qui doivent être appréciées en fonction du budget et des prescriptions relatives au niveau de contamination: filtres en tissu ou en papier, cuves de précipitation électrostatique, cuves de précipitation électrostatique humide, cyclones, filtres en céramique et épurateurs humides. En règle générale, toutes les poussières collectées sont envoyées vers la fonderie pour récupérer le plomb qu'elles contiennent.

5.2.1.3. Emissions fugitives

88. Les émissions fugitives sont des décharges dans l'atmosphère provenant de matières premières et/ou de procédés industriels et qui sont libérées dans l'atmosphère sans passer par des dispositifs de filtrage ou des systèmes de contrôle conçus pour réduire ou éliminer le contenu ou la quantité de substances dangereuses entrant dans la composition des produits en cours de fabrication avant qu'ils soient relâchés dans l'environnement.

89. Il est possible de répertorier plusieurs sources potentielles d'émissions fugitives d'après les thèmes déjà traités dans la section relative aux mesures de contrôle prises pour les installations de stockage, les procédés de rupture des batteries, l'affinage du plomb et ainsi de suite; mais elles peuvent aussi provenir du plomb fondu, chauffé "au rouge", pendant qu'il s'écoule des hauts fourneaux et elles sont causées par la haute pression de vapeur du plomb et de ses composés à environ 1000°C. Dans le même contexte, des émissions fugitives se produiraient si les barres de plomb des fourneaux étaient transférées dans des "louches" ouvertes ou "marmites" à environ 1000°C et versées dans une cuve d'affinage et, ensuite, pendant la transformation si les scories poussiéreuses sont écumées manuellement sans extraction ni ventilation.

90. Il y a essentiellement deux façon de contrôler les émission fugitives:

a) par la coulée, sous ventilation contrôlée, des barres de plomb fondues provenant des fourneaux dans des moules pour leur permettre de se solidifier. Le bloc de plomb ne sera transféré dans la cuve d'affinage qu'une fois solidifié puis il est ensuite fondu à nouveau doucement. Toutes les scories produites seront enlevées par un procédé permettant de ventiler les zones de travail et d'extraire et retenir toutes les poussières en résultant par un système de filtrage avec récupération en sac.

b) en coulant le plomb fondu chauffé au rouge du fourneau dans un bain de plomb fondu dont la température est de 20° au dessus du point de solidification du plomb et bien en dessous de la température à laquelle peuvent se produire des émissions fugitives. Le bain de plomb fondu doit être couvert et ventilé de façon à ce que les émissions de toutes sortes soient dirigées vers l'unité de récupération en sac. Lorsque la cuve d'affinage contenant le bain de plomb fondu se remplit, le plomb peut être pompé vers une autre cuve afin de commencer le processus d'affinage.

5.2.1.4. Elimination de l'anhydride sulfureux (SO₂)

91. Certains pays ont des paramètres très restrictifs sur les émissions d'anhydride sulfureux (SO₂): c'est, en effet, un polluant important qu'il faut contrôler car il a des effets délétères sur l'environnement. Il peut être éliminé de différentes façons, par des procédés secs, semi-secs, semi-humides et humides par exemple, et une méthode simple consiste à utiliser des épurateurs humides avec du carbonate de calcium (CaCO₃) comme réactif qui produit du gypse sulfureux. Ce composé peut, à son tour, être vendu ou utilisé dans les fours comme réactif pour la formation de scories. Toutefois, même après filtration et élimination des poussières, les gaz contiendront toujours de petites quantités de poussières résiduelles et du SO₂.

5.2.1.5. Utilisation d'oxygène (O₂)

92. L'enrichissement de l'air avec de l'oxygène (O₂) utilisé dans les procédés de chauffage a trois conséquences principales:

a) l'air ayant une teneur élevée en azote [N₂, ~72% (v/v)] qui ne participe à aucune réaction chimique aux températures normales, l'emploi d'oxygène pur (O₂) réduit considérablement la formation de gaz de combustion (d'environ cinq fois) ;

b) il réduit les pertes de chaleur puisque moins de gaz froids passent à travers le four;

c) il augmente la production du four.

93. L'emploi d'oxygène pur (O₂) pour enrichir l'air fourni aux brûleurs des fours assure par conséquent une production beaucoup plus propre.

5.2.1.6. Choix de l'agent fondant et stabilisation des scories

94. Les scories de calcium formées par l'addition d'un fondant de carbonate de calcium (CaCO₃) dans le four produisent une crasse moins lessivable, c'est-à-dire un déchet plus écologiquement sûr. Par ailleurs, elles augmentent la température de travail du four et dégagent davantage d'anhydride sulfureux (SO₂); il en résulte des coûts énergétiques plus élevés et des changements dans la performance du four, notamment en ce qui concerne la durée des éléments réfractaires. Par ailleurs, le calcaire (CaCO₃) est un produit naturel beaucoup plus facile à utiliser que le carbonate de sodium (Na₂CO₃), ce qui diminue les coûts du fondant et autres problèmes opérationnels. Il est donc important de bien choisir l'agent fondant.

95. Stabiliser les scories, ce qui revient en définitive à bien contrôler les phases fusion, réduction, affinage, représenterait un progrès considérable dans la voie d'une production plus propre, puisqu'elles représentent la source la plus importante de déchets dangereux de tout le processus. Les propriétés physiques et chimiques des scories de sodium résultant de l'utilisation de carbonate de sodium (Na₂CO₃) les rendent inutilisables et elles sont donc dirigées vers des décharges de déchets dangereux.

96. Par ailleurs, malgré une certaine augmentation des coûts de recyclage, les scories de calcium ont été utilisées comme matière première dans la production de ciment pour la construction de routes, la fabrication de briques, etc., avec des résultats prometteurs. L'emploi d'un agent fondant à base de calcium peut donc être considéré comme une option valable pour l'avenir puisqu'il apporte une solution au problème posé par l'évacuation de grandes quantités de déchets.

5.2.1.7. Recyclage des matières organiques lourdes

97. La partie constituée par des matières organiques lourdes comprend 50% de séparateurs d'électrodes et 50% d'ébonite, sa masse étant de 50% de carbone; les substances organiques lourdes peuvent donc être utilisées comme agent réducteur dans le four. Bien qu'il faille prendre quelques précautions supplémentaires pour éviter la pollution, l'emploi de ces matières à cette fin diminue la quantité d'autres agents réducteurs nécessaires et réduit aussi le volume de déchets qui, autrement, devrait être géré rationnellement. Cependant, ce procédé présente certains inconvénients, par exemple moins de scories liquides, formation de goudrons et autres, qui n'ont pas permis de présenter un rapport convaincant et nécessitent d'autres études; il y a là, cependant, une possibilité prometteuse pour l'utilisation de ces déchets.

5.2.1.8. Recyclage du polypropylène

98. Le polypropylène est un produit si utile qu'il pourrait à lui seul justifier la rupture des batteries plomb-acide. Par conséquent, la retransformation des éléments en matières

plastiques devrait être considérée comme une activité rentable, malheureusement pas assez répandue dans le monde.

5.2.1.9. Destination sûre pour les déchets non récupérables

99. Certains déchets provenant du recyclage du plomb ne peuvent plus être recyclés ou réutilisés et il faut donc leur trouver une destination sûre. Il convient de souligner que ces déchets ont généralement des teneurs en plomb de 2 à 5% et qu'ils doivent être traités comme des déchets dangereux, même si le plomb n'est pas lessivable. Ils doivent donc être transportés vers des décharges réglementées pour produits dangereux.

5.3. Surveillance écologique

100. Les technologies plus propres, même les meilleures, exigent une surveillance continue.

Celle-ci donne non seulement un tableau précis et clair de la performance écologique de l'usine de recyclage du plomb, puisqu'elle permet d'identifier correctement les étapes défectueuses dans la chaîne de recyclage, mais elle fournit aussi des informations concrètes pour améliorer le procédé et, partant, la protection de la santé humaine et de l'environnement. En définitive, la surveillance de l'environnement maintient l'équilibre écologique du processus de recyclage.

101. Par ailleurs, les mesures de contrôle garantissent que le nombre d'erreurs de procédure et d'accidents sera aussi limité que possible et elles constituent par ailleurs une série d'instructions simples qui, si elles sont bien suivies, réduiraient considérablement le risque de contamination environnementale.

5.3.1. *Mesures de contrôle*

102. Indépendamment des technologies employées pour combattre la pollution dans l'usine de recyclage, diverses mesures de contrôle sont largement adoptées pour prévenir la contamination de l'environnement ou la réduire au minimum. Seule une petite partie de ces mesures est décrite ci-après et d'autres améliorations, identifiées de façon pragmatique et répondant aux caractéristiques spécifiques de chaque usine de recyclage, sont encouragées. Aussi courte qu'elle soit, cette liste donne quelques idées utiles pour mettre en place de bonnes pratiques de contrôle de l'environnement.

a) **Équipement individuel de protection (EIP):** chaque ouvrier doit posséder son EIP personnel qui est différent pour chaque section de l'usine de recyclage en fonction de ses spécificités. Ils doivent également recevoir une formation pour savoir comment l'utiliser et, dans chaque section de l'usine de recyclage, il devrait y avoir des indications claires et visibles sur le type d'EIP que devrait utiliser un ouvrier pendant qu'il y travaille. Les équipements individuels de protection devraient au minimum comprendre des respirateurs, des casques et des chaussures de sécurité;

b) **Réglementation du travail:** des règlements devraient être adoptés et les ouvriers formés pour les suivre afin de diminuer les risques de contamination pour la santé:

i) défense de fumer sur les lieux de travail;

- ii) séparation entre les lieux de travail et ceux destinés aux repas;
- iii) douche obligatoire à la fin de la journée de travail ;
- iv) changement des vêtements de travail avant de rentrer à la maison;
- v) changement et lessive des tenues de travail chaque jour;
- vi) inspection et nettoyage quotidiens des respirateurs.

c) **Opérations d'ouverture, de réduction et d'affinage à l'intérieur de bâtiments clos** afin de permettre la collecte de toutes les poussières à travers un système de filtres adaptés et éviter la libération de poussières contaminées dans l'atmosphère.

d) **Surfaces non couvertes** : toutes les surfaces non couvertes de l'usine de recyclage devraient avoir un revêtement dur et lisse, de préférence dans un matériau imperméable, facile à laver et à nettoyer. Toutes les balayures devraient être ramassées et jetées dans les fours à réduction afin de recycler le plomb et les autres poussières métalliques qu'elles peuvent éventuellement contenir.

e) **Les transports internes devraient se faire par tapis roulants enfermés** pour éviter la sortie des poussières inutiles. Si ce n'est pas possible, le conteneur utilisé pour le transport devrait être correctement couvert. Les transports internes devraient être séparés des véhicules qui sortent à l'extérieur.

f) **Stockage des scories**: les matériaux dangereux devraient être entreposés avec le même soin que les batteries usées puisqu'ils contiennent beaucoup de matières et substances dangereuses qui peuvent couler ou causer d'autres problèmes sanitaires et environnementaux. Par conséquent, les mêmes mesures de contrôle que celles qui ont été adoptées pour l'entreposage des batteries (revêtement des sols, couverture, etc.) s'appliqueront aux crasses, scories, produits d'écumage et autres sous-produits, déchets et matériaux dangereux.

g) **Système de filtrage de l'air**: il devrait être situé aussi près que possible de la zone de ventilation et tous les systèmes d'extraction devraient fonctionner en circuit fermé pour éviter les dégagements de poussières.

h) **Toutes les opérations en plein air devraient être mouillées**, l'arrosage empêchant la formation de poussières. Toutes les opérations réalisées en dehors des bâtiments fermés, telles que le balayage, le nettoyage des rues, le transport sur des routes non pavées, le transport de conteneurs ouverts, l'élimination des fumées et des poussières, le transport des poussières, etc. devraient donc se faire avec des matériaux mouillés.

i) **Camions et voitures devraient être lavés lorsqu'ils quittent l'usine de recyclage**, les roues et les parties basses, en particulier, afin d'éviter la dispersion des poussières de plomb en dehors de l'usine. L'intérieur des cabines devrait être dépoussiéré à l'aspirateur de temps en temps. Tous les véhicules devraient quitter l'usine de recyclage par une seule sortie contrôlée.

j) **Les dépôts de charbon devraient être protégés**: si l'usine de recyclage utilise du charbon, soit comme combustible soit comme réducteur, il devrait être correctement

entreposé dans un endroit couvert et isolé. Il faut également un équipement spécial de lutte contre l'incendie et du personnel formé à cet effet.

k) **L'eau de pluie doit être collectée:** étant donné qu'il peut y avoir des fuites dangereuses, un système de collecte des eaux de surface spécialement conçu devrait être adopté afin de diriger toutes les eaux vers la station de traitement des effluents.

