



**Université Djillali Liabes de Sidi Bel Abbès**

**Faculté de Technologie**

**Département des énergies et de génie des procédés**



# **Les déchets, les résidus et les stériles**

**Matériau - Collecte - Tri - Transport - Stockage - Contamination -  
Recyclage - Traitement - Gestion - Risques - Contagion -  
Santé- Soins**

**Polycopié rédigé par**

**Dr. Nadia RAMDANI**

**Maître de conférences au Département des énergies et de génie des  
procédés Faculté de Technologie  
Université Djillali Liabes de Sidi Bel Abbès**

**Année Universitaire 2020/2021**

## **Préambule :**

*Les motifs, les intentions et les principes qui ont conduit à la rédaction de ce polycopié, c'est de produire puis de présenter aux étudiants du cycle Licence et du cycle Master du Département des énergies et du génie des procédés de la faculté de Technologie, un complément d'informations sur les déchets et les résidus. Cela permet donc d'approfondir leurs connaissances dans ce domaine et d'avoir à leur portée un document qu'ils utiliseront comme appoint pendant les examens, voire même lors de la préparation de leur mémoire de fin d'études si cela est nécessaire. Ce document sert donc à enrichir leur savoir, car nous savons tous que le volume horaire qui leur est donné pour cette matière (module) pendant leur formation est insuffisant pour manque de temps. Il est établi en se basant sur des écrits, des textes, des livres et des documents rédigés par des spécialistes dans ce domaine et sur certains sites du net, dans lesquels j'ai puisé l'important et le stricte nécessaire de cette science afin de faciliter sa compréhension et de s'éloigner des difficultés rédactionnelles qui fatiguent généralement le lecteur. Les techniques de la gestion des déchets, à commencer par la collecte jusqu'au traitement, ne cessent d'avancer et de progresser. Certaines, très techniques, nécessitent des écrits très détaillés que je ne peux énumérer ni développer dans ce manuscrit vues qu'elles exigent de spécifier certaines technologies et procédures très longues et compliquées. Il est conseillé à nos étudiants de consulter alors les journaux et revues scientifiques de recherches afin de maîtriser les méthodes et les procédés découverts récemment. La rudologie (du latin rudus, "décombres, masse non travaillée") est l'étude systématique des déchets, des biens et des espaces déclassés, elle englobe les sept domaines cités dans le titre de ce document et demeure une science vaste dans laquelle des découvertes sont en pleine expansion.*

# Table de matières

Préambule

## Chapitres

## Pages

### *Chapitre 1*

1 Définition des déchets	5
2 Classification des déchets	5
2.1 Les déchets urbains et ménagers	5
2.2 Les déchets inertes non dangereux	9
2.3 Les déchets des travaux d'agriculture et exploitations agricoles	11
2.4 Les déchets toxiques	13
2.5 Les déchets de soins médicaux à menaces bactériennes	16
2.5.1 Préjudices, périls et risques reliés aux rebuts médicaux dangereux	17
2.5.2 Préjudices et risques biologiques dus aux déchets solides	19
2.5.3 Risques de produits chimiques	20
2.6 Les déchets radioactifs	21
2.6.1 Selon le niveau de radioactivité	21
2.6.2 Selon leur demi-vie	21
3 Gestion des déchets en Algérie	26

### *Chapitre 2*

1 Définition des stériles	31
2 Les mines des métaux, leur exploitation et leur gestion	31
2.1 Réhabilitation des sites non productifs	33
2.1.1 Techniques et procédés miniers de gestion ultérieure	33
2.1.2 Science des minéraux	33
2.1.3 Processus et techniques	34
2.1.4 Gestion des stériles miniers	34
2.1.5 Moyens et systèmes utilisés dans les traitements	35
2.2 Métaux communs (cadmium, cuivre, étain, nickel, plomb, zinc)	37
2.2.1 Elimination des stériles des mines de Cadmium	37
2.2.2 Elimination des stériles des mines de Nickel et de cuivre	40
2.2.3 Elimination des stériles des mines de l'étain	48
2.2.4 Elimination des stériles des mines de plomb	50
2.2.5 Elimination des stériles des mines de zinc	56

## **Chapitre 3**

1 Définition des matières plastiques	62
2 Classification des plastiques	63
3 Gestion des matières résiduelles des plastiques	66
3.1 L'enfouissement des matières plastiques	67
3.2 L'incinération des plastiques et la récupération d'énergie	67
3.3 La réduction à la source	67
3.4 La réutilisation des emballages et application du système de consignation	68
3.5 Le recyclage	
Conclusion	69
Références	70

# CHAPITRE 1

Définition, Description, classification et présentation des déchets

## 1 Définition des déchets :

Tout matériau, matière, substance, produit ou bien sont considérés comme déchets s'ils ont subi une altération physique, chimique ou biologique et que par conséquent deviennent inutiles pour toute autre application ou utilisation, ils sont en fin de vie ; leur élimination ou leur transformation devient plus que nécessaire. Les déchets ultimes ne peuvent pas être transformés, par conséquent pour éviter toute pollution de l'environnement, ils demandent d'être stockés efficacement et durablement. Le mot "déchet" dérive d'un ancien mot utilisé autrefois "déchiet" qui voulait dire "*Ce qui reste après utilisation et usage d'un produit quelconque*"

## 2 Classification des déchets :

On classe les déchets, les résidus et les stériles en plusieurs catégories selon d'où ils proviennent, leur composition et leur nature, leur dangerosité et toxicité, ainsi que sur la possibilité et la capacité d'être transformés (Tableau 1).

### 2.1 Les déchets urbains et ménagers :

Généralement on désigne les déchets urbains et ménagers dans le langage courant comme "Ordures Ménagères et Assimilés : OMA". Ce sont des résidus qui sont produit par les ménages et les acteurs économiques, industriels et entreprises dans leur vie courante et routinière, puis collectés par les services privés ou publics de ramassage pour stockage ou incinération. Le ramassage se fait soit, en ordures mélangées, soit en ordures sélectionnées et triées selon la matière ou le matériau (matériaux recyclables issus des emballages tels les métaux, les cartons, les matières plastiques, les verres, les porcelaines etc.). La gestion des déchets ménagers dépend essentiellement des catégories de ménages installés dans des zones différentes, de leurs us et habitudes de consommation, des époques, des saisons, des climats et des territoires. Cela peut montrer des gisements de matières biodégradables et fermentescibles susceptibles d'alimenter des filières de compostage ou de gazéification (production de gaz de type méthane et propane). Pour que cela soit rentable et efficace, il est demandé aux citoyens (*pas encore appliquer en Algérie*) de pré sectionner leur ordures et les stocker dans des poubelles\* de couleurs différentes selon le choix des collectivités locales et

## Tableau 1 : Catégories et types de déchets

(Source : Cours déchets USTO , Dr. Bennama Tahar, p 11, 2016)

N°	Types de déchets
1	Déchets provenant de l'exploration et de l'exploitation des mines et des carrières ainsi que du traitement physique et chimique des minéraux.
2	Déchets provenant de l'agriculture, de l'horticulture, de l'aquaculture, de la sylviculture, de la chasse et de la pêche ainsi que de la préparation et de la transformation des aliments.
3	Déchets provenant de la transformation du bois et de la production de panneaux et de meubles, de pâte à papier, de papier et de carton.
4	Déchets provenant des industries du cuir, de la fourrure et du textile.
5	Déchets provenant du raffinage du pétrole, de la purification du gaz naturel et du traitement pyrolytique du charbon.
6	Déchets des procédés de la chimie minérale.
7	Déchets des procédés de la chimie organique.
8	Déchets provenant de la fabrication, de la formulation, de la distribution et de l'utilisation (FFDU) de produits de revêtement (peintures, vernis et émaux vitrifiés), mastics et encres d'impression.
9	Déchets provenant de l'industrie photographique.
10	Déchets provenant de procédés thermiques.
11	Déchets provenant du traitement chimique de surface et du revêtement des métaux et autres matériaux, et de l'hydrométallurgie des métaux non ferreux.
12	Déchets provenant de la mise en forme et du traitement physique et mécanique de surface des métaux et matières plastiques.
13	Huiles et combustibles liquides usagés.
14	Déchets de solvants organiques, d'agents réfrigérants et propulseurs
15	Emballages et déchets d'emballages, absorbants, chiffons d'essuyage, matériaux filtrants et vêtements de protection non spécifiés ailleurs
16	Déchets non décrits ailleurs dans la liste.
17	Déchets de construction et de démolition (y compris déblais provenant de sites contaminés).
18	Déchets provenant des soins médicaux ou vétérinaires et/ou de la recherche associée (sauf déchets de cuisine et de restauration ne provenant pas directement des soins médicaux).
19	Déchets provenant des installations de gestion des déchets, des stations d'épuration des eaux usées hors site et de la préparation d'eau destinée à la consommation humaine et d'eau à usage industriel.
20	Déchets municipaux (déchets ménagers et déchets assimilés provenant des commerces, des industries et des administrations) y compris les fractions collectées séparément.

cela afin de faciliter le traitement par des entreprises spécialisées, telles-que par exemple, couleur jaune pour les déchets recyclables, couleur verte pour les ordures ménagères, couleur marron pour les déchets alimentaires, enfin couleur blanche ou bleu pour les verres (Figure 1).



Figure 1 : Types et couleurs de poubelles utilisés dans les villes modernes

(Source : <https://www.google.com/search?q=photos+couleurs+poubelles&sxsrf=...>)



\* : Devant l'anarchie qui s'est installée devant les immeubles à Paris, et les saletés causés par des détritues et les rejets ménagers dans les quartiers de toutes les villes de France, l'administrateur et diplomate français **Eugène René Poubelle** imposa à la population de mettre leurs rejets quotidiens dans des récipients à l'époque métalliques puis devenus maintenant en plastique en tant que Préfet de la Seine. Ces récipients destinés pour les déchets ménagers se nomment actuellement "Poubelles" en son honneur. Depuis l'hygiène se répond dans toute la France puis par la suite dans toute l'Europe et le monde. La définition du mot "Poubelle" est insérée dans le dictionnaire en 1890. Cet inventeur du contenant d'ordures mourut à Paris le 15 juillet 1907 à l'âge de 76 ans. (Source : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Eug%C3%A8ne\\_Poubelle](https://fr.wikipedia.org/wiki/Eug%C3%A8ne_Poubelle))

Parmi les composants des déchets ménagers, un type attire notre attention sur son recyclage, sa récupération et son traitement car sa production est assez élevée par son utilisation quotidienne dans la vie courante des gens, il s'agit du papier et ses dérivés. Ils présentent donc des spécificités et des contraintes ; on présente ci-après quelques-unes d'elles.

Les emballages "Tetra-Pack™" inventés par une société Suédoise se composent de 4 couches de 3 matériaux différents collés les uns aux autres pour conserver pour une durée très longue des aliments essentiellement liquides sont spécifiques. La difficulté dans leur traitement réside dans la séparation du carton de l'aluminium et du plastique, d'autant plus qu'on estime sa production mondiale (fabriqués dans tous les pays) à 100

milliards de boîtes. Cette opération est très coûteuse, ce qui pousse les producteurs et les consommateurs à trouver d'autres moyens de conservations plus attirantes.

Les rejets de papier en général est hétérogène, il comporte plusieurs éléments indésirables tels les bouchons en plastique, les agrafes métalliques, des couches de produits comme de la colle, des échantillons publicitaires introduits entre les pages, des CD en vinyle, des objets cadeaux en tissus et cuirs etc. Cela est coûteux et difficile à séparer.

Un autre type de papier spécifique présente aussi une spécificité, il s'agit de papiers de documents officiels et billets de banques. La seule et unique façon de les traiter est de les incinérer et cela pour des raisons de sécurité de trafics et de blanchissement par réutilisation non autorisée. Une moyenne de 900 millions de billets par payés et par année sont éliminés de la circulation monétaire.

Le rejet tout-venant du papier d'origine ménagère présente des difficultés car étant souillé par divers autres produits. Ils ne peuvent alors être traités que par le feu, car la séparation des composants est encore une fois fastidieuse.

Le papier imprimé tels les journaux, les revues, les livres et autres, posent des problèmes de désencrage ; ce type de papiers comporte une quantité très importante d'encre d'impression que lorsqu'on les recycle par malaxage par exemple lâche ce produit indélébile qui impacte fortement l'environnement. Cela se fait que s'il y a une extrême nécessité.

Le compost obtenu lorsque ce type de papier est introduit est de médiocre qualité, car ne pouvant pas être utilisé comme engrais naturel, l'encre relâchée des papiers imprimés empoisonne alors les cultures. Pour ce fait, l'opération d'élimination de l'encre est préalablement conseillée. Enfin, le recyclage répété du papier diminue la qualité par destruction des fibres ; il devient friable et non résistant.

Le bois, l'un des matériaux le plus utilisé dans la vie courante après le papier se retrouve dans les produits ménagers rejetés. Il provient de plusieurs origines mais rejeté malheureusement dans les poubelles parfois en grande quantité, ce qui complique le traitement. Les souches, les branches, les tiges et les feuilles, ainsi que les écorces remplissent ces récipients car le propriétaire ne savant quoi faire de cela. Les petites fabriques de meubles, les menuiseries, les bricoleurs produisant des délignures, des sciures, des dosses rejettent cela délibérément dans les poubelles et créent alors des contraintes de transformation et de traitement des produits ménagers. A l'intérieur des maisons, la destruction des objets et meubles en fin de vie ou en état de vieillesse ainsi que les restes du bois partiellement traité ou restauré sont jetés en petits morceaux



dans les poubelles et agrandissent la masse des rejets quotidiens ménagers. Parfois, ces bois de type biomasse, et déchets spéciaux, qui sont préalablement traités au cuivre, au chrome, et même à l'arsenic souillent les poubelles et les transforment en récipients dangereux à manipuler. Ils doivent donc résolument séparés des autres produits pour être traités séparément par compostage, par concassage, ou par fabrication de briquettes combustibles de chauffage (Cagettes de poissons, palettes, caisses de fruits).

L'omniprésence des objets en aciers, fontes, aluminium dans le milieu humain, essentiellement sous formes de visseries, de boulonneries, d'attaches, de clous, de punaises, d'agrafes, de manchons, boites de conserves, canettes, aiguilles et autres, poussent leurs utilisateurs à les rebuter directement dans les poubelles de produits ménagers lorsqu'ils sont inutilisables. Le problème réside dans le fait que lorsque les produits ménagers sont traités par des machines, ils détruisent certains organes en contact et mettent hors d'usages leur mécanismes, voire même arrêter la production dans l'usine. Cela coûte énormément d'argent, et produit un manque à gagner.

## 2.2 Les déchets inertes non dangereux :

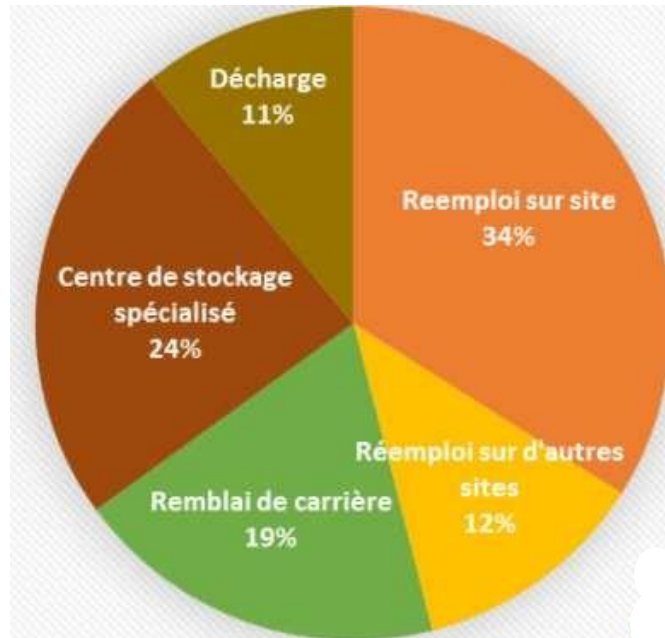
On définit comme déchets inertes, des résidus qui ne se décomposent pas, qui ne brûlent pas, qui ne produisent aucune réaction physique ou chimique, et qui ne réagissent pas biologiquement.

Ils ne sont pas biodégradables, ils ne brûlent pas et ne détériorent pas les matières avec lesquelles ils entrent en contact d'une manière susceptible d'entraîner des atteintes à l'environnement ou à la santé humaine tels que, les déblais, les agrégats, les vitrages, le béton et ses dérivés, les tuiles, briques et parpaings et bien d'autres.

Bien entendu, on exclut tous produits amiantés et géologiques excavés de construction, des produits, des résidus liquides ayant une siccité inférieure à 30%, les composés non pelletables et transportables, les matériaux pulvérulents facilement transformables en poudre que le vent peut transporter, et bien entendu les rejets radioactifs. Ces déchets sont souvent utilisés à l'état brut sous formes de graves, gravillons et granulats obtenus par concassage comme sous-couches routières, et remblaiement en génie civil. La figure 2 ci-dessous montre comment on réoriente les déchets inertes dans diverses réutilisations afin qu'ils ne se retrouvent pas totalement rejetés dans la nature et qu'ils ne dégradent pas l'environnement.

On remarque que 65% réunis de ces gravats sont réutilisés en moyenne sur d'autres sites par rapport à celui où ils ont été produits, et que seuls 11% se retrouvent dans les décharges.

Un taux de 24% de ces rejets est tout de même stocké pour une éventuelle utilisation future ; cette quantité reste encombrante tant qu'une utilisation adéquate n'a pas été trouvée.



*Figure 2 : Répartition moyenne des gravats de produits inertes*

(Source : <https://www.ecodrop.net/dechets-inertes-batiment-chantier-valorisation-recyclage/>)

La figure 3 montre quelques matériaux considérés comme produits inertes, non dangereux et non biodégradables.



*Figure 3: Gravats de matériaux inertes utilisés comme remblaiement*

(Source : <https://www.google.com/search?q=photos+des+produits+inertes&sxsrf=...>)

## 2.3 Les déchets des travaux d'agriculture et exploitations agricoles :

L'exploitation agricole ne peut pas être un lieu de traitement et de valorisation des résidus agricoles qui sont nombreux et très variés.

On cite ici une panoplie de rejets (Figure 4) qui agissent sur l'environnement et dégradent le site agricole demandant des interventions spécifiques, tels que les déchets vétérinaires, des pièces de maintenance et d'entretien des machines, des récipients des produits fertilisants et phytosanitaires, des bidons des produits œnologiques, des tuyauteries d'irrigation, des filets, ficelles et cordes, des sacs de semence, des pneus de véhicules et bien d'autres.

Il est donc primordial de les trier, parfois les laver et les nettoyer pour qu'ils soient recyclables ou réutilisables. Une bonne gestion permet d'avoir une meilleure traçabilité de la ferme et des produits ; Il est important de ne rien laisser traîner et que tout soit ordonné sur le site pour avoir une bonne organisation environnementale.

Le tableau 2 montre comment sont organisés les déchets d'une exploitation agricole en rejets des élevages, en matériels agricoles, en productions végétales et productions végétales spécialisées.



**Figure 4 : Divers types de résidus et rejets agricoles**

(Source : <https://www.google.com/search?q=pneus+usag%C3%A9s&sxsrf=...>)

Quelques conseils et orientations sont mentionnés ci-dessous pour connaître comment se comporter devant des déchets et quoi faire de ses rejets sur une exploitation agricole (tableau 2).

