

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE**



**UNIVERSITE A/MIRA-BEJAIA
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DES MINES ET GEOLOGIE**

Intitulé du cours :

Techniques de tri des déchets

Niveau : 3^{EME} ANNEE Licence (Gestion de l'environnement minier).

Auteur : Mme BOUZIDI .N Née BOUZIDI

Maitre de conférences B, Chargée de recherche

Avant propos

Les problèmes liés à l'environnement ont entraîné la mise en œuvre du développement durable parce qu'on n'arrive plus à fonctionner comme avant, en harmonie avec les exigences de la nature nous avons totalement rompu nos relations d'équilibre avec elle. Dans le but d'y remédier, on doit fonctionner selon un nouveau concept plus équilibré et plus durable. Depuis la fin de la deuxième guerre mondiale, nos pratiques au quotidien ont bien changé. Nos comportements ont été modifiés par de nouveaux modes de vie et de consommation. Nous produisons des produits, nous les consommons, nous les rejetons souvent après usage, nous nous en débarrassons sans tenir compte des conséquences qui peuvent affecter notre environnement et notre santé.

La présentation de ce cours permet aux non-initiés d'appréhender progressivement le sujet qui s'articule autour des déchets ainsi que les techniques nécessaires pour leurs gestions et leurs traitements. Le déchet est d'abord introduit. La notion de déchet semble évidente si l'on compare le contenu de la poubelle d'un particulier à un produit commercialisé: l'un présente une valeur, l'autre n'en possède aucune. L'approche manichéenne a ses limites, car toutes les catégories intermédiaires peuvent présenter un caractère "déchet" plus ou moins prononcé.

Cet ouvrage débute par les généralités et les questions de vocabulaire: définitions des déchets, de la toxicité, des installations classées et du transport des déchets. Les opérations de recyclage spécifiques à chaque matériau sont développées, les traitements généraux de recyclage sont aussi reportés dans un chapitre valorisation matières. L'incinération développe les différents types de fours et de traitements de fumées en service actuellement. Les aspects liés à la santé portant sur les effets des polluants sont précisés dans ce chapitre: l'incinération présente l'avantage de réduire au maximum le volume des déchets, mais en contrepartie elle casse totalement la structure de la matière, ce qui libère instantanément les polluants. Il n'en demeure pas moins que les effets des polluants sur la santé demeurent inchangés.

Ce cours est réparti en cinq chapitres. Le premier chapitre est consacré aux généralités sur les déchets, suivi par le chapitre II qui développe quelques données statistiques sur les principaux secteurs producteurs de déchets. Le chapitre III qui est le cœur de ce cours traitera sur les différentes techniques (opérations unitaires) de tri des déchets. Les valorisations matières et énergétiques sont présentées respectivement dans les chapitres IV et V. Les références bibliographiques sont présentées à la fin de ce cours.

Sommaire

Avant propos

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES DECHETS

Introduction :

I.1 Notions élémentaires sur les déchets

I.2 Définitions du déchet

I.2.1 Réglementaire

I.2.2 Economique

I.2.3 Fonctionnelle

I.2.4 Juridique

I.2.5 Environnementale, écologique

I.2.6 Sociologique

I.2.7 Synoptique

I.3 Politique du déchet

I.3.1 Production de déchets

I.3.2 Diminution des déchets

I.3.3 Réduction à la source

I.3.4 Valoriser le déchet

I.4 Stratégie d'action

I.4.1 Concepts du déchet

I.5 Classification des déchets

I.5.1 Déchets ménagers et assimilés (D.M.A)

I.5.2 Déchets industriels

I.5.3 Déchets Industriels Banals (DIB)

I.5.4 Déchets Industriels Dangereux (D.I.D)

I.5.5 Déchets toxiques en quantités dispersées (D.T.Q.D)

I.5.6 Déchets inertes

I.5.7 Déchets d'activités de soins

I.5.8 Déchets encombrants

I.5.9 Déchets ultimes

I.6 Gestion des déchets

I.6.1 Principes relatifs à la gestion des déchets

I.7 Valorisation des déchets

I.7.1. Anciens modes principaux de valorisation

I.7.2 Nouveaux modes principaux de valorisation 3RV-E

CHAPITRE II : PRINCIPAUX SECTEURS PRODUCTEURS DE DECHETS

Introduction

II.1 Les ordures ménagères et assimilés

II.1.1 Les déchets relevant du principe pollueur-payeur

II.2 Les déchets /rejets issus de l'activité minière

II.3 Les déchets non inertes

II.4 Les déchets dangereux

II.5 Les déchets radioactifs

II.5.1 Définition de déchet radioactif

II.5.2 Origine des déchets radioactifs	20
II.5.3 Classification des déchets radioactifs	21
II.5.4 Notions de base de la radioactivité	21
CHAPITRE III. PRINCIPALES TECHNIQUES DE TRI	25
Introduction	25
III.1 Tri mécanique	25
III.1.1 Tri par réduction de taille (fragmentation)	25
III.1.2 Tri par criblage	26
III.1.3 Tri par déchiquetage (Shredding)	28
III.2 Tri Aéraulique des déchets (air classification)	30
III.3 Tri Hydraulique /Pneumatique	31
III.4 Tri par séparation balistique	34
III.5 Tri magnétique	35
III.5.1 Sources de champ magnétique	35
III.5.2 Classification des séparateurs magnétiques	36
III.5.3 Technologie le tri magnétique	36
III.6 Tri des déchets par courants de Foucault	38
III.6.1 Principe des courants de Foucault	38
III.6.2 Domaines d'application de tri par courants de Foucault	40
III.7 Tri Optique des déchets	40
III.7.1 Quelques notions de base sur la couleur	40
III.7.2 Sources artificielles de lumière	41
III.7.3 Principe de fonctionnement du tri optique	42
III.7.2 Déchets concernés par cette technologie	43
CHAPITRE IV. VALORISATION MATIERES DES DECHETS	44
Introduction	44
IV.I Valorisation matières	44
IV.1.1 Quelques exemples de valorisation matière	45
Conclusion	56
CHAPITRE V : LA VALORISATION ENERGETIQUE DES DECHETS	57
Introduction	57
V.1 Technologies de préparation/alimentation des déchets	57
V.2. Procédés d'incinération	58
V.2.1 Types de fours d'incinération	58
V.2.2 Principes de combustion des déchets	60
V.2.3 Organisation et techniques du traitement par incinération	61
V.3 Technologie de traitement thermique des déchets	61
V.3.1 Procédé de pyrolyse	62
V.3.2 Procédé de gazéification	63
V.4 Les rejets des incinérateurs et leurs conséquences sur la santé	64
Conclusion	64
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	65

Chapitre I : Généralités sur les déchets

Introduction :

Les problèmes liés à l'environnement ont entraîné la mise en œuvre du développement durable parce qu'on n'arrive plus à fonctionner comme avant, en harmonie avec les exigences de la nature, nous avons totalement rompu nos relations d'équilibre avec elle. Pour y remédier, on doit fonctionner selon un nouveau concept plus équilibré et plus durable.

Depuis la fin de la deuxième guerre mondiale, nos pratiques au quotidien ont bien changé, nos comportements ont été modifiés par de nouveaux modes de vie et de consommation. Nous produisons des produits, nous les consommons, nous les rejetons souvent après usage. Nous nous en débarrassons sans tenir compte des conséquences qui peuvent affecter notre environnement et notre santé. L'impact écologiques des activités humaines et de plus en plus préoccupant.

Un objet lorsqu'il arrive en fin de vie, notre réflexe est de vouloir s'en débarrasser au plus vite, même s'il peut encore servir et sans se poser de questions : Peut-il encore servir à quelqu'un d'autre ? A-t-il encore une valeur ? Peut-il encore servir et où ? Comment ? Pour qui ? Comment s'en défaire sans le jeter ?

Ce sont les premiers éléments comportementaux que nous devons mettre en pratique dans notre vie quotidienne devant un objet en fin de vie.

Que représente cet objet dans le temps, dans l'espace ? Quelle est sa valeur ? Est-il un déchet ? Quelle définition peut-on donner alors au déchet ?

I.1 Notions élémentaires sur les déchets

Le déchet n'est pas simple et peut être liée à une vérité :

1. Economique : valeur négative ou positive
2. Juridique : abandon, valorisation
3. Ecologique : pollution sur l'eau, sur l'air, sur la santé publique et sur l'aménagement du territoire.
4. Technologique : faille, lacune dans le processus technologique
5. Sociologique : acceptation par la société (syndrome NIMBAY, " pas dans mon arrière cour"), création d'emploi

Elle peut être relative et dépendre :

- De l'individu : un objet peut être considéré comme déchet pour une personne mais pas forcément pour une autre
- Du temps : à un moment donné, un objet peut être considéré comme un déchet alors qu'avec le temps et l'évolution technologique (exemple des mâchefers), il pourra représenter à nouveau une valeur économique. A quel moment un objet devient-il un déchet et à quel moment cesse-t-il de l'être ?
- Du lieu : la notion de déchet est différente selon la région, le lieu, le pays

- De son état : sec ou humide ? là aussi, le problème d'évaluation se pose. sec, le déchet aura perdu en masse, pour certains déchets solides (boues) la teneur en eau peut atteindre 98%
- De son effet sur l'environnement : dangereux, biodégradable, neutre ?
- de l'unité de mesure : masse ou volume ? A l'état actuel, la mesure s'effectue en masse et non en volume, pourquoi ce choix ? les déchets sont extrêmement variés, ce qui entraîne des écarts très importants entre les densités et peut poser le principe de l'unité de mesure. A ce titre d'exemple, la densité des ordures ménagères dans les sacs et poubelles est de l'ordre de 150 à 200 kg/m³. Plus c'est léger, plus le volume est important, plus la transaction commerciale est intéressante.

La fabrication et la consommation de produits génèrent des déchets tout en puisant dans les ressources naturelles. Le circuit fabrication-production-génération de déchets à partir de la matière première peut être résumé d'une manière simple par la figure I.1.

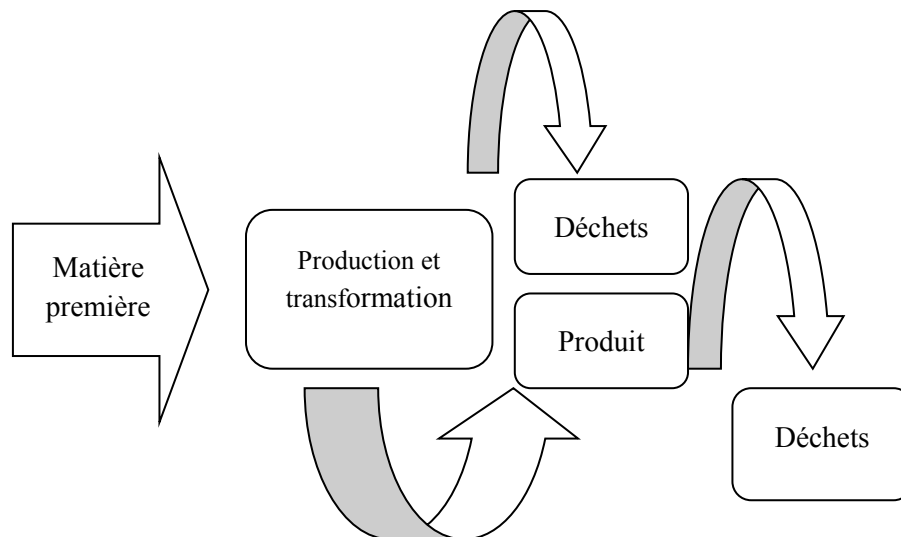


Figure I.1 : Circuit de production- génération de déchet

Un objet devient déchet selon le point de vue où l'on se place. Ainsi, plusieurs définitions peuvent régir la notion de déchets. Elles peuvent être réglementaires, économiques, juridiques, écologiques etc.