103. Indépendamment des technologies utilisées pour lutter contre la pollution à l'intérieur de l'usine de recyclage, diverses mesures de contrôle sont largement utilisées pour prévenir ou réduire au minimum la contamination de l'environnement. Seule une petite partie de ces mesures est décrite ci-après et d'autres améliorations, identifiées de façon pragmatique et en fonction des caractéristiques particulières de chaque installation de recyclage, sont encouragées. Néanmoins, cette liste donne quelques idées utiles pour mettre en place de bonnes pratiques de contrôle de l'environnement.

5.3.2. Mesures de contrôle

104. On pourrait considérer le contrôle de l'environnement comme le thermomètre de sa contamination. Les données qu'il permet de recueillir peuvent servir non seulement à déterminer les améliorations technologiques et les mesures de performance, mais aussi à garantir la crédibilité et la confiance dans les relations avec la population voisine, les usines de recyclage du plomb étant généralement considérées comme une source importante de pollution. Ce contrôle devrait donc être assuré par toutes les installations de recyclage du plomb.

105. Les objectifs visés sont, entre autres, les suivants :

a) **effluents:** après avoir été traitées dans les stations de traitement des effluents, toutes les eaux qui sortent de l'usine de recyclage devraient être contrôlées pour mesurer, au moins, leur pH, leur teneur en sulfures et en métaux lourds représentatifs (Pb, Hg et Cd);

b) **gaz:** il doit y avoir une surveillance continue des gaz tels que l'anhydride sulfureux (SO₂) et des poussières de plomb. Il est souhaitable que cette surveillance se fasse en plusieurs points à l'intérieur et à l'extérieur de l'usine de recyclage;

c) **sol et plantes:** des analyses périodiques du sol et des plantes à l'intérieur de l'installation de recyclage et dans ses alentours immédiats devraient être effectuées afin de détecter la contamination éventuelle de la poussière;

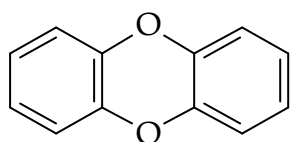
d) **qualité de l'air:** il doit y avoir une surveillance constante de la qualité de l'air à l'intérieur des bâtiments fermés tels que les installations d'ouverture des batteries, etc.

e) **surveillance médicale:** tous les ouvriers doivent bénéficier d'un suivi médical et avoir un dossier. La population avoisinante devrait aussi être contrôlée périodiquement.

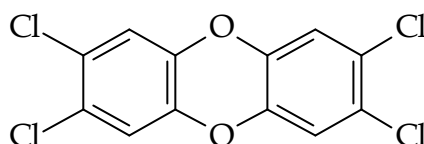
106. Bien que ces activités de surveillance soient coûteuses et que plusieurs d'entre elles nécessitent un personnel spécialisé, ce qui peut représenter un problème majeur lorsque les contraintes budgétaires sont un facteur important, il faut bien se rendre compte qu'elles fournissent des données de la plus haute importance pour déterminer si une usine de recyclage est sûre. Elles devraient donc être réalisées chaque fois que cela est possible.

5.3.3. Dioxines

107. Les dioxines sont des composés organiques aromatiques qui peuvent résulter de réactions thermiques, appelées processus *de-novo*, dans lequel des fragments précurseurs, généralement des molécules hautement réactives, réagissent entre elles pour donner des chaînes moléculaires de dioxine (figure 7).



Dibenzo-*p*-dioxin



2,3,7,8-Tétrachloro-dibenzo-*p*-dioxin

Figure 7 : chaîne moléculaire de la dioxine et du 2, 3, 7, 8-TDD

108. La présence d'atomes de chlore dans les précurseurs semble augmenter le taux de formation de dioxine et produit des molécules beaucoup plus dangereuses telles que le 2,3,7,8-TDD qui est un composé hautement carcinogène.

109. Malgré les difficultés que présentent l'étude et la détection de la dioxine, la question se pose dans le cas du recyclage du plomb puisque les matières premières secondaires peuvent contenir des précurseurs de la dioxine et que l'environnement des fours peut favoriser sa formation. De plus, le charbon utilisé comme agent réducteur et les combustibles organiques peuvent produire une fine poussière qui, dans des conditions spécifiques, peut réagir avec les dérivés chlorés et produire des composés toxiques. Enfin, il semble que le cuivre et le fer, que l'on trouve souvent dans les procédés de recyclage du plomb, jouent dans une certaine mesure le rôle de catalyseurs dans la formation de dioxine, ce qui en augmenterait encore la production.

110. Dans une usine de recyclage du plomb, il est peu probable, pour ne pas dire impossible, que les matières premières soient présélectionnées pour éliminer les produits organiques chlorés et les métaux tels que le fer et le cuivre, à l'exception des produits organiques légers et lourds; la destruction des dioxines sera donc la méthode la plus simple d'aborder le problème:

a) comme nous l'avons déjà dit, on peut utiliser de l'air enrichi d'oxygène (O₂) ou de l'oxygène pur pour assurer la combustion complète des composés organiques, ce qui permettrait, en principe, de réduire substantiellement la formation de dioxine ;

b) on peut injecter du charbon activé dans le courant gazeux afin d'absorber les molécules organiques et, ensuite, le filtrer. La poussière doit être considérée comme une matière dangereuse ; elle ne doit pas passer directement dans les fours mais, au contraire, être incinérée dans des installations spéciales ou traitée avec le plus grand soin;

c) l'oxydation catalytique semblerait être une méthode efficace de destruction des dioxines.

111. Ces techniques et d'autres, notamment celles utilisées pour assurer la combustion complète de tous les matériaux contenus dans les fours à haute température, doivent toutes

être considérées en fonction des contraintes et des exigences spécifiques de chaque usine de recyclage. Plusieurs d'entre elles ne demandent pas d'installations spéciales et peuvent facilement être intégrées au procédé sans autres améliorations. Le système le plus rentable dépendra aussi de la sécurité, des aspects opérationnels et juridiques, de même que des facteurs économiques. On peut arriver à des niveaux d'émissions inférieurs à 0,5 ng par mètre cube en utilisant n'importe laquelle des techniques décrites ci-dessus et, en les associant, on peut facilement arriver à des niveaux inférieurs à 0,1 ng par mètre cube, ce qui serait suffisant pour protéger la santé et l'environnement.

6. QUESTIONS RELATIVES A LA SANTE

6.1 Généralités

112. On trouve, et on a toujours trouvé, du plomb en assez grande quantité non seulement dans l'environnement mais également chez l'homme. La mobilisation naturelle du plomb se produit par désagrégation de dépôts minéraux et d'émissions gazeuses; on estime, par ailleurs, que ces deux mécanismes ensemble libèrent environ 210.000 tonnes de plomb dans l'environnement chaque année et qu'ils étaient, jusqu'à l'apparition des activités humaines, la seule source de plomb dans le milieu ambiant. La concentration moyenne de plomb dans la lithosphère est d'environ 16 mg/kg mais cette valeur change par rapport à la composition spécifique des minerais locaux.

113. Comparées aux quantités mobilisées naturellement, celles que dégagent les activités humaines des sources naturelles de plomb sont beaucoup plus importantes et représentent plus de 4 millions de tonnes par an: une petite fraction retourne à l'environnement comme source de pollution alors que la plus grande partie est intégrée dans des procédés industriels.

114. Puisque le corps humain ne distingue pas d'où vient le plomb, le plomb anthropogène et le plomb naturel étant absorbés de la même manière, on peut considérer que toutes les activités humaines qui, par inadvertance, libèrent du plomb sous une forme ou sous une autre dans l'environnement viennent renforcer la source naturelle; les sources principales cependant ne changent pas et peuvent être décrites comme dans la figure 8.

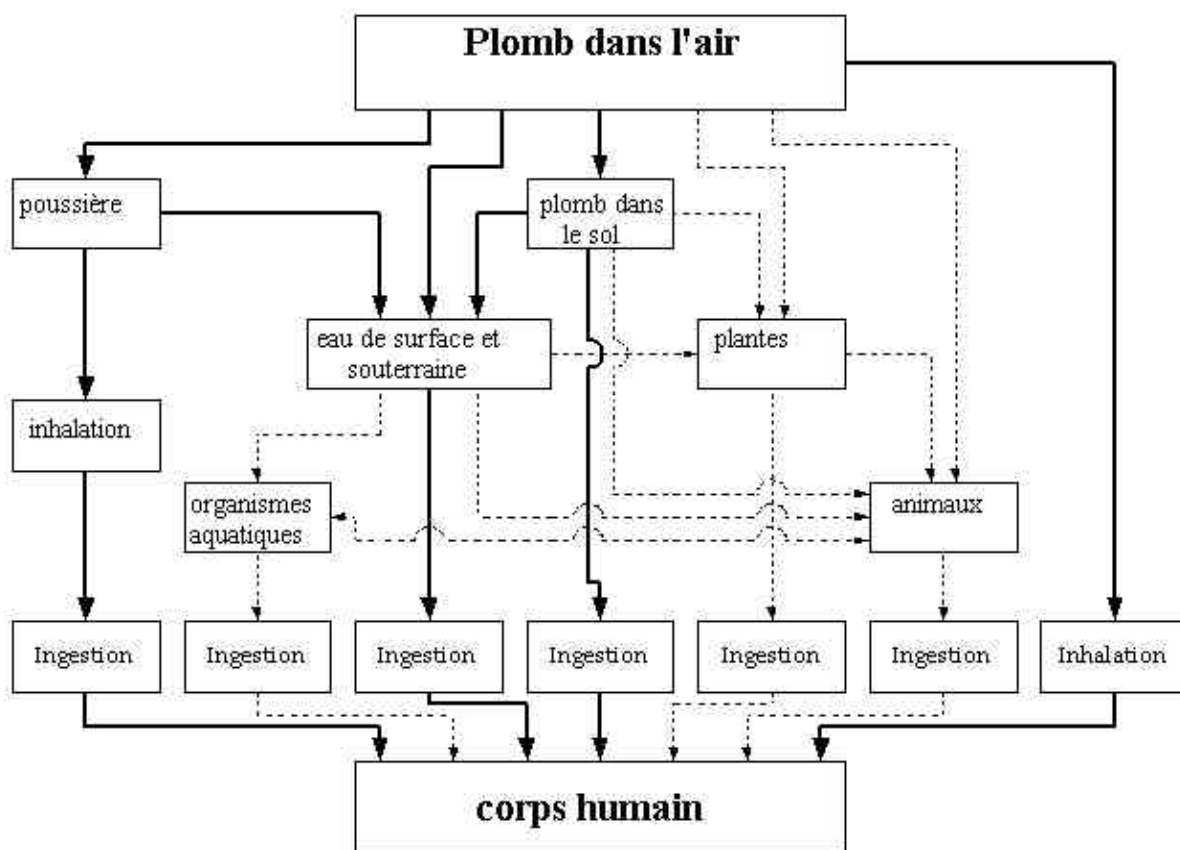


Figure 8: principales voies d'absorption du plomb par l'organisme humain

115. Ceci étant, les procédés de recyclage des batteries plomb-acide peuvent être considérés comme un amplificateur potentiel et puissant des sources naturelles de plomb si l'on ne prend pas de mesures de contrôle appropriées; leur influence peut se faire sentir sur la santé de l'homme, comme l'indiquent les lignes en gras de la figure 8 qui représentent les voies les plus importantes d'absorption du plomb par l'organisme humain.