## Tableau 2 : Tableau des déchets d'une exploitation agricole

(Source : [https://hautsdefrance.chambres-agriculture.fr/fileadmin/user\\_upload/National/FAL\\_commun/publications/](https://hautsdefrance.chambres-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/National/FAL_commun/publications/))

Elevage	Matériels agricole	Productions végétales
Déchets de soins en élevage	Ampoules et néons	Emballages d'hygiène
	Batteries et piles	Films agricoles
Emballages vides de produits lessiviels	Bois	Films nontissés
	Déchets amiantés	Filets usagés
	Emballages carton	Gaines d'irrigation
Fils et ficelles usagers	Férule et petits matériels	Productions végétales
	Gravats	Bidons et fûts
	Huiles usagées	Pharmaceutiques
Films agricoles usagers	Liquides de refroidissement	Sacs papier de semence
	Panneaux photovoltaïques	Sacs plastiques
	Pneumatiques	Big-bag
	Autres déchets spécifiques	

Sur la base de ce tableau 2, une liste de conseils et de propositions est établie ci-dessous pour orienter l'exploitant agricole à gérer au mieux ses biens économiquement et socialement de telle façon à s'éloigner des dangers qui peuvent surgir ici et là et par conséquent réaliser des bénéfices des produits obtenus :

Liste d'orientations et de conseils destinés à un exploitant agricole :

- ✓ Gérez et rincez vos emballages au fil du temps, pour vous sécuriser, vous, ainsi que votre entourage.
- ✓ Optimisez le stockage et le conditionnement, cela vous permettra une reprise facile lors de l'évacuation.
- ✓ Ne portez jamais les mains à la bouche pendant la manipulation des déchets et lavez-les toujours à la fin de votre chantier.
- ✓ Dégagez les zones de passage et maintenez-les en bon état.
- ✓ Protégez-vous les mains avant toutes manipulations et manutentions

- ✓ *Éliminer ses déchets de façon à éviter les effets nocifs sur l'environnement et la santé.*
- ✓ *Séparer ses déchets dangereux des autres déchets.*
- ✓ *Éliminer ses déchets dangereux dans des installations autorisées et agréées par l'État.*
- ✓ *Faire collecter ses déchets par des entreprises ayant déclaré leur activité.*
- ✓ *Le transporteur doit être déclaré à la direction du transport de la wilaya.*
- ✓ *Justifier la destination finale et le mode d'élimination de ses déchets.*
- ✓ *Ne pas rejeter ses déchets dans le milieu naturel,*
- ✓ *Ne pas réaliser des dépôts sauvages en abandonnant ses déchets en pleine nature.*
- ✓ *Ne pas brûler ses déchets à l'air libre.*
- ✓ *Ne pas enfouir ses déchets dans des terrains protégés ou sécurisés.*

## 2.4 Les déchets toxiques :

Tout déchet de n'importe quelle nature qu'il soit est considéré comme déchet toxique, lorsqu'il se confirme dangereux et nuisible pour la santé humaine, animale et végétale. Il peut alors, par sa dangerosité provoquer la mort, des lésions et des dommages, des maladies graves et dangereuses et mêmes des malformations aux foetus pendant sacroissance.

Du point de vue environnemental, il peut souiller et envenimer les nappes phréatiques sous terraines, les cours d'eau tels les lacs et les étangs, les rivières et les fleuves. Une synergie peut se créer entre divers produits dont la dangerosité est faible pour l'homme initialement, mais deviennent éventuellement avec le temps des éléments écotoxiques nuisant ainsi la faune et la flore. Ils sont difficiles à détecter dans la nature, car les composés formés ne sont pas soupçonnés dans le milieu prématurément.

Les déchets toxiques peuvent se présenter sous diverses formes et sont souvent des dérivés d'autres produits pas nécessairement dangereux préalablement. Ils sont soit pâteux et très visqueux, soit solides, soit liquides, soit même gazeux. Ils sont souvent rejetés par les grandes industries minières, métallurgiques, chimiques et médicamenteuses, et par les incinérateurs. Aussi paradoxal que ça, ils sont aussi des sous-produits des ménages, des laboratoires de recherches et d'expérimentations, de l'agriculture, des centres sanitaires, des stations d'épurations d'eaux.

Ils sont très nombreux à citer, on se contente de citer par exemples, les pesticides, les peintures, les médicaments périmés, les métaux lourds, et d'une façon générale tout produit susceptible d'émettre des radiations, de délivrer des toxines et d'engendrer des agents pathogènes (Figure5).



**Figure 5 : Emballages, contenants et produits toxiques**

(Source : <https://www.google.com/search?sxsrf=ALeKk00B2SC-WIIVzebUR2PtUuGwSFYjA:1622999153519&source=...>)

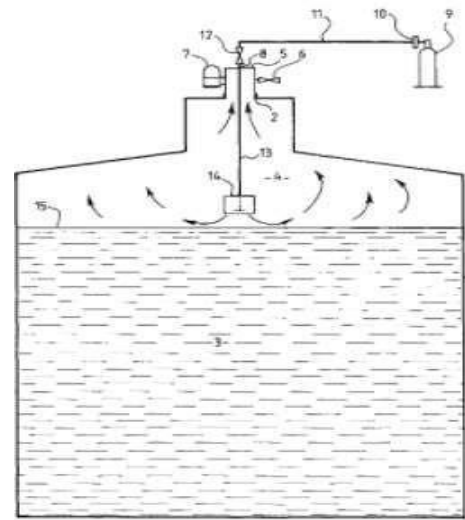
Plusieurs processus industriels (pétroliers et gaziers, et extractifs), et naturels libèrent et dispersent dans la nature des produits toxiques tels que le lavage et le lessivage, l'érosion naturelle, les inondations saisonnières, les incinérations et les combustions, les enfouissements et bien d'autres.

Ils deviennent plus dangereux lorsqu'ils ne sont pas dégradables ou qu'ils sont bio-cumulables au fil du temps tels le plomb, le mercure et les nitrates, cadmium, chrome (parfois jusqu'à plusieurs décennies).

Par conséquent, ils se retrouvent alors d'une façon directe ou indirecte dans tous les milieux, air, sols, sous-sols, nappes phréatiques, eaux de surface (rivières, fleuves, lacs et étangs), et maintenant dans les mers et les océans. Les fuites et les évaporations à partir des lieux d'emmagasinage et de décharge provoquent plusieurs maladies cutanées, respiratoires et cancérogènes. C'est pour cette raison que leur élimination est primordiale par destruction de la chaîne moléculaire par catalyseurs et incinérations à haute température dans fours spécifiques.

Le procédé d'inertage est le plus supportable économiquement et techniquement (Figure 6) ; cela consiste à déplacer les produits toxiques de leurs endroits de production aux endroits où ils ne peuvent pas s'échapper et ne peuvent pas être en contact avec d'autres produits pour éviter toute réaction.

Ils sont mis souvent dans des fûts très étanches puis enfouis dans des sous-sols ou placés dans des hangars inaccessibles aux publics et aux animaux. Ces endroits sont souvent revisités par des spécialistes pour contrôler les effets de vieillissement.



**Figure 6 : Installation de l'inertage et schéma d'injection d'azote**

(Source : [https://www.google.com/search?q=inertage&sxsrf=ALeKk03dLQZkv2D1afcQviwHh\\_GkXbsTbA:1623079387601&source=...](https://www.google.com/search?q=inertage&sxsrf=ALeKk03dLQZkv2D1afcQviwHh_GkXbsTbA:1623079387601&source=...))

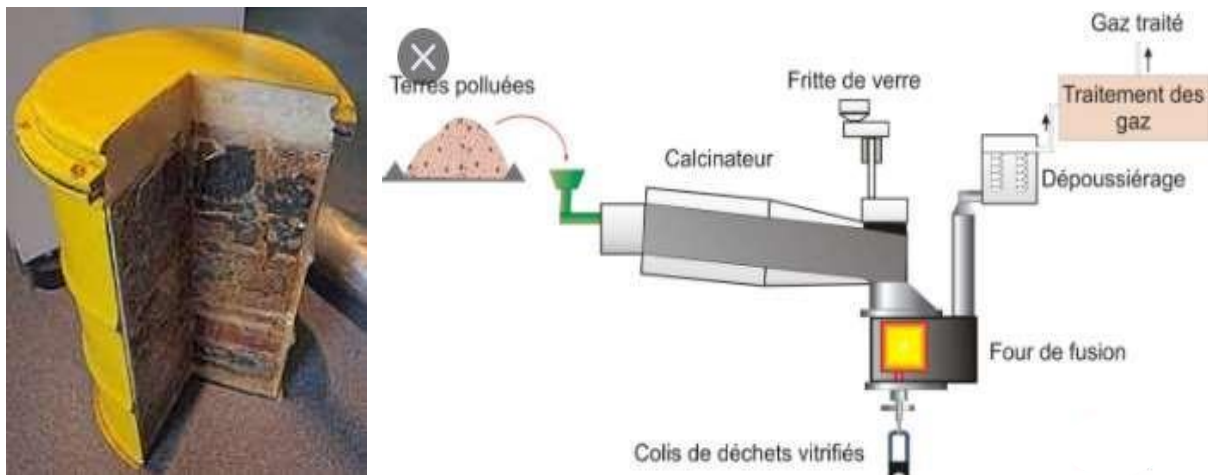
D'autres techniques sont utilisées dans l'espace industriel, il s'agit de créer une inertie chimique de préférence de longue durée (quand cela est possible) en mélangeant ces produits dangereux avec des liants hydrauliques résistants et durables qui se forment et durcissent par réactions chimiques avec de l'eau et est aussi capable de le faire sous l'eau par hydraulité. Cette opération doit se faire avec prudence car dans certains cas la température de réaction peut atteindre les 100 °C et peut provoquer une combustion instantanée, voire même une explosion.

Le procédé de vitrification est aussi largement utilisé puisqu'il consiste à porter ces produits nocifs à une température supérieure à 1400 °C auxquels on rajoute des produits catalyseurs de vitrification, puis refroidir rapidement.

Il se forme alors un élément compact, dur et non cristallin de consistance rocheuse appelée vitrifiats dans lesquels les produits dangereux sont éliminés par encapsulation (Figure 7). Concernant les produits gazeux dangereux, il s'agit d'injecter dans le milieu gazeux inflammable un autre gaz inerte non explosif, non comburant et non combustible (souvent de l'azote pour son prix, sa neutralité chimique et sa faculté refroidissante pendant la détente, mais aussi du dioxyde de carbone et de l'argon) afin de s'éloigner des limites d'explosivité.

L'inertage gazeux casse alors le triangle de feu "Combustible--comburant-énergie" par réduction de la quantité du comburant.

Tout cela doit se faire avec une extrême précaution en évitant de déclencher des réactions chimiques entre différents produits et les liants ou ciments provoquant des explosions, ou des maladies anoxiques par augmentation du monoxyde et dioxyde de carbone dans le sang. Cela génère une situation très délicate en provoquant la mort brutale par syncope et coma.



**Figure 7 : Produits vitrifiés et installation du procédé de vitrification**

(Source : <https://www.google.com/search?q=photos+vitrification+des+d%C3%A9chets&sxsrf=...>)

## 2.5 Les déchets de soins médicaux à menaces bactériennes :

On appelle déchets médicaux, tous produits, instruments, matériels, médicaments et autres qui sont rejetés pendant les interventions, travaux, et activités relatifs aux soins donnés aux malades dans des centres sanitaires que ce soit pour des soins ou des diagnostics.

Une moyenne de 80% de ces déchets sont semblables aux déchets urbains et ménagers, les 20% restants sont alors des déchets dangereux car ils présentent un danger pour la santé (Figure 8). Il s'agit essentiellement des seringues, des aiguilles, des





**Figure 8 : Panoplie de rejets sanitaires dangereux**

(Source : <https://www.google.com/search?q=d%C3%A9chets+d%27activit%C3%A9s+sanitaires+dangereux&sxsrf=...>)

sondes, des tuyaux de drains, des pansements, des serviettes, du coton, des pochettes et bien d'autres. Le CICR dont le siège est à Genève a classé ces produits comme suit (Tableau 3) :

La quantité de déchets produit dans une institution médicale peut atteindre 10 kg par patient et par jour tous services et toutes catégories confondus essentiellement dans les hôpitaux à grande capacité de lits. Les risques et les impacts des déchets médicaux et l'environnement sont nombreux et très variés, ils touchent tout l'entourage du personnel médical.

On peut citer les individus continuellement en contact avec ces déchets comme les médecins, les infirmiers, les aides-soignants, les pharmaciens, les laborantins, les brancardiers, les personnes des buanderies, les techniciens et le personnel de maintenance et de nettoyage, les transporteurs, les patients, les proches des patients, voire même les personnes travaillant à l'extérieur des services et salles de soins.

### 2.5.1 Préjudices, périls et risques reliés aux rebuts médicaux dangereux :

Les spécialistes travaillant dans le domaine des risques professionnels les subdivisent en 5 catégories, à savoir, les risques chimiques, les risques traumatiques, les risques infectieux, les risques d'incendies, et enfin les risques radioactifs. Rassemblons les périls infectieux et traumatiques dans le tableau 4 pour décrire l'agent causal et le facteur de transmission.

### Tableau 3 : Catalogage des produits médicaux dangereux

(Source : E-mail: shop@icrc.org www.icrc.org © CICR, mai 2011)

N°	Types de déchets	Exemples
I	Déchets piquants et tranchants	Déchets présentant un danger de blessure
	1) Déchets présentant un danger de contamination	Déchets contenant du sang, des excréments, et des sécrétions présentant un danger de contamination.
II	2) Déchets anatomiques	Parties du corps soumises à un danger de contamination
	3) Déchets infectieux	Déchets contenant une importante quantité de matériels et de substances ou milieux de culture présentant un risque de contamination présentant un risque de contagion d'agents infectieux (déchets de malades placés à l'isolement)
	1) Déchets de médicaments	Déchets de médicaments périmés et contenants et récipients de médicaments
	2) Déchets cytotoxiques	Cytotoxiques et matériels contenant des cytotoxiques
III	3) Déchets contenant des métaux lourds	Piles, déchets de mercure, thermomètres, ampoules fluorescentes et fluocompactes
	4) Déchets chimiques	Déchets contenant des substances chimiques, solvants, désinfectant, développeur et fixateur photographiques
IV	Réservoir sous pression	Bombes de gaz, aérosols
V	Déchets radioactifs	Déchets contenant des substances radioactives et radionucléides, urines et excréments des patients traités

Ces maladies créées par des microbes de types virus et bactéries vivant dans les rejets et les déchets médicaux ont plus ou moins une dangerosité qui dépend de

certaines facteurs extérieurs tels le rayonnement solaire, l'humidité, la température, du substrat organique, la présence d'un désinfectant, etc. Pour prendre ses précautions, il faut savoir que la concentration des agents pathogènes dans les rejets médicaux n'est pas supérieure à celle des déchets ménagers, mais par contre la diversité est largement grande puisque plusieurs types de microbes n'existant pas dans les rejets ménagers vivent dans le milieu des rejets médicaux.

#### **Tableau 4 : Infections des déchets médicaux**

(Source : Manuel de gestion des risques sanitaires ; CICR, International red cross)

Types d'infection	Agent causal	Vecteur de transmission
Infections gastro-entériques	Entérobactéries	Fèces, vomissures
Infections respiratoires	SRAS, virus rougeole, ...	Secrétions salive
Infections oculaires	Virus de l'herpès	Larmes
Infections cutanées	Streptococcus	Plus
Charbon bactérien	Bacillus anthracis	Sécrétions cutanées
Méningite	<i>Neisseria meningitidis</i>	Liquide céphalo rachidien
Sida	Virus de l'immunodéficience	Sang, sécrétions sexuelles
Fièvre hémorragiques	Virus Lassa, Ebola, Marburg	Sang et sécrétions
Hépatite virale A	Virus de l'hépatite A	Fèces
Hépatites virales B et C	Virus de l'hépatite B et C	Sang et autres liquides
Grippe aviaire	Virus H5N1	Sang, fèces



#### 2.5.2 Préjudices et risques biologiques dus aux déchets solides domestiques :

Il est évident que les employés travaillant dans le domaine des déchets médicaux soient exposés de plusieurs fois aux virus et aux maladies comparativement aux autres domaines et à la population courante. Les informations parvenues de l'OMS (Organisation mondiale de la santé) et selon les statistiques des années 2000 que les employés travaillant dans les déchets médicaux ont par rapport à la population courante :

- 1) Un risque de 2,5 fois plus grand de contracter une maladie pulmonaire allergique

- 2) Un risque de 3 fois plus grand de contracter une bronchite ou une pneumonie.
- 3) Un risque de 6,5 fois plus grand de contracter une infection virale en générale.
- 4) Un risque de 2,3 fois supérieur de contracter un type d'hépatite A, B ou C.

### 2.5.3 Risques de produits chimiques :

Un grand pourcentage de produits chimiques et pharmaceutiques possèdent un risque élevé pour la santé car leurs signes distinctifs nuisent beaucoup, ils sont cancérigènes, toxiques, mutagènes, irritants, explosifs, inflammables etc. Il faut donc éviter les contacts cutanés, l'inhalation et l'ingestion de ces produits. L'identification des dangers représentés par les substances ou préparations chimiques peut se faire sommairement grâce à l'étiquetage : pictogrammes, avertissements sur les risques ou mentions de danger. Des informations plus détaillées sont fournies dans la fiche de données de sécurité (FDS). Voici quelques exemples d'étiquetage de produits chimiques selon le nouveau système SGH (international) tirés du manuel de gestion des déchets. Les 4 premières sont des étiquettes signalant le danger , alors que les 4 dernières nous donnent des conseils de prudence  (Tableau 5).

**Tableau 5 : Exemple d'étiquetage de produits chimiques**

(Source : Comité international de la croix rouge, Genève Suisse, 2011)

N°	Description
H225	Liquide et vapeurs très inflammables.
H319	Provoque une sévère irritation des yeux.
H335	Peut provoquer somnolence ou vertige
EUHD55	L'exposition répétée peut provoquer dessèchement ou gerçures de la peau.
P210	Tenir à l'écart de sources d'inflammation. Ne pas fumer.
P361	Eviter de respirer les vapeurs.
P403/333	Stocker dans un endroit bien ventilé. Maintenir le récipient fermé de manière étanche.
P305/351/338	En cas de contact avec les yeux : rincer avec précaution à l'eau pendant plusieurs minutes. Enlever les lentilles de contact si la victime en porte et si elles peuvent être facilement enlevées. Continuer à rincer.

Des exemples sont très variés, citons l'exemple d'un produit chimique très dangereux car il existe dans plusieurs objets que nous utilisons couramment et qui s'évapore très rapidement malgré sa masse volumique très dense, mais est sous forme liquide à la température ambiante, c'est le mercure. Les déchets médicaux qui sont

incinérés au sein même des établissements sanitaires dans des fours spécifiques sont la source de la présence de ce mercure dans l'environnement causant la pollution de l'atmosphère et la pollution des eaux de surface.

## 2.6 Les déchets radioactifs :

La désintégration des noyaux atomique instables de certains éléments du tableau de Mendeleïev, puis le dégagement de divers rayonnements très souvent pathogènes donc, dangereux pour la santé, sont appelés radioactivité qui n'est autre en réalité qu'un phénomène physique naturel. Cependant l'homme est appelé à travailler avec ces éléments dans le domaine de la radiographie, des soins et surtout industriel essentiellement dans le domaine des centrales électriques. Il faut donc gérer et surtout se protéger contre ces rayonnements. Il faut tenir compte en plus de la radioactivité des autres caractéristiques telles physiques et chimiques, de leur toxicité, de leur âge, et du degré de leur réactivité.

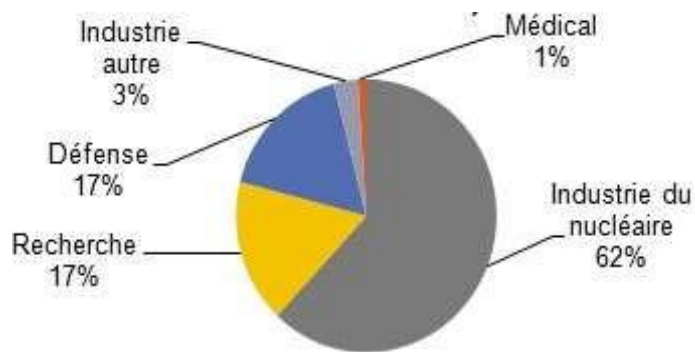
On classifie ces déchets radioactifs selon 2 critères essentiels et d'après les lois européennes appliquées à coup sûr en Algérie : Le niveau de la radioactivité et la demi-vie radioactive.