I.2 Définitions du déchet

I.2.1 Réglementaire

Tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou plus généralement tout bien meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon.

I.2.2 Economique

Objet dont la valeur économique est nulle ou négative à un instant et dans un espace donné. Peut-être à l'origine de création d'emplois.

I.2.3 Fonctionnelle

Flux de matière issu d'une unité fonctionnelle représentant une activité ou ensemble d'activités.

I.2.4 Juridique

Du point de vue juridique, deux notions se dégagent du déchet :

- Notion subjective : un bien devient déchet lorsque son propriétaire confirme sa volonté d'abandonner tout droit de propriété.
- Notion objective : le déchet est un bien dont la gestion doit être contrôlée au profit de la protection de la santé publique et de l'environnement.

I.2.5 Environnementale, écologique

Le déchet constitue une menace du moment où l'on envisage son contact avec l'environnement, qu'il soit direct ou après traitements, les interfaces peuvent être :

- Avec le sol : décharges contrôlées ou sauvages
- Sur l'eau : pollution des eaux souterraines et de surface
- Sur l'air : dégagement de biogaz des décharges (essentiellement du méthane), dioxine, furanes, hydrocarbures aromatique polycycliques (HAP) des usines d'incinérateurs.

I.2.6 Sociologique

Le syndrome NIMBAY de l'anglais "not in my back yard" (pas dans mon arrière cour) est assez significatif dans la mesure où la société n'est pas toujours en mesure d'accepter certaines pratiques dans la gestion des déchets.

I.2.7 Synoptique

Produit dont personne n'en veut à l'endroit où il se trouve. Cette définition donnée par J. Vernier résume d'une manière simple et imagée ce qu'est un déchet.

I.3 Politique du déchet

Le problème des déchets est apparu avec la sédentarisation des hommes, il est devenu une préoccupation essentielle avec la croissance démographique, l'urbanisation progressive et l'industrialisation. La politique de sa prise en charge effective n'a commencé qu'à partir des années 1975-1980. Les moyens de cette politique (moyens financiers, contrôle, sensibilisation, éducation...) ont permis le développement d'une véritable stratégie

Dans le domaine de la lutte contre toute sorte de déchets avec la perspective du respect de l'environnement et du développement durable.

Pourquoi cette prise de conscience ? Quelles en sont les causes ? Pourquoi se débarrasser des déchets ? En quoi les déchets sont-ils dangereux, menaçants pour l'environnement ? Quelle gestion efficace à promouvoir ? Quelles sont les conséquences à moyen et à long terme ? Quels sont les enseignements à donner aux générations présentes et à venir ?

I.3.1 Production de déchets

La production des déchets peut-être d'origine biologique, chimique, technologique (lacune dans le processus qui génère le déchet), écologique (le traitement de dépollution et de réduction entraînent des déchets) ... Les économistes ont établi une corrélation entre le volume et le contenu des déchets et le degré d'une nation ou d'une "civilisation". Plus un pays produit de déchets plus son potentiel socio-économique est élevé. Il en résulte une société de consommation et par conséquent un gaspillage non contrôlé. La ronde infernale qui consiste en une production et une destruction accélérées des objets fabriqués doit s'arrêter (figure 1.2).

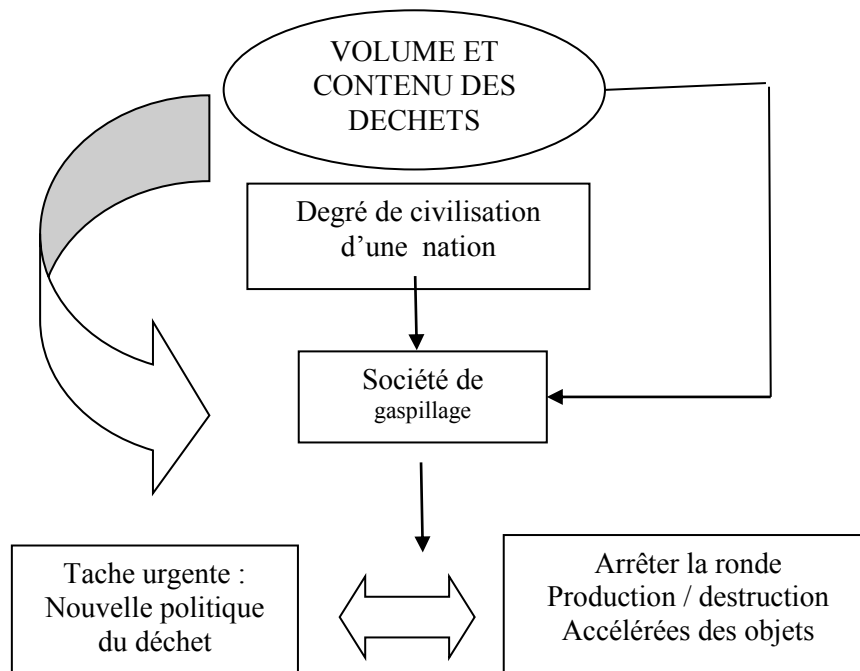


Figure I.2 Schéma de la ronde infernale.

Comment arrêter cette ronde ? Fabriquer et produire moins d'objets ? Diminuer la consommation ? Les habitudes sont une seconde nature. Il faut par conséquent changer ou réorienter la politique concernant le déchet. On peut déjà : Commencer par diminuer la production des déchets.

I.3.2 Diminution des déchets

La production des déchets augmente régulièrement suivant la croissance de la consommation propre à chaque pays. Il est donc indispensable d'agir dès maintenant si on veut préserver notre planète. Le déchet, qu'il soit issu d'une production, d'une transformation ou d'une consommation est considéré comme un phénomène secondaire gênant et qui est éliminé d'une façon quelconque. Il est attribué à une lacune dans notre potentiel technico-industriel. La nature n'est plus en mesure d'assurer la neutralisation des déchets en augmentation croissante de plus en plus dangereux et diversifiés. Les emballages des aliments qui sont de première nécessité pour l'être humain, l'animal et le végétal ont une action de plus en plus polluante sur l'air, l'eau et le sol, en outre, de nombreuses matières ne sont pas régénérables et on peut prévoir le moment où elles seront complètement épuisées. C'est une des raisons principales pour concentrer les efforts

pour produire moins de déchets, préserver l'environnement et améliorer par conséquent la qualité de la vie.

L'équation qui consiste à consommer toujours plus de produits et à diminuer la quantité de déchets n'est pas simple à résoudre, mais elle possède néanmoins des solutions d'approche dont les principales sont:

1.3.3 Réduction à la source

Avant de les traiter, il est préférable de diminuer les déchets à la source. Trois grands principes peuvent aider à cette politique :

1. La sensibilisation :

Informé sur les enjeux liés à l'augmentation de la quantité des déchets générés quotidiennement, aider à prendre conscience de la gravité de la situation, entraîner un élan de mobilisation de masse pour réduire la production des déchets et par voie de conséquence préserver les ressources naturelles.

2. La responsabilité :

Faire partager la responsabilité de tout un chacun à agir et associer les producteurs de déchets à passer aux actes de réduction. Il faut que les entreprises s'impliquent réellement dans la conception de nouveaux produits écologiques.

3. L'incitation à l'action :

Trouver les gestes simples, faciles à adopter, les encourager et les motiver. Il faut amener la population à une consommation responsable ; éviter les excès du passé, œuvrer pour une politique de conception et de fabrication des "écoproduits".

Pour une entreprise par exemple, le traitement des déchets représente un coût supplémentaire. Il est judicieux de réduire à la source la quantité des déchets qui permettra une réduction des coûts. Ils conviennent par conséquent de réduire en premier lieu les produits générateurs de déchets tels que le papier de bureau, les palettes, les chiffons, de réduire les chutes de fabrication, les produits d'emballage, les consommables.

1.3.4 Valoriser le déchet

Valoriser un déchet revient à déterminer le mode de traitement approprié dans le but :

- d'économiser les ressources naturelles et éviter le gaspillage ;
- de lutter contre le réchauffement de la planète en réduisant la production de gaz à effet de serre comme le méthane et le dioxyde de carbone ;
- de réduire la consommation d'énergie fossile telle que le gaz naturel, le pétrole, le charbon.

Tous les déchets peuvent être considérés comme potentiellement valorisable. Il suffit de déterminer la stratégie la mieux adaptée. Dans la mesure où il est difficile de réduire la production de déchets qui est en relation étroite avec la fabrication et la consommation, il suffira d'agir en aval, c'est-à-dire récupérer les déchets, les valoriser ou les traiter avant de les rejeter

dans la nature. Le problème de leur élimination doit tenir compte de l'hygiène publique, de l'esthétique, de l'équilibre écologique et du respect écologique. L'ensemble des traitements que l'on fera subir à ces déchets avant leur rejet permettra par conséquent d'en diminuer la quantité et le volume mais il restera toujours un déchet que l'on ne peut pas valoriser.

I.4 Stratégie d'action

Pour définir une stratégie d'action dans la gestion de déchets, il faut connaître le déchet, sa composition, sa nature, les interactions qui peuvent en découler entre les matériaux qui le composent ainsi que son comportement en fonction du temps.

La notion de déchet peut être subjective dans un premier temps :

- le déchet est destiné à l'abandon que personne n'en veut, il faut le gérer car il peut présenter un danger ou devenir encombrant.
- le déchet (produit, matériau) abandonné ou destiné à l'abandon (que personne n'en veut) peut être considéré comme une matière première, une ressource pour une autre personne.

''Les déchets des uns font le bonheur des autres''

Partant de cette métaphore, on peut néanmoins changer la conception que nous avons sur le déchet. Cette conception n'est plus en mesure de prendre en charge correctement la gestion de ces résidus dont la quantité ne cesse d'augmenter. Nous n'avons plus le droit de rester les bras croisés devant la menace que peuvent présenter les déchets pour l'environnement et la santé publique.

I.4.1 Concepts du déchet

L'ancien concept assimilait le déchet à une ''NON VALEUR'' ou une valeur négative (il faut payer pour s'en débarrasser), à une nuisance, une pollution et un danger dont il fallait s'en débarrasser. Actuellement, il est considéré comme une '' RESSOURCE'', une matière première qu'il faut gérer intelligemment, mais un matériau à valoriser, une considération pour le déchet. Cette nouvelle conception du déchet a permis de développer une stratégie d'action dans la gestion des déchets à partir de deux voies principales :

- connaissance du déchet sur le plan qualitatif, quantitatif et spatio-temporel. Pour cela, utiliser les travaux d'analyse et les tests de comportement (A. Navarro).
- choix de la stratégie la mieux adaptée. Faire ressortir la valeur contenue dans le déchet, déterminer la ou les filières dans l'exploitation du déchet.

I.5 Classification des déchets

Les différentes catégories des déchets sont répertoriées dans une '' nomenclature'' relevant d'un décret relatif à la classification des déchets. Cette classification permet d'identifier chaque déchet. Composée de 6 chiffres, elle est fonction de l'origine et de la nature du déchet.

Les déchets peuvent être classés en deux catégories :

- D'après leur origine :
 - Déchets ménagers et assimilés
 - Déchets industriels (banals ou dangereux).
- D'après leur nature :
 - Dangereux
 - Toxique
 - Ultimes
 - Inertes...

I.5.1 Déchets ménagers et assimilés (D.M.A)

Ils proviennent des ménages, des commerçants, des artisans, des entreprises et industries dans la mesure où ils ne présentent aucun caractère spécial ni dangereux.

Ce sont :

- Les ordures ménagères
- Les déchets de nettoyage (balayage des rues et des espaces publics)
- Les déchets encombrants
- Les déchets non dangereux des industries, des commerces et des artisans
- Les déchets verts
- Les boues de décantation et de stations d'épuration.