6.2 Cinétique de la toxicité

6.2.1. *Absorption, distribution et élimination*

116. L'homme absorbe du plomb par inhalation, ingestion et par la peau bien que cette dernière possibilité ne se produise qu'en de rares occasions de pollution organique par le plomb (par exemple additifs des combustibles); elle ne sera pas traitée ici car on n'en trouve pas dans les installations de recyclage secondaire. La voie d'absorption, la taille des particules et le type de composé de plomb (organique ou inorganique) déterminent, ensemble, la concentration et la diffusion éventuelle du métal dans tout le corps. Outre ces considérations, l'absorption de plomb dépend d'autres caractéristiques individuelles tels que l'état physiologique et l'intégrité tissulaire, tous deux liés à l'âge, et d'autres facteurs tels que conditions nutritionnelles, métaboliques et anatomiques. La figure 9 donne un schéma général de la cinétique de la toxicité du plomb.

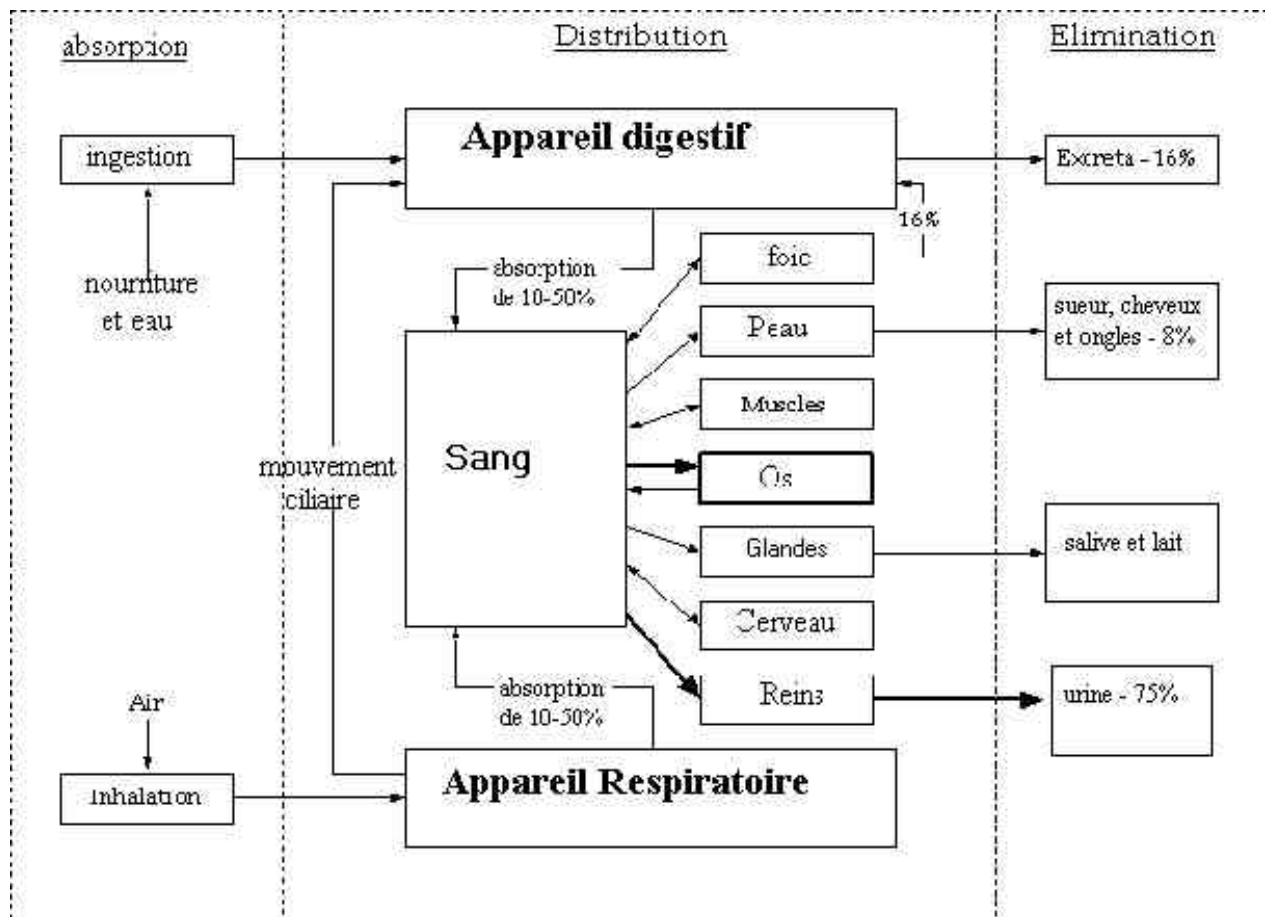


Figure 9: cinétique de la toxicité du plomb dans le corps humain

117. Sur les lieux de travail, le plomb est essentiellement absorbé par inhalation et il est responsable des risques professionnels constatés dans les usines d'affinage du plomb si les protocoles de contrôle ne sont pas suivis. Bien que l'on ne comprenne pas parfaitement le mécanisme d'absorption, 20 à 40% du plomb qui pénètre dans les voies respiratoires restent dans le corps et la plus grande partie est envoyée de l'appareil respiratoire à l'appareil gastro-intestinal par mouvement ciliaire. La quantité qui reste dans les poumons est rapidement absorbée par un processus indépendant des espèces chimiques de plomb concernées. On estime qu'une concentration de $1\mu\text{g.m}^{-3}$ de plomb dans l'air produit une concentration de $1\text{-}2\mu\text{g.dl}^{-1}$ dans la circulation sanguine.

118. L'absorption gastro-intestinale qui est la principale voie d'absorption non-professionnelle représente moins de 10% du plomb total ingéré et elle n'est pas fonction du composé de plomb; en fait, les formes inorganiques, moins facilement absorbées dans les composés d'autres métaux, sont celles qui le sont le plus dans le cas des composés du plomb.

119. Toutefois, quelle que soit la voie d'absorption, les enfants sont plus sensibles aux composés de plomb que les adultes; d'après certaines données, cette sensibilité peut être, chez l'enfant, de l'ordre de 50%, soit cinq fois supérieure à celle de l'adulte.

120. Le plomb absorbé, soit par inhalation soit par ingestion, passe dans la circulation sanguine où un équilibre s'établit rapidement entre le plasma et les globules rouges dans une proportion de 1:16. Du sang, le plomb passe dans tous les organes, en particulier dans les os qui peuvent en retenir environ 90%. Ainsi, la concentration de plomb dans le sang est le reflet

d'une exposition récente mais celle que l'on trouve dans les os correspond à une exposition cumulative.

121. L'élimination du plomb ingéré se fait principalement par les fèces, ce qui démontre le faible taux d'absorption gastro-intestinal. Par ailleurs, le plomb absorbé par le corps et intégré dans la circulation sanguine est éliminé par l'urine (75%), par les sécrétions gastro-intestinales à travers le foie (16%) et par les cheveux, les ongles et la sueur (8%). Les femmes qui allaitent peuvent également éliminer le plomb par le lait, la concentration étant assez semblable à celle du plasma.

122. La demi-vie des composés du plomb dans le corps humain est, en général, longue mais elle varie selon les tissus. En outre, il est presque impossible de déterminer ses taux d'élimination, les os pouvant en contenir une grande quantité prête à passer dans la circulation sanguine. Néanmoins, certaines demi-vies sont connues pour le sang (3-4 semaines) et pour les os (20-27 ans).

6.2.2. Toxicité et effets sur la santé

123. Le mécanisme toxique de l'empoisonnement au plomb peut être divisé en trois types: a) par sa compétition avec d'autres métaux métaboliques essentiels tels que le calcium et le zinc; b) par sa forte affinité pour les groupes sulfhydriques (-SH) dans les protéines; ceci signifie que plusieurs protéines peuvent être chimiquement modifiées et devenir plus ou moins non fonctionnelles, ayant ainsi un effet négatif sur plusieurs voies métaboliques; et c) en altérant le transport des ions essentiels dans le corps.

124. Une large gamme d'effets hétérogènes et de symptômes généraux et non spécifiques ont été décrits et associés à la contamination au plomb (voir annexe 2). Les systèmes du corps humain les plus touchés par l'exposition au plomb sont:

a) le système hématopoïétique: un des effets les plus rapides et les plus importants de la contamination au plomb dans le corps humain est l'altération de la synthèse du groupe sanguin, qui a pour conséquence une anémie résultant de la modification des globules rouges.

b) le système nerveux central (SNC): les effets du plomb sur le SNC sont beaucoup plus importants chez les enfants et des effets neuropsychologiques peuvent se produire même à des niveaux considérés comme non toxiques, par exemple $10\mu\text{g.dl}^{-1}$. Une exposition prolongée au plomb peut avoir des effets importants sur le SNC et provoquer une encéphalopathie, dite saturnisme, dont les symptômes vont de changements psychologiques et comportementaux subtils à de graves modifications neurologiques. En outre, les effets du plomb inorganique et du plomb organique sont différents.

c) le système nerveux périphérique (SNP): le plomb inorganique produit des effets nocifs sur le SNP, non seulement sur la structure mais aussi sur le comportement biochimique des nerfs. Son effet le plus caractéristique est la paralysie due au saturnisme qui se traduit surtout par un manque de force dans les mains.

125. D'autres systèmes peuvent également être touchés par la contamination au plomb: système urinaire, gastro-intestinal, cardiovasculaire, génésique, endocrinien et articulaire.

6.3. Limites d'exposition

6.3.1. *Limites au niveau professionnel*

126. La détermination de limites seuils du plomb dans l'air pour les lieux de travail ne garantit pas que des concentrations plus faibles n'aient pas d'effets nocifs pour les personnes exposées. En outre, il faut tenir compte du fait que:

a) les valeurs seuils actuelles ont été fixées dans les pays développés où les conditions de travail, de même que les conditions physiques et de santé des travailleurs, sont très différentes de celles qui existent dans les pays en développement;

b) très souvent les travailleurs sont exposés à différentes substances qui peuvent avoir des effets synergiques ou d'accoutumance (par exemple le tabac);

c) ces seuils ont été calculés pour des travailleurs adultes travaillant huit heures par jour, cinq jours par semaine, alors qu'il n'est pas rare que les journées de travail soient beaucoup plus longues dans les pays en développement, y compris pour des enfants (en particulier dans les petites entreprises familiales).