### 2.6.1 Selon le niveau de radioactivité :

- ❖ De haute activité : Ces déchets sont appelés déchets chauds, car leur niveau est estimé à  $10^9$  Bq/g (Bq: Becquerel: Unité de la radioactivité par gramme de déchets)
- ❖ De moyenne activité : Leur niveau est estimé  $10^6$  et  $10^9$  de Becquerel par gramme de rejet.
- ❖ De faible activité : Leur niveau d'activité ne dépassant pas  $10^2$  Becquerel par gramme de rejets radioactif.

### 2.6.2 Selon leur demi-vie :

- A vie longue : Si ce rejet possède une grande proportion de radionucléides et leur demi-vie dépassant une trentaine d'années, leur disparition totale se fait à l'échelle géologique.
- A vie courte : Leur durée de demi-vie est généralement inférieure à la trentaine d'années, leur disparition complète est estimée à plusieurs siècles.
- A vie très courte : Leur période de vie est inférieure à une centaine de jours, leur gestion et leur traitement sont semblables aux autres déchets industriels.



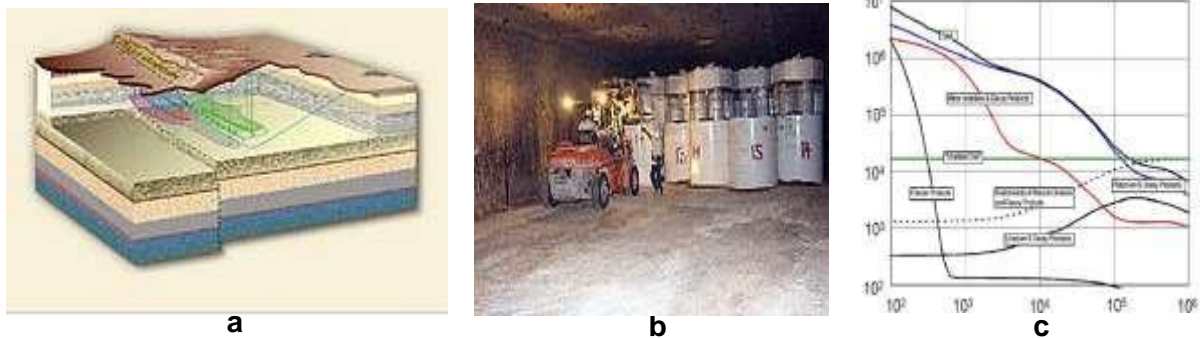
**Figure 9 : Origines des déchets nucléaires et fûts de stockage**

(Source : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Gestion\\_des\\_d%C3%A9chets\\_radioactifs\\_en\\_France](https://fr.wikipedia.org/wiki/Gestion_des_d%C3%A9chets_radioactifs_en_France))

La figure 9-a montre comment se répartissent les productions des déchets radioactifs suivant les domaines où ils sont utilisés. Il est évident que le plus gros pourcentage revient à l'industrie nucléaire pour la production d'électricité, alors que le médical n'en produit que 1% au niveau mondial.

Il est à mentionner tout de même que le militaire et la défense atteignent 17%, tous dans la fabrication des armes destructives en masse. La gestion et le traitement des déchets nucléaires dépendent de la combinaison des cas des 2 critères cités auparavant ; les moyens mis pour effectuer cela diffèrent donc d'un cas à un autre. Les déchets à vie longue et à moyenne et grande activité, non réutilisables, et distillés auparavant sont généralement entreposés pendant le traitement dans de l'eau ou bien fortement aérés par de grands ventilateurs, et cela dans le but de les refroidir car l'opération de vitrification est exothermique.

Ils sont mis sous forme de fardeaux vitrifiés de 100 m<sup>3</sup> à 150 m<sup>3</sup> puis stockés dans des endroits sécurisés isolés (entrepôt nucléaire). Cependant 2 autres procédés commencent à être largement utilisés, ce sont le stockage des déchets radioactifs en couche géologique profonde (définitif ou réversible) et transmutation et/ou séparation chimique. La figure 10-a-b montrent comment sont enfouis les rejets radioactifs dans les sols profonds, alors que la figure 10-c illustre comment varie la radioactivité selon le produit réactif en fonction de milliers et millions d'années. Le stockage par enfouissement consiste à faire reculer le relâchement et le mouvement des éléments radioactifs en fonction de leur durée de l'affaiblissement et leur déclin par l'intermédiaire de couches barrages naturelles et de couches préfabriquées en bentonite, sel, tuf, granite, marbre, roches volcaniques et autres argiles appelées colis



**Figure 10 : Evolution de la radioactivité des déchets et stockage profond**

(Source : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Stockage\\_des\\_d%C3%A9chets\\_radioactifs\\_en\\_couche\\_g%C3%A9ologique\\_profonde](https://fr.wikipedia.org/wiki/Stockage_des_d%C3%A9chets_radioactifs_en_couche_g%C3%A9ologique_profonde))

barrières. Par contre les rejets à moyenne et faible activité radioactive, cela ne nécessite pas autant de précautions. Ils sont généralement stockés en surface même avec tout de même certaines mesures et réserve au préalable. Ils sont avant tout vitrifiés et solidifiés sous forme de blocs pour éviter l'éparpillement des rayonnements radioactifs, puis enroulés et entourés de produits barrières tels le bitume goudronné, la résine, et le béton armé, le tout mis dans des conteneurs métalliques adéquats sans aucune autre opération supplémentaire.

Les centres de stockage de ces conteneurs restent tout de même sous surveillance 24 heures sur 24 pendant des décennies. Une autre méthode physicochimique est utilisée, elle est désignée sous la dénomination de transmutation ou mue atomique. Cela consiste à modifier le noyau d'un produit radioactif en un autre dépourvu de cela. Elle peut être naturelle, mais cela prend énormément de temps, mais aussi artificielle à l'aide d'un accélérateur de particules ou un réacteur nucléaire. Cette opération est très coûteuse et nécessite des moyens technologiques très avancés. Enfin, le procédé de séparation chimique (ou physique) est utilisé dans le traitement des rejets nucléaires, cette technologie consiste à obtenir d'un mélange de substances, plusieurs produits distinctement séparés. Les rejets concentrés en nucléides sont alors éloignés des autres grâce à la différence des propriétés de ceux-là par rapport aux restes du mélange.

Il est aisément compréhensible que la séparation (Tableau 6) est facile si cette différence de propriétés est grande. Les impuretés radioactives sont alors retirées par purification grâce à la connaissance de la liste qui compose ce mélange et les caractéristiques de chaque composé. Selon donc que le mélange est solide, liquide, boueux et pâteux, magnétique, de tailles différentes, etc., la séparation se fait diversement selon 2 technologies bien distinctes :

- Séparation purement mécanique
- Séparation par diffusion

## Tableau 6 : Typologie de séparation des mélanges

(Source : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Proc%C3%A9d%C3%A9\\_de\\_s%C3%A9paration](https://fr.wikipedia.org/wiki/Proc%C3%A9d%C3%A9_de_s%C3%A9paration))

Classes des procédés	Technologies
Séparation mécanique	Décantation – Egouttage – Pressage – Flottation – Flottaison – Sédimentation – Centrifugation – Essorage – Blutage – Tamisage – Filtration – Electrophorèse – Précipitation électrostatique – Magnétique – Cyclonage – Séparation par courants de Foucault – Séparation “Van”, etc.
Séparation par diffusion	Extraction – Transition de phase – Chromatographie d’adsorption et de partage – Séchage – Evaporation – Distillation – Sublimation – Pervaporation – Osmose – Electromembranes.

Concernant maintenant des déchets de faible activité, considérés par les spécialistes comme non dangereux à condition que l’exposition soit courte, ils sont issus des démantèlements des sites, usines et hangars de rejets radioactifs ; ils sont généralement compactés et mis en conditionnement sous caissons métalliques appelés dans le jargon bigs-bags.

Suite à cela, on les agence dans des grottes naturelles ou dans des alvéoles cavernueuses en surveillance aussi longtemps que nécessaire. Enfin les déchets très faiblement radioactifs mais à longue vie, sont généralement des rejets qui ont été contaminés occasionnellement et accidentellement ou non au radium, à l’uranium et au thorium. Ils emmagasinés généralement en subsurface à quelques mètres de profondeur en terrains argileux avec une contrainte de ventilation permanente.

Les déchets d’une façon générale sont étiquetés lorsqu’ils sont mis dans leur contenant, ou au niveau des zones et sites dans lesquels ils sont mis. Voici ci-dessous sur la figure 11, les sigles (icônes) utilisés dans l’industrie et les laboratoires de recherche.





**Figure 11 : Sigles et icones des déchets en Algérie**

(Source : <https://mainsvertes.org/2019/03/19/tout-savoir-sur-les-dechets-en-algerie-partie-1/> )

Dans certaines situations, ces produits nocifs de types différents ne peuvent pas être stockés ensemble à cause de leurs interactions. On doit donc prendre beaucoup de précautions en les séparant ou en prenant certaines dispositions particulières et nécessaires.

Ci-dessous le tableau 7 montrant cela ; le signe “+” montre que les rejets sont stockables sans aucune précaution car ne présentant pas de dangerosité, le signe “-” indique que les produits ne peuvent en aucun cas stockés ensemble, et enfin le signe “o” révèle que les produits peuvent être stockés ensemble mais en prenant certaines dispositions selon le cas.

**Tableau 7 : Tableau de l'inter connectivités des produits rejetés**

(Source : <https://mainsvertes.org/2019/03/19/tout-savoir-sur-les-dechets-en-algerie-partie-1/> )

	+	-	-	-	-	+
	-	+	-	-	-	-
	-	-	+	-	-	+
	-	-	-	+	-	-
	-	-	-	-	+	o
	+	-	+	-	o	+

### 3 Gestion des déchets en Algérie :

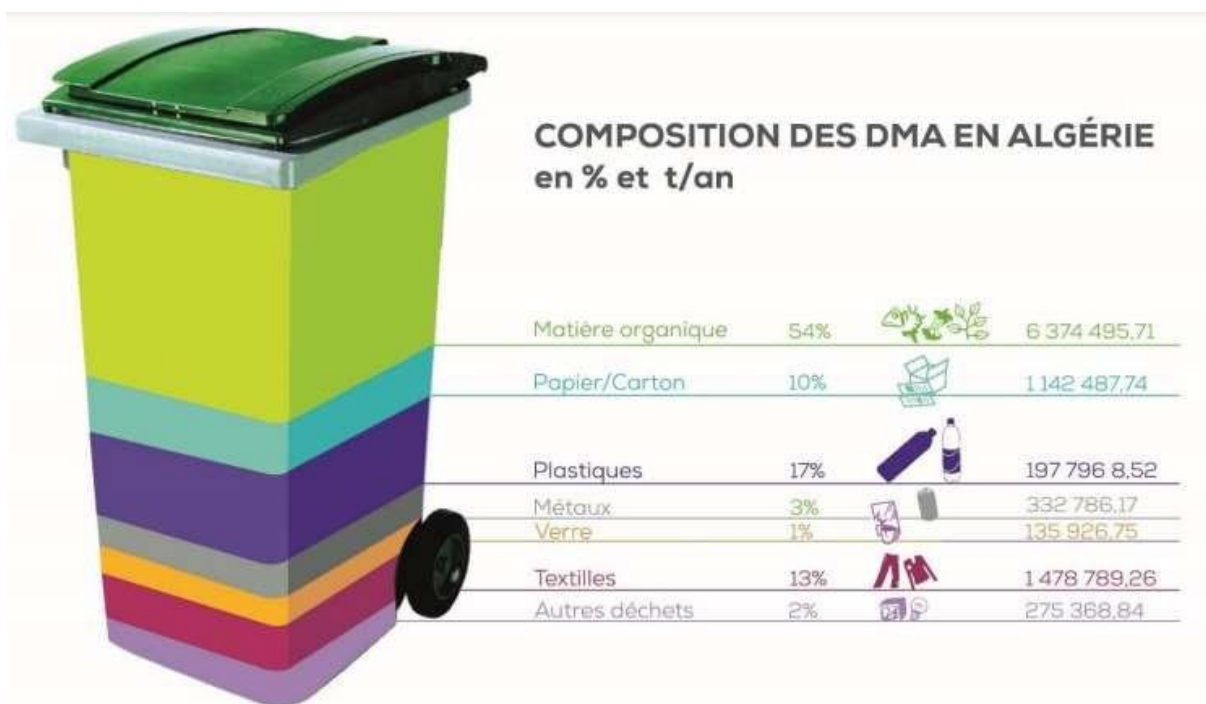
La gestion, le traitement, l'incinération, l'enfouissement, le recyclage et la transformation des déchets en Algérie sont régis par des textes réglementaires, L'agence Nationale des déchets (and.dz) est chargée à élaborer les lois et les textes dans ce domaine puis de les soumettre au gouvernement afin de gérer comme il se doit le fonctionnement complexe et délicat dans ce secteur. Parmi eux, la loi 01-19 définissant le cadre réglementaire de la gestion comme suit : (les titres principaux sont repris intégralement) :

- *La prévention et la réduction de la production et de la nocivité des déchets à la source*
- *L'organisation du tri, de la collecte, du transport et du traitement des déchets*
- *La valorisation des déchets par leur réemploi, leur recyclage ou toute autre action visant à obtenir, à partir de ces déchets, des matériaux réutilisables ou de l'énergie*
- *Le traitement écologiquement rationnel des déchets*
- *L'information et la sensibilisation des citoyens sur les risques présentés par les déchets et leur impact sur la santé et l'environnement, ainsi que les mesures prises pour prévenir, réduire ou compenser ces risques*

Certains autres textes définissant certains axes sont mentionnés ci-dessous pour consultation au niveau du journal officiel de l'Algérie :

- 1) *DÉCRET EXÉCUTIF N°03-478 DU 9 DÉCEMBRE 2003 DÉFINISSANT LES MODALITÉS DE GESTION DES DÉCHETS D'ACTIVITÉS DE SOINS*
- 2) *DÉCRET EXÉCUTIF N°06-104 DU 28 FÉVRIER 2006 FIXANT LA NOMENCLATURE DES DÉCHETS*
- 3) *DÉCRET EXÉCUTIF N° 07-205 DU 30 JUIN 2007 FIXANT LES MODALITÉS ET PROCÉDURES D'ÉLABORATION, DE PUBLICATION ET DE RÉVISION DU SCHÉMA COMMUNAL DE GESTION DES DMA*

Le responsable de l'AND, dans une présentation à Bruxelles estime que les matières organiques occupent la première place des déchets de type DMA avec 6374495,71 tonnes par an, ce qui équivaut à un pourcentage de 54% de la totalité des déchets



*Figure 12 : Composition des déchets ménagers et assimilés en Algérie*

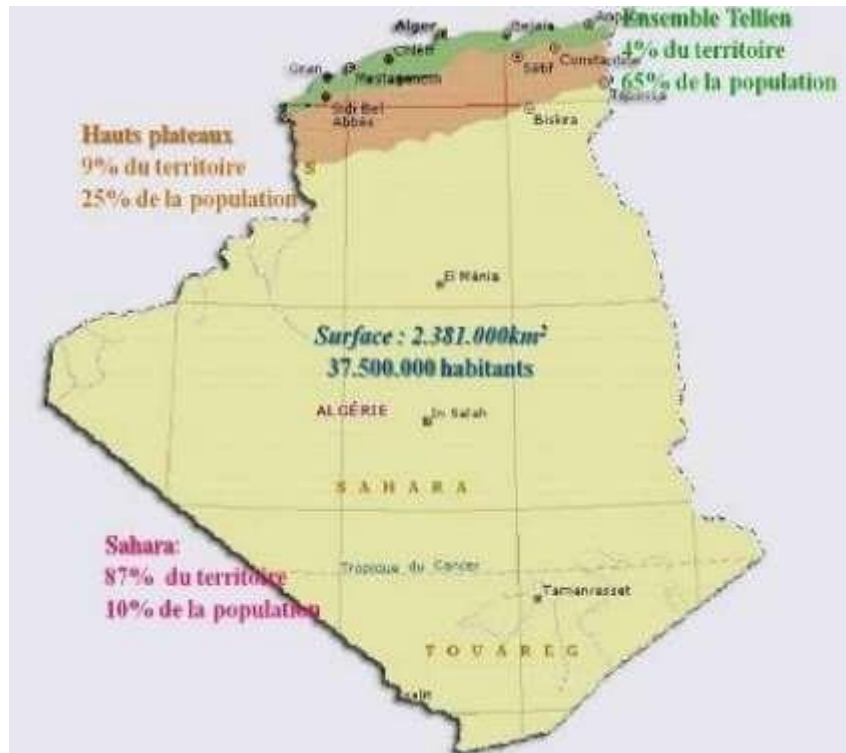
(Source : Présentation Karim Ouamane, DG de l'AND, Algérie à Bruxelles)

produits. Les plastiques qui sont considérés comme un fléau environnemental se placent en seconde position avec 1 977 968,52 tonnes par an, autrement dit avec 17% de la production. Les papiers, cartons et textiles eux deux totalisent 2 621 277 tonnes par an, soit un taux de 23%.

Les verres et les métaux considérés comme déchets compacts et durs ne représentent que 4% de la totalité des déchets (Figure 12). Cette quantité de DMA devrait atteindre 20 millions de tonnes en 2035, d'après les statistiques et estimations de l'agence nationale des déchets, soit 2,35 kg par habitant et par jour pour une population de 50 millions d'habitants. Malheureusement le taux de valorisation demeure très bas frôlant à peine les 10%, c'est ce qui est considéré comme une statistique médiocre. Pour ne pas se trouver dans une situation d'enfouissement aveugle, et d'incinération, des investissements dans le traitement et la récupération doivent être faits.

Si la situation de la gestion des déchets reste telle quelle, l'Algérie est appelée inexorablement à exporter des quantités de DMA, moyennement de payer cette vente aux pays essentiellement africains à la recherche des rentrées de devises. Les ratios étant alors de 0,9 kg par habitant et par jour en zone urbaine et de 0,7 kg par habitant et par jour pour les zones rurales. D'autres statistiques de l'AND annoncent que 95 kg par habitant et par an d'emballages cartonnés sont rejetés alors que près de 170 kg par

habitant et par an de putrescibles salissent nos décharges. Cela emmène les gestionnaires à trouver au minimum 400 ha de besoin en foncier pour les zones du nord de l'Algérie, et 260 ha pour les zones du sud afin d'installer des terrains d'enfouissement, d'incinération et de construction d'usines de traitement.



**Figure 12 : Carte zonale des terrains d'installation de traitement des DNA en fonction de leur superficie et de leur population**

(Source : <https://agidalgerie.files.wordpress.com/2017/04/annexe-6-prc3a9sentation-and.pdf>)

“Tout cela a un coût bien entendu, pour cela la valeur marchande des déchets recyclables dépasse 90 milliards de dinars algériens par année. Selon l'étude de l'AND, la récupération et la valorisation des déchets ménagers et assimilés seraient à même de créer de l'emploi en matière de valorisation des déchets notamment plastiques dont les bouteilles des boissons gazeuses et des eaux minérales.

Les déchets ménagers issus des bouteilles des boissons gazeuses et des eaux minérales représentent 4% des déchets ménagers, soit 470.000 tonnes/an, et la valorisation de ce type de plastique pourrait créer 7.600 postes d'emploi directs/an, selon l'AND.

Le nombre des structures de récupération et de recyclage des déchets non dangereux (DND) s'élevait à 444 structures en 2019, tandis que le nombre d'opérateurs

dans ce domaine était estimé à 4080 durant la même année, selon la même étude” (Fin de citation Karim Ouamane, DG de l’AND).