I.5.2 Déchets industriels

Ils proviennent de l'industrie, du commerce, de l'artisanat et des transports. Ils regroupent :

- Les déchets industriels banals (D.I.B), ils ne présentent aucun caractère dangereux. Ils sont assimilés aux déchets ménagers.
- Les déchets industriels dangereux (D.I.D)
- Les déchets de chantier
- Les déchets agroalimentaires
- Les déchets d'activité de soins

En raison de leur caractère dangereux, les D.I.D sont signalés par un astérisque dans la nomenclature.

I.5.3 Déchets Industriels Banals (DIB)

Ils sont constitué des :

- Emballages des ménages
- Emballages des entreprises
- Papiers et cartons
- Boues de station d'épuration des eaux urbaines
- Verres
- Plastiques

- Métaux ferreux et non ferreux
- Bois
- Textiles
- Caoutchouc
- Pneumatiques
- Inertes (gravas, sable.....)
- Mâchefers etc.

I.5.4 Déchets Industriels Dangereux (D.I.D)

Ils sont constitués des déchets organiques (types hydrocarbures, goudrons, boues) des déchets minéraux liquides (acides, bases...) ou solides (sables, cendres...). Les D.I.D peuvent présenter des risques pour la santé et génèrent souvent des nuisances pour l'environnement. Pour ces raisons, ils doivent être collectés, transportés, traités, éliminés ou stockés selon des règles strictes.

On distingue les :

- Solvants
- Hydrocarbures
- Goudrons
- Acides
- Boues de stations de traitement des rejets industriels
- Sous-produits de la sidérurgie
- Déchets à base de cyanure, d'arsenic, de mercure, de chrome
- Déchets phytosanitaires
- Déchets toxiques en quantités dispersées (DTQD)
- Déchets contenant des métaux lourds
- Peintures
- Huiles de coupe, huiles usagées
- Piles et accumulateurs
- PCB (polychlorobiphényles), PCT (polychloroterphényles), HAP (hydrocarbures aromatiques polycycliques)
- Sources radioactives
- Déchets contenant de l'amiante

I.5.5 Déchets toxiques en quantités dispersées (D.T.Q.D)

Les déchets dangereux issus des ménages mais en faible quantité, qui ne peuvent pas être collectés par la municipalité à cause des risques qu'ils peuvent encourir (détergents, huiles usagées, désinfectants, décapants, acides...) sont appelés déchets toxiques en quantités dispersées (D.T.Q.D).

I.5.6 Déchets inertes

Un déchet inerte est un déchet qui ne subit aucune modification physique, chimique ou biologique importante. Les déchets inertes ne se décomposent pas, ne brûlent pas, ne produisent aucune réaction physique ou chimique, ne sont pas biodégradables et ne détériorent pas d'autres matières avec lesquelles elles entrent en contact d'une manière susceptible d'entraîner une pollution de l'environnement ou de nuire à la santé humaine. La production totale de lixiviats et la teneur des déchets en polluants ainsi que l'écotoxicité des lixiviats doivent être négligeables et ne doivent pas porter atteinte à la qualité des eaux de surface et/ou des eaux souterraines (directive 1999/31/CE).

I.5.7 Déchets d'activités de soins

Les déchets d'activités de soins (D.A.S) sont les déchets issus des activités de diagnostic, de suivi, et de traitement préventif, curatif ou palliatif, dans les domaines de la médecine humaine et vétérinaire.

On peut les classer en cinq catégories :

a) Déchets d'activités de soins à risques infectieux (D.A.S.R.I)

Ce sont les déchets qui présentent un risque infectieux, parce qu'ils contiennent des microorganismes viables, en raison de leur nature, de leur quantité ou de leur métabolisme, ils causent des maladies chez l'homme ou chez d'autres organismes vivants. On peut citer :

- Les déchets anatomiques : issus des blocs opératoires et des laboratoires. Ce sont aussi des petits membres amputés, placentas, etc.
- Les tissus et les cultures : issus des laboratoires de bactériologie, virologie, parasitologie, pipettes, flacons de culture, lames et matériels à usage unique, cadavres d'animaux aiguilles et seringues.
- Le sang et ses dérivés, le matériel à usage unique provenant des unités de dialyse, des laboratoires d'analyse, des blocs opératoires, les membranes et les reins.
- Les déchets des centres de transfusions sanguines
- Le matériel d'aspiration diverse à usage unique, le matériel coupant ou piquant à usage unique.

b) Déchets d'activités de soins sans risques infectieux

Ce sont les déchets qui même s'ils ne présentent pas un risque infectieux, sont considérés comme dangereux :

- Les piquants, coupants
- Les produits sanguins à usage thérapeutique incomplètement utilisés ou arrivés à péremption
- Les déchets anatomiques humains correspondant à des fragments humains non aisément identifiables.

c) Déchets assimilés aux D.A.S

Ce sont les déchets issus des activités d'enseignement, de recherche et de production industrielle dans les domaines de la médecine humaine et vétérinaire, ainsi que ceux issus des activités de thanatopraxie, lorsqu'ils présentent les caractéristiques ci-dessus.

d) Déchets assimilés aux ordures ménagères (non contaminés)

- Déchets des activités de la fonction hospitalisation
- Déchets de nettoyage, des récipients divers, de produits d'entretien
- Sacs plastiques et sacs papiers contenant des déchets domestiques divers.
- Déchets de restauration : Ils correspondent aux déchets habituels de la cuisine ou du magasin, déchets d'emballage (cartons, bouteilles, cannettes, boîtes de conserve...), restes de repas et denrées non consommées.

e) Déchets radioactifs

Ce sont les déchets solides issus des activités de radiothérapie, de traitement de cancer, de diagnostic et par des structures de recherche hospitalo-universitaires. Ils comportent le risque potentiel d'irradiation.

I.5.8 Déchets encombrants

Les déchets encombrants (ou monstres) constituent les déchets qui, en raison de leur taille, ne sont pas collectés classiquement.

I.5.9 Déchets ultimes

Déchet résultant ou non du traitement d'un déchet, qui n'est plus susceptible d'être traité dans les conditions techniques et économiques du moment, notamment par extraction de la part valorisable ou par réduction de son caractère polluant ou dangereux. Ce sont des déchets qui ne subissent aucune transformation physique, chimique ou biologique importante.

I.6 Gestion des déchets

La gestion des déchets constitue une préoccupation majeure pour les autorités en charge de ce secteur. La gestion des déchets ne s'improvise pas. Il est important de connaître les différents types de déchets générés, leurs quantités, leur nature, les contraintes réglementaires, les risques sanitaires, leurs interactions, etc...

Il convient de mettre en perspective et d'intégrer plusieurs données dont principalement :

- la connaissance fine des déchets et de leur comportement.
- Les techniques de gestion et les rejets associés à celle-ci.
- Le comportement et le devenir des différentes substances et émissions, dans l'environnement (eau, air, sol), la chaîne alimentaire.
- La toxicité des diverses substances, seules ou en mélange et les mécanismes conduisant à un éventuel impact sanitaire

Les déchets peuvent être toxiques soit directement, soit à la suite d'une réaction physique ou chimique à un moment de leur élimination, d'un traitement ou de leur stockage, soit par leurs

métabolites ou les produits de leur dégradation, soit par leur incinération (dioxines, furanes). Les déchets peuvent entraîner des intoxications ou des problèmes d'écotoxicologie.

I.6.1 Principes relatifs à la gestion des déchets

Dans une société de consommation et de gaspillage, la prise en charge de la gestion des déchets est indispensable pour les raisons que nous venons de voir (santé publique, respect de l'environnement, hygiène, écotoxicologie...). Ainsi, le code de l'environnement définit l'ensemble des objectifs et mesures relatifs à cette gestion. Parmi ces articles, un des plus importants stipule : "Toute personne qui produit ou détient des déchets est tenue d'en assurer l'élimination".

Il définit les dispositions relatives à la gestion des déchets par quatre objectifs principaux (figure I.3) :

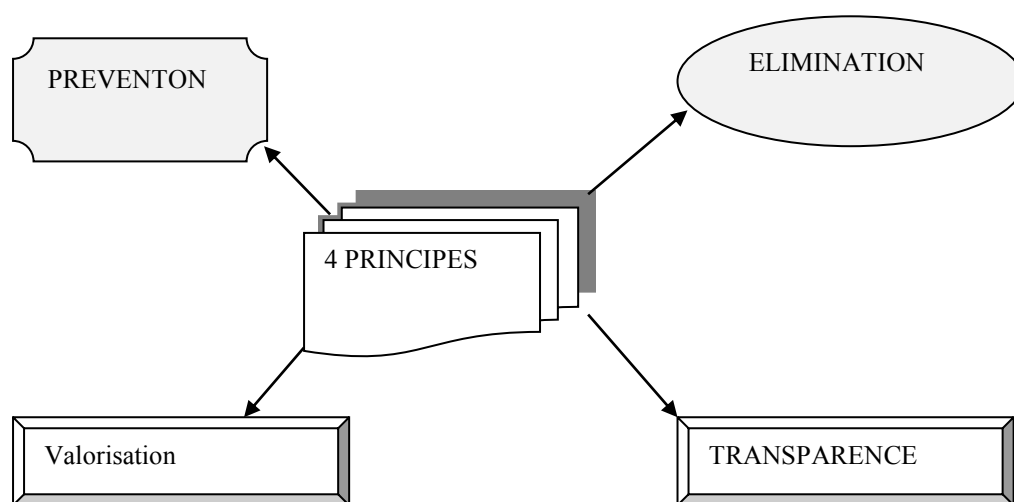


Figure I.3 : Les quatre objectifs principaux relatifs à la gestion des déchets.

a) La prévention

Elle concerne :

- La réduction de la production de déchets (intervention sur les procédés de fabrication, la distribution,....)
- La limitation de leur nocivité
- L'organisation du transport (réduction de la distance, des volumes, déclaration à la préfecture)
- Le principe du pollueur-payeur.

b) La valorisation

C'est l'un des points forts du code de l'environnement :

- La valorisation concerne des composés, des matières premières contenues dans les déchets. Elle peut se faire par réemploi, réutilisation, recyclage, valorisation énergétique, valorisation matière etc. C'est l'un des points forts du code de l'environnement ;

- La valorisation concerne des composés, des matières premières contenues dans les déchets. Elle peut se faire par réemploi, réutilisation, recyclage, valorisation énergétique, valorisation matière.
- c) L'élimination
 - Interdiction d'abandon ou de brûlage des déchets ;
 - Interdiction de certains mélanges (huiles, emballages...) ;
 - Interdiction de rejets non conformes dans les réseaux collectifs ;
 - Interdiction d'enfouissement des déchets bruts ;
 - Le producteur est tenu d'assurer ou de faire assurer l'élimination d'un déchet polluant ou dangereux.
- d) Information (transparence)
 - Rapport industrie-administration (contrôle des circuits, bordereaux de suivi...) ;
 - Rapport industrie-population ;
 - Relation entre les différents acteurs de la chaîne ;
 - Transporteur, centre de tri, centre d'enfouissement technique.

Le débat sur la gestion des déchets et les polémiques répétées sur les risques environnementaux liés aux décharges sauvages, les incinérateurs non conformes aux nouvelles exigences, les déchets industriels, les boues d'épandage et les déchets ménagers... a été relancé depuis 2002 (développement durable- Johannesburg). En effet, la gestion des déchets représente un enjeu capital dans :

- La préservation de l'environnement ;
- L'économie des ressources naturelles ;
- La maîtrise des impacts sur l'environnement ;
- Les aspects socio-économiques ;
- Le domaine de la politique.