127. De plus, il est également important de considérer que la tendance générale des limites d'exposition, notamment dans les cas de contamination au plomb, s'abaisse, c'est-à-dire qu'elle devient plus restrictive au fur et à mesure que les techniques expérimentales et cliniques sont plus précises et permettent de détecter d'importants symptômes à des concentrations plus faibles de plomb dans le sang.

128. En conséquence, les limites seuils présentées ici ne doivent être utilisées qu'à titre indicatif afin de protéger ceux qui sont directement exposés; il convient par ailleurs de garder à l'esprit qu'une surveillance biologique systématique donnera une indication plus précise de ce que devraient être ces limites pour une population spécifique.

	Concentration/source
NVS *	0,2 mg.m ⁻³ (OSHA, USA, 1981)
LEB **	0,45 mg.m ⁻³ pendant 15 minutes d'exposition à la fumée et à la poussière de plomb inorganique (ACGIH, USA, 1983)
NVS - MPT *** pour le plomb inorganique	0,15 mg.m ⁻³ , valeur moyenne pour la fumée et la poussière de plomb inorganique (ACGIH, USA, 1984)
NVS - MPT pour le plomb organique	0,10 mg.m ⁻³ , valeur moyenne pour le plomb organique (ACGIH, USA)
NVS - MPT	Variable de 30-60 µg.m ⁻³ , 60 µg.m ⁻³ , pour les hommes pubères; 40 µg.m ⁻³ , pour les femmes pubères (OMS, 1980)

* Niveau de la valeur du seuil; ** Limite d'exposition brève; *** Niveau de la valeur du seuil - moyenne pondérée de temps

Tableau 1 : limites d'exposition au plomb sur les lieux de travail

129. Les marges de risque ont également été calculées pour les concentrations de plomb dans le sang (tableau 2)

	Niveau du risque			
	Normal	Acceptable	Excessif	Dangereux
Concentration de plomb dans le sang ($\mu\text{g.dl}^{-1}$)	< 30	30-40	40-60	> 60

Tableau 2 : Niveaux de risque d'exposition au plomb selon la concentration de plomb dans le sang

6.3.2. Limites au niveau de l'environnement

130. Les limites environnementales ont été fixées conformément aux concentrations que l'on a trouvées dans le monde et pour lesquelles aucun effet nocif sur la santé de la population n'a été constaté. Par ailleurs, contrairement aux limites d'exposition professionnelle qui ont fait l'objet d'études approfondies, les limites environnementales en nécessitent d'autres. Elles pourraient donc être modifiées à l'avenir lorsque les relations existant entre le plomb et l'environnement seront mieux comprises et que l'inventaire des sources d'exposition au plomb sera plus complet.

131. Les limites d'exposition non professionnelle au plomb sont les suivantes :

Source	Limite
Eau potable	0,005 mg.l^{-1} (OMS, 1984)
Sol	Jusqu'à 25 mg.kg^{-1}
Aliments	3 $\text{mg/personne/semaine}$ (FAO/OMS 1972 et 1978)
Air	2 $\mu\text{g.m}^{-3}$ - concentration annuelle moyenne (CE, 1987)
Air	0,7 $\mu\text{g.m}^{-3}$ (URSS, 1978)
Air	2 $\mu\text{g.m}^{-3}$ (EPA, USA)

Tableau 3 : limites environnementales de l'exposition au plomb

6.4 Prévention et contrôle

6.4.1. Mesures de prévention et de contrôle proposées

132. Du point de vue de la santé, les mesures de prévention proposées sont à appliquer dans le milieu professionnel afin d'éviter que les travailleurs exposés au plomb subissent les effets nocifs de la contamination. Les mesures proposées les plus importantes sont les suivantes :

- a) considérer tout matériel contenant du plomb comme une source possible de contamination pour l'environnement et l'homme;
- b) appliquer les règlements nationaux de sécurité industrielle sur les lieux de travail;
- c) interdire de manger et de fumer à l'intérieur des zones de travail;

d) interdire aux enfants et aux femmes enceintes de travailler dans des usines de recyclage du plomb;

e) entreprendre la mise au point de programmes d'enseignement et d'information;

f) imposer un équipement de protection individuel sur les lieux de travail comprenant au moins: a) un vêtement de protection efficace; b) le nettoyage journalier des vêtements utilisés; c) des masques de protection qui peuvent varier selon la concentration moyenne de plomb dans l'air;

g) contrôler les concentrations de plomb dans l'environnement professionnel;

h) exiger un contrôle médical périodique pour les travailleurs exposés au plomb.

6.4.2. Contrôle médical proposé

133. Les éléments les plus importants et les données que devrait rechercher un médecin lorsqu'il traite des travailleurs exposés au plomb sont les suivants:

a) anamnèse générale du patient;

b) description de l'emploi afin d'identifier d'autres sources d'exposition;

c) anamnèse personnelle des maladies du sang et de la nutrition;

d) anamnèse neurologique;

e) rapport de l'examen médical précédant l'admission de l'employé;

f) examen complet du sang;

g) détermination du plomb dans le sang, ALA-U et ZnPP;

h) examen des reins et analyse d'urine;

i) électrocardiogramme afin d'évaluer les fonctions cardiaques;

j) accorder une attention particulière aux travailleurs qui fument et qui boivent ou qui sont également exposés à d'autres agents dangereux ou toxiques.

134. Il convient d'insister sur le fait que les procédures ci-dessus, non seulement les mesures de prévention et de contrôle proposées mais également le contrôle médical envisagé, devraient être appliquées afin de fournir un tableau aussi clair que possible de la situation. Il ne faut pas oublier que l'exposition et la contamination au plomb donnent parfois lieu à des erreurs; plus on aura de données, meilleur sera le diagnostic.

135. Sur la base des données ci-dessus, il est donc possible de déterminer l'incapacité temporaire du travailleur qui montre des signes d'intoxication, à condition qu'un programme

de conseils approprié soit mis en place pour lui indiquer la meilleure façon de réduire les niveaux de son exposition au plomb.

6.4.3. Périodicité des contrôles

136. Afin de déterminer la périodicité du contrôle des différents niveaux de substances dans le corps humain, il faut avoir à l'esprit au moins les caractéristiques locales suivantes:

- a) conditions générales de travail;
- b) toxicité de la (des) substance(s) considérée(s);
- c) concentration de la (des) substance(s) dans l'environnement;
- d) intensité de l'exposition;
- e) fréquence de l'exposition;
- f) degré de protection personnelle (c'est-à-dire utilisation d'un équipement de protection personnel)
- g) type de l'indicateur de contamination étant donné qu'il en existe plusieurs et que chacun est conçu pour détecter et poser un diagnostic différent.

137. Cependant, si les conditions de travail se détériorent, une plus grande fréquence des contrôles s'impose. L'expérience montre que, mis à part les examens d'admission, des examens médicaux annuels sont un minimum. Lorsque l'on décèle des situations aggravées ou critiques, leur périodicité peut aller jusqu'à un examen par mois.

7. MESURES ESSENTIELLES A LA MISE EN OEUVRE DES PROGRAMMES DE RECYCLAGE DU PLOMB

7.1 Déterminer et définir les priorités des pays

138. Le premier pas dans la voie de la gestion écologiquement rationnelle des déchets de batteries au plomb et acide consiste, pour un pays, à déterminer ses priorités. Selon sa situation en ce qui concerne la gestion des déchets et les matières premières, la meilleure solution pourrait au départ être l'une des suivantes:

a) recyclage à l'extérieur - les déchets des batteries au plomb et acide seront ramassés et entreposés provisoirement dans le pays, puis exportés vers un autre pays en vue de leur recyclage;

b) recyclage à l'intérieur - les déchets des batteries au plomb et acide seront ramassés, transportés et recyclés à l'intérieur du pays;

c) solutions régionales - un accord régional ou sous-régional est adopté en vue de gérer les déchets de batteries au plomb et acide en utilisant au mieux les ressources et les compétences locales ou régionales.

139. Malgré tout, une fois que le pays a défini ses priorités, la solution qui répond le mieux à ses besoins peut reposer sur deux ou plusieurs des options mentionnées ci-dessus. Ainsi, un pays ayant une forte densité de population et des régions éloignées adoptera peut-être un système dans lequel les déchets de batteries seront transportés des régions éloignées jusqu'aux installations de recyclage qui pourraient être situées dans les zones urbaines peuplées. Un tel système pourrait bénéficier des avantages offerts par les stratégies de recyclage à l'intérieur et à l'extérieur du pays. De telles adaptations, cependant, exigent un diagnostic très précis de la position du pays en matière de gestion de ses déchets, notamment les avantages économiques des activités de recyclage du plomb, étant donné qu'il est de la plus haute importance que les procédés de recyclage soient économiquement attrayants.

7.1.1. Recyclage à l'étranger

140. C'est l'option retenue lorsqu'il n'existe pas d'installations de recyclage écologiquement rationnel dans le pays ou si celui-ci est si étendu, un archipel par exemple, qu'il n'est pas économique d'installer de petites unités de recyclage. Dans ce cas, il conviendrait d'adopter des stratégies mettant l'accent sur des réseaux de collecte et de transport convergeant vers le(s) centre(s) d'entreposage. Ces centres devraient être situés dans des endroits stratégiques afin de faciliter le chargement des véhicules qui doivent transporter les batteries au plomb et acide usées au delà des frontières, en tenant compte des directives techniques déjà exposées pour le stockage et le transport.

7.1.2. Recyclage à l'intérieur

141. Les pays ayant sur leur territoire des installations de recyclage écologiquement rationnel devront adopter des stratégies et des politiques propres à définir le cadre juridique du ramassage, du transport et du recyclage des batteries au plomb et acide usées. Les cadres politiques et les incitations économiques peuvent varier en fonction des objectifs du pays, de ses priorités et des buts visés par sa gestion des déchets de batteries au plomb et acide.

7.1.3. Solutions régionales

142. Si, dans une région, deux pays ou plus ne disposent pas de facilités adéquates de recyclage écologiquement rationnel alors qu'il en existe dans un autre ou dans plusieurs, une solution pourrait être envisagée au niveau régional. Un exemple de ce type de mesure est le programme actuellement à l'étude dans les Caraïbes et l'Amérique centrale où plusieurs pays de la région se sont intéressés aux conséquences pour l'environnement d'une gestion

écologiquement rationnelle, au niveau national et sous-régional, des batteries plomb-acide usées

143. La région comprend un nombre relativement grand de petits pays avec des marchés intérieurs restreints pour les batteries au plomb et acide pour véhicules et usages industriels. Pratiquement toutes les batteries utilisées sont importées sous forme de produits manufacturés mais, lorsqu'elles sont usées, elles sont jetées et deviennent des déchets dangereux assujettis à des règlements commerciaux et environnementaux restrictifs. Bien que la Convention de Bâle encourage la gestion des déchets dangereux au niveau national et qu'elle plaide en faveur de réduire les mouvements transfrontières au minimum, la petite taille des marchés intérieurs ne supporte pas l'installation et l'exploitation de facilités viables de recyclage dans chaque pays. Par conséquent, une approche régionale permettant de mettre les ressources en commun et d'optimiser les économies d'échelle est la solution la plus durable et donc la meilleure.

144. Les résultats de tels programmes devraient être:

a) l'élaboration de stratégies nationales pour la gestion écologiquement rationnelle des batteries plomb-acide et leur intégration dans une stratégie régionale comportant le développement de moyens politiques et d'instruments économiques;

b) la définition de prescriptions et de normes pour un programme avancé de coopération régionale ou un protocole pour la gestion écologiquement rationnelle de ces déchets;

c) la création de conditions permettant aux membres de la région de partager informations, technologie et expériences;

d) le développement de mesures politiques et économiques en vue de faire face à des spécialistes du recyclage indisciplinés opérant dans le secteur "informel" de la récupération secondaire du plomb.