Un programme de gestion des déchets municipaux a été lancé en Algérie, il a abouti aux résultats suivants jusqu’à fin 2018 (*Données de l’AND*) :

└ 2000 Éradications des décharges sauvages

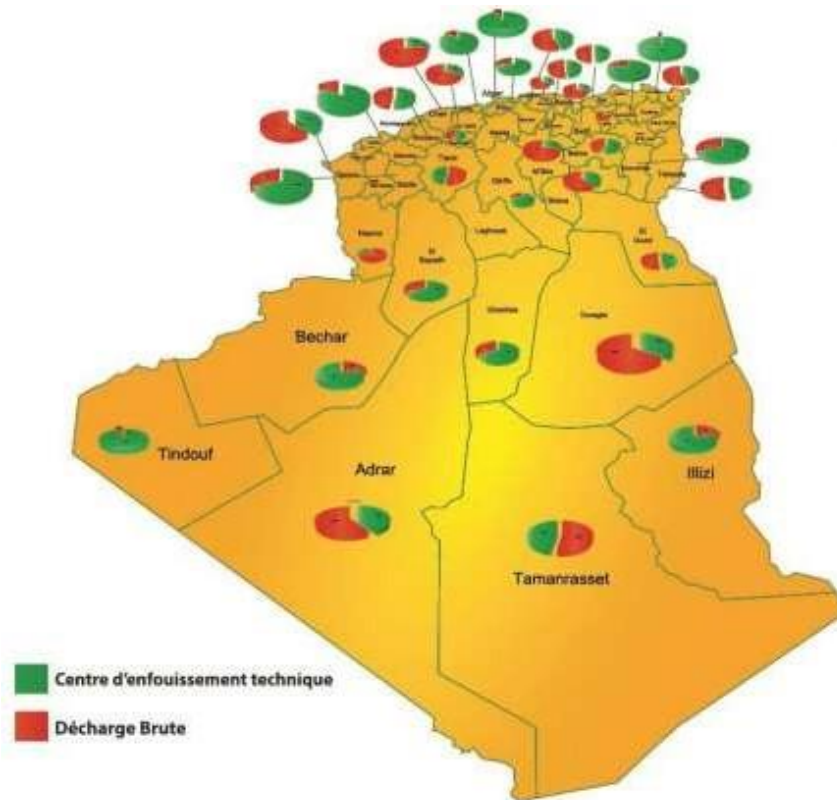
└ Installations de traitement

- 163 installations d’enfouissement des DMA
- 54 installations de stockage des DI
- 18 centres de tri
- 26 déchetteries

└ Outils de planification : 1223 schémas directeurs sur 1541

└ Délégation de gestion au profit d’établissements publics locaux

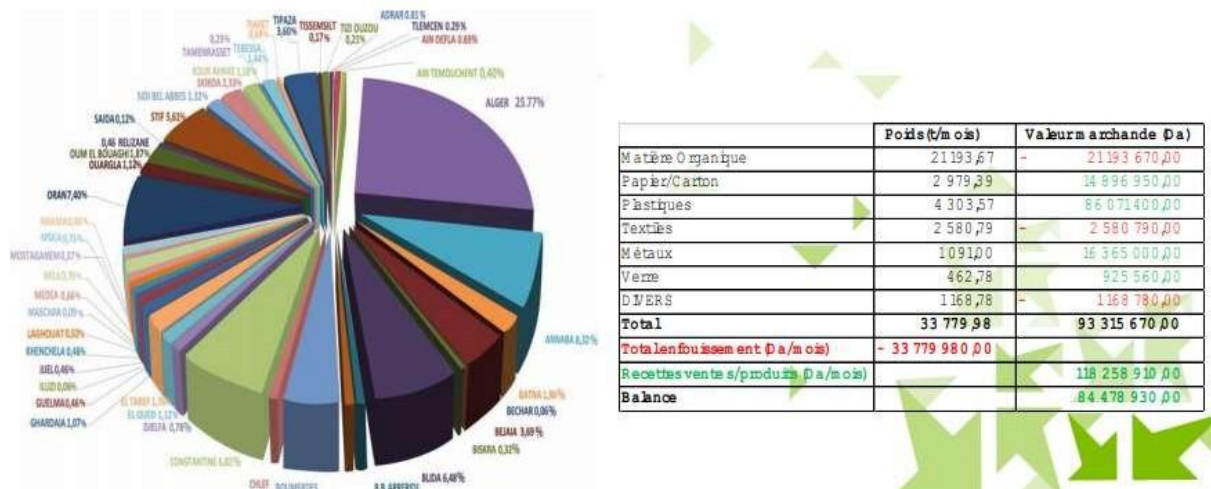
La carte ci-dessous montre comment sont répartis les centres d’enfouissement techniques selon les wilayate en Algérie, ce procédé demeure le plus utilisé jusqu’à maintenant en attendant l’installation des unités industrielles de traitement et de récupération :



**Figure 13 : Répartition des CET en Algérie**

(Source : Agence nationale des déchets Algérie)

Malgré la faible quantité d'unités de traitement et de valorisation, les activités au niveau des centres ont atteint une valeur marchande de 118 258 910,00 Da par mois, ce qui n'est pas négligeable. La schématisation ci-dessous (Figure 14) fournie par l'AND, et exposée par son DG, dans une conférence internationale nous donne les détails suivants :



**Figure 14 : Poids des déchets récupérés et leur valeur marchande**

(Source : Agence nationale des déchets Algérie)

# CHAPITRE 2

## Résidus et stériles miniers

### 1 Définition des stériles :

On appelle stériles miniers ou résidus et sols miniers, tous les matériaux et produits excavés restant après avoir exploité une mine et extrait la grande partie du composant principal commercialement valorisable, et dans lesquels la quantité et la teneur de ce métal recherché tels l'uranium, l'or, l'argent le plomb, le nickel ou autres sont quasiment nulles.

Ces rejets dont la masse et le volume sont impressionnants, puisqu'ils dépassent de 100 à 1000 fois le produit extrait doivent être stockés dans des ouvrages adéquats tels que les verses à stériles et anciennes fosses minières, des digues de retenues, des bassins de résidus, de telle façon à minimiser l'érosion des sols et l'impact de ces produits sur l'écosystème.



*Figure 14 : Construction de digues et remblais*

(Source : <https://www.google.com/search?q=digues+de+retenues+mini%C3%A8res&sxsrf=...>)

### 2 Les mines des métaux, leur exploitation et leur gestion :

De nombreux biens et matériaux de construction sont la conséquence d'exploitation des mines de minéraux dans lesquelles on extrait des matières premières de valeur. Il est question de matières métallifères telles celles citées ci-avant utilisées

dans diverses industries, chimique, métallurgique, nucléaire, pétrolière, et entre autre alimentaire et médicamenteuse. Tous ces métaux sont dans certains cas utilisés directement, mais souvent traités et raffinés dans des fonderies. Ils sont produits avec en conséquence le rejet de stériles et résidus en très grandes quantités qu'il faudrait retraiter ou stockés ; ils sont produits dans les 3 étapes qui sont l'extraction, le traitement et enfin la gestion des résidus.

Une charge financière très importante, souvent non aimée par les exploitants car étant très élevée, les démobilise et les contraint à ignorer certaines étapes du traitement. Les méthodes de gestion des résidus miniers et des stériles tournent autour de plusieurs grands axes, à savoir :

- Rejets des boues dans les bassins
- Stockage dans des digues de retenues
- Remblayage de mines souterraines
- Stockage à sec
- Rejets dans les eaux de surface
- Emploi comme matières de l'aménagement des sols.

Le choix d'un des procédés sur l'autre se base sur ces 3 critères essentiels qui sont :

- Le coût
- L'environnement
- Les risques

Les émissions d'effluents, de poussières et de fumées, ainsi que le type de sols durant le traitement impactent sur le choix de l'emplacement du site de traitement et de transformation. Les émissions dégradent l'état de santé des personnes habitant les régions environnantes, ils sont très toxiques pour l'homme, l'animal et la plante. Les effondrements d'ouvrages souvent courants causent la perte de vies humaines et des très graves dommages environnementaux.

Une gestion correcte des stériles se base sur la caractérisation des matériaux pour connaître leurs propriétés afin de faire une prévention de leur tenue à moyen et à long termes, car ces rejets peuvent agir sur l'environnement récepteur. Il faudrait donc connaître à titre d'exemples leur dureté, leur pH, leur viscosité, leur teneur en oxygène, en gaz carbonique, leur toxicité et autres pour prendre des décisions adéquates d'installation de sites de traitement.



## 2.1 Réhabilitation des sites non productifs :

Lorsqu'une exploitation se termine et qu'il y a épuisement de matières premières, il faut faire en sorte de ne laisser aucune trace nuisible par des opérations de nettoyage, ou de procéder à une transformation profonde du lieu par des opérations industrielles coûteuses qui engendrent obligatoirement la fermeture du site et sa surveillance à long terme pour minimiser les effets nocifs sur l'environnement.

### 2.1.1 Techniques et procédés miniers de gestion ultérieure :

La technique d'exploitation minière utilisée dans l'extraction du minerai agit considérablement par la suite sur le traitement ultérieur et la gestion du résidu et des stériles. Il est donc demandé de connaître convenablement les principales méthodes d'exploitation telles que l'exploitation des carrières, l'exploitation des mines souterraines, l'exploitation des mines à ciel ouvert, et l'exploitation par extraction par dissolution. Le choix de la gestion des résidus miniers et la réhabilitation des sites miniers se basent alors sur ces 4 méthodes précédemment citées. Des facteurs liés à ces méthodes se basent sur plusieurs critères bien distincts, ce sont :

- \*\* La profondeur du gisement, sa taille et sa forme
- \*\* Les méfaits sur l'environnement
- \*\* Les conditions environnementales des voisinages du site
- \*\* Les conditions géologiques des roches composant le site minier
- \*\* La solubilité du minerai
- \*\* La situation du gisement
- \*\* Les conditions sismiques de la zone
- \*\* La teneur du minerai
- \*\* Les contraintes de surfaces
- \*\* La disponibilité du terrain.

### 2.1.2 Science des minéraux:

La récupération des minéraux à partir du minerai, puis le traitement des déchets et la gestion ultérieure des rejets miniers exigent une bonne connaissance de la minéralogie ; elle demeure indispensable pour :

- Une utilisation limitée des traitements en fin de parcours, comme le traitement à la chaux des eaux de percolation acidifiées provenant d'une installation de gestion des résidus.

- Une extension des possibilités d'utilisation des résidus et/ou des stériles comme agrégats.

### 2.1.3 Processus et techniques :

Les techniques et les processus à suivre pour l'extraction du minerai peuvent nous aider énormément à traiter les stériles miniers, car à travers eux, on choisit alors le mode de récupération et de traitement, car ils influent sur les résidus obtenus. Ces techniques sont citées en détail sur le tableau 6 du premier chapitre.

### 2.1.4 Gestion des stériles miniers :

Le traitement des stériles aux niveaux des usines et installations de gestions des résidus se base sur la connaissance profonde des caractéristiques des matériaux, on peut citer entre autres, la perméabilité, la densité, la résistance au cisaillement, la granulométrie, la porosité, la plasticité et la teneur en humidité. Ces caractéristiques nous permettent de transvaser les boues issues d'un traitement humide vers les digues de retenues où plusieurs actions sont envisagées, à savoir :

- Installation de digues de retenue,
- Elimination de l'eau gravitaire en excès,
- Protection de la zone avoisinante contre les incidences sur l'environnement,
- Instruments et systèmes de surveillance permettant l'inspection de la digue
- Mise en place de systèmes de dérivation pour les eaux de ruissellement naturelles autour et au travers de la digue,
- Dépôt des résidus à l'intérieur de la digue,
- Transport des résidus de l'usine de traitement du minerai à la digue,
- Aspects à long terme (entretien après fermeture).

Bien entendu, ce n'est pas les seules techniques qui traitent les résidus et les stériles, d'autres agissements et dispositions peuvent être appliqués mais de faibles importances que les huit méthodes auparavant citées, ce sont :

- ✓ Utilisations comme remblais
- ✓ Formations de terrils
- ✓ Epaissement de couches
- ✓ Utilisation subaquatique
- ✓ Réutilisations à d'autres fins.

Habituellement, une mine et ses installations de traitement du minerai et de gestion des résidus et des stériles ne restent en activité que durant quelques décennies. Cependant, les excavations, les résidus et les stériles d'une mine peuvent subsister longtemps après la cessation de l'exploitation.

Par conséquent, une attention particulière doit être accordée à une fermeture, une réhabilitation et un entretien après fermeture appropriés des installations. Indépendamment du choix de l'implantation des sites, les aspects essentiels à prendre en compte pour la gestion des résidus et des stériles sont les modes de défaillance des terrils et des digues, la relation entre les caractéristiques des résidus et leur comportement.

### 2.1.5 Moyens et systèmes utilisés dans les traitements :

Selon le type de minerai proprement dit ainsi que le métal extrait, les moyens, les systèmes et les méthodes utilisés diffèrent d'une situation à l'autre. Par exemple les résidus des minerais de fer et de borates ont grossiers et engendrent des boues de traitement, ils sont stockés en terrils puis utilisés eux aussi comme remblais, alors les boues sont acheminées dans des bassins de décantation.

Les exploitations de calcaire, de kaolin et de sels de calcium rejettent des éléments boueux et hydratés avant même de les mettre en terrils, l'élimination de l'eau est faite obligatoirement car étant conseillée dans l'opération de déshydratation totale qui va suivre. Les résidus issus de l'exploitation de métaux communs sont, la plupart du temps, gérés comme des boues dans de grands bassins.

Les minerais de métaux communs renfermant souvent des sulfures (en quantité supérieure aux minéraux neutralisants contenus dans ces minerais). Dans une exploitation, les résidus sont stockés sous eau afin d'empêcher ce drainage dès le départ. Dans d'autres, une partie des résidus est stockée dans le sol. Dans plusieurs cas, la méthode de fermeture choisie pour le bassin de résidus est la technique de la couverture "humide", tandis que des couvertures sèches sont appliquées dans d'autres cas.

Les rejets sous forme de boues rouges se présentent souvent avec une acidité dont le pH est élevé tels les minerais d'aluminium, sont soit stockés dans des systèmes de bassins et de digues traditionnels, soit épaissis jusqu'à ce qu'on puisse les stocker à sec, soit déversés dans la mer.

Le cyanure qui persiste après le lavage et le lessivage du minerai d'or doit être complètement détruit chimiquement avant que le reste soit stocké dans des bassins tandis qu'une production de fluorine rejette carrément les produits en mer ou dans des puits profonds.

Les houillères évacuent généralement leurs résidus grossiers sur des terrils ou dans d'anciennes mines à ciel ouvert. Les fines boueuses sont soit rejetées dans des bassins soit filtrées. Dans certains cas, les résidus filtrés et les résidus grossiers sont vendus. Dans d'autres, ils sont entreposés sur des terrils. L'utilisation des résidus comme remblais n'est souvent pas praticable.

D'une façon générale, la gestion des rejets miniers est dépendante de 5 grands axes essentiels, à savoir l'environnement, la technologie, l'acceptabilité sociale, l'économie, et enfin le cadre juridique. Un consensus doit alors se dégager à partir de ces 5 points pour trouver le juste milieu. La figure 15 illustre la dépendance de ces axes dans ce cycle.



*Figure 15 : Cycle de la gestion intégrée des résidus miniers*

(Source : Thèse Hicham Amar, Université du Québec, 2020)

## 2.2 Métaux communs (cadmium, cuivre, étain, nickel, plomb, zinc)

Mis à part le fer et l'aluminium, les métaux les plus produits et consommés au monde sont le cadmium, le cuivre, l'étain, le nickel, le plomb, et le zinc. Leur gestion engendre bien entendus des rejets qui détériorent l'environnement, la nature, la faune et la flore ; ils sont traités différemment par des méthodes mécaniques, physiques et chimiques.

### 2.2.1 Elimination des stériles des mines de Cadmium :

Le cadmium (Cd) est un métal blanc-bleuâtre, mou et très malléable. Il appartient à la famille des métaux de transition. Il n'existe pas à l'état natif mais est obtenu industriellement comme sous-produit de la métallurgie du zinc, mais est aussi présent dans des minerais de plomb et de cuivre.

C'est un produit dangereux et cancérigène si l'être humain est exposé directement et pendant longtemps, sa manipulation se fait sous protection. Il fait partie parmi les éléments les plus toxiques au monde. Une simple inhalation peut provoquer la fièvre des fonderies, et la mort peut être occasionnée à forte dose. La dose maximale supportée par l'être humain est de 1 microgramme par jour et par kilogramme. Pour cela, les résidus doivent être traités et éliminés du milieu environnemental. Il se présente sous forme de tellure de cadmium.



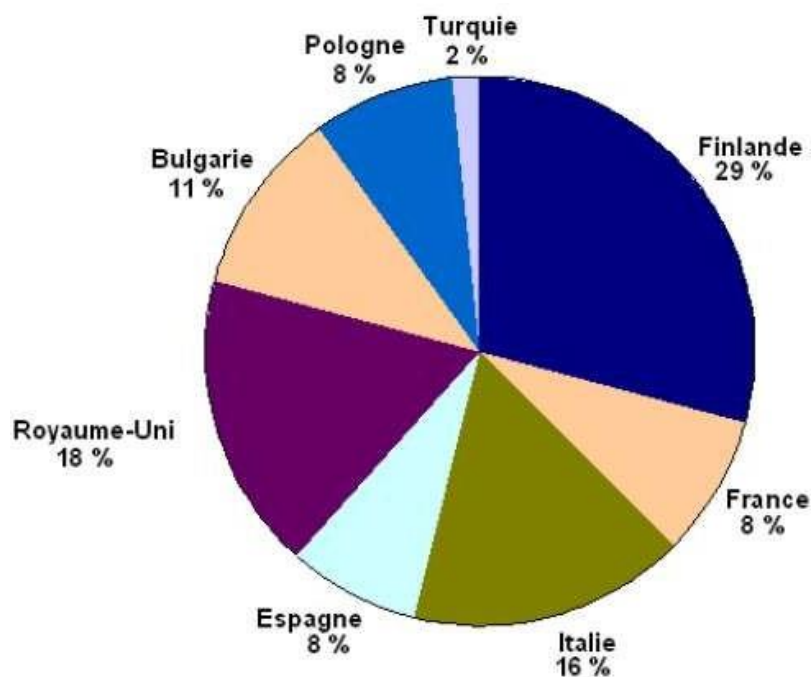
*Figure 16 : Tellure de Cadmium*

(Source : <https://www.google.com/search?q=cadmium&sxsrf=ALeKk005ajPPe4u2Ap7bdMpELyfNez2BrQ:1623855648302&source=...>)

Les principaux producteurs de cadmium et de ses rejets ne sont pas européens, ni africains :

- Chine : 8200tonnes
- Corée du Sud : 5600 tonnes
- Japon : 2100tonnes
- Canada : 1500tonnes
- Kazakhstan : 1350tonnes
- Mexique : 1250tonnes
- Russie : 1140tonnes
- Pays-Bas : 760tonnes
- Pérou : 640tonnes
- Pologne : 400tonnes

Au niveau Européen, voici ci-dessous le graphe illustrant la production des pays qui demeure très loin des pays cités auparavant :

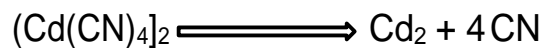


**Figure 17 : Production européenne de cadmium**  
 (Source : Gestion des résidus et stériles des activités minières Janvier 2019)

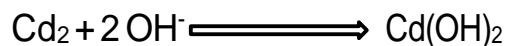
Les principaux pollueurs cadmiés sont la sidérurgie et métallurgie, les producteurs de zinc ainsi que les industries de traitement de surface. Le traitement “*physico-chimique*”, s’effectuant dans une station de détoxification, est le plus souvent utilisé pour éliminer cette pollution. La norme de rejet n’est pas souvent atteinte dans ce cas, on a alors recours à des traitements complémentaires tels que la “*flottation*” ou l’utilisation

des résines échangeuses d'ions. Le traitement physico-chimique est composé de plusieurs étapes qui sont les suivantes :

Oxydo-réduction : Ce principe consiste à faire passer un élément d'une forme dissoute à une forme précipitable et cela en transformant un corps composé en plusieurs corps simples. Dans le cas par exemple, des bains cyanurés dans l'industrie de traitement de surface, où le cyanure est utilisé sous forme de  $(\text{Cd}(\text{CN})_4)_2$ , on utilise un oxydant puissant qui est l'hypochlorite de sodium  $\text{NaClO}$ , dont le rôle est de transformer le  $(\text{Cd}(\text{CN})_4)_2$  selon la réaction suivante:



Neutralisation : Il s'agit d'un traitement de correction de pH qui consiste à ramener le pH d'une eau à une valeur définie et cela afin de permettre sa "floculation". Le cadmium peut être présent dans des effluents dont le pH varie entre 2 et 13. L'insolubilisation du cadmium, sous forme d'hydroxyde par exemple  $\text{Cd}(\text{OH})_2$ , aura un rendement maximal pour un  $\text{pH}=11$ . La neutralisation s'effectue par un mélange (15 min à 1 heure) dans un réacteur à la soude ou à la chaux. La réaction de précipitation s'écrit :



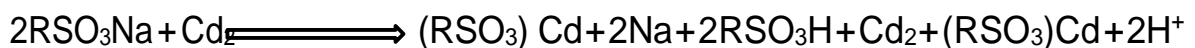
Floculation : Pour faciliter la formation des "flocs", qui vont aider à la précipitation d'hydroxydes, on utilise des floculants (polymères). Le temps de mélange est de 10 à 15 minutes.