I.7 Valorisation des déchets

La valorisation des déchets est définie comme un mode de traitement qui consiste dans "le réemploi, le recyclage ou toute autre action visant à obtenir, à partir des déchets, des matériaux réutilisables ou de l'énergie".

On distingue trois types de valorisation :

- La valorisation matière (production de compost, de biogaz...)
- La valorisation énergétique (la production d'électricité ou de chaleur)
- Le recyclage matière

Il est souvent utile de faire un inventaire des déchets pour décider du choix de la filière de valorisation à adopter. Ainsi, les conséquences de l'inventaire peuvent amener à :

- Avoir une réponse technique sûre
- Un traitement possible
- Une conception dynamique non figée et immédiate

- Des économies
- Un gain de temps appréciable

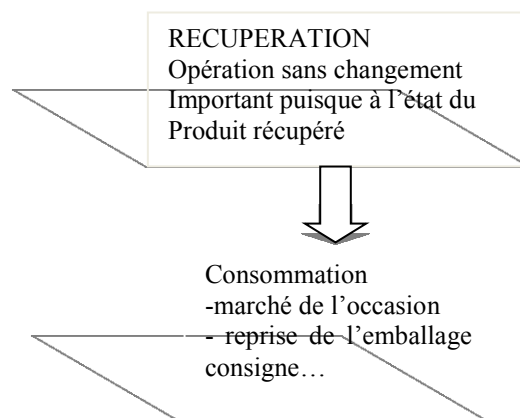
I.7.1. Anciens modes principaux de valorisation

Initialement les modes principaux de valorisation étaient connus sous la notion des **3R** :

- Récupération
- Réutilisation
- Recyclage

a) Récupération

C'est une opération qui consiste à récupérer "le déchet" sans lui faire subir de transformation. Ainsi, les produits de consommation (sacs, cartable, téléviseur, réfrigérateur...), les marchés de l'occasion (brocante, friperie...) et les reprises d'emballage (consignes de bouteilles...) gardant leur fonction initiale et ne sont plus considérés comme des déchets.

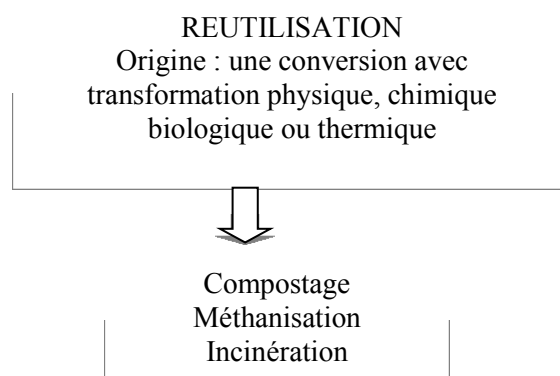


b) Réutilisation

Elle consiste à faire subir au déchet une transformation physique, chimique, biologique ou thermique dans le but d'avoir un bénéfice qui était masqué par l'usage principal (minerai de fer, scories de déphosphoration...).

Ainsi, une valorisation matière peut être obtenue par :

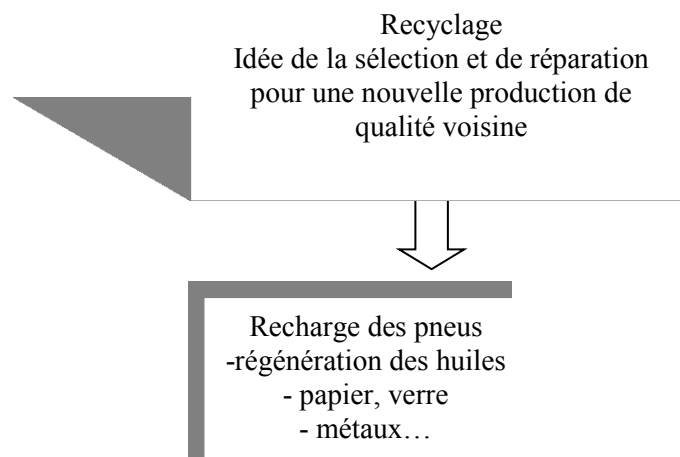
- Une dégradation (transformation) biologique aérobie ou anaérobie pour avoir respectivement du compost ou du biogaz.
- Une incinération (transformation thermique) pour récupérer de l'énergie.



c) Recyclage

La notion de recyclage consiste à réintroduire les matériaux provenant de déchets dans un cycle de production ou processus de fabrication en remplaçant total ou partiel d'une matière première vierge.

A l'origine, le recyclage concernant uniquement les produits qui revenaient à leur cycle de fabrication pour en faire un matériau de qualité inférieure ou voisine (verre, papier...). Actuellement, il englobe la réintroduction du déchet ou d'une matière du déchet dans un processus de transformation. Le recyclage consiste à utiliser les déchets à la place de la matière première et permet une réduction des ressources naturelles et l'économie d'énergie.



I.7.2 Nouveaux modes principaux de valorisation 3RV-E

La nouvelle notion à appliquer dans la gestion des déchets est basée sur le principe connu actuellement sous l'appellation des "3RV-E" avec, par ordre de priorité :

- La réduction à la source
- Le réemploi
- Le recyclage
- La valorisation
- L'élimination

Les aspects environnementaux et économiques doivent toujours être au centre des décisions dans les choix qui se présentent aux décideurs.

a) Réduction à la source

C'est la notion qui consiste à générer le moins de déchets lors de la fabrication, de la distribution et de l'utilisation du produit. Le citoyen peut contribuer à cette réduction en diminuant la quantité de déchets produite par l'utilisation de produits en vrac plutôt qu'emballés, des produits durables plutôt que jetables etc.

C'est le mode le moins coûteux à réaliser puisqu'il appelle à notre manière de consommer et au fabricant d'opter pour d'autres procédés de fabrication de produits. La réduction à la source est une technique de prévention.

b) Réutilisation ou réemploi

On définit maintenant la réutilisation ou réemploi par "l'utilisation répétée du produit sans modification de son apparence ou de ses propriétés".

C'est une méthode qui consiste à prolonger la vie d'un produit en l'utilisant plusieurs fois.

c) Recyclage

La définition est sans changement.

d) Valorisation

Identique mais peut être amenée à des améliorations de point de vue technologique au fil du temps. Cette nouvelle conception de la gestion des déchets vise l'économie de ressources, leur mise en valeur avec un impact minimum sur l'environnement et la santé humaine. La hiérarchisation des opérations permet une bonne application effective et réaliste dans la gestion des déchets (figure I.4).

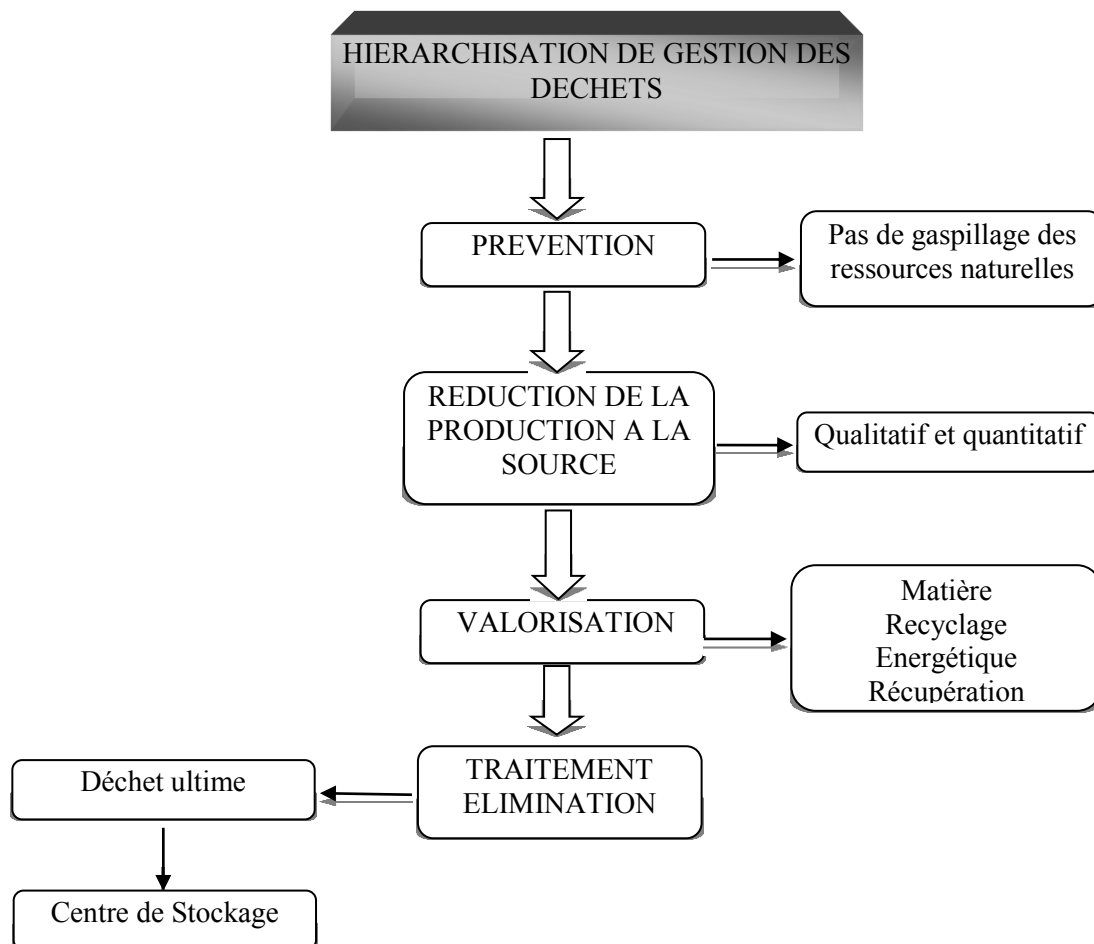


Figure I.4 : Hiérarchisation de la gestion des déchets.

Chapitre II : Principaux secteurs producteurs de déchets

Introduction

Avant de dire qu'un produit est considéré comme déchet, afin de cerner et de trouver les principaux secteurs producteurs de déchets, on doit répondre à certaines questions parmi lesquelles on trouve :

- Le matériau est-il produit volontairement?
- Le matériau est-il produit pour répondre à une demande du marché?
- La valeur économique du produit est-elle négative?
- Le produit est-il encore intégré à une chaîne d'usage ou à un cycle commercial?
- Le matériau répond-il à des normes/standards/spécifications nationaux ou Internationaux?
- Un traitement complémentaire est-il nécessaire pour que le matériau puisse être utilisé dans une application technique ou commerciale?
- Le matériau peut-il être effectivement utilisé dans un procédé de production?
- Ce matériau peut-il être utilisé après une opération de recyclage?

La volonté générale de donner la priorité au recyclage matière sur tous les autres modes de valorisation pose le problème du passage d'une matière qui, initialement qualifiée de déchet, se transforme en matière première secondaire, sous-produit ou coproduit. Ce passage d'un état à un autre conduisait le produit d'une réglementation très contraignante à une réglementation initialement beaucoup plus souple. Différents critères sont à prendre en considération: caractère dangereux du produit, sa valeur marchande (positive ou négative), nécessité d'opérer un traitement préalable, mise en place de prescriptions techniques minimales ou de normes, l'intention du détenteur. Pour répondre à toutes ces questions, il faudra savoir quel est le secteur le plus productif de déchets

II.1 Les ordures ménagères et assimilés

Les ordures ménagères et assimilés sont susceptibles de contenir un certain nombre de composés toxiques ou nuisibles à l'environnement. Parmi ces polluants, on trouve essentiellement des composés organiques provenant des déchets putrescibles, le chlore se trouvant dans certains plastiques, le soufre, et les métaux lourds. Rousseaux (1987) a réalisé un bilan concernant l'origine des métaux lourds présents dans les ordures ménagères. Ceux-ci se retrouvent sous différentes formes dans des produits de consommation très divers :

- Le plomb se trouve essentiellement dans les ferrailles du fait de la contamination par les soudures étain-plomb ;
- Les caoutchoucs et cuirs jouent un rôle important en ce qui concerne le Zn, Cd, Cr et Hg ;
- Le Cd, Cr et Pb sont utilisés comme additifs dans les plastiques et le verre ;
- Le papier (notamment l'encre) est une source notable de Hg, Zn et Cu ;
- La majorité du Cr est en partie apportée par le verre, ainsi qu'une partie non négligeable du Pb.