7.2. Mise en place de systèmes de collecte: plans directeurs

145. Les aspects techniques des mesures de pré-recyclage décrites précédemment sous le point 3 des présentes lignes directrices et comprenant la collecte, le transport et l'entreposage doivent rentrer dans un cadre politique permettant d'identifier les protagonistes, les responsabilités et les motivations financières afin d'en assurer la viabilité à long terme. Ce cadre politique est nécessaire pour:

a) réduire la production de déchets;

b) offrir les moyens nécessaires à

i) la recherche sur les possibilités de prolonger la durée des batteries;

ii) la recherche sur l'emploi d'autres technologies en alternative aux batteries;

iii) l'adoption de technologies de recyclage non polluantes.

c) optimiser la récupération du plomb afin qu'elle soit économique et respectueuses de l'environnement:

- i) en rendant les opérations de recyclage écologiquement rationnelles, économiquement efficaces et socialement acceptables;
- ii) en prenant des mesures à court et moyen terme pour améliorer le rendement des petites fonderies;
- iii) par l'intégration graduelle du secteur informel dans une stratégie nationale de recyclage du plomb;
- iv) par l'augmentation du volume de collecte et la réduction de son coût;
- v) en améliorant l'accès aux sources nationales de plomb;

d) considérer la mise en oeuvre de cette stratégie comme un processus consultatif et concernant plusieurs parties prenantes.

146. Quelques principes importants à respecter pour la mise en oeuvre des systèmes de ramassage sont les suivants:

a) partir du principe fondamental que la participation des consommateurs est la pierre angulaire de la réalisation de tous les programmes. Par conséquent, les consommateurs devraient être informés de la possibilité de recyclage des batteries au plomb et acide, des procédures à suivre pour retourner les batteries usées au détaillant, de la façon dont elles sont entreposées en attendant d'être expédiées au centre de ramassage et de l'emplacement de ces centres.

b) interdire les destinations écologiquement douteuses;

c) autoriser les détaillants à collecter et à stocker provisoirement les batteries au plomb et acide usées à condition qu'ils disposent d'emplacements d'entreposage appropriés et conformes aux présentes directives techniques. Un ensemble minimum de caractéristiques propres à chaque pays pourrait être défini dans sa législation et d'autres dispositions devraient être prises pour encourager et faire respecter (le cas échéant) ces mesures de protection de l'environnement, par exemple inspection régulière des lieux de stockage. Le système d'octroi de licence devrait être considéré comme une ressource et l'information utilisée pour publier une carte du réseau de ramassage;

d) les fonderies devraient avoir une autorisation et adopter les meilleures technologies disponibles s'il faut les installer ou modifier leurs procédés et/ou pratiques opérationnelles afin d'arriver à un niveau élevé de protection de l'environnement. Un contrôle permanent des émissions est aussi recommandé;

e) la mise en commun des ressources devrait être considérée comme une solution aux contraintes budgétaires puisque de tels arrangements diminuent les frais opérationnels. Si cela est opportun, un ensemble de règlements pourrait être mis en place pour ces associations.

147. Plusieurs modèles de systèmes de collecte ont été développés dans le monde afin de répondre aux besoins spécifiques des pays, en prenant en considération la dimension du pays, le réseau de transport existant, les taxes locales, etc. et il semble qu'il y ait une tendance générale à élaborer une législation fondée sur le principe de la responsabilité du producteur. Certains de ces modèles sont décrits ci-après par ordre croissant de complexité.

7.2.1. Système simplifié de retour-distribution

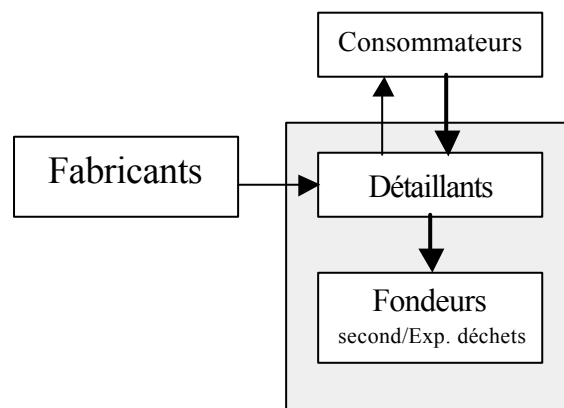


Figure 10 - Système simplifié de retour-distribution

148. C'est le modèle le plus simple possible dans le cadre du système de retour-distribution mis au point par certains pays et il est mieux adapté aux petits pays ou aux pays insulaires où les fonderies secondaires sont situées relativement près des centres de ramassage. Ce système repose essentiellement sur le principe que les détaillants sont les centres de ramassage des batteries usées et que, lorsqu'il échange une vieille batterie, le consommateur la laisse au détaillant qui l'entreposera correctement jusqu'à ce qu'elle soit transportée à la fonderie. Dans ce modèle, l'exportateur de déchets peut assumer le rôle du fondeur si le pays choisit d'exporter ses batteries usées au lieu de donner un permis à une installation de recyclage.

149. Le système reposant sur l'hypothèse que les détaillants sont en contact direct avec le fondeur/exportateur, la zone géographique, dans un tel scénario, devrait être limitée. La mise en oeuvre d'un tel système résulterait donc généralement de l'absence d'une infrastructure de transport qui existe par contre dans le suivant et elle poserait certainement de sérieux problèmes lorsque la zone géographique est étendue.⁴

150. Il y a quelques points réglementaires importants à prendre en compte:

a) des normes relatives au transport devraient être appliquées afin de rendre le réseau de transport "informel" écologiquement rationnel;

⁴ Evidemment "étendue" est assez subjectif dans ce cas et un diagnostic devrait être posé afin de déterminer si les vendeurs peuvent mener à bien leurs activités sans être entravés par les distances, les taxes et autres contraintes. Il peut également être mis en oeuvre au niveau sous-régional.

b) s'il n'y a pas de fondeur autorisé et si un recyclage efficace passe par l'exportateur de déchets, celui-ci devrait non seulement avoir une autorisation et respecter un niveau élevé de protection de l'environnement dans toutes ses installations d'entreposage (qui pourrait durer assez longtemps selon la demande de batteries) mais il devrait également fournir une liste détaillée de ses procédures opérationnelles et décrire ses activités et celles de ses partenaires dans d'autres pays afin de faciliter la tâche des pouvoirs publics au niveau régional.

7.2.2. Systèmes de collecteurs

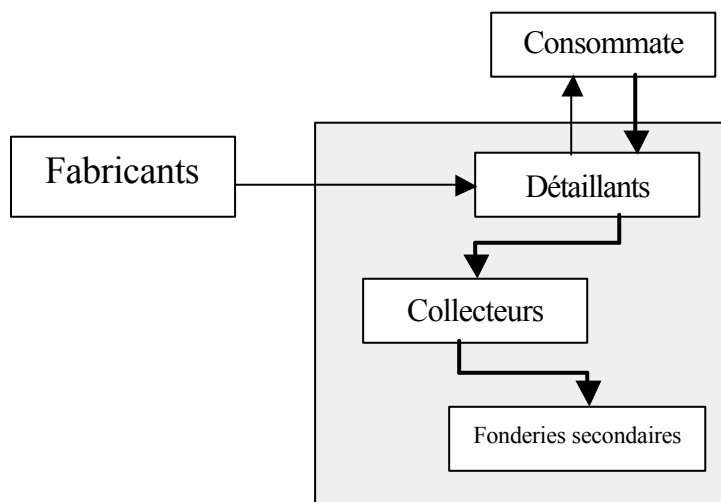


Figure 11 - Système de collecteurs

151. Sur la base des modèles réalisés en Angleterre et en Allemagne, ce système s'appuie sur le fait que, après le ramassage des batteries plomb-acide usées par les détaillants, ceux-ci passeront par un réseau de collecte spécialisé qui en assurera le transport jusqu'aux fonderies. A la différence du système décrit ci-dessus, dans celui-ci, le rôle joué par les collecteurs garantit que les coûts de transport ne seront pas entièrement à la charge des détaillants. De plus, étant donné la spécialisation toujours plus grande des activités, des normes écologiques plus strictes peuvent être appliquées pour le transport. La disposition législative la plus importante du système est le contrôle du réseau de collecte et de transport et celui des protagonistes qui y participent.

152. Etant donné que ce système fait appel à un plus grand nombre de protagonistes, il peut être réalisé dans une région plus étendue et, par conséquent, il serait valable pour des pays de taille moyenne.

153 Malgré cela et étant donné la perspicacité dont font habituellement preuve les détaillants, ce système pourrait aussi être réalisé dans de petits pays et des îles sans qu'il soit nécessaire de modifier considérablement sa structure.

7.2.3. Système de retour organisé par les fabricants

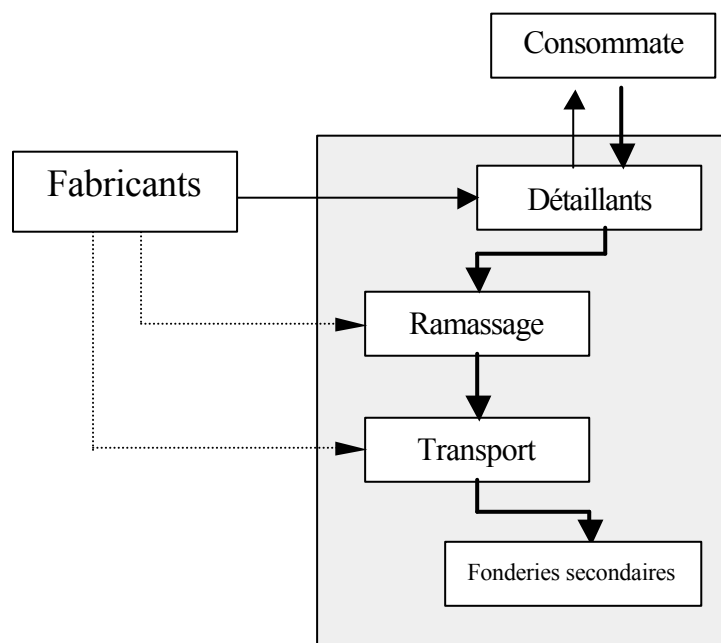


Figure 12 - Système de retour organisé par les fabricants

153 Tout comme ceux utilisés au Japon et au Brésil, ce système prévoit que les fabricants de batteries seront indirectement responsables de la collecte et du transport des batteries au plomb et acide usées. Il diffère de celui décrit précédemment de trois façons :

- a) les fabricants seront responsables de la planification et de la mise en œuvre de la logistique du retour des batteries usées de façon à ce qu'elles puissent être livrées aux fonderies secondaires;
- b) deux acteurs différents interviennent dans la collecte et le transport des batteries au plomb et acide usées;
- c) il existe un lien entre les responsables du ramassage et du transport et les fabricants.

154. Ainsi, bien que les fabricants ne soient pas directement concernés par la collecte et le transport des batteries plomb-acide usées, ils ont la responsabilité de fournir les moyens nécessaires afin que ces étapes se déroulent dans le respect de normes écologiques rigoureuses.

155. Le système de retour organisé par les fabricants est dans l'idéal mis en œuvre dans les pays où il existe déjà un réseau de collecte important mais assez peu discipliné et/ou mal

réglementé. Une mesure logique comme celle-ci bénéficierait à tous en formalisant une infrastructure assez mal organisée et en offrant un cadre juridique propre à permettre de déterminer ceux qui sont concernés et leurs responsabilités.