Décantation : Le principe de la décantation est de permettre au précipité, par différence de densité avec la solution, de décanter dans le fond du bassin. Cette technique présente un inconvénient. En effet, à pH optimal, la précipitation du cadmium pris isolément sous forme d'hydroxyde, permet d'obtenir une valeur résiduelle du métal soluble très faible. Dans la pratique, on ne peut pas travailler à pH optimal étant donné que mis à part le cadmium, d'autres métaux sont présents dans la solution. C'est pour cette raison que l'on n'atteint pas un rendement théorique optimal. "

Traitements complémentaires : Dans le cas où les normes de rejets ne sont toujours pas respectées, on procède à des traitements complémentaires :

Flottation : le principe de la flottation est de permettre aux particules de flotter par le fait que leur densité est inférieure à celle de la solution. Pour arriver à ce résultat, il est provoqué des groupements particules/air d'une densité inférieure au liquide. il s'agit du phénomène inverse de la décantation. Les particules sont extraites à la partie supérieure d'un flottateur. Utilisé dans le traitement des effluents de peintures ou le cadmium peut être présent en tant que pigment coloré.

Echangeur d'ions : L'échange d'ions est un procédé dans lequel les ions d'une certaine charge contenus dans une solution sont éliminés de cette solution par adsorption sur un matériau solide pour être remplacés par une quantité équivalente d'autres particules de même charge émis par le solide. On utilise éventuellement des résines de type sodium ou hydrogène pour éliminer le cadmium :



Lorsque la résine est épuisée ou saturée, la capacité d'échange de la résine est alors nulle. La régénération des résines saturées en métaux est un problème. Lors de la régénération on se retrouve de nouveau avec des effluents à traiter (Eluats) qu'il faudra traiter par traitement physico-chimique. En fin de compte, la pollution est transférée au niveau des boues. La destination principale des boues industrielles est l'incinération. Dans ces usines, il existe des unités spéciales de captage des métaux lourds, et cela afin de répondre aux normes de rejets gazeux. La norme d'émission en cadmium volatil des incinérateurs de Déchets Industriels Spéciaux (DIS), exigée à partir de 2000, est de 0,1 mg de Cd/m<sup>3</sup> pour les installations existantes et de 0,05 mg Cd/m<sup>3</sup> pour les nouvelles installations.

## 2.2.2 Elimination des stériles des mines de Nickel et de cuivre :

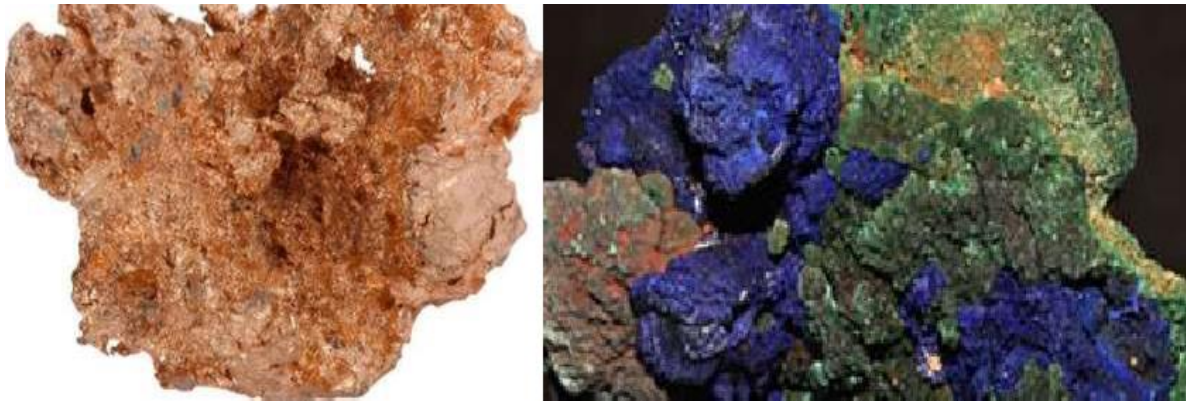
Métal blanc brillant, légèrement grisâtre à cassure fibreuse, présentant des analogies avec le fer. (Élément de symbole Ni, de numéro atomique 28, de masse atomique 58,71.). Qu'ils soient latéritiques ou sulfureux, les minerais de nickel sont exploités dès que leur richesse dépasse 1,3 % de nickel. Cette faible teneur explique la complexité et la diversité des procédés, déterminés par la nature de la gangue du minerai, ainsi que par la qualité du nickel désiré à la fin de l'extraction. Les minerais se présentent sous forme de latérites ou de produits sulfureux, d'où des rejets et des résidus de sulfures, sulfites et de sulfates dans la nature nocifs à l'environnement causant des dégâts importants sur la faune et la flore. Le traitement et l'élimination de ces restes restent indispensables.





**Figure 18 : Morceau de Nickel traité**

(Source : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Extraction\\_du\\_nickel](https://fr.wikipedia.org/wiki/Extraction_du_nickel) )



**Figure 19 : Minerais de cuivre**

(Source : [https://www.google.com/search?q=cuivre+brute&tbm=isch&ved=2ahUKEwiQ35mliaPxAhVE4hoKHaamD\\_sQ2-cCegQIABAA&oeq=cuivre+brute&gs\\_lcp=...](https://www.google.com/search?q=cuivre+brute&tbm=isch&ved=2ahUKEwiQ35mliaPxAhVE4hoKHaamD_sQ2-cCegQIABAA&oeq=cuivre+brute&gs_lcp=...))

Le nickel s'emploie dans toutes sortes de produits, mais principalement dans des alliages, le plus important étant l'acier inoxydable ou inox. Il s'utilise également dans l'électrodéposition, les fonderies, les catalyseurs, les piles, la fabrication des monnaies, et diverses autres applications. Les minéraux de Nickel ne se trouvent pas à l'état pur, en réalité ils sont mélangés au cuivre, et donc une technologie physico-chimique de séparation des 2 métaux est nécessaire. Cela se retrouve au niveau des déchets et des résidus de ces mines, puisqu'ils se composent eux aussi d'un amalgame de ces deux métaux.

Le cuivre est de la même famille que l'argent et l'or, les trois métaux de ce « groupe du cuivre » ont un caractère de noblesse et de rareté accru, du cuivre semi-noble à l'or véritablement noble.

Naturellement présent dans la croûte terrestre, le cuivre (à faible dose) est essentiel au développement de toute forme de vie. Il est majoritairement utilisé par l'homme sous forme de métal. Le cuivre pur est un des seuls métaux colorés avec l'or et l'osmium. Il présente sur ses surfaces fraîches une teinte ou un éclat métallique rose saumon : ce « métal rouge » apprécié en orfèvrerie et en bijouterie, par exemple comme support de pièces émaillés ou émaux rares, était dédié à la déesse de la beauté Aphrodite et aux artistes. On le désigne parfois sous le nom de cuivre rouge par opposition aux laitons (alliages de cuivre et de zinc) improprement nommés « cuivre jaune ». Métal ductile, il possède des conductivités électrique et thermique particulièrement élevées qui lui confèrent des usages variés. Il intervient également comme matériau de construction et entre dans la composition de nombreux alliages, les cupro-alliages.

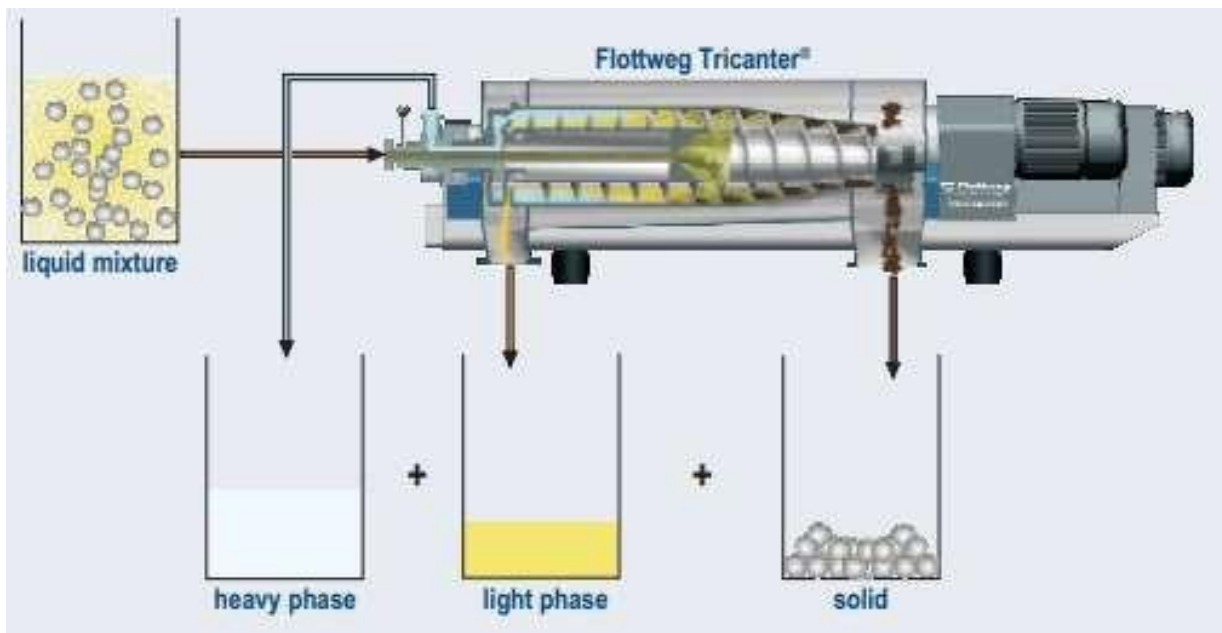
Le cuivre, aujourd'hui métal usuel, est le plus ancien métal utilisé par l'homme. Le point de fusion n'est pas trop élevé, et la facilité de réduction de l'oxyde de cuivre, souvent par un simple feu de bois, est remarquable. Cependant, il laisse lui aussi des résidus sous formes de cuivre métal pur, d'oxyde de cuivre et autres sels qu'ils faudrait éliminer pour préserver l'environnement

Il existe plusieurs méthodes de traitement et d'élimination de ces résidus des terres dont on a déjà retiré ce métal (boues et terres déshydratées), dont l'une d'elles est :

La séparation par des centrifugeuses décanteuses industrielles (Figure 20) solide-liquide hautement efficace et de rendement de grande pureté. C'est une technologie allemande facile à utiliser car étant fiable et robuste avec un coût relativement modéré et une qualité de séparation de haute performance environnementale. Ce traitement hydro métallurgique, en plus de la séparation de plusieurs éléments possédant des caractéristiques différentes, est utilisé pour la récupération à partir des terres le nickel et le cuivre en fines poussières en séparant les phases.

Les résidus sont encore bien souvent stockés dans de grands bassins de décantation ou des lagunes. Cela représente une menace importante pour l'environnement. Les eaux de processus sont chargées de résidus et restent donc inutilisées. Grâce aux solutions modernes de déshydratation, il est non seulement possible de traiter les résidus miniers à peu de frais, mais il est également possible de récupérer les eaux de

processus. Cela représente un gain de place et d'argent et permet de protéger l'environnement.



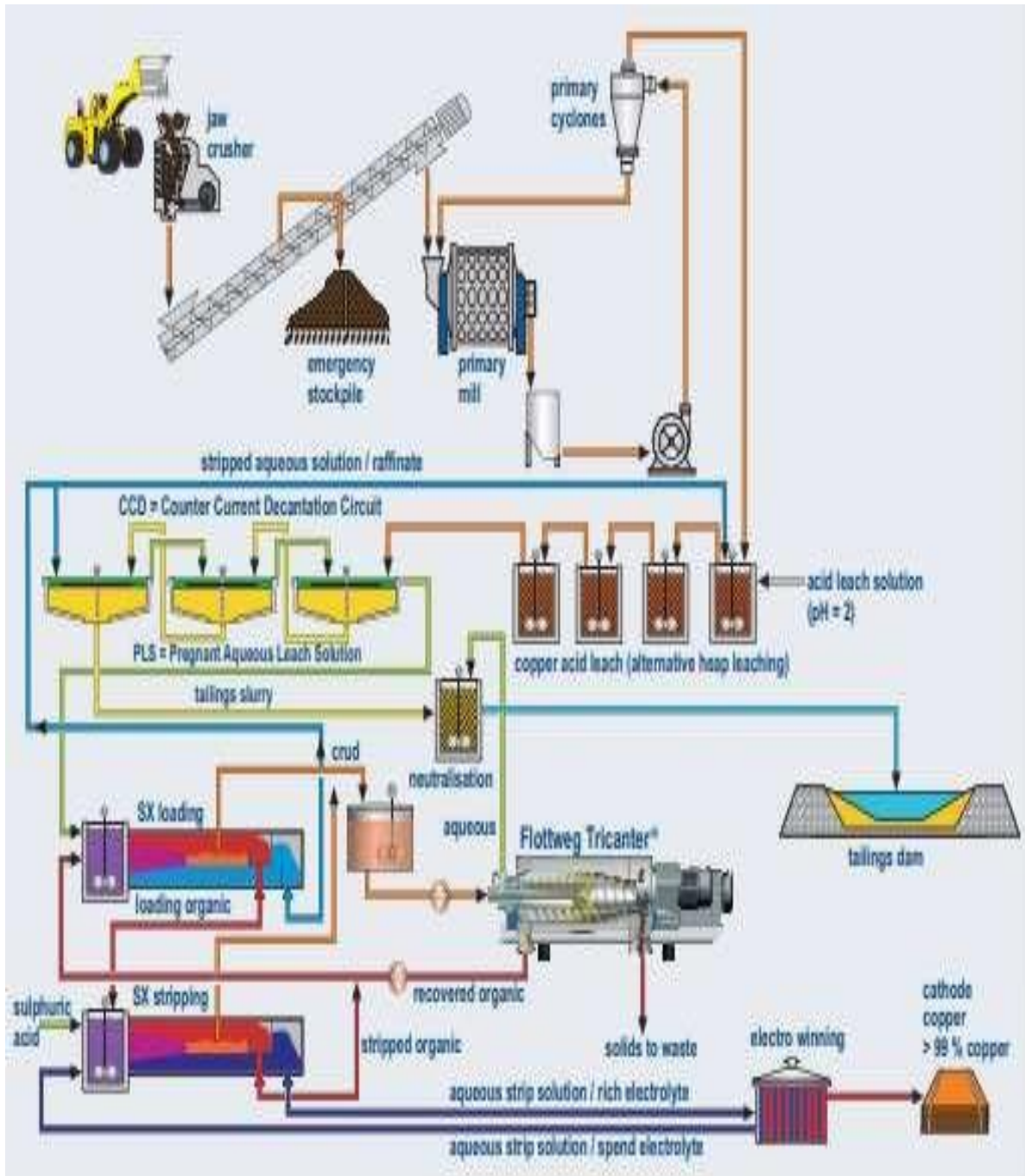
**Figure 20 : Séparation des phases avec centrifugation**

(Source : Fascicule de Flottweg centrifuge technology for the mining industry)

La centrifugation industrielle réalise une séparation triphasique, c'est-à-dire la séparation simultanée de deux liquides non miscibles de densités différentes et une phase solide, à condition que la phase solide soit la plus lourde. La principale différence avec un décanteur est l'évacuation séparée des deux phases liquides.

Dans le secteur minier, les résidus sont de fines particules se présentant sous la forme de boues. Ils sont issus du traitement des minerais et des minéraux. Les eaux usées ou la boue en résultant sont en partie contaminées par des produits chimiques. Stockés dans des lagunes, ces résidus représentent une menace pour l'environnement. En cas de rupture de digue, cela peut avoir des conséquences graves pour la population et l'environnement.

De plus en plus souvent, on préfère stocker des résidus déshydratés plutôt que dans des lagunes. Les compagnies minières stockent les boues déshydratées en surface à même le sol. Elles sont ainsi en conformité avec les dispositions légales dans la plupart des pays. Dans des zones de stockage difficiles d'accès, exigües, ou dans des zones sismiques,



*Figure 21 : Usine de traitement et de séparation des minerais et stériles par centrifugeuses industrielles*

(Source: Fascicule de Flottweg centrifuge technology for the mining industry)

Le fait de déshydrater les boues résiduelles présente un avantage certain. Cela limite les risques environnementaux et réduit l'espace nécessaire en surface. Une fois clarifiées, les eaux de processus peuvent être recyclées. Cela réduit d'autant les coûts d'exploitation minière. Les travaux miniers ont souvent lieu dans des zones exiguës et difficiles d'accès.

**Tableau 7 : Liste des minéraux sulfureux ayant des rejets nocifs**

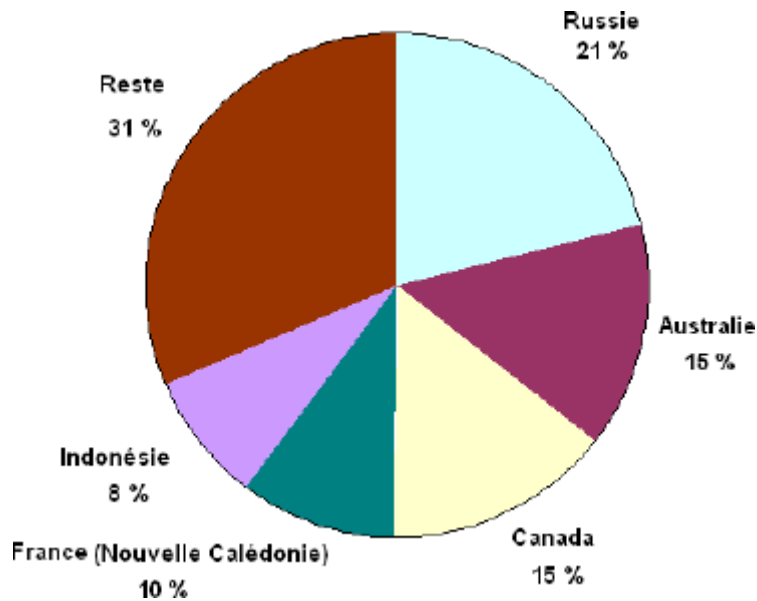
(Source : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Extraction\\_du\\_nickel](https://fr.wikipedia.org/wiki/Extraction_du_nickel))

Minéraux sulfureux de nickel		
Minéral	Formule chimique	Contenu théorique en nickel dans le minéral (en % massique)
Pentlandite	Ni <sub>9</sub> Fe <sub>9</sub> S <sub>8</sub>	34,2
Millérite	NiS	64,7
Heazlewoodite	Ni <sub>3</sub> S <sub>2</sub>	73,4
Polydymite	Ni <sub>3</sub> S <sub>4</sub>	57,9
Violarite	Ni <sub>2</sub> FeS <sub>4</sub>	38,9
Siegénite	(Co,Ni) <sub>3</sub> S <sub>4</sub>	28,9
Fletchérinite	Ni <sub>2</sub> CuS <sub>4</sub>	75,9
Nickéline	NiAs	43,9
Mauchérite	Ni <sub>11</sub> As <sub>8</sub>	51,9
Rammelsbergite	NiAs <sub>2</sub>	35,4
Breithauptite	NiSb	32,5
Annabergite	Ni <sub>3</sub> As <sub>2</sub> O <sub>8</sub> .8H <sub>2</sub> O	34,2
Pyrrhotite	(Ni,Fe) <sub>7</sub> S <sub>8</sub>	1 – 5

L'encombrement du système de déshydratation est donc un critère important à prendre en compte. Pour une capacité équivalente et un débit similaire, les décanteurs centrifuges occupent bien moins de place que les autres types de systèmes de traitement. Les décanteurs centrifuges peuvent être installés quasiment partout, que ce soit comme installation fixe dans un bâtiment ou à l'intérieur des galeries et mines.