Il faut tout de même noter que la répartition des métaux lourds dans les DMA a sans doute évolué, notamment en raison de réglementations sur certains produits, comme les encres. On peut répartir les secteurs producteurs de déchets comme suit :

1) Les déchets municipaux

Il s'agit de déchets collectés et traités sous la responsabilité des municipalités et leurs groupements. Ils se décomposent en :

- DMA : 27 Mt dont : Ordures ménagères au sens strict : 22 Mt et les déchets des activités collectés avec les déchets des ménages : 5 Mt - Déchets encombrants des ménages et déchets verts des ménages : 6 Mt
- Déchets des collectivités : 14 Mt dont :
 - Boues de station d'épuration : 9 Mt
 - Déchets de voirie et de marchés : 4 Mt
 - Déchets verts : 1 Mt

2) Les déchets industriels et commerciaux

Il s'agit des déchets produits par les activités (hors BTP et agriculture). Ils se décomposent en:

- Déchets industriels banals collectés : soit 89 Mt dont :
- 43 Mt de déchets des industries agro-alimentaires 46 Mt collectés avec les DMA
- Déchets industriels spéciaux : 9 Mt

3) Les déchets agricoles

Ils se décomposent en :

- Déchets des élevages : 275 Mt
- Déchets de cultures : 55 Mt
- Déchets de forêts : 45 Mt.

Ces matières relèvent d'une logique complètement différente de celle des déchets des ménages ou des entreprises. L'agriculteur ne cherchera pas à les éliminer mais à les valoriser dans l'enrichissement des sols.

4) Les déchets du BTP (déchets de chantier-déconstruction-démolition)

5) Les déchets d'activité de soin

La production totale de déchets est de l'ordre de 650 Mt/an. Selon leur nature, ils vont suivre diverses filières de gestion et de traitement.

II.1.1 Les déchets relevant du principe pollueur-payeur

Les déchets non traités par les collectivités locales relèvent de la responsabilité de leurs producteurs respectifs et l'on distingue les déchets répartis par secteurs d'activité:

- agriculture, pêche et forêts ;
- industries ;
- bâtiments et travaux publics ;

À ce classement s'ajoutent des déchets qui sont communs à plusieurs secteurs économiques comme les emballages, les véhicules hors d'usage, les déchets d'équipements électriques et électroniques, les pneus... ainsi que les déchets nouveaux ou dont la réglementation commence à se développer comme les déchets des catastrophes, les nanomatériaux... qui ne disposent pas de moyens spécifiques et structurés de traitement.

II.2 Les déchets /rejets issus de l'activité minière

Les rejets miniers composent à eux seuls des déchets qui peuvent être valorisables ou non selon leurs origines. On peut les considérer comme des déchets miniers le plus souvent inertes mais parfois peuvent être non inertes.

On rappellera que les déchets inertes sont des déchets qui ne subissent aucune modification physique, chimique ou biologique importante, qui ne se décompose pas, ne brûle pas, ne produit aucune réaction physique ou chimique, n'est pas biodégradable et ne détériore pas les matières avec lesquelles il entre en contact d'une manière susceptible d'entraîner des atteintes à l'environnement ou à la santé humaine.

Les déchets miniers peuvent être définis comme tout produit minéral, ou dépôt minéral résultant de la recherche et de l'exploitation minière ou du traitement du minerai. Ces résidus peuvent être, bruts (stériles francs, produits minéralisés non exploitables), plus ou moins retravaillés, issus des phases de traitement et d'enrichissement du minerai (rejets de laverie). Ces déchets peuvent contenir d'éventuels additifs chimiques, minéraux ou organiques, ou artificiels, générés lors de procédés d'extraction de la substance utile lors d'une étape de calcination ou de fusion (cendres, scories).

II.3 Les déchets non inertes

Ces déchets se composent principalement :

- Des déchets de matériaux de construction contenant de l'amiante ;
- Des déchets de matériaux géologiques excavés contenant de l'amiante ;
- De l'exploration, de l'extraction minière et des carrières, de la préparation et du traitement ultérieur de minerais;
- De la production primaire de l'agriculture, de l'horticulture, de la chasse, de la pêche, de l'aquaculture, de la préparation et de la transformation des aliments;
- De la transformation du bois, de la production de papier, de carton, de pâte à papier, de panneaux et de meubles;
- Des industries du cuir et du textile;
- Du raffinage du pétrole, de la purification du gaz naturel et du traitement pyrolytique du charbon;
- Des procédés de la chimie minérale;
- Des procédés de la chimie organique;
- De la fabrication, de la formulation, de la distribution et de l'utilisation de produits de revêtement, mastics et encres d'impression;
- De l'industrie photographique;
- Des procédés thermiques;

- Du traitement et du revêtement des métaux, et de l'hydrométallurgie des métaux non ferreux;
- De la mise en forme et du traitement mécanique de surface des métaux et matières plastiques;
- Des huiles usées;
- De substances organiques employées comme solvants;
- Des emballages, absorbants, chiffons d'essuyage, matériaux filtrants et vêtements de protection;
- Des déchets non décrits dans le catalogue (refus de broyage, piles, accumulateurs, explosifs);
- De construction et de démolition;
- Des soins médicaux ou vétérinaires et recherche associée;
- Des installations de traitement de déchets, de stations d'épuration des eaux usées hors site et de l'industrie de l'eau;
- Des déchets municipaux ou assimilés.

Chaque déchet est défini par un code à 6 chiffres dont les deux premiers correspondent aux industries d'origine citées ci-dessus. Un astérisque permet de distinguer les déchets classés comme dangereux. Cette liste a été actualisée par la décision de la Commission Européenne (CE).

II.4 Les déchets dangereux

Anciennement dénommés Déchets Industriels Spéciaux (DIS) qui est une catégorie de déchets (chimiques, biologiques, radioactifs..), d'origine industrielle et susceptible de présenter un danger pour l'homme et/ou l'environnement. La loi du 15 juillet 1975 interdit à toute entreprise d'abandonner, brûler, enfouir ou rejeter les Déchets Industriels Spéciaux (DIS) qu'elle produit. Les DIS doivent être traités via une filière différente de celle du traitement des déchets ménagers et assimilés. Tous ces déchets peuvent être solides, liquides, pâteux, gazeux et ont des origines variées (industriels, artisans, particuliers, armées, hôpitaux, vétérinaires, etc.). Ces déchets sont liés à des activités industrielles lourdes, mais aussi au fonctionnement quotidien des installations, y compris hors industrie (piles, tubes fluorescents, batteries, huiles de vidange, solvants, vernis, restes de peintures...), déchets de chantiers. Quand ils ne sont pas inertes, ils font souvent l'objet d'une réglementation spécifique (amiante, produits radioactifs, explosifs, produits inflammables, etc.). Ces types de déchets sont classés en trois grandes catégories :

- Déchet organique : solvants, hydrocarbures, boues d'épuration ou Boue de curage de lagunes, d'égouts industriels, déchets hospitaliers et vétérinaires etc...
- Déchet minéral solide : cendres Refioms et mâchefers d'incinération, laitiers, poussières, amiantes...etc
- Déchet minéral liquide et semi-liquides : bains de traitement de surface, acides...

Ces déchets spéciaux sont considérés comme dangereux car ils présentent une ou plusieurs des propriétés suivantes :

- explosivité, comburant, inflammabilité ;

- irritabilité, nocivité, toxicité ;
- cancérogène ;
- corrosion ;
- infection ;
- toxicité, mutagène ;
- écotoxicité.
- Radioactifs (généralement soumis à des législations particulières)

II.5 Les déchets radioactifs

II.5.1 Définition de déchet radioactif

L'utilisation de l'énergie nucléaire pour produire de l'électricité, ainsi que de la chaleur, ne se limite pas à l'exploitation de réacteurs nucléaires, mais aussi à celle d'un nombre important d'installations supplémentaires, engendrant la production de quantités importantes de déchets nucléaires. Ces déchets nucléaires sont radioactifs, ce qui signifie qu'ils renferment des noyaux atomiques qui, après un certain temps, se transforment sans aucune influence extérieure (désintégration) en d'autres noyaux atomiques. Au cours de cette désintégration, les déchets radioactifs émettent des radiations ionisantes. C'est ce qu'on appelle les rayonnements alpha, bêta, gamma et neutroniques, qui produisent des dommages dans la matière qu'ils traversent.

Les radionucléides présents dans les déchets ont des demi-vies (appelées périodes) différentes, ce qui veut dire que le temps nécessaire pour que la moitié des noyaux atomiques radioactifs présents au départ disparaissent par décroissance dépend du type de radionucléides. Il en est de même pour la période nécessaire pour que la radioactivité des déchets atteigne un niveau dont l'impact nocif sera nettement réduit. La demi-vie des différents types de radionucléides va de la fraction de seconde à des millions d'années.

II.5.2 Origine des déchets radioactifs

Les nombreuses utilisations des propriétés de la radioactivité produisent, depuis le début du 20^{ème} siècle, des déchets radioactifs. Ces déchets proviennent pour l'essentiel des centrales de production d'électricité, des usines de traitement des combustibles usés et des autres installations nucléaires civiles et militaires qui se sont développées au cours des dernières décennies. Les laboratoires de recherche et les services de médecine nucléaire contribuent aussi, à un degré moindre, à la production de déchets radioactifs, tout comme certaines industries utilisant des matières radioactives.

La production de déchets nucléaires de la filière électronucléaire peut être répartie en cinq domaines principaux :

- l'extraction et le traitement de l'uranium,
- le fonctionnement des centrales,
- le retraitement,
- le déclasserment des installations nucléaires,

- la gestion des déchets radioactifs.

II.5.3 Classification des déchets radioactifs

La classification des déchets radioactifs repose principalement sur deux paramètres :

le niveau du rayonnement et la période de radioactivité des radionucléides présents dans le déchet. La période correspond au temps au bout duquel l'activité initiale du radionucléide est divisée par deux. On distingue :

- les déchets dont les radionucléides ont une période très courte (inférieure à 100 jours)
- les déchets dont les principaux radionucléides ont une période courte (inférieure ou égale à 31 ans) ;
- les déchets dont les principaux radionucléides ont une période longue (supérieure à 31 ans).

Les déchets dont les radionucléides ont une période très courte sont utilisés notamment en médecine pour les besoins de diagnostic. Au bout d'un temps réduit (quelques périodes), leur niveau de radioactivité devient très faible, quel que soit le niveau initial. Ils sont ensuite éliminés dans les filières conventionnelles. On considère en général que les déchets qui ont une activité initiale faible ou moyenne et qui ont une période courte, perdent leur caractère dangereux après 300 ans maximum. La classification comporte également 6 catégories de déchets tenant compte de leur niveau d'activité :

1. les déchets à vie très courte (VTC) ;
2. les déchets de très faible activité (TFA) ;
3. les déchets de faible et moyenne activité à vie courte (FMA-VC) ;
4. les déchets de faible activité à vie longue (FA-VL) ;
5. les déchets de moyenne activité à vie longue (MA-VL) ;
6. les déchets de haute activité (HA)

Il faut noter qu'un déchet n'est pas affecté à une catégorie uniquement en fonction de son activité et de sa période mais également en fonction de sa filière de gestion. En effet, si, dans la majorité des cas, les caractéristiques radiologiques des déchets sont directement utilisables pour définir la catégorie à laquelle ils sont rattachés pour certains déchets, c'est leur filière de gestion à long terme, tenant compte d'autres caractéristiques, (composition chimique, par exemple), qui impose leur catégorie.