7.2.4. *Système de retour-distribution*

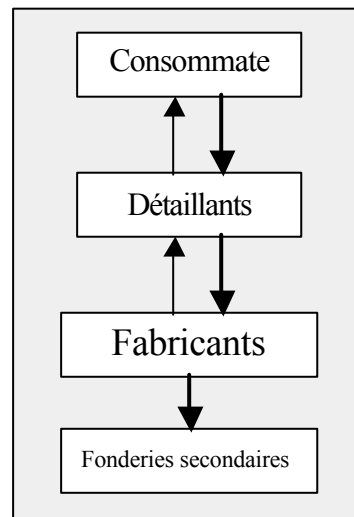


Figure 13 - Système de retour-distribution

156. Fondé sur le système français et américain, ce modèle est un système de retour-distribution intégral dans lequel les fabricants interviennent directement dans la collecte et le transport.

157. On peut considérer qu'il s'agit du système de collecte le mieux contrôlé. Un cadre juridique très restrictif pourrait être prévu afin d'englober toutes les étapes de la chaîne de recyclage. Un programme éducatif et de sensibilisation à l'environnement est également une étape indispensable si l'on veut que ce programme soit vraiment efficace.

7.3. Amélioration de la communication

158. Malgré l'importance des procédés de recyclage du plomb, ils sont généralement considérés comme une source potentielle de contamination de l'environnement et d'exposition de la population au plomb. En conséquence, les usines de transformation secondaire du plomb sont souvent mal vues des communautés voisines. Ce phénomène peut se produire même lorsqu'une entreprise adopte les normes les plus élevées qui soient de protection de l'environnement si elle n'arrive pas à le faire comprendre à la communauté locale et à sa main d'œuvre. Des programmes efficaces de sensibilisation communautaire peuvent permettre de dissiper toute méfiance entre la communauté locale et un responsable du recyclage.

159. Dans le cadre d'un projet de sensibilisation, le dialogue et la communication devraient être honnêtes et ouverts, en particulier lorsqu'il s'agit d'apprécier et de résoudre des

problèmes. Ce principe devrait s'appliquer dans tous les cas et pour aussi peu satisfaisante que semble être la situation de façon à ce que la société reste crédible, qu'elle gagne le respect de la communauté et que celle-ci lui fasse confiance.

160. Toute population qui travaille ou vit à proximité d'une usine de transformation secondaire du plomb est, tout comme l'environnement, susceptible d'être exposée au plomb. Il est donc évident que les objectifs de tout projet de sensibilisation doivent comprendre un programme de soins communautaires et des contrôles biologiques et environnementaux réguliers afin que les conséquences de tout résultat négatif soient bien comprises et que les mesures appropriées soient prises. Il est également essentiel que l'éducation figure au premier plan de tout programme de sensibilisation.

161. Avant de faire le premier pas dans la voie d'un engagement communautaire, il est important de répertorier les points communs de préoccupation et d'intérêt afin de faciliter l'établissement de relations de coopération. Ces points seront vraisemblablement les suivants:

- a) santé et sécurité de la population, à l'intérieur et à l'extérieur du lieu de travail, y compris exposition des enfants au plomb;
- b) protection de l'environnement, en particulier gestion des déchets y compris traitement de l'effluent et élimination des résidus solides;
- c) mesures susceptibles de favoriser la viabilité de l'entreprise et des emplois durables.

162. La communauté et les représentants de l'entreprise devraient partager équitablement les responsabilités de la coordination des rapports à présenter dans ces domaines d'intérêt commun, étant entendu qu'il est essentiel que chacun soit le partenaire de l'autre et que les deux s'aident réciproquement. Il est important que toutes les décisions prises et les questions discutées soient portées à la connaissance de tous si l'on veut que la direction de l'entreprise et les membres de la communauté qui ne sont pas directement impliqués dans un programme de sensibilisation soient tenus au courant. Il conviendra à cet effet de:

- a) établir des compte-rendus et un bref rapport de toutes les réunions, décisions et mesures envisagées susceptibles d'avoir des répercussions pour l'entreprise ou la communauté;
- b) publier des données, des informations et les compte-rendus des réunions à l'intention du public;
- c) veiller à ce que des vérifications indépendantes des expositions professionnelles et environnementales, tant au niveau de l'entreprise qu'à celui de la communauté, soient effectuées par des organisations réputées telles que les universités locales ou d'autres organismes d'experts.

163. Mais pour que leur contribution à tout projet d'engagement communautaire soit valable et durable, il faut que toutes les personnes concernées

- a) connaissent et comprennent les problèmes essentiels, la technologie, les effets sur la santé de l'exposition au plomb, les besoins et les priorités de la communauté locale au

niveau social, les programmes des pouvoirs publics et les facteurs économiques qui ont une influence sur le recyclage;

b) n'évitent pas les problèmes, pour aussi insolubles qu'ils semblent être, mais qu'elles recherchent des informations sur les antécédents, prévoient les difficultés et demandent l'aide d'autres experts en la matière et celle des parties concernées au niveau local afin de trouver des solutions;

c) partagent librement leurs préoccupations et leurs connaissances pour mieux comprendre;

d) il est surtout important d'appliquer les règles pendant les réunions car l'écoute est d'importance capitale et il faut que tous ceux qui sont concernés soient sensibles aux besoins de la communauté et de l'entreprise de recyclage.

164. Des études de cas réalisées, on peut conclure que les éléments essentiels au succès sont entre autres les suivants:

a) les parties concernées sont déterminées à atteindre et répertorier les objectifs des projets sur lesquels elles sont d'accord;

b) la communication entre elles est honnête, ouverte, franche et fréquente;

c) les objectifs sont réalistes et convenus entre toutes les parties concernées, les mesures envisagées étant nettement axées sur eux et sur les moyens de les atteindre;

d) les responsabilités pour chacun des aspects du programme sont clairement définies et réparties d'un commun accord;

e) les objectifs concernant la santé de la population et l'environnement local sont fondés sur une gestion rationnelle, un dialogue constructif et des mesures concertées de façon à ce que les résultats obtenus soient durables.

8. BATTERIES AU PLOMB ET ACIDE ET DONNEES STATISTIQUES RELATIVES AU PLOMB

8.1. Plomb primaire (ou d'extraction)

8.1.1. *Plomb primaire : Production mondiale de minerai concentré*

Tableau 4 : production minière mondiale de concentrés de plomb, 1998 - 1999

Production minière (milliers de tonnes)		
	1998	1999
Australie	618	681
USA	493	520
Chine	580	501
Pérou	260	273
Canada	190	160
Mexique	166	120
Suède	114	115
Autres pays	659	650
Total	3.080	3.020

8.1.2. *Plomb primaire : Production mondiale de plomb métallique*

Tableau 5 : production mondiale de plomb primaire, 1998 - 1999

Production de plomb primaire (milliers de tonnes)		
	1998	1999
Chine	665	730
USA	337	350
Australie	173	240
Royaume-Uni	185	185
Allemagne	140	174
Canada	130	146
République de Corée	133	140
Japon	144	125
Mexique	163	120
Autres pays	820	800

Total	2.890	3.010
-------	-------	-------

8.1.3. Plomb primaire : Consommation mondiale de plomb métallique

Tableau 6 : consommation de plomb métallique par continent, 1996 - 1999

	Total annuel (milliers de tonnes)			
	1996	1997	1998	1999
Europe	1.942	1.968	1.952	1.999
Afrique	120	121	132	127
Amérique	2.056	2.085	2.177	2.245
Asie	1.795	1.770	1.673	1.810
Océanie	74	70	64	64
Total	5.987	6.014	5.998	6.245

8.1.4. Plomb primaire: utilisations du plomb métallique

165. La fabrication de batteries est de loin le produit fini le plus important à base de plomb, elle représente environ 70% de la consommation mondiale. La rationalisation des schémas de la consommation mondiale avec une utilisation moindre du plomb pour des raisons écologiques pourrait porter la part du secteur des batteries à plus de 80% dans un proche avenir. Néanmoins, cette proportion varie grandement suivant les régions.

Tableau 7 : utilisations de plomb métallique, 1999

Utilisation	Pourcentage
Batteries en plomb	71
Pigments	12
Extrusions	7
Munitions	6
Gaines de câble	3

166. Néanmoins, alors que la part des batteries varie grandement suivant les régions, 70% en moyenne de tout le plomb utilisé par an en Europe sert à produire des batteries d'automobiles. Aux Etats-Unis, plus de 80% de la production de plomb est destinée à la production de batteries DEA.

Tableau 8 : consommation de plomb métallique dans les batteries, 1993

Pays	Pourcentage
USA	83
Japon	69
France	65
Allemagne	56
Italie	46
Royaume-Uni	34

8.2. Plomb secondaire (ou de récupération)

8.2.1. Production de plomb secondaire

Tableau 9 : production mondiale de plomb secondaire, 1999

	Production de plomb secondaire (milliers de tonnes)	
	1998	1999
USA	1.120	1.110
Allemagne	194	200
Japon	158	168
Royaume-Uni	165	163
France	215	150
Italie	177	140
Chine	92	129
Canada	136	117
Autres pays	623	633
Total	2.880	2.810

8.2.2. Plomb secondaire: pourcentage de plomb secondaire dans la production nationale

167. Plusieurs pays dépendent exclusivement de la production de plomb secondaire: Autriche, Brésil, Colombie, République tchèque, Irlande, Jamaïque, Malaisie, Pays-Bas, Nouvelle Zélande, Pakistan, Philippines, Portugal, Slovénie, Afrique du Sud, Espagne, Suisse, Thaïlande, Trinité-et-Tobago et Ukraine.

Tableau 10 : pourcentage de production de plomb secondaire, 1999

	Plomb primaire	Plomb secondaire	Total	% plomb secondaire
Argentine	0,4	32	32,4	98,8
Algérie	0,9	6,1	7,0	87,1
Iran	9	38	47	80,8
USA	350	1.110	1.460	76,0
Italie	75	140	215	65,1
Japon	125	168	293	57,3
France	119	150	269	55,7
Allemagne	174	200	374	53,5
Turquie	4	4	8	50,0
Autres pays	2167	1.042	3.209	32,5
Total	3.010	2.810	5.820	48,3

8.3. Batteries au plomb et acide

8.3.1. Batteries au plomb et acide - Production annuelle

Tableau 11 : estimation de la production de batteries plomb-acide pour automobiles

Pays/région	Production (millions)	Pourcentage du total
USA	117	40,3
Europe	87	30,0
Japon	36,2	12,5
Autres pays	49,8	17,2
Total	290	100

8.3.2. Batteries plomb-acide: utilisations

Tableau 12 : utilisations des batteries plomb-acide (% du marché mondial), 1995

Type	Europe	USA	Japon	Autres	Total
Automobile	19.0	30	9.0	13.0	71
Industriel	13.0	8	2.0	1.0	23
Générique	1.2	2	1.5	0.3	5
Total	33.2	40	12.5	14.3	100

168. Le nombre de batteries pour automobiles produit annuellement dans un pays dépend de plusieurs facteurs:

- a) taille et caractéristiques du parc des véhicules;
- b) production de véhicules et nombre de batteries par véhicule;
- c) durée de vie moyenne de la batterie;
- d) comportement du marché intérieur et son potentiel d'exportation: importation et exportation de véhicules, nouvelles batteries, débris de batteries, autres fragments de plomb, concentré de plomb, plomb raffiné et autres produits en plomb.