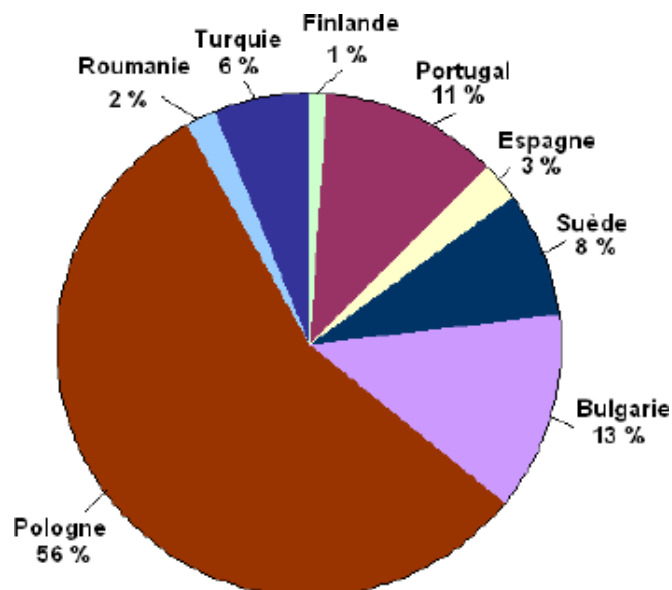
La production mondiale de nickel avoisine les 3 millions de tonnes par an, alors que celle du cuivre étant de 21 millions de tonnes ; les rejets de ces 2 métaux sont donc proportionnels à la production, d'où nécessité d'éliminer ces stériles, en sachant que 40% de Nickel consommé est récupéré des rejets et des déchets contaminés.

On représente ci-dessous la production mondiale de nickel, celles de l'Europe et de l'Afrique restent bien en deçà de la production mondiale totale (Figure 21), alors qu'il y a près de 70 millions de tonnes de nickel sur la croûte terrestre.



*Figure 21 : Production mondiale de Nickel suivant les pays producteurs*  
(Source : Gestion des résidus et stériles des activités minières 2019)

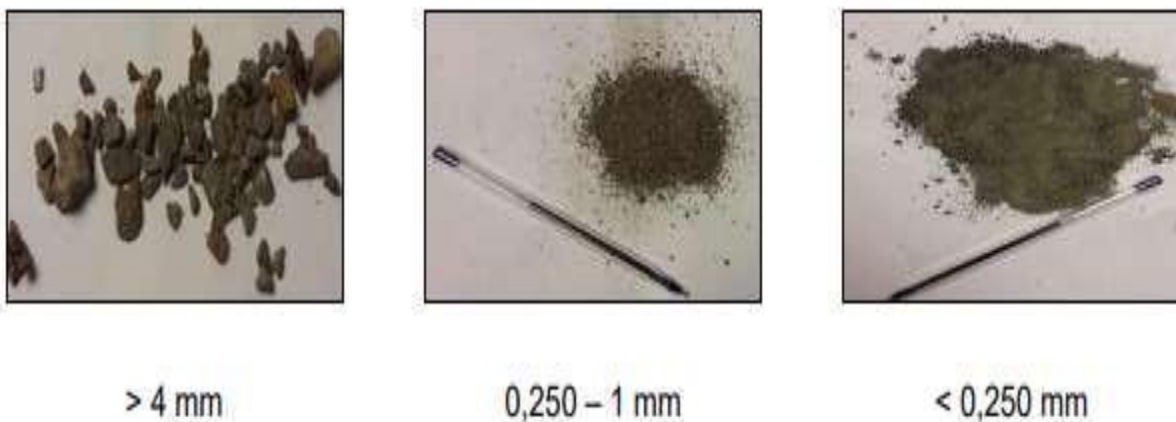
Les résidus du cuivre servent au remblayage de la majorité des exploitations souterraines. Sur ces sites, de 16 à 52 % des résidus sont utilisés comme remblais. Les résidus qui ne servent pas au remblayage doivent être gérés dans des bassins, il est proposé de déposer les résidus déshydratés dans des cellules étanches ou de les griller, avec production d'acide sulfurique. En Europe, où la production n'est tout de même pas négligeable (Figure 22), les cendres sont ensuite lixiviées et le cuivre est extrait par solvant et par électro récupération. Les escarbilles sont déposées sur une digue de cendres. Souvent, les 2/3 restants des résidus cuivrés sont déposés dans un bassin de rejets.



*Figure 22 : Production mondiale de cuivre au niveau européen*  
(Source : Gestion des résidus et stériles des activités minières 2019)

La thèse soutenue par Sanae Benkaraache au Québec en 1996 déjà, traite et explique correctement comment se fait la réhabilitation d'un sol contaminé par des métaux lourds et particulièrement sur les contaminants métalliques des résidus miniers chargés de nickel et de cuivre. On caractérise les sols contaminés en les subdivisant les débris des rejets en 4 fractions qui sont :

- $f1 > 4 \text{ mm}$
- $f2 = 1-2 \text{ mm}$
- $f3 = 0.250 - 1 \text{ mm}$
- $f4 < 0.250 \text{ mm}$



*Figure 23: Exemples de résidus fractionnés obtenus par tamisage*

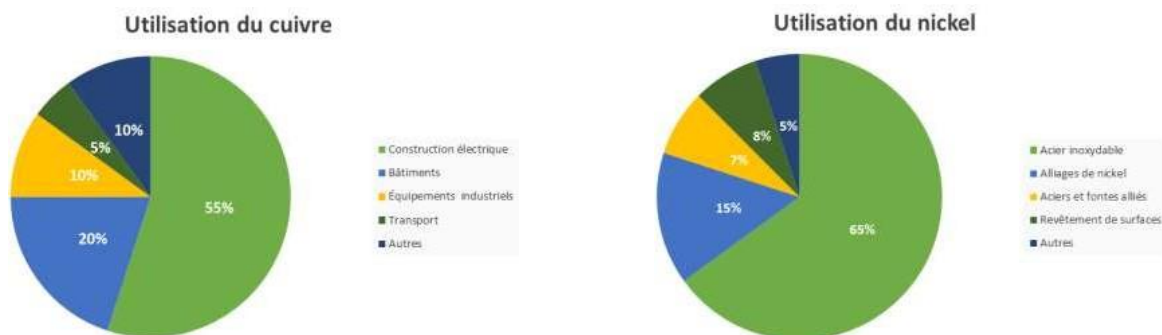
(Source : Thèse Sanae Benkaraacche, Québec)

Les analyses en DRX qui vont avec ce fractionnement de particules se font en parallèle pour détecter la présence de gypse qui apparaît après neutralisation par un procédé acido-basique. L'analyse des images au microscope Electronique à balayage révèle souvent dans ce genre de situation que la pollution en cuivre et en nickel des résidus est sous forme de sulfure, soit de chalcopyrite, soit de pentlandite, ce qui revient à dire que la pollution est portée par des particules dont la densité est très près de celle des silicates du sol.

Un débit d'eau de lavage provoquant une séparation impossible entre eux en utilisant la différence de densités. Par conséquent l'utilisation de la table de Wilfley qui élimine les particules des stériles des rejets pendant le traitement des minerais reste inefficace et sans résultat. Une élimination par filtrage de 49% de nickel de la fraction 1-2 mm est souvent atteinte dans ce genre d'intervention ; lorsque les conditions appliquées sont près des valeurs suivantes, à savoir :

- Un débit d'eau d'appoint de 6 litres par minute,
- Un débit d'eau de lavage également de 6 litres par minute,
- Une inclinaison du tamis de 11°
- Une fréquence de secousses de 300 tours par minute.

Pour les fractions inférieures à 1 mm, on élimine des rejets les particules de nickel et de cuivre, en pratiquant une lixiviation acide en mélangeant de l'acide sulfurique avec un pH de 1,5, de l'acide chlorhydrique avec un pH de 2, auxquels on rajoute du chlorure du sodium ; cela nous permet d'éliminer 13,5% de cuivre rejeté et 22,5% de nickel contenu dans les rejets avec traitement d'obtention des 2 métaux. Ces faibles résultats sont tout de même acceptables, puisque cette quantité de stériles est malgré tout enlevée ; cela s'explique qu'ils se présentent sous forme de sulfures et non pas à l'état de métal proprement dit. La limitation de contact entre les particules polluées du cuivre, du nickel et les acides utilisés est encore une source de ce faible rendement dans la réaction chimique, ajouté à cela le faible degré de libération qui limite la solubilisation.



**Figure 24 : Utilisation moyenne mondiale du cuivre et nickel dans différents secteurs**

(Source : Thèse Sanae Benkaraache, Québec)

Les rejets de cuivre et de nickel sous forme de chutes des différentes pièces utilisées essentiellement en plomberie et qu'on retrouve au niveau des déchets ménagers, sont considérés aussi comme pertes à reconquérir pendant les opérations de récupération par fusion, du moment qu'ils sont considérés comme métaux rares, semi-nobles, et chers.

On retrouve ces rejets au niveau des différents secteurs d'utilisation proportionnellement à leur utilisation dans la vie courante de l'homme comme le montre la figure 24.

### 2.2.3 Elimination des stériles des mines de l'étain :



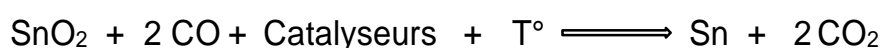
La rareté des minerais d'étain sur le globe terrestre fait que son exploitation n'est pas productive et rentable puisque sa quantité atteint difficilement 2 ppm dans les mines exploitables, alors qu'elle est près de 95 ppm pour le zinc. Sa production atteint 240 mille tonnes annuellement. L'étain n'est pas toxique à l'être humain, mais reste à



*Figure 25 : Etain métallique déjà traité*

(Source : <https://www.google.com/search?q=etain&sxsrf=ALeKk03sN5JwanA> )

priori lié au plomb qui lui, l'est par contre (Figure 25). Cependant le risque d'imprégnation des personnes par ce métal augmente de plus en plus mondialement et prouve sa quasi-omniprésence dans l'environnement puisqu'il frôle les 0,30 microgrammes par litre d'urine analysée. D'après les experts, cela est dû à l'eau des canalisations comportant des soudures à l'étain, cela peut provoquer des maladies rares et graves. La production des rejets est comme toujours proportionnelle à la production du métal lui-même ; la chine dépasse largement les 100 000 tonnes par an, et le total mondial frôle les 400 000 tonnes par an. A grandes doses l'étain provoque des œdèmes cérébraux et des pneumoconioses. Son élimination de l'environnement est donc plus que nécessaire. Dans les mines, carrières et stériles, il se rencontre sous forme d'oxydes d'étain  $\text{SnO}_2$  (cassitérite) et de sulfures tels :  $\text{Sn}_3\text{Pb}_5\text{Sb}_2\text{S}_{14}$  (frankéite),  $\text{SnCu}_2\text{FeS}_4$  (stannite). Son extraction des terrils miniers, ou l'élimination des stériles dans rejets miniers se fait en passant par les étapes physico-mécaniques citées auparavant, et une série de traitements, puis en effectuant une réaction chimique suivante :





**Figure 26 : Désastre écologique des mines d'étain interdites au public**

(Source : <https://www.google.com/search?q=mines+d%22%C3%A9tain&sxsrf=...>)

Les illustrations de la figure 26, montrent l'état lamentable d'abandon des mines désaffectées d'étain après plusieurs années d'exploitation, sans aucune intervention de nettoyage et de remise en valeur des sites environnementaux.

#### 2.2.4 Elimination des stériles des mines de plomb :

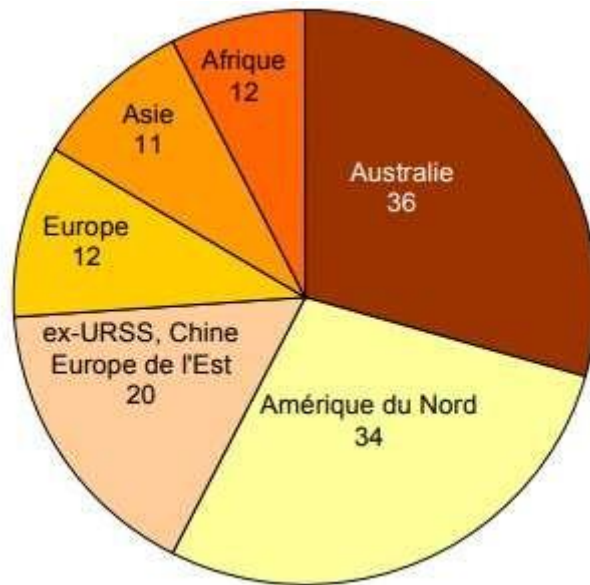
Le plomb est un métal bleu grisâtre qui s'oxyde facilement à l'air en virant vers le blanc, il est très malléable mais considéré comme contaminant de l'environnement, toxique et écotoxique même à très faibles doses puisqu'il provoque une série de maladies chez l'homme et l'animal : le saturnisme. Il est aussi considéré depuis un certain temps avec 2 de ses sels le chromate et l'arséniate comme cancérigènes. Dans la nature ; il n'est généralement pas purement natif, mais sous forme de sels, d'hydroxydes, d'oxydes et de sulfures comme le  $PbSO_4$ , le  $PbCO_3$ , le  $PbO$ ,  $Pb(OH)_2$  et  $PbS$ .



**Figure 27 : Minerais de plomb**

(Source : [https://www.google.com/search?q=plomb&tbm=isch&chips=q:plomb,online\\_chips:minerai&hl=...](https://www.google.com/search?q=plomb&tbm=isch&chips=q:plomb,online_chips:minerai&hl=...))

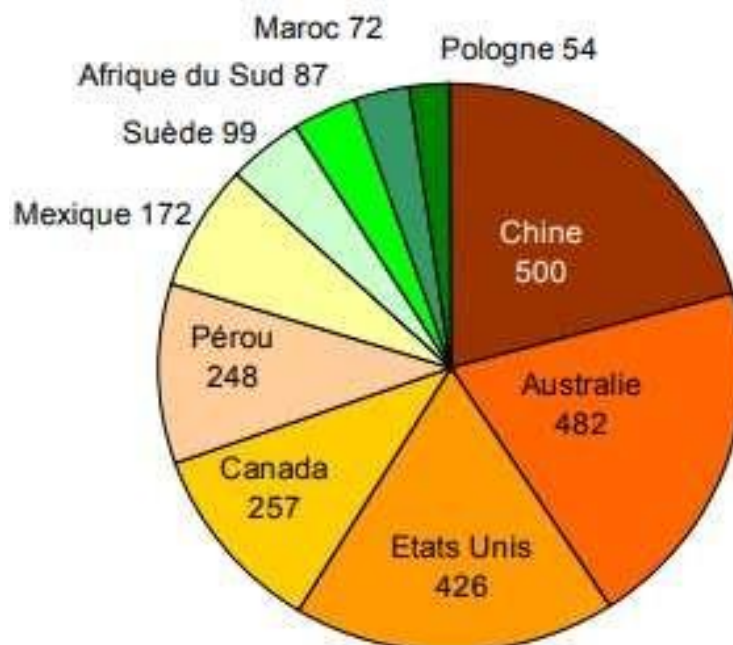
La répartition mondiale de la réserve en minerai de plomb étant comme le montre le schéma ci-dessous (figure 28) :



*Figure 28 : Répartition des réserves de minerai de plomb*

(Source : [google.com/search?q=plomb&tbm=isch&chips=q:plomb,online\\_chips:minerai&hl=fr&sa=...](https://www.google.com/search?q=plomb&tbm=isch&chips=q:plomb,online_chips:minerai&hl=fr&sa=...))

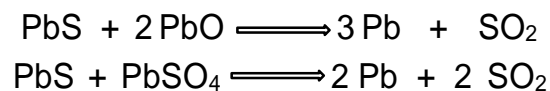
Par contre, la production de plomb natif pur par principaux pays à partir des minerais de plomb est montrée par le diagramme circulaire ci-après :



*Figure 29 : Production mondiale de plomb en milliers de tonnes par pays*

(Source : [google.com/search?q=plomb&tbm=isch&chips=q:plomb,online\\_chips:minerai&hl=fr&sa=...](https://www.google.com/search?q=plomb&tbm=isch&chips=q:plomb,online_chips:minerai&hl=fr&sa=...))

Pour ces raisons liées à la santé des êtres, qu'il faut obligatoirement, et avant tout, limiter son utilisation, puis récupérer les particules trainantes et les pièces non utilisées dans l'environnement. Les machines Dwight-Lloyd sous forme d'une bande de transport de chariots grillés qui glissent sur des caissons étanches sont les plus utilisés pour retirer le plomb des stériles. Il s'agit de souffler à haut débit de l'air sur les rejets puis porter à fusion cet amalgame pour retirer le plomb natif selon les formules chimiques suivantes :



La deuxième méthode de récupération du plomb du minerai comportant encore du plomb ou des rejets ménagers étant la métallurgie de la deuxième fusion ainsi que par simple fusion. A titre d'exemple, le plomb qui forme les éléments de batteries est récupéré de la sorte. Cela évite l'apparition du saturnisme par intoxication dû à l'ingestion des particules ou l'inhalation des vapeurs. La toxicité peut être évitée si la quantité est largement inférieure à 150 microgrammes de plomb par litre de sang chez l'adulte, pour cela la dose de pénétration hebdomadaire de ce métal dans le corps humain est de 25 microgrammes par kilogramme de poids corporel. Nous montrons ci-dessous certains commentaires et causes liés au contact avec le plomb :

- ✓ Certaines des causes d'intoxication par le plomb comprennent l'ingestion de peinture au plomb et la consommation d'aliments ou de boissons dans des récipients en céramique importés ayant subi une glaçure au plomb incorrecte.
- ✓ Des taux élevés de plomb dans le sang peuvent causer des changements de la personnalité, des maux de tête, une perte de sensibilité, une faiblesse, un goût métallique dans la bouche, un manque de coordination dans la démarche, des troubles digestifs et une anémie.
- ✓ Le diagnostic est basé sur les symptômes et des analyses de sang.
- ✓ Des analyses de l'eau potable, des céramiques et de la peinture pour détecter le plomb peuvent être utiles pour identifier les sources possibles d'intoxication par le plomb.
- ✓ Le traitement consiste à interrompre l'exposition au plomb et à enlever le plomb accumulé dans l'organisme.

Des causes très diverses peuvent engendrer le saturnisme, pour cela des précautions nécessaires sont à prendre ; nous citons ci-dessous certaines recommandations, renseignements et conseils tirés de divers sites sur le net entre autres Wikipédia :

- ✓ Pendant la restauration des immeubles, les personnes peuvent être exposées à des quantités importantes de plomb sous forme de particules grattées ou poncées lors de la préparation des surfaces à repeindre. Les enfants en bas âge peuvent ingérer des fragments de peinture en quantités suffisantes pour développer des symptômes d'intoxication par le plomb. Les tuyaux en plomb utilisés en plomberie et les bassins de retenue peuvent laisser passer du plomb dans les réserves d'eau, qui peut être ingéré via l'eau du robinet.
- ✓ Certaines glaçures d'objets en céramique contiennent du plomb. Les objets et services en céramique tels que carafes, tasses et assiettes fabriqués avec ces glaçures (fréquent hors des États-Unis) peuvent laisser s'échapper du plomb, en particulier lorsque ces objets entrent en contact avec des substances acides (fruits, boissons au cola, tomates, vin et cidre).
- ✓ Les alcools de contrebande et les remèdes de grand-mère contaminés par le plomb sont des sources possibles.
- ✓ Parfois, des corps étrangers contenant du plomb se trouvent dans l'estomac ou les tissus (comme les balles ou les poids de rideau ou de canne à pêche). Des balles logées dans certains tissus mous peuvent augmenter le taux de plomb dans le sang, mais ce processus prend des années pour se manifester.
- ✓ Une exposition professionnelle peut exister lors de la fabrication des batteries au plomb et du recyclage, bronzage, fabrication du laiton et du verre, découpage de tuyaux, soudage et fonderie, ou lors du travail de poterie ou de la manipulation de pigments.
- ✓ Certains produits cosmétiques ethniques et des plantes médicinales importées contiennent du plomb et ont causé des épidémies d'intoxications chroniques au plomb dans certaines communautés d'immigrants.
- ✓ Les fumées d'essence au plomb (dans les pays où celle-ci existe encore) inhalées pour ressentir les effets intoxicants sur le cerveau peuvent causer une intoxication par le plomb.