II.5.4 Notions de base de la radioactivité

Au cours du temps, on définit comme déchets radioactifs, les déchets ayant les caractéristiques suivantes:

- une activité massique supérieure à $2 \mu\text{Ci} / \text{kg}$ (74 Bq/g);
- une activité totale supérieure à $0,1 \mu\text{Ci}$ [$= 3,7 \text{ Bq}$] pour les radioéléments du groupe I; à
 - $1 \mu\text{Ci}$ pour le groupe II A;
 - $10 \mu\text{Ci}$ pour le groupe II B ;
 - $100 \mu\text{Ci}$ pour le groupe III.

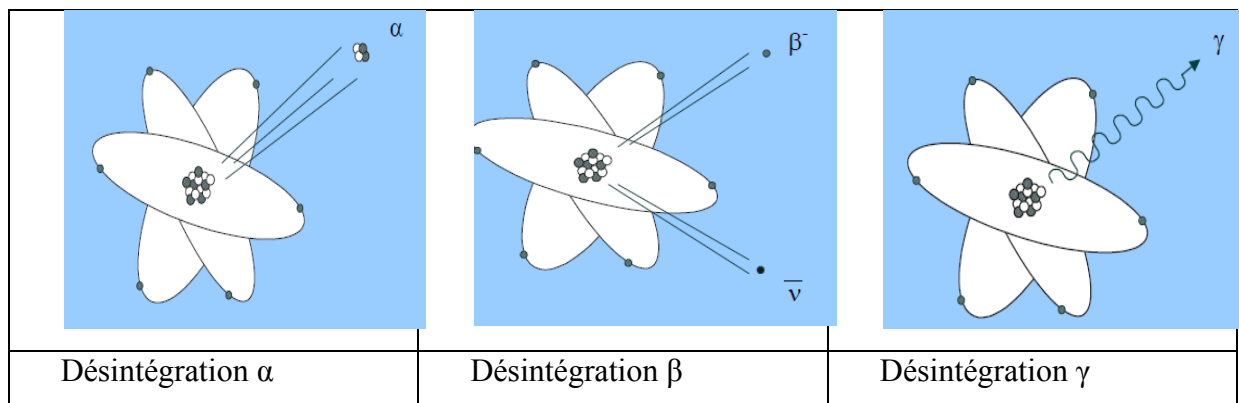
Les déchets solides de faible activité (moins de 1 000 coups par minute au contact avec un détecteur de contamination ordinaire muni d'une sonde adaptée au rayonnement émis) peuvent être rejetés avec les déchets ordinaires du laboratoire, à condition que l'activité totale rejetée par jour n'excède pas:

- 0,1 μCi pour les radioéléments du groupe I;
- 1 μCi pour les radioéléments du groupe II A;
- 10 μCi pour les radioéléments du groupe II B;
- 100 μCi pour les radioéléments du groupe III.

Les déchets de très faible activité (TFA) présentent une radioactivité de l'ordre de 1 Bq/g.

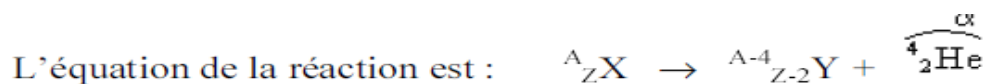
II.5.4.1 Types de radioactivité

Les transformations radioactives sont souvent appelées des désintégrations radioactives. Les principaux rayonnements émis lors ou par suite de ces désintégrations radioactives sont appelés rayonnements alpha, bêta et gamma.



1) Rayonnement alpha

Le rayonnement alpha est formé de 2 protons et de 2 neutrons : L'état final est un atome d'hélium 4

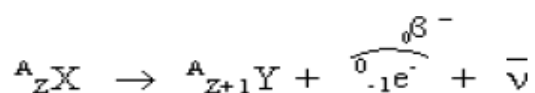


Son pouvoir de pénétration est très faible. Totalement arrêté par quelques centimètres d'air ou par une simple feuille de papier

2) Rayonnement bêta

Électron de haute énergie, son pouvoir de pénétration est faible. Totalement arrêté par quelques mètres d'air ou par quelques millimètres dans les matériaux solides ou liquides. L'état final est un électron de faible énergie.

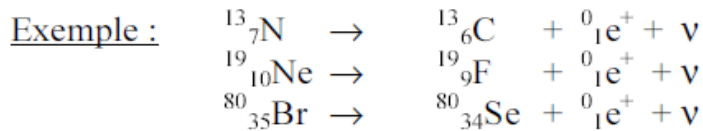
a) La radioactivité β^-



une particule β^- est un électron



b) La radioactivité β^+

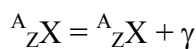


Les particules β ont des énergie de l'ordre du MeV et sont arrêtées par une faible épaisseur d'aluminium.

3) Rayonnement gamma

Ce sont des photons de haute énergie (visible, UV, rayons-X, gamma). L'état final est une chaleur. Son pouvoir de pénétration est très grand. Épaisseur-demie pouvant atteindre quelques centaines de mètres dans l'air et plusieurs centimètres dans les matériaux solides ou liquides.

C'est le rayonnement électromagnétique. Ce rayonnement est de même nature que la lumière, les ondes radio et les rayons X. Dans ce cas, la longueur d'onde est si courte (fréquence élevée) que ce rayonnement peut être considéré comme un jet de particules (de masse nulle) se déplaçant à la vitesse de la lumière : ce sont les photons. Cette désintégration γ laisse le noyau inchangé :



C'est un processus radiatif car le noyau ne change pas d'identité mais seulement d'état d'énergie et il y a conservation de nombre atomique A et de la charge Z.

II.5.4.2 Stabilité nucléaire

Elle résulte d'un bon équilibre entre les forces d'attraction et les forces de répulsion présentes dans le noyau de l'atome. Il y a près de 270 nucléides stables

II.5.4.3 Instabilité nucléaire : radioactivité

Elle résulte d'un mauvais équilibre entre les forces intra-nucléaires. Il y a près de 2700 nucléides instables, c'est-à-dire radioactifs.

II.5.4.4 Activité radioactive (A)

Elle se mesure par :

- Nombre moyen de désintégrations radioactives par unité de temps. L'unité de l'activité est la désintégration par seconde ; d.p.s qu'on appelle aussi le becquerel.

1 becquerel = 1 Bq = 1 désintégration par seconde (1 dps)

1 curie = 1 Ci = 37 milliards de dps.

Application

Bq, Bq/m³, Bq/m², Bq/kg, Bq/L, Bq/s

II.5.4.5 Dose absorbée dans un organe ou un tissu (DT)

C'est l'énergie moyenne communiquée sous forme d'excitation et d'ionisation par unité de masse irradiée de l'organe ou du tissu ($DT \equiv \Delta E / \Delta m$)

$$1 \text{ gray} = 1 \text{ Gy} = 1 \text{ Joule/kilogramme} = 100 \text{ rad}$$

II.5.4.6 Dose équivalente dans un organe ou un tissu (HT)

C'est une grandeur qui tient compte de l'efficacité biologique des rayonnements ionisants à induire des effets stochastiques à faible dose ou débit de dose. On l'obtient en multipliant la dose absorbée par un facteur de pondération (1 à 20) propre à chaque type ou énergie de rayonnement

$$1 \text{ sievert} = 1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$$

II.5.4.7 Dose efficace (E)

C'est une grandeur qui se veut représentative du détriment radiologique pouvant résulter d'une exposition aux rayonnements ionisants à faible dose ou faible débit de dose. On considère à cet égard les facteurs suivants :

- la probabilité d'induction des cancers mortels
- la probabilité d'induction des cancers non-mortels
- la probabilité d'induction des effets héréditaires sévères
- la gravité relative de ces effets
- la perte relative de la durée de vie que ces effets peuvent causer.

On obtient la dose efficace en multipliant la dose équivalente d'un organe ou d'un tissu par un facteur de pondération (0,01 à 0,2) qui tient compte de la contribution de cet organe ou tissu au détriment, puis on effectue une sommation portant sur tous les organes ou tissus irradiés de façon significative

- 1 sievert = 1 Sv = 100 rem.

Quelques ordres de grandeurs des périodes des nucléides sont donnés dans le tableau suivant :

Nucléides	Périodes
^{40}K	$1,3 \cdot 10^9$ ans
^{30}V	$5 \cdot 10^{15}$ ans
^{87}Rb	$5 \cdot 10^{10}$ ans
^{138}La	10^{11} ans
^{144}Nd	$3 \cdot 10^{15}$ ans
^{176}Lu	$4,5 \cdot 10^{10}$ ans
^{60}Co	5,2 ans
^{90}Sr	28 ans
^{131}I	8,1 jours
^{226}Ra	1620 ans
^{239}Pu	24400 ans
^{137}Cs	30 ans

CHAPITRE III. Principales techniques de tri

Introduction

Le tri a pour fonction principale de transformer un flux de déchets mélangés et non directement valorisables en plusieurs fractions, dont certaines se prêteront mieux au recyclage matière. De ce point de vue, le tri est une étape intermédiaire du traitement des déchets, les flux sortants étant pris en charge par d'autres filières (recyclage, incinération ...).

Les opérations de tri sont au cœur de la chaîne de traitement des déchets et sont plus particulièrement une étape clé du processus de recyclage promu puis imposé par les instances Européennes. Le tri des déchets a toujours intégré des étapes de tri manuel mais certaines fonctions sont depuis longtemps confiées à des machines comme, par exemple, l'enlèvement des ferrailles par tri magnétique.

Les techniques de traitement mécanique rencontrées sur les unités de traitement sont :

les opérations unitaires de réduction granulométrique qui visent à réduire les dimensions des déchets en vue de leur traitement. Les équipements sont les broyeurs, les déchiqueteurs (shredders), des trommels, les cribles, afin de séparer les flux et les diriger vers les techniques les plus appropriées, table densimétrique (aéraulique), tapis sélectionneur hydraulique, tapis balistique etc...

III.1 Tri mécanique

III.1.1 Tri par réduction de taille (fragmentation)

La réduction de la taille est généralement une étape essentielle dans le traitement mécanique des déchets mixtes, lors de ce procédé les déchets encombrants, dont la taille est compatible avec le traitement. Le broyage provoque également une certaine homogénéité au niveau de la réduction de la taille des diverses composantes. Cette uniformité est une exigence de certains systèmes de tri mécaniques. Le terme réduction de la taille a un certain nombre de synonymes dans la gestion des déchets solides, y compris le Déchiquetage (shredding) et le broyage (grinding). En effet Le terme déchiquetage a été largement adopté en référence à la réduction de la taille des déchets.

La fragmentation est l'opération par laquelle on cherche à réduire la taille et/ou à augmenter la surface développée de l'unité de masse (surface spécifique) de particules solides. Son efficacité est toujours évaluée par une mesure de l'accroissement de la finesse. Les sollicitations mécaniques accroissent l'énergie libre des matériaux, qui va se convertir sous différentes formes. L'énergie de contrainte élastique est ainsi convertie en énergie élastique des défauts de réseau ponctuels (à l'échelle atomique), linéaires (dislocations, macles), plans (défauts d'empilement, joints de grains) ou volumiques (désordres structuraux). La conversion de plus grandes quantités d'énergie libre en énergie de surface engendre la fracturation.