Tableau 13 : Utilisation de batteries plomb-acide en Europe (milliers de tonnes), 1995

Pays	Voiture	Moteur	Réserve	VRB*	Générique	Total
Allemagne	128	24	18	7	5	182
France	113	18	15	6	3	155
Royaume-Uni	58	29	13	15	9	124
Italie	90	11	12	4	1	118
Espagne	66	8	3	1	-	78
Scandinavie	57	12	7	1	-	77
Autres	29	5	2	1	-	37
Total	541	107	70	35	18	771

%	70	14	9	5	2	100
---	----	----	---	---	---	-----

8.3.3. Batteries plomb-acide : durée de vie

169. Bien que, dans les pays en développement, la durée des batteries plomb-acide n'ait pas fait l'objet d'études systématiques, on estime que, dans ces régions, elle est en moyenne de 20 à 24 mois. Des données plus précises existent pour les pays développés.

Tableau 14 : estimation de la durée utile des batteries automobiles, 1995

Pays/région	Durée (années)
Europe occidentale	5,3
Canada	5,0
Japon	4,5
Australie	3,1
Etats-Unis	3,0
Brésil	2,4
Inde	1,8

8.3.4. Batteries plomb-acide: composition

170. Les batteries plomb-acide sont constituées d'une partie organique représentée par le conteneur, le couvercle et les séparateurs de plaques et d'une partie non organique représentée par les bornes en plomb, les bandes de connexion des éléments, les électrodes positives et négatives et l'électrolyte. Une description quantitative de ces parties est donnée ci-dessous.

Tableau 15 : composition des batteries pour véhicules et traction

Matériel recyclable	Montant (kg)	
	Batteries de véhicules *	Batteries de traction**
Plomb	8.4	262.7
Plastique	1.1	35.4
Electrolyte	3.8	83.5
Acier	-	58.4
Cuivre	-	1.7
Poids total	13.3	441,7

* Batteries de 12V, 44AH, 220A **Batteries de 24V, 500Ah, 43 535 DIN

Tableau 16 : pourcentage moyen de la composition des batteries DEA au plomb et acide

Composant	% en poids
Sels et oxydes de plomb	50
Acide	24
Plomb métallique	17
Plastique	5
Ebonite et séparateurs	4

Total	100
-------	-----

Tableau 17 : concentration de métal dans l'électrolyte des batteries plomb-acide

Métal	Concentration (mg.d/-l)
Plomb, en particules	60-240
Antimoine	20-175
Fer	20-150
Calcium	5-20
Zinc	1-13.5
Plomb, dissous	1-6
Arsenic	1-6
Etain	1-6

9. CONCLUSIONS

171. Dans les chapitres précédents, nous avons abordé plusieurs questions importantes concernant le recyclage des batteries plomb-acide usées: historique, aspects techniques, constitution, aperçu général des méthodes de recyclage, mesures de contrôle et de surveillance, questions sanitaires, etc. Une étude complète des procédés de recyclage du plomb exigerait, cependant, que l'on approfondisse l'examen des procédés industriels, des facteurs économiques, des aspects sociaux et autres, ce qui ne relève pas du champ d'application des présentes directives.

172. Il convient, cependant, d'indiquer certains des objectifs que pourrait éventuellement viser une analyse plus poussée:

a) certains signes portent à croire qu'il serait possible d'améliorer encore la capacité de recyclage des batteries plomb-acide en modifiant leur conception, c'est-à-dire la composition du boîtier en plastique, celle des électrodes de plomb, l'état physique de l'électrolyte, etc. Ces changements doivent, cependant, être le résultat des efforts conjoints des producteurs, des spécialistes du recyclage et des gouvernements;

b) d'autres indicateurs de performance tels que les évaluations technologiques (ET), l'analyse du cycle de vie (ACV), l'évaluation du risque (ER), la vérification écologique (VE) et le système de gestion de l'environnement (SGE) devraient être adoptés et utilisés pour améliorer la protection de la santé et de l'environnement;

c) les normes internationales, telles que celles de la série 14000 de l'ISO, devraient être suivies;

d) l'élaboration et l'adoption de règlements et de mécanismes spécifiques en matière d'éco-étiquetage par exemple devraient être considérées comme des facteurs importants;

e) il faut bien se rendre compte que la planification, la conception des règlements et les méthodes de contrôle dépendent tous de la disponibilité de données. Par conséquent, il est de la plus haute importance d'avoir des données pour guider et aider les décideurs, et il conviendrait de réunir des moyens pour en produire, par exemple analyse chimique, surveillance de l'environnement, indices historiques sur le plomb, etc.

173. Enfin, il faut comprendre que le recyclage du plomb est profondément ancré dans des considérations économiques et sociales dont relèvent plusieurs problèmes et plusieurs solutions qui n'ont pas été traités dans les présentes lignes directrices et ne pouvaient pas l'être. Il conviendrait donc d'établir une carte contextuelle spécifique englobant la politique locale, les aspects économiques et sociaux, les marchés locaux et internationaux, etc. et d'intégrer dans ce contexte l'usine de recyclage du plomb. Il ne faut considérer comme allant

de soi aucune des solutions proposées ici et aucune des orientations données mais il faut, au contraire, les analyser à la lumière de ce contexte et des possibilités qu'il offre.

ANNEXE I - EIE : STRUCTURE RECOMMANDÉE

1. DESCRIPTION REGIONALE

- 1.1 Description générale de l'environnement du site
 - 1.1.1 Caractéristiques géographiques*
 - 1.1.2 Caractéristiques climatiques*
 - 1.1.3 Contexte socio-économique et occupation des sols*
- 1.2 Description générale des environs du site
 - 1.2.1 Description de l'environnement physique*
 - 1.2.2 Description de l'environnement naturel*
 - 1.2.3 Identification et quantification des déchets et des émissions existants*
- 1.3 Services existants à proximité du site
 - 1.3.1 Services publics*
 - 1.3.2 Urbanisme*
 - 1.3.3 Occupation des sols*
- 1.4 Ressources hydriques
 - 1.4.1 Utilisation régionale de l'eau*
 - 1.4.2 Utilisation de l'eau des usines de recyclage*

2. CARACTERISATION ET CLASSIFICATION DES DIFFERENTS IMPACTS DU PROJET : MESURES DE CONTROLE ET DE SURVEILLANCE

- 2.1 Aspects généraux
- 2.2 Investissements pour la protection de l'environnement
- 2.3 Impact sur l'environnement pendant la phase des opérations
 - 2.3.1 Effluents liquides*
 - 2.3.2 Emissions de gaz*
 - 2.3.3 Occupation des sols*
 - 2.3.4 Pollution sonore*
 - 2.3.5 Conclusions*
- 2.4 Ressources hydriques et utilisation
 - 2.4.1 Utilisation de l'eau*
 - 2.4.2 Limites à l'utilisation de l'eau*
 - 2.4.3 Conclusions*
- 2.5 Effluents liquides
 - 2.5.1 Identification et quantification des effluents liquides*
 - 2.5.2 Récapitulatif des effluents liquides*
 - 2.5.3 Mesures de contrôle*
 - 2.5.4 Conclusions*

- 2.6 Emissions gazeuses
 - 2.6.1 *Introduction*
 - 2.6.2 *Emissions continues*
 - 2.6.3 *Emissions périodiques*
 - 2.6.4 *Emissions accidentelles*
 - 2.6.5 *Mesures de contrôle*
 - 2.6.6 *Conclusions*
- 2.7 Déchets solides, liquides et pâteux
 - 2.7.1 *Identification et quantification des déchets*
 - 2.7.2 *Entreposage des déchets*
 - 2.7.3 *Effets possibles des déchets générés*
- 2.8 Odeurs
- 2.9 Pollution sonore
 - 2.9.1 *Identification des sources de bruit*
 - 2.9.2 *Mesures de contrôle*
 - 2.9.3 *Conclusions*
- 2.10 Mouvements
 - 2.10.1 *Matières premières*
 - 2.10.2 *Produits*
 - 2.10.3 *Déchets*
 - 2.10.4 *Conclusions*

3. RAISONS DU CHOIX DU PROJET

- 3.1 Justifications techniques
- 3.2 Justification relative à la protection de l'environnement

4. SYNTHÈSE DES IMPACTS ÉCOLOGIQUES

- 4.1 Impacts globaux
 - 4.1.1 *Impact sur le paysage*
 - 4.1.2 *Impact sur les routes et la circulation*
 - 4.1.3 *Impact sur la consommation d'eau*
 - 4.1.4 *Impact sur la qualité de l'eau*
 - 4.1.5 *Impact sur la qualité de l'air*
 - 4.1.6 *Impact sur l'élimination des déchets*
 - 4.1.7 *Impact sur le bruit, les vibrations et la lumière*
 - 4.1.8 *Tableaux comparatifs de la situation avant et après la mise en œuvre du projet*
- 4.2 Calendrier des mesures de contrôle afin de diminuer les impacts écologiques
- 4.3 Réhabilitation du site à la fin de l'exploitation
- 4.4 Évaluation des coûts
- 4.5 Responsables de l'EIE

5. ANALYSE DES MÉTHODES UTILISÉES

- 5.1 Liste des études réalisées
- 5.2 Problèmes scientifiques ou techniques éventuels

ANNEXE 2 - EFFETS TOXIQUES DU PLOMB CHEZ L'HOMME

1. Le plomb étant un métal naturel, sa présence dans le corps humain est inévitable et les niveaux de plomb dans le sang se situent normalement entre 10 et 40 $\mu\text{g.dl}^{-1}$. Il est rare de constater des effets nocifs chez des adultes pour des concentrations sanguines inférieures à 80 $\mu\text{g.dl}^{-1}$ et les cas d'empoisonnement se produisent généralement à des niveaux considérablement plus élevés. En outre, les symptômes d'empoisonnement au plomb chez l'enfant sont très différents de ce qu'ils sont chez l'adulte et la maladie est généralement plus grave, mais ils peuvent se manifester avec des concentrations sanguines plus faibles.

2. Le plomb produit toute une série d'effets biologiques dont le plus connu est le dérèglement de la synthèse de l'hémoglobine. Ces effets comprennent l'inhibition de l'enzyme de synthèse de la porphyrine, de la déshydrase de l'acide α -aminolévulinique (ALA-D), l'inhibition de l'incorporation du fer dans la porphyrine d'où élévation des protoporphyrines érythrocythaires libres (FEP).

3. L'empoisonnement au plomb peut se produire sous deux formes: aiguë et chronique.

4. Empoisonnement aigu au plomb - dans ce cas, les symptômes se produisent peu après absorption d'une quantité massive de plomb et ils s'aggravent rapidement; c'est habituellement une conséquence de l'absorption accidentelle de plomb inorganique et ce cas peut être considéré comme rare même chez les travailleurs des usines de recyclage du plomb. Voici, néanmoins, une brève description de ce type d'empoisonnement: goût de métal sucré dans la bouche, rapidement suivi d'une sensation de soif ou de brûlures abdominales et de vomissements, suivis de diarrhée ou de constipation occasionnelle; en cas de décès, celui-ci intervient généralement pendant les deux premiers jours et il est précédé d'un collapsus avec un pouls lent puis d'un coma; toutefois, la plupart des patients récupèrent mais des crises de coliques et d'autres signes du processus d'empoisonnement peuvent persister pendant un certain temps.