- ✓ Le plomb lèse de nombreux organes tels que le cerveau, les nerfs, les reins, le foie, le sang, le tube digestif et les organes sexuels. Les enfants sont très vulnérables car le plomb entraîne les lésions les plus importantes dans le système nerveux en cours de développement.
- ✓ Si le niveau de plomb dans le sang reste élevé pendant plusieurs jours, les signes d'une lésion cérébrale soudaine (encéphalopathie) apparaissent habituellement. Des concentrations sanguines plus basses, mais soutenues sur une longue période, produisent parfois un déficit intellectuel à long terme.
- ✓ Certaines personnes sont asymptomatiques au plomb sont asymptomatiques. Les symptômes débutent en général après plusieurs semaines ou plus. Les symptômes réapparaissent parfois périodiquement.
- ✓ Les symptômes typiques de l'intoxication par le plomb comprennent des changements de la personnalité, des maux de tête, une perte de sensations, une faiblesse, un goût métallique dans la bouche, un manque de coordination dans la démarche, une diminution de l'appétit, des vomissements, une constipation, des douleurs abdominales de type de crampes, des douleurs osseuses ou articulaires, une hypertension artérielle et une anémie. Des lésions rénales se développent souvent sans symptômes.
- ✓ Les jeunes enfants ayant été exposés à du plomb peuvent être de mauvaise humeur et leur niveau d'attention ainsi que leur envie de jouer diminuent au cours de quelques semaines. L'encéphalopathie peut se manifester soudainement et s'aggraver en quelques jours, accompagnée de vomissements incontrôlables et prolongés, de confusion, de défaut de coordination, d'anomalie de la marche, de confusion, de somnolence et, enfin, de convulsions et de coma. L'intoxication chronique au plomb chez les enfants peut entraîner un déficit intellectuel, des troubles convulsifs, des troubles du comportement, un retard de croissance, des douleurs abdominales chroniques et de l'anémie.
- ✓ Les adultes qui sont exposés au plomb sur leur lieu de travail manifestent généralement des symptômes (tels que des changements de la personnalité, des maux de tête, des douleurs abdominales et des lésions nerveuses, avec un engourdissement et une perte de sensation au niveau des pieds et des jambes) au bout de quelques semaines ou plus. Les adultes peuvent développer une

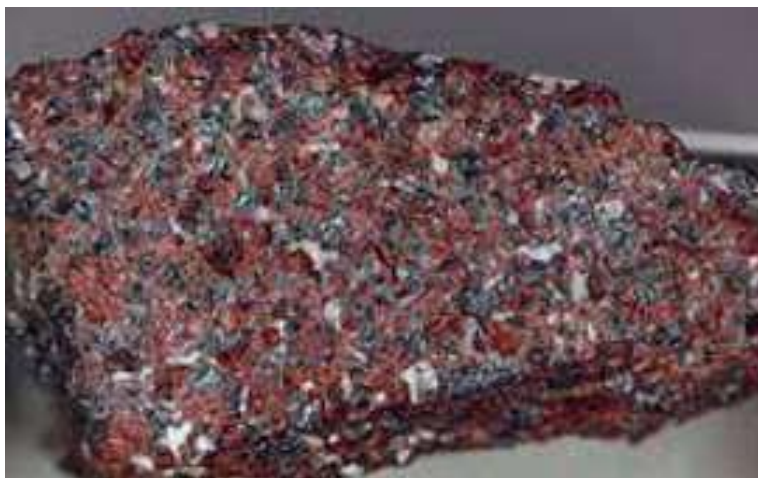
perte d'appétit sexuel, une stérilité et, pour les personnes de sexe masculin, une dysfonction érectile (impuissance). L'encéphalopathie se développe rarement chez les adultes.

- ✓ Les enfants et les adultes peuvent présenter une anémie.
- ✓ Les enfants et les adultes qui respirent les fumées d'essence au plomb peuvent manifester des symptômes de psychose en plus des symptômes habituels de l'intoxication par le plomb.
- ✓ Si l'exposition au plomb cesse, les symptômes peuvent régresser, puis s'aggraver à nouveau lors d'une nouvelle exposition.
- ✓ Le diagnostic d'intoxication par le plomb est basé sur les symptômes et des analyses de sang. Le sang des personnes qui manient le plomb dans le cadre professionnel doit être fréquemment analysé. Les enfants vivant dans des maisons où le plomb est encore présent dans de vieilles peintures au plomb écaillées doivent également être soumis à des contrôles fréquents. Chez les enfants, l'étude radiographique des os et de l'abdomen montre souvent les signes d'intoxication par le plomb.
- ✓ Des kits sont en vente sur le marché, pour tester la teneur en plomb des peintures domestiques. Les mesures réduisant le risque d'intoxication domestique incluent un nettoyage régulier, tel que :
  - Lavage des mains
  - Lavage des jouets et tétines des enfants
  - Nettoyage des surfaces ménagères
  - Époussetage hebdomadaire des appuis de fenêtre contaminés avec un chiffon humide.
- ✓ Les peintures au plomb écaillées doivent être restaurées. Les travaux de rénovation des peintures au plomb entraînent la libération de quantités importantes de plomb dans la maison et doivent être effectués par un personnel expérimenté et équipé. Certains filtres pour l'eau du robinet vendus dans le commerce permettent d'éliminer le plomb de l'eau potable.
- ✓ Les adultes exposés à la poussière de plomb sur leur lieu de travail doivent :

- Utiliser des équipements de protection individuelle appropriés
  - Changer leurs vêtements et chaussures avant de rentrer chez eux
  - Se doucher avant d'aller se coucher
- ✓ Le traitement consiste à interrompre l'exposition au plomb et à enlever le plomb accumulé dans l'organisme. Si une radiographie de l'abdomen met en évidence des éclats de plomb, on administre une solution spéciale de polyéthylène glycol par voie orale ou par une sonde gastrique afin de laver le contenu de l'estomac et des intestins (procédure appelée irrigation colonique).
- ✓ Le plomb est éliminé de l'organisme grâce à l'administration de médicaments qui fixent le plomb (traitement par chélation) et permettent son élimination par l'urine. Tous les médicaments qui fixent le plomb ont une action lente et peuvent provoquer des effets secondaires.
- ✓ Même après traitement, beaucoup d'enfants qui souffrent d'encéphalopathie développent un certain degré d'atteinte cérébrale permanente. Une lésion rénale peut se développer, et parfois durer à vie.

### 2.2.5 Elimination des stériles des mines de zinc :

Le zinc est très proche du magnésium de par ses propriétés chimiques d'oxydation, il est très abondant sur l'écorce terrestre puisqu'il dépasse le cadmium de 600 fois, et le mercure de 1500 fois dans les minerais. Il est récupéré par la méthode de flottation.



*Figure 30 : Aspect de la roche extraite d'un minerai de zinc*

(Source: <https://www.google.com/search?q=minerai+de+zinc&sxsrf=...>)



Le métal est dur et assez peu tenace, fragile et cassant à température ordinaire. A température ambiante, il réagit facilement avec l'oxygène de l'air en s'oxydant et est facilement cassant. Quand il n'est pas oxydé, il est blanc luisant, mais gris à l'état d'oxydation à cause de son oxyde qui se dépose en fine couche superficielle. Il est extrait d'un minerai de sulfure de zinc ZnS appelé sphalérite.



*Figure 31 : Zinc déjà traité dépourvu des impuretés*

(Source: [https://www.google.com/search?q=photos+zinc+trait%C3%A9&tbm=isch&chips=q:photos+zinc+trait%C3%A9,online\\_...](https://www.google.com/search?q=photos+zinc+trait%C3%A9&tbm=isch&chips=q:photos+zinc+trait%C3%A9,online_...))

Les quatre grands producteurs du zinc et de ses rejets et stériles sont la Chine, l'Australie, le Pérou et les Etats Unis d'Amérique. Le zinc en lui-même n'est pas toxique à faibles doses, ce sont ses sels qui apparaissent en réagissant avec les acides et matières organiques, ses vapeurs d'oxydes, ses chlorures qui le sont par irritation de la peau et muqueuses, et par des vomissements, diarrhées et nausées. C'est ce qui arrive lorsqu'on prend un breuvage stocké dans un récipient galvanisé pendant une journée car le cumul de zinc atteint 500 mg. Les récipients de ce genre sont proscrits depuis très longtemps des ustensiles de cuisine.

Le zinc à fortes doses et son oxyde en vapeurs aspirées par les soudeurs provoquent la fièvre des métaux connue par sa dangerosité. Le zinc est un élément trace dans les sols. Il est important pour la vie végétale. Mais un excès d'engrais superphosphates sur des sols pauvres amène inmanquablement une déficience en zinc. Dans les terrains souillés par une surconcentration de zinc et/ou ses sels, voire dans les terrains gorgés d'engrais ou de composés zincifères, il est rare que la végétation puisse reprendre un aspect normal. Plutôt que de laisser des dépôts sauvages, il est impératif de recycler ce matériau, par ailleurs facilement recyclable.

Une nouvelle méthode technologique appelée récupération par lixiviation permet de récupérer un pourcentage très élevé de zinc à partir des résidus et des cendres et de la récupération des objets déjà utilisés sous forme de gâteaux solides. Voici grosso modo les étapes suivies tirées d'une publication internationale "Waste management" :

- ❖ Collecte des cendres déposées et volantes,
- ❖ Mélange de ces cendres avec des boues acides,
- ❖ Opération de lixiviation acide avec une température de 60 °C,
- ❖ Observation de précipitation chimique de cristaux de  $Zn(OH)_2$  et NaOH dans un milieu légèrement acide,
- ❖ Filtration des boues par pompage des précipités,
- ❖ Lavage et séchage à l'air comprimé,
- ❖ Ré-incinération des cendres restantes pour éliminer les dioxines.

Après extraction, les cendres résiduelles sont incinérées de nouveau afin de dégrader les dioxines considérées comme substances hautement toxiques. 90 % de ces cendres peuvent être transformées en cendres résiduelles, utilisables en tant que matériau de construction par exemple. Cette technologie permet par conséquent de :

- Réduire l'extraction du zinc primaire des minerais,
- Diminuer fortement la toxicité des cendres,
- Diminuer l'enfouissement des déchets extractifs.

La figure 32 ci-dessous illustre les étapes de la méthode de lixiviation.



*Figure 32 : Schéma illustratif de la méthode de lixiviation*

(Source: [https://www.google.com/search?q=photos+zinc+trait%C3%A9&tbm=isch&chips=q:photos+zinc+trait%C3%A9,online\\_...](https://www.google.com/search?q=photos+zinc+trait%C3%A9&tbm=isch&chips=q:photos+zinc+trait%C3%A9,online_...))

Le procédé de galvanisation à chaud permet aussi de récupérer une grande quantité de zinc en perdition dans la nature. Cela consiste à plonger des pièces d'acier dans un bain de zinc en fusion pour déposer une couche de métal protectrice qui ralentit l'oxydation de l'acier et prolonge la durée de vie des pièces.

En amont la pièce d'acier est décapée par trempage dans un bain d'acide chlorhydrique, puis rincée avant d'être trempée à nouveau dans un bain de chlorure de zinc afin de la protéger avant la galvanisation proprement dite. Au fur et à mesure de leur utilisation, les bains d'acide et les eaux de rinçage se chargent en fer et en zinc et doivent être renouvelés d'où une production de déchets conséquente qu'il faudrait par la suite éliminer. On utilise aussi la pyrométallurgie qui est un procédé métallurgique thermique utilisé pour séparer et récupérer le zinc des stériles et des déchets de zinc. Le procédé est constitué de 3 étapes :

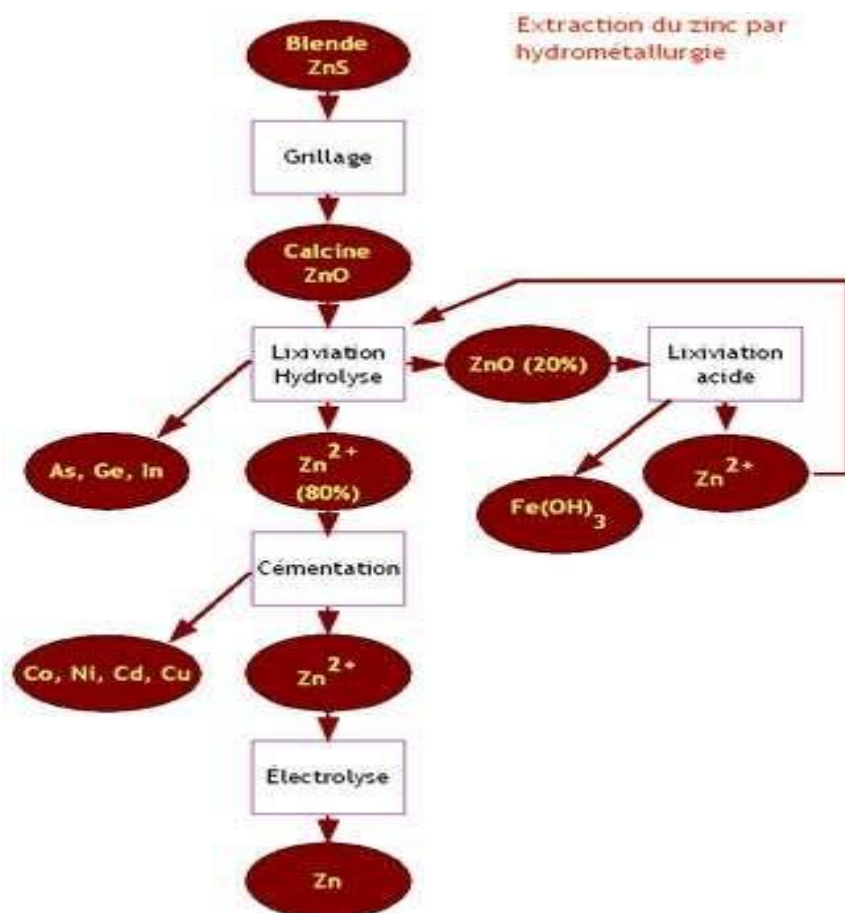
- un traitement thermique pour homogénéiser la source de métal (grillage)
- réaction chimique (oxydation) permettant la séparation
- affinage

L'hydrométallurgie est un procédé de traitement des métaux par voie liquide, d'où le nom d'hydrométallurgie ; il est aussi utilisé pour récupérer le zinc. Il consiste à mettre en solution le zinc dans un minerai ou un concentré de rejets métalliques afin de les séparer pour les valoriser.

Un procédé hydrométallurgie typique est composé des opérations suivantes :

- lixiviation ou dissolution : mise en solution des différents métaux ;
- purification : séparation des différents métaux/constituants entre eux ;
- électrolyse : récupération du métal voulu sous forme métallique.

Ce dernier procédé est souvent suivi d'un autre appelé l'électrométallurgie qui est la branche de la métallurgie qui consiste à employer l'apport d'énergie sous forme électrique comme élément essentiel de l'élaboration, la transformation, et la récupération du zinc à partir des stériles de minerais, ou des déchets de métaux et alliages. Cet apport d'électricité sert généralement à produire les hautes températures nécessaires aux réactions chimiques visées, ou à la fusion de certains composants du milieu réactif.



*Figure 33 : Synoptique de production minière et récupération du zinc*

(Source : Hydrométallurgie — Wikipédia (wikipedia.org))

Dans le domaine de la gestion et de la récupération du zinc des piles alcalines, on optimise la totalité des facteurs qui agissent sur la récupération sélective et sur ses performances dans l'application du procédé de la solubilisation du zinc. Dans la première étape, on solubilise sélectivement dans de l'acide sulfurique en suivant les conditions opératoires de lixiviation de 45 minutes qui sont une température de 20 °C, un acide de concentration 2M, et un ratio solide-liquide de 40%. Cela permet de récupérer pas loin de 85% de zinc dans la première étape, le reste est extrait dans la deuxième étape. Il en reste tout de même une petite quantité de zinc dans le lixiviat, une étape par précipitation chimique est appliquée pour obtenir le sulfure de zinc sur lequel, les procédés mentionnés ci-avant seront appliqués en les introduisant dans des boues afin de diminuer la masse de rejets à gérer et de diminuer le prix commercial de revient du zinc. Cette méthode est la plus utilisée actuellement dans la gestion des résidus de zinc, elle est considérée comme la plus viable économiquement et la plus durable écologiquement. Nous allons nous contenter de ces 6 matériaux les plus polluants, il en existe bien entendu d'autres ; le fer et l'aluminium méritent d'être décrits dans un nouvel ouvrage plus détaillé.

Nous détaillons ci-dessous une classification internationale de quelques déchets métalliques et de leurs résidus issus de leurs traitements

**Tableau 8 : Classification de certains déchets métalliques et leurs rejets issus de leurs traitements**

(Source : <https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/dechets/infospecialistes/politique-...>)

N°	Désignation
15 01	Déchets d'emballages d'une façon globale
15 01 04	Emballages métalliques : Fûts nettoyés, récipients vidés, fûts compressés
15 01 10	Emballages à résidus spéciaux, ayant contenus des substances dangereuses
17 04	Métaux et leurs alliages
17 04 01	Cuivre, bronze, laiton
17 04 02	Aluminium
17 04 03	Plomb
17 04 04	Zinc
17 04 05	Fer, acier, fonte
17 04 06	Etain
17 04 07	Mélange de métaux
17 04 09	Déchets contaminés
17 04 10	Déchets de câbles métalliques contenant des substances dangereuses
17 04 11	Déchets de câbles métalliques autres que cités auparavant
17 06	Déchets matériaux d'isolation et amiantés
17 06 05	Déchets de chantier contenant des fibres d'amiante libres ou libérables
17 09	Autres déchets de chantier (y compris déchets de chantier non triés)
17 09 02	Déchets de chantier contenant des PCB
20 01	Fractions collectées séparément (autres que celles visées à la rubrique 15 01)
20 01 40	Métaux, Ferraille de récupération issue des collectes communales
19 10	Déchets provenant des déchets métalliques de broyage
19 10 01	Déchets fractions et de broyage de fer ou d'acier et alliages
19 10 02	Déchets de métaux non ferreux de broyage
19 10 03	Fraction légère des résidus de broyage et poussières
19 10 05	Autres fractions contenant des substances dangereuses
19 10 06	Autres fractions non visées à la rubrique 19 10 05
19 12	Déchets provenant du traitement mécanique des déchets
19 12 02	Métaux ferreux
19 12 03	Métaux non ferreux
19 12 04	Matières plastiques et caoutchouc
19 12 95	Débris de ferraille et résidus de chargement

# CHAPITRE 3

## Matières plastiques et leurs déchets

### 1 Définition des matières plastiques :

L'industrie pétrochimique est l'une des technologies qui possède les techniques d'obtention des matières plastiques qui ne sont que des polymères macromoléculaires qui sont obtenues par craquage et distillation. Avant qu'elle ne soit industrielle, la polymérisation est d'abord naturelle puisque la cellulose se trouvant au niveau des plantes est un polymère. Nous pouvons citer aussi d'autres polymères naturels tels les cheveux, la laine, la soie, la résine etc. qui sont tous transformables, malléables et modelables, d'où le nom de plastiques. En industrie, le nom de matières plastiques regroupe une série de produits obtenus artificiellement par des procédés thermo-chimiques à partir des produits pétroliers tels l'éthylène, le styrène, le propylène, l'acrylonitrile etc. Les plastiques dans leur majorité sont récupérables et transformables, mais ne sont pas tous biodégradables ; leur durée de vie peut varier de quelques mois à quelques siècles. Ils causent par conséquent des dégâts importants à l'environnement essentiellement marin où la faune est détruite soit par étouffement, soit empoisonnement lent et progressif. Les sacs de congélation, de stockage et de transport d'aliments nutritifs donnent un aperçu de désolation dans les villes et les champs. A défaut de les éliminer pour le moment car ils migrent facilement dans les aliments consommés par l'homme, leur transformation et leur gestion est une nécessité absolue. Leur image de marque est donc ternie par leur très longue durée de vie et le spectacle inesthétique qu'ils offrent lorsqu'ils sont abandonnées en pleine nature..