La fragmentation peut avoir des finalités diverses :

- réduire les dimensions, soit pour faciliter la manutention, le conditionnement ou l'utilisation, soit pour libérer les constituants avant une opération séparative ;

- éliminer, avant une mise en œuvre, des zones de rupture potentielles (libération d'unités quasi monocristallines) ;
- augmenter la réactivité vis-à-vis de processus dont la cinétique dépend de la finesse ou du degré de désordre ;
- homogénéiser (mélanges, dilutions solides, dosages) ;
- conférer des spécifications de forme, de texture, de distribution granulaire ;
- modifier la fonctionnalité, soit sous l'effet de l'activation mécano chimique, soit en profitant de la création de nouvelles surfaces pour y implanter les groupes fonctionnels désirés.

II.1.2 Tri par criblage

Le criblage était à l'origine une opération simple et modeste, mais il a évolué et est devenu, même pour le plus classique des cribles vibrants, une opération unitaire incluant beaucoup de fonctions, par exemple :

- la fonction d'origine de coupure granulométrique, comme le scalpage, le criblage primaire, le criblage secondaire ou tertiaire dans une opération multi étage (avec séparation finale de plusieurs produits) ;
- le lavage et l'égouttage ;
- la séparation de populations de grains, en jouant sur les formes ou les tailles des particules ;
- la récupération de liquide dense en gravimétrie.

Le produit que l'opérateur désire obtenir guide le choix de la fonction de coupure granulométrique du crible. Dans le cas de minerais métalliques, le crible fournit en général des produits qui seront traités (triés) dans d'autres circuits et une certaine tolérance est admise. En revanche, dans le cas de minéraux industriels ou de matériaux de construction, le criblage fournit souvent des produits directement commercialisés avec des spécifications de plus en plus strictes.

La caractérisation du matériau, en dehors de sa composition, doit permettre de donner, au moins partiellement, les indications essentielles suivantes :

- le pourcentage de passant contenu dans l'alimentation ;
- le pourcentage de particules dans l'alimentation de taille critique (de dimension supérieure à 75 % de la taille de l'ouverture) ;
- le taux d'humidité dans l'alimentation ;
- la répartition des particules selon les formes ;
- la rugosité des surfaces des particules ;
- la densité en vrac.

Les constructeurs possèdent des banques de données comprenant les caractéristiques de plus d'un millier de types de matériaux à traiter. Ils peuvent combiner ces connaissances de base avec la théorie du criblage de façon à développer rapidement et systématiquement un choix sûr de la

conception du crible. Cette démarche prend en compte les paramètres identifiés du matériau qui s'ajoutent aux paramètres *appareil*:

- le type de crible et de mouvement ;
- la pente, la vitesse et la longueur du crible ;
- le type de surface criblante, les dimensions des ouvertures et le taux de vide.

Deux types de criblage sont utilisés dans le procédé de séparation des déchets :

1) le criblage grossier

Le criblage est réalisé par un crible à 1 ou 2 plateaux (trommels). Le double plateau trouve son emploi dans les circuits de broyage autogène intégral (*fully autogenous grinding*) qui utilise des galets extraits d'un premier broyeur comme moyen de broyage pour un deuxième broyeur. La dimension des mailles du crible est comprise entre 0,5 et 2 mm pour le plateau inférieur et de 6 à 40 mm pour le plateau supérieur. Il est fréquent que 90 % en masse de l'alimentation du crible passe à travers le plateau supérieur. L'épaisseur du lit doit permettre d'une part, un bon écoulement de l'eau, d'autre part, une bonne efficacité du criblage sur le plateau inférieur.

2) Le criblage fin

Les exemples d'utilisation du criblage fin sont aussi divers que son emploi comme classificateur, ou comme concentrateur, ou encore comme moyen d'augmenter la récupération d'opérations subséquentes de séparations par gravité, par flottation, etc...

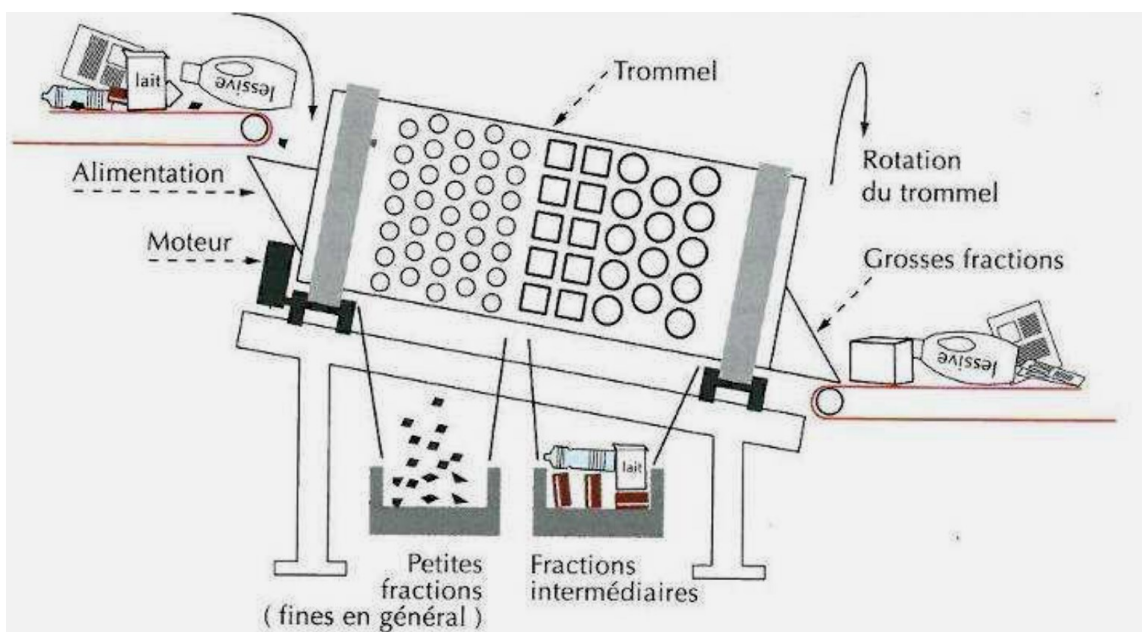


Figure III.1 : Trommel à deux mailles

L'insertion d'un criblage fin dans un circuit de broyage est avantageuse quand il existe un contraste entre les masses spécifiques des minéraux à récupérer et celles des éléments de la gangue (dans le cas d'une récupération d'un rejet minier). Les classificateurs habituels (à vis, hydrocyclones, etc.) séparent les particules selon leurs vitesses de sédimentation. Quand il existe

un fort contraste entre les masses spécifiques, on retrouve ensemble des particules grossières légères de gangue, des mixtes de constitution, et des fines particules lourdes.

On distingue plusieurs types de cribles :

- Le crible cylindrique (trommel) (voir figure III.1)
- Le crible à godet
- Le crible à disque ou étoile
- Le crible plan

III.1.3 Tri par déchiquetage (Shredding)

L'opération de déchiquetage primaire (ou le broyage grossier) est utilisée pour réduire la taille des déchets à une taille maximale de particules d'environ 10 cm, elle est une caractéristique de nombreuses installations de traitement des déchets mixtes. Le shredding secondaire et/ou tertiaire est utilisé pour des déchets ayant des tailles inférieures à 10 cm (cas de la production d'un combustible dérivé de déchets de faible granulométrie). On utilise un type de shredder appelé hammermil.

Le hammermil est un type de déchiqueteur à grande vitesse fréquemment utilisé pour la réduction de la taille des déchets solides. Les hammermils à basse vitesse; à couple élevé ; shear shredders (figure III.4) sont d'autres types de shredders, ils sont utilisés dans certains cas pour la réduction de la taille des déchets solides. Cependant, l'utilisation est généralement pour le déchiquetage grossier.

Les hammermils sont de deux types selon l'orientation du rotor à savoir : horizontal et vertical. Les deux types ont des marteaux qui tournent à l'intérieur de la déchiqueteuse et provoquent la réduction de la taille des particules par collision avec le matériau d'alimentation. Les marteaux peuvent être montés sur le rotor de broyage d'une manière fixe ou tournant librement. Le hammermil d'oscillation horizontale est couramment utilisé dans le traitement des déchets mixtes. Ses principaux éléments sont le rotor, des marteaux, des grilles, cadre, et le volant, sa vitesse de rotation est généralement dans la gamme de 1000 à 1500 tours par minute (Figure III.2). Dans le cas du hammermil vertical (figure III. 3) l'axe de rotation est vertical. Le matériau d'alimentation descend parallèlement à l'axe de l'arbre et est exposée à l'action des marteaux rotatifs. Le matériau est alors déchiqueté en fonction du temps et est récupéré au bas de l'appareil. Dans le cas du shear shredding (figure III.3) le procédé est caractérisé par la réduction du temps de séjours du matériau dans l'appareil, la réduction de la vitesse de rotation. Ces deux derniers paramètres mènent à la réduction élevée de la taille des déchets. L'appareil est constitué de deux arbres tournants, compteur horizontal. Chaque arbre contient des couteaux pour déchirer et cisailier le matériau. Les éléments de coupe fonctionnent généralement dans une plage de 20 à 70 tours par minute. En raison de l'action de cisaillement et un couple de torsion élevé, les shear shredders (figure III.4) sont couramment utilisés pour réduire la taille des objets qui sont difficiles à broyer, comme les pneus.