5. Empoisonnement chronique au plomb - il est considéré comme le type le plus important d'exposition professionnelle au plomb, le corps étant exposé à des concentrations de plomb habituellement moins élevées que dans le cas de l'empoisonnement aigu mais suffisantes pour produire des effets observables après un certain temps. L'empoisonnement chronique est habituellement précédé d'un stade sous-clinique et pré-symptomatique au cours duquel la concentration de plomb dans le corps augmente lentement. Chez l'adulte, les tout premiers symptômes d'empoisonnement ne sont pas spécifiques et n'indiqueraient pas une exposition excessive au plomb. En conséquence, le diagnostic doit se fonder sur les conditions de l'exposition, un sentiment général de mal-être et des tests biochimiques appropriés puisque l'examen clinique ne peut révéler que peu de choses: maux de tête, fatigue et lassitude sont les sujets de plaintes les plus communs et, plus tard, perte d'appétit, pâleur du visage et douleurs musculaires. Si le diagnostic n'est pas établi à ce stade et si le traitement n'a pas commencé, différents systèmes du corps commencent à fonctionner de façon anormale et les résultats se manifestent peu à peu. Au fur et à mesure que l'anémie progresse, la pâleur et le manque de souffle augmentent. La dyspepsie et les coliques intestinales sont le plus souvent associées à la constipation mais des diarrhées intermittentes peuvent aussi intervenir. A ce stade, la perte d'appétit se sera produite et il peut y avoir des vomissements; on peut constater une ligne bleuâtre sur le bord des gencives de même que des changements éventuels touchant les nerfs périphériques et/ou le système nerveux central. Il peut être difficile de reconnaître l'encéphalopathie chronique puisque, chez certains patients, elle se

présente sous forme de dépression ou d'un autre état maniaco-dépressif, l'un et l'autre pouvant être pris pour une maladie mentale intrinsèque. Parfois, comme le malade peut avoir des crises, il faut faire la différence entre l'empoisonnement et l'épilepsie. Des dommages sensoriels se produisent rarement mais l'on a fait état d'une faiblesse des membres et de différentes modifications de la conduction nerveuse, même si l'on ne constate pas souvent de forte paralysie. Bien que l'état du malade comporte parfois des troubles rénaux, le délabrement des processus de réabsorption tubulaire et les néphropathies chroniques sont les symptômes les plus communs; ce ne sont pourtant pas ceux qui amènent le patient à consulter puisque les défaillances rénales se produisent habituellement longtemps après l'exposition au plomb. Dans le milieu industriel, le premier effet clinique est presque toujours une légère baisse d'hémoglobine. La plupart des cas ne vont pas plus loin ou peuvent se plaindre d'effets légers non spécifiques touchant principalement l'appareil gastro-intestinal.

6. Empoisonnement chronique au plomb chez l'enfant - chez l'enfant, l'exposition chronique revêt une forme quelque peu différente. Comme pour l'adulte, les conditions de la contamination peuvent avoir un effet insidieux, l'enfant devient pâle, apathique et se plaint de nombreux effets vagues. Dans les cas graves le cerveau est généralement touché, ce qui est mis en évidence par une somnolence, la maladresse ou de la difficulté à marcher. Ceci peut conduire (ou en être en réalité le premier symptôme) à des crises graves et répétées, au coma ou même à un arrêt respiratoire. Le taux de mortalité est élevé et un très grand nombre des enfants qui se remettent souffrent de dommages permanents causés au cerveau. Jusqu'à présent, il n'est pas prouvé sans équivoque que l'absorption de plomb à un niveau continu et faible mais excessif ait un effet quelconque sur l'état mental de l'enfant.

Terminologie

Limite d'exposition brève (LEB): niveau intermédiaire entre la durée moyenne pondérée et le niveau plafond (niveau de concentration le plus élevé qui ne doit jamais être dépassé), auquel les travailleurs peuvent être exposés pendant des durées ne dépassant pas 15 minutes par heure, 4 fois par jour avec un laps de temps minimum de 60 minutes entre chaque exposition.

Valeur limite de seuil (VLS): concentration de la substance dans l'air des lieux de travail à laquelle presque tous les travailleurs peuvent être exposés en permanence sans manifester de symptômes négatifs.

Moyenne pondérée de temps (MPT): exposition de concentration moyenne au composé, pour une journée de travail de 8 heures, dans laquelle la valeur moyenne, tous les échantillons étant pris en considération, ne doit pas être supérieure à VLS - MPT.

ACRONYMES ET SYMBOLES

ACGIH : American Conference of Governmental Industrial Hygienists (USA)

ALA : acide α -aminolévulinique

ALA-D : déshydrase de l'acide α -aminolévulinique

ALA-U : acide α -aminolévulinique dans l'urine

Ag : argent

As : arsenic

Bi : bismuth

Ca : calcium

CaCO₃ : carbonate de calcium ou chaux

Cd : cadmium

Cl₂ : chlore

Cu : cuivre

CuS : sulfure de cuivre

SNC : système nerveux central

UE : Union européenne

EIE : évaluation de l'impact sur l'environnement

EPA : Agence de protection de l'environnement (USA)

FAO : Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture)

FEP : protoporphyrines érythrocytaires libres

Fe₂O₃ : oxyde de fer III ou oxyde ferrique

HCl : acide chlorhydrique

Hg : mercure

Mg : magnésium

N₂ : azote

NaCl : chlorure de sodium ou sel commun

Na₂CO₃ : carbonate de sodium

NaNO₃ : nitrate de sodium

NaOH : hydrate de soude

Na₂SO₄ : sulfate de soude

NH₄Cl : chlorure d'ammonium

O₂ : oxygène

OSHA : Occupational Safety and Health Administration (USA)

Pb : plomb

Pb²⁺ : ion divalent de plomb ou ion plombeux

PbO : oxyde de plomb

PbO₂ : bioxyde de plomb

Pb(OH)₂ : hydroxyde de plomb II ou hydroxyde plombeux

PbS : sulfure de plomb

PbSO₄ : sulfate de plomb

pH : mesure d'acidité de l'eau

SNP : système nerveux périphérique

S : soufre

Sb : antimoine

Batterie DEA : démarrage, éclairage, allumage

Sn : étain

SnCl₂ : chlorure d'étain II ou chlorure stanneux

SO₂ : anhydride sulfureux

LEB : limite d'exposition brève

VLS : valeur limite de seuil

MPT : moyenne pondérée de temps

OMS : Organisation mondiale de la santé

Zn : zinc

ZnPP : protoporphyrine de zinc IX

BIBLIOGRAPHIE

Chapitre 1 - Historique

- Encyclopedia Britannica en ligne : www.britannica.com
- Nouvelle encyclopédie Multimédia Grolier, Grolier Electronic Publishing, Inc., 1984.
- "Recyclage de batteries plomb-acide et environnement - Rapport Technique n° 14", Programme des Nations Unies pour l'Environnement, PNUE, 1998, 165 pages.

Chapitre 2 - Données techniques concernant les batteries au plomb et acide

- Différentes sources. Pour un aperçu complet, consulter : "Recyclage de batteries plomb-acide et environnement - Rapport Technique n° 14", Programme des Nations Unies pour l'Environnement, PNUE, 1998, 165 pages.

Chapitre 3 - Recyclage des batteries au plomb et acide - Mesures préalables au recyclage

- "Prévention et contrôle intégrés de la pollution (IPPC), document de référence sur les meilleures techniques existant dans les industries des métaux non-ferreux", Bureau européen de l'IPPC, mai 2000, 807 pages.
- "The Recycling of Non-Ferrous Metals", M.E. Henstock, Publication du Conseil international sur les métaux et l'environnement (ICME), MIM, 1996, 340 pages.

Chapitre 4 - Recyclage des batteries au plomb et acide

- "Prévention et contrôle intégrés de la pollution (IPPC), document de référence sur les meilleures techniques existant dans les industries des métaux non-ferreux", Bureau européen de l'IPPC, mai 2000, 807 pages.
- "Recyclage de batteries plomb-acide et environnement - Rapport Technique n° 14", Programme des Nations Unies pour l'Environnement, PNUE, 1998, 165 pages.
- "The Recycling of Non-Ferrous Metals", M.E. Henstock, Publication du Conseil international sur les métaux et l'environnement (ICME), MIM, 1996, 340 pages.

Chapitre 5 - Protection de l'environnement

- "Prévention et contrôle intégrés de la pollution (IPPC), document de référence sur les meilleures techniques existant dans les industries des métaux non-ferreux", Bureau européen de l'IPPC, mai 2000, 807 pages.
- "Lead, Mercury, Cadmium and Arsenic in the Environment - Scope 31", publié par T.C. Hutchinson & K.M. Meema, Comité scientifique sur les problèmes de l'environnement (SCOPE), Conseil international des Unions scientifiques (CIUS), John Wiley & Sons, 1987, 360 pages.
- "Recyclage de batteries plomb-acide et environnement - Rapport Technique n° 14", Programme des Nations Unies pour l'Environnement, PNUE, 1998, 165 pages.
- "The Recycling of Non-Ferrous Metals", M.E. Henstock, Publication du Conseil international sur les métaux et l'environnement (ICME), MIM, 1996, 340 pages.
- "A process engineering approach to remedy an environmental problem of fugitive lead emissions during lead refining", L. Wanga & A.E. Morris, Journal of Material Research, Vol. 10, n° 3, p. 538

- ILMC Tool Box Series 1.2 - Control and Monitoring of Atmospheric Emissions, janvier 2002, Section 2, Emission Control Principles

Chapitre 6 - Questions relatives à la santé

- "Assessment of Human Exposure to Lead and Cadmium Through Biological Monitoring", publié par Marie Vahter, Institut national suédois de médecine environnementale et Département de l'Institut Karolinska d'hygiène environnementale, Division de la santé environnementale, OMS, Stockholm 1982, 136 pages.
- "Environmental Hazards of Heavy Metals : Summary Evaluation of Lead, Cadmium and Mercury - A General Report (1980)", J.K. Piotrowski & D.O. Coleman, Global Environmental Monitoring System Programme Activity Centre, PNUE, Nairobi & The Monitoring and Assessment Research Centre (MARC), Chelsea College, Université de Londres, 1980, 43 pages.
- "Lead in the Environment and Its Significance to Man - A Report of an Inter-Departmental Working Group of Heavy Metals, Pollution Paper N° 2", Department of the Environment, Central Unit on Environmental Pollution, Londres, 1976, 47 pages.
- "Limites de Exposición Profesional a los Metales Pesados que se Recomiendan por Razones de Salud - Rapport d'un groupe d'étude de l'OMS", Organisation mondiale de la santé, série Rapports techniques 647, OMS, 1980, 126 pages.
- "Serie Vigilancia 8 - PLOMO", Germán Corey O. & Luiz A.C. Galvão, Centro Panamericano de Ecología Humana Y Salud - PAHO/OMS, Mexico City, 1989, 103 pages.

Chapitre 8 - Batteries au plomb et acide et données statistiques relatives au plomb

Différentes sources :

- ILMC : Groupe international de gestion du plomb
- ILZSG : Groupe d'étude international sur le plomb et le zinc
- FAO : Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture
- LDAI : Lead Development Association International
- USGS : United States Geological Survey

Annexe 1 - EIE : structure recommandée

- "Recyclage de batteries plomb-acide et environnement - Rapport Technique n° 14", Programme des Nations Unies pour l'Environnement, PNUE, 1998, 165 pages.

Annexe 2 - Symptômes de l'empoisonnement au plomb

- "Environmental Hazards of Heavy Metals: Summary Evaluation of Lead, Cadmium and Mercury - A General Report (1980)", J.K. Piotrowski & D.O. Coleman, Global Environmental Monitoring System Programme Activity Centre, PNUE, Nairobi & The Monitoring and Assessment Research Centre (MARC), Chelsea College, Université de Londres, 1980, 43 pp.