*Figure 34 : Polymères et différents plastiques rejetés*

(Source : <https://www.google.com/search?q=les+plastiques&sxsrf=ALeKk03qTG43GDJ47oCNuj74oc1pqQQmuA:...>)

## 2. Classification des plastiques :

Pour pouvoir récupérer les plastiques et traiter les restes et les résidus pour protéger l'environnement, il faut connaître leurs propriétés physico-chimiques afin d'adapter la méthode adéquate la plus efficace et la plus rentable. Il existe dans la vie courante des centaines de plastiques qu'on peut classer en sept groupes principaux désignés par des triangles sur les emballages et autres contenants, et dans lesquels un numéro est introduit accompagné d'une désignation.



Le plastique numéro 1 est appelé polyéthylène téréphtalate qu'on utilise pour bouteilles d'eau, de boisson gazeuse, de jus de fruits ou d'huile végétale, pots de beurre d'arachide, contenants d'œufs, emballages jetables, barquettes alimentaires. Même si étant stable, il contient tout de même les trioxydes de diantimoine, et même les

phtalates qui ont la faculté de migrer dans les aliments et dans les liquides (boissons) essentiellement sous les températures élevées d'été. La recyclabilité des déchets et rebuts est bonne puisque les technologies utilisées dans les centres de tri permettent d'améliorer le tri et le recyclage des contenants et emballages en PET. Les débouchés sont nombreuses (bouteilles, fibres de polyester, contenants des œufs thermoformés).

Le polyéthylène haute densité, comme plastique numéro 2, est désigné par PEHD ; il est utilisé pour bouteilles opaques de lait ou de jus, bouteilles d'huile ou de vinaigre, pots de crème glacée, certains sacs d'emplettes. Il possède un faible risque de toxicité et migre très peu dans les aliments car considéré comme étant très stable et résistant.

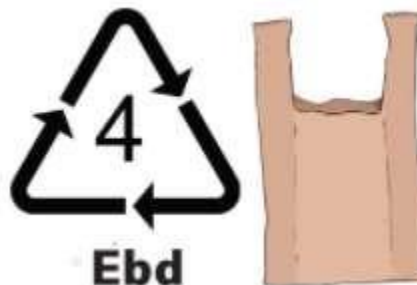


Le polychlorure de vinyle nommé communément PVC est numéroté 3, il est utilisé comme pellicules plastiques alimentaires, bouteilles d'huile végétale, pots de beurre d'arachide, sacs à lunch. Selon certaines recherches le PVC est l'un des pires plastiques présents parmi les produits de consommation». De nombreux agents chimiques entrent dans sa fabrication (dioxines cancérigènes, phtalates, les

bisphénols, les métaux lourds) et peuvent migrer dans les aliments plus facilement que dans le cas des autres plastiques. Pour éviter les phtalates, l'OMS recommande de

choisir des produits dont l'étiquette indique qu'ils ne contiennent pas de polychlorure de vinyle. À éviter à tout prix pour des raisons de santé. La recyclabilité est faible, à cause de la présence de nombreux additifs qui disparaissent pendant cette opération, d'où perte de caractéristiques.

Les sacs en plastique, les pellicules plastiques alimentaires, les pellicules intérieures des contenants de type Tetra Pak, les sacs de congélation sont fabriqués avec le polyéthylène basse densité (N° 4). Le PEbd présente des caractéristiques similaires au PEHD. C'est un plastique résistant et stable. Faible



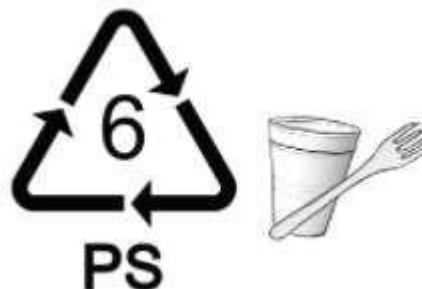
risque de migration de microparticules, d'additifs et de plastifiants lorsqu'il entre en contact avec des aliments ou des liquides. La recyclabilité est faible. Les sacs et pellicules en PEbd peuvent contaminer les chaînes de recyclage (ils sont plus difficiles à repérer dans les processus de tri que d'autres plastiques). L'interdiction progressive des sacs d'épicerie à usage unique devrait avoir un impact sur la quantité de PEbd en circulation.



Le polypropylène est l'un des plastiques les mieux adaptés à l'utilisation comme contenant des produits alimentaires puisqu'il est utilisé dans la fabrication de biberons, de pots de yogourt et de margarine, de contenants transparents pour mets préparés, de contenants alimentaires réutilisables et adaptés au micro-ondes (N° 5).

le PP (ou PPI), est incontournable dans les emballages alimentaires, il résiste mieux à la chaleur et aux agents chimiques que le polyéthylène (PEHD et PEbd) et entre dans la fabrication de divers dispositifs de fermeture (les bouchons notamment). Il fait partie des plastiques les plus sûrs. La recyclabilité des produits fabriqués avec le PP est très bonne, car il est recyclable plusieurs fois avant sa dégradation totale.

Le polystyrène (N° 6), le polystyrène est utilisé pour ses propriétés isolantes (tient au chaud votre café, mais aussi votre maison, quand il est intégré aux matériaux de construction). Paradoxalement, c'est un polymère qui résiste mal à la chaleur. A température élevée, il libère du styrène, une





substance qui pourrait augmenter les risques de cancer. Les procédés industriels ne sont pas très avancés, c'est ce qui fait de lui un produit presque non recyclable.



Le produit N° 7 englobe plusieurs types et catégories de plastiques comme le latex, le néoprène, le polytétrafluoroéthylène appelé couramment le PTFE, la mélamine et bien d'autres non cités dans les catégories précédentes. Très propre et contaminant, il est utilisé pour les tétines de bébés, pour la vaisselle, pour les revêtements intérieurs des ustensiles et boîtes de conserve. Le polycarbonate a été retiré de nombreux produits qui entraînent en contact avec les aliments ou l'eau (gourdes d'eau), car il contient du bisphénol A, un perturbateur endocrinien reconnu. Le PC est toujours utilisé dans la fabrication des grosses bonbonnes d'eau. Le téflon, quant à lui, peut migrer dans les aliments lorsqu'il est chauffé. Le caoutchouc naturel est sûr. Les caoutchoucs synthétiques, par contre, contiennent des plastifiants (nitrosamines) qui sont suspectés d'accroître les risques de cancer. D'une façon générale, ils sont connus comme difficilement recyclables à causes des additifs chimiques qui disparaissent pendant le traitement et font perdre les propriétés physicochimiques.



*Figure 35 : Balles de tennis et Léo Baekeland*

(Source : <https://www.bing.com/search?q=Leo+Baekeland...>)

Comme exemple, nous évoquons ici le nom de Léo Baekeland, chimiste de renom inventeur de la bakélite à partir des rejets plastiques et du papier photographique, ci-dessous sa biographie :

Fils d'un modeste cordonnier de Gand en Belgique, **Leo Baekeland** y naquit en 1863. Doué en chimie, physique mathématique et économie, il obtient un doctorat en sciences naturelles à l'université de Gand en 1884. Après avoir enseigné jusqu'à 26 ans en Belgique, il se fixe aux États-Unis en 1889 avec son épouse, Céline Swarts la fille de son professeur de doctorat. Il acquiert la nationalité américaine en 1897. Dès 1891, il est en mesure de commercialiser un papier photographique innovant. Pouvant se développer hors du jour, ce papier rencontre un succès immédiat. Ce nouveau procédé permettait d'obtenir des émulsions sur papier au chlorure d'argent peu sensible aux rayons jaunes du spectre de la lumière, et sensible à la « lumière artificielle » (à l'époque une bougie ou une lampe à gaz, d'où le nom anglais : « *gaslight* »). Ce type de papier rapide et sûr (car non lié aux variations d'intensité du jour) est appelé « *Velox* » (*rapide* en latin). Il débouchera en 1907 sur la mise au point de la bakélite, un produit breveté qui fera entrer le monde moderne dans son ère des matières plastiques moulées banales grâce à l'autoclave qu'il inventera. Cette invention d'une matière (non métallique, issue de déchets industriels, dure, résistante aux chocs et à la température) lui valut la médaille Franklin en 1940. Après avoir passé sa retraite retiré en Floride à Miami, il meurt à Beacon, dans l'État de New York, le 23 février 1944. Le magazine *Time* le classa parmi les vingt plus grands esprits du XX<sup>e</sup> siècle<sup>3</sup>.

### 3 Gestion des matières résiduelles des plastiques :

La génération des matières résiduelles plastiques proviennent des déchets d'emballage et de contenants essentiellement ménagers. Près de 30% des déchets plastiques sont générés par les rejets urbains.

La recyclabilité des matières plastiques qui proviennent des emballages alimentaires, chimiques et médicamenteuses est très réduite car ces produits sont généralement contaminés. Ils ont donc jetés dans des fosses (LES). Ils finissent alors dans ces sites et requièrent de l'espace supplémentaire en site d'enfouissement pour répondre aux besoins grandissants d'entreposage de déchets.

Pour réduire l'étendue de ces sites, le compostage paraît une solution acceptable car les emballages biosourcés convertissent ces déchets en eau, en humus et en CO<sub>2</sub> en espace de quelques mois. Seulement le ramassage des contenants paraît difficile à la population, seulement une estimation de 65% des contenants sont retournés, le reste est une perte sèche.

Une tranche de 25% de la population trouve que le geste est embarrassant, 15% estiment que l'endroit de remise des contenants est trop loin, et 20% trouvent que les produits sont encombrants et prennent de la place dans leur maison. C'est ce qui nous donne un taux avoisinant 60% de bouteilles et autres contenants en plastique mis à la poubelle au lieu d'être recyclés.

de nouvelles voies pour les déchets générés hors foyer doivent donc être dessinées pour que le taux de recyclage et valorisation des matières puisse être rehaussé. Il existe diverses voies pour réduire ou éliminer les déchets. On peut citer :

- L'enfouissement,
- L'incinération et la récupération d'énergie,
- La réduction à la source, soit une utilisation moindre de matières,
- La réutilisation des emballages,
- Le recyclage.

### 3.1 L'enfouissement des matières plastiques :

La quantité de matières résiduelles plastiques éliminées par habitant est de 75 kg, soit environ 10% des matières éliminées issues de collectes municipales. De ces matières, la proportion de plastiques issus des industries, commerces et institutions grimpe à 15%, possiblement en raison des emballages de produits ainsi que des déchets reliés à l'alimentation.

### 3.2 L'incinération des plastiques et la récupération d'énergie :

Cette technologie permettrait de produire des centaines de kilowattheures nets d'énergie grâce à une tonne de déchets. Une usine typique traiterait environ 2000 tonnes de déchets par jour, ce qui permettrait de produire environ 50 mégawatts nets d'électricité, soit la consommation moyenne d'électricité d'environ 60 000 foyers.

Cette méthode permet de réduire l'enfouissement ; en contrepartie, pendant l'incinération, des substances dangereuses peuvent être émises dans l'atmosphère. Le PVC et des additifs halogénés sont souvent dans les résidus de plastiques, pouvant résulter en rejets de polluants atmosphériques dont certains polluants organiques persistants tels que les dioxines et furannes. Ce sont ces émissions qui freinent l'utilisation de l'incinération en tant que méthode de gestion des résidus de polymères

### 3.3 La réduction à la source :

La réduction de matière première utilisée par un produit fini représente une excellente façon d'éliminer ou de diminuer la problématique des matières résiduelles. Une dichotomie se présente ; des facteurs économiques poussent les fabricants à réduire l'utilisation de matières premières alors que l'esthétique pousse souvent les fabricants à bonifier l'emballage.

### 3.4 La réutilisation des emballages et application du système de consignation :

Dans certains pays, l'application de la politique de consignation imposée permet de récupérer des milliers de tonnes de contenants en plastique à usage unique, soit 70% du nombre de contenants utilisés. La consigne représente donc un moyen très efficace de récupération des plastiques. Cependant, une organisation rigoureuse en stockage et en transport doit être appliquée pour la réussir.

### 3.5 Le recyclage

Pour permettre au recyclage de réussir, un système de codification des matières plastique doit exister comme cela a été présenté auparavant dans ce manuscrit et cela suivant chaque pays pour faciliter le tri. Cependant les marchés disponibles ainsi que les techniques de tri existantes ne permettent pas de mettre en valeur la totalité de la matière reçue.

Une gestion écologique des déchets se fait selon la hiérarchie des 3RV, c'est-à-dire la réduction à la source, le réemploi, le recyclage puis la valorisation. Une fois que le polymère a été produit et consommé et qu'il ne peut être réutilisé dans son état actuel, le recyclage représente l'option la plus écologique.

Un des défis de l'industrie a été de bâtir la confiance des partenaires et de démontrer l'intégrité technique des matériaux valorisés ainsi que leur viabilité en tant que substitut aux polymères vierges.

Malgré un taux de mise en valeur faible, le recyclage des matériaux plastiques représente la solution idéale pour réduire leur impact environnemental. Ainsi, de fortes réductions d'émissions de GES sont possibles grâce à l'utilisation de matière première recyclée dans la fabrication des polymères usuels, soit le HDPE, le LDPE, le PET ainsi que les plastiques mixtes.

## Conclusion :

Les déchets ménagers apportent, avant et après transformation, des polluants minéraux et organiques, retrouvés parmi les rejets de décharge, les produits et refus de compostage et de méthanisation ainsi que dans les résidus et les fumées d'incinération.

Pour l'ensemble des installations conçues (ou modifiées) conformément à la réglementation, les risques toxiques directs pour la santé publique sont faibles. Toutefois, la prudence est de rigueur lorsqu'il s'agit d'apprécier l'impact de polluants à pouvoir bio cumulatif (mercure, cadmium, dioxines et autres composés organochlorés) dont les émissions diffuses, générées pour partie par des installations de traitement et d'élimination de déchets ménagers, peuvent engendrer à plus ou moins long terme une exposition directe de l'homme à des concentrations significatives dans son alimentation.

Les facteurs associés au stress (odeurs, bruit, présence même de l'installation et du trafic engendré) n'ont pas non plus été pris en compte parmi les effets de ces installations, étant donné le manque de données disponibles sur ce sujet et la diversité des situations en cause.

Un tel travail de recensement des sources toxiques possibles à partir du traitement et de l'élimination des déchets ménagers et d'évaluation de leurs effets ne peut être prétendu exhaustif et définitif compte tenu de la disparité et de l'évolution des techniques de traitement et d'élimination et des découvertes récentes (et probablement à venir) de nouveaux composés dont on ignore encore les effets sur la santé.

## Références et sites internet utilisés lors de la rédaction

1) Jean-Michel Ballet, *“Aide- mémoire de gestion de déchets”*, Edition Dunod, 2<sup>ème</sup> édition, ISBN 978-2-10-053548-4, l’usine nouvelle, 2010.

2) A. Damien, *“Guide de traitement de déchets”*, Edition Dunod, 7<sup>ème</sup> édition, Collection Technique et ingénierie, Environnement et sécurité, 2016.

3) Tristan Turian, *“Les déchets”*, Collection Technique et ingénierie, Environnement et sécurité, 2<sup>ème</sup> édition, 2018.

4) Collectif, sous la responsabilité de Isabelle Monnerais *“Bien gérer ses déchets”*, QSE au FCBA - version n°1 , guide pratique, 2010.

5) Collectif, Rapport d’experts, *“Plan de gestion des déchets solides”*, EDIC, Etudes Développement Ingénierie Conseil, 2006.

6) Thomas Rogaume, *“Gestion des déchets”*, Collection Technosup, 2<sup>ème</sup> Edition, 2015

7) Elyse Rémy, *“Les plastiques biodégradables”*, Centre universitaire de formation en environnement université de Sherbrooke, Québec, Canada, 2013

8) David Briggs, et al. (2011) "Health Impact Assessment Of Waste Management Facilities In Three European Countries." *Environmental Health: A Global Access Science Source* 10.Suppl 1: 53-65. Academic Search Premier. Web. 15 février 2012.

9) "Toxic Waste." US EPA. National Geographic. Web. 15 mars 2012, <https://environment.nationalgeographic.com/environment/global-warming/toxic-waste-over-w/> [archive]

10) "Toxic Waste." National Geographic. National Geographic, 2010. Web. 26 avril 2010. <<http://environment.nationalgeographic.com/environment/global-warming/toxic-waste-overview.html> [archive] >.

11) Rubinkam M (2008) "Cancer cluster confirmed in northeast Pennsylvania" . Associated Press

12) [https://fr.wikipedia.org/wiki/Gestion\\_des\\_d%C3%A9chets](https://fr.wikipedia.org/wiki/Gestion_des_d%C3%A9chets)

13) <https://and.dz/presentation/strategie-nationale-de-la-gestion-des-dechets/>

14) <https://www.haganis.fr/gestion-des-dechets.php>

15) <https://www.actuenvironnement.com/ae/dictionnaireenvironnementt/definition/gestion-dechets.php4>

16) <https://www.ecologie.gouv.fr/gestion-des-dechets-principes-generaux>

17) <https://www.futurasciences.com/planete/definitions/developpementdurable/le-dechet-5725/>

- 18) Catalogue de Comité international de la croix rouge, Genève Suisse, 2011)
- 19) Transmutation des déchets radioactifs : une vraie solution ? [Archive], mai 2017
- 20) Avancées des recherches sur la séparation-transmutation et le multi- recyclage du plutonium dans les réacteurs à flux de neutrons rapides [archive], CEA / DEN, juin 2015
- 21) La faisabilité scientifique de la transmutation des déchets à vie longue [archive], rapport technique CEA / DEN, 17 novembre 2004.
- 22) « Gestion des combustibles irradiés » [archive], association Wise-Paris, proche du mouvement antinucléaire.
- 23) « Le préfet Poubelle est un Cannais [archive] », dans *Caen Magazine*, Mairie de Caen, n° 50, novembre-décembre 2001.
- 24) Histoire des déchets de Lutèce à Paris, le préfet Eugène Poubelle, l'inventeur de la poubelle [archive], Planète Écho.
- 25) Source : La femme médecin au 19e siècle. Thèse de médecine soutenue par Caroline Schultze le 12.12.1888.
- 26) Rémy Cazals, Daniel Fabre (dir.), *Les Audois : Dictionnaire biographique*, Carcassonne, Association des amis des archives de l'Aude, 1990.
- 27) Archives de Paris 8e, acte de décès n° 1598, année 1907 (page 12/31) [archive].
- 28) Jean-Louis H. Bonnet, *Carcassonne d'hier à aujourd'hui*, éditions de La Tour Gile, coll. « Villes et terroirs d'hier à aujourd'hui », 2005.
- 29) « Eugène Poubelle : histoire d'un nom propre » [archive], sur *Le Point*, 15 avril 2021 (consulté le 15 avril 2021).
- 30) Monika J. Fabiańska, Justyna Ciesielczuk, Łukasz Kruszewski, Magdalena Misz-Kennan, Donald R. Blake, Glenn Stracher, Izabela Moszumańska (2013) *Gaseous compounds and efflorescences generated in self-heating coal-waste dumps — A case study from the Upper and Lower Silesian Coal Basins (Poland)*, *International Journal of Coal Geology* (en ligne: 2013-05-19), résumé [archive]
- 31) RA Bloomfield (US dep. interior, bureau mines) (1984) *Current research into the potential for utilization of mine waste* ; *Journal of testing and evaluation*, vol. 12, no2, pp. 119-122 (5 ref.) (résumé avec cat.inist/CNRS) ; Ed : American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, ETATS-UNIS (1973) (Revue)