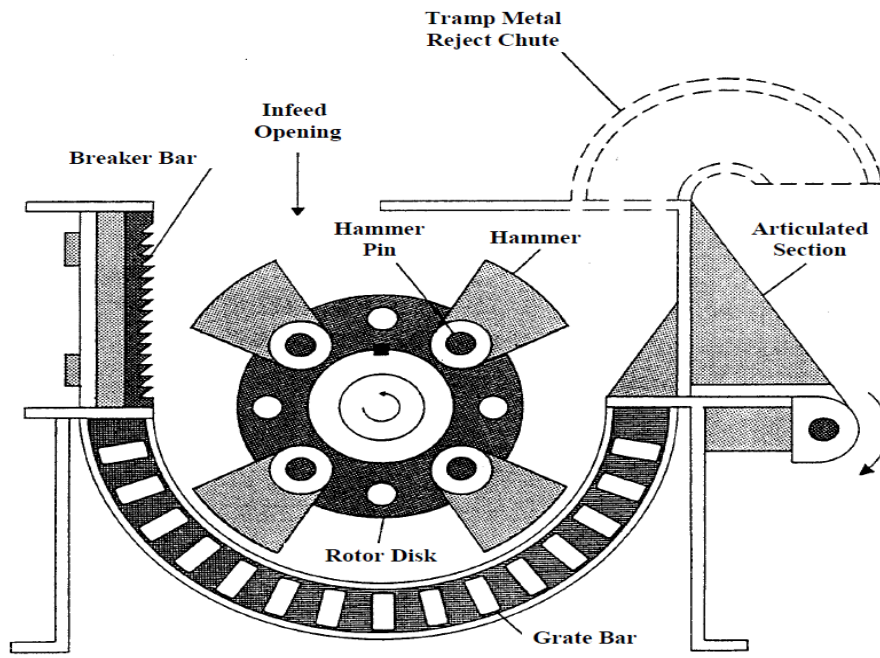


Figure III.2 : Coupe d'un hammermil horizontal

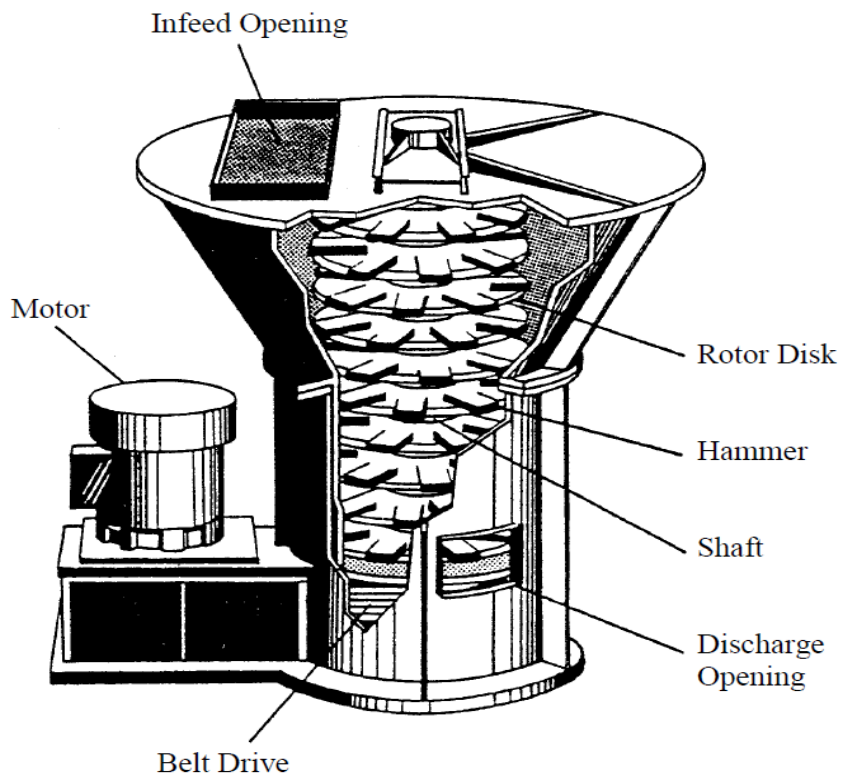


Figure III.3 : Hammermil vertical

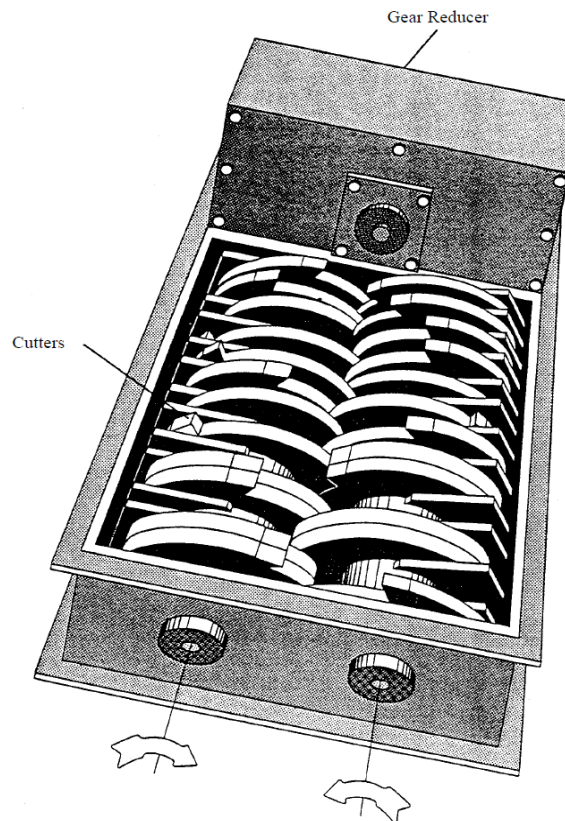


Figure III.4 : shear shredding

III.2 Tri Aéraulique des déchets (air classification)

La classification par l'air ou aéraulique est un processus de séparation de catégories de matériaux à titre de différences dans leurs caractéristiques aérodynamiques. La caractéristique aérodynamique d'un matériau est essentiellement fonction de sa taille, sa géométrie et sa densité. Le procédé consiste à l'interaction d'un courant de déplacement d'air, la matière de déchets déchiquetés, et la force de gravitation à l'intérieur d'un volume confiné. Dans l'interaction, la force de traction et la force de gravitation est exercée dans les directions différentes sur les particules, il en résulte que les particules les plus lourdes tombent, tandis que les composants les plus légères tendent à se déposer sur le courant d'air.

Dans le traitement des déchets, l'air contrôlé est un moyen de séparation parfait, à la fois en termes de technologie de procédés de fabrication et de solutions commerciales. L'air contrôlé représente une des technologies de base de séparation. Il est polyvalent et offre une plus grande flexibilité que les technologies de séparation mécanique et garantit une grande efficacité dans le tri. En utilisant de l'air, le séparateur à tambour associe un ventilateur de recirculation, une section de séparation avec un tambour rotatif et une chambre d'expansion connectée. C'est la meilleure solution de séparation fondée sur la densité des matériaux à des capacités d'entrée pouvant atteindre 100 t/h.

Il existe plusieurs types de séparateurs aérauliques (figure III .5) :

- l'unité de séparation est en diagonale.
- l'unité de séparation est à la verticale.

- l'unité de séparation est en zigzag.

Le séparateur aéraulique peut être aussi utilisé pour la séparation et/ou la valorisation des types de déchets suivants:

- Déchets solides municipaux.
- Déchets commerciaux et industriels.
- Section de raffinage du compost.
- Recyclages de la biomasse/du bois.
- Combustibles dérivé des déchets.
- Valorisation de la cendre résiduelle.

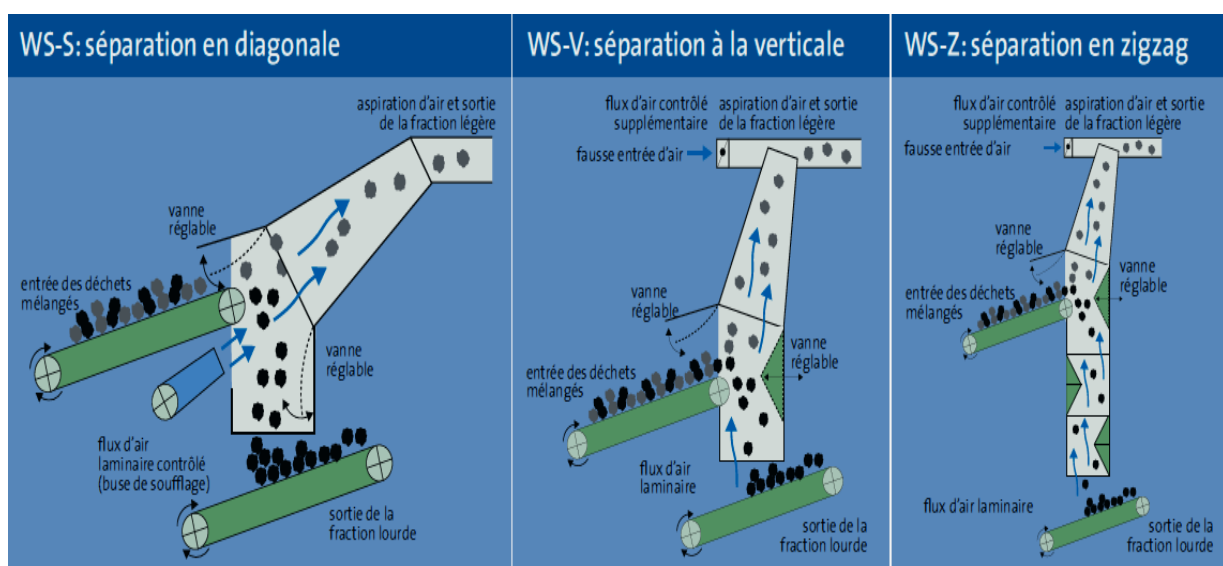


Figure III.5 : Unités de séparation aéraulique

III.3 Tri Hydraulique /Pneumatique

La classification hydraulique/pneumatique est basée sur les théories des mouvements des solides dans une phase liquide, et donc sur la résistance opposée par un fluide lors du déplacement d'un solide dans celui-ci. Elle utilise un liquide (le plus souvent de l'eau additionnée ou non d'un soluté destiné à augmenter et à ajuster sa densité à une valeur prédéfinie) dans lequel on va conjuguer les actions simultanées de la gravité (et parfois d'une force centrifuge) et les forces résultant de la résistance à la pénétration des particules dans le milieu plus ou moins fluide.

De manière simplifiée, cette technique met en jeu la densité du fluide, sa viscosité, la densité des matériaux, la forme des particules et, éventuellement, les mouvements du fluide. On distingue alors la séparation flotté/coulé pratiquée en bac de flottation/décantation, selon le principe de la poussée d'Archimède où les particules solides sont immergées dans un liquide de densité intermédiaire entre celles des solides à séparer (figure III.6).

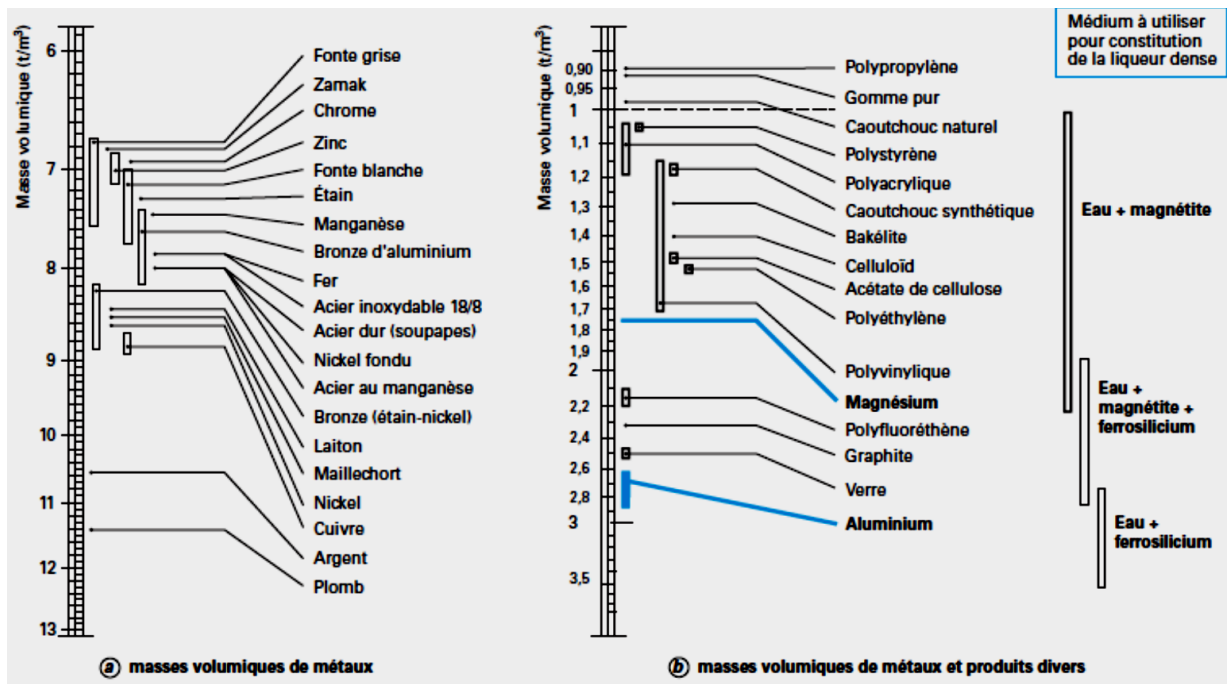


Figure III.6 : Comparaison des masses volumiques de quelques métaux et polymères.

Les particules de plus faible masse volumique (tableau III.1) flottent dans le bain et sont récupérées par écrémage, alors que les plus lourdes décantent et sont collectées en fond de cuve par des vis d'extraction (système à fluide stationnaire). Ce principe simple peut être amélioré en utilisant un fluide en mouvement dans une cuve conique (hydrocyclone) (figure III. 7).

La classification pneumatique utilise un flux d'air et est basée sur les mouvements relatifs des particules, les unes par rapport aux autres, et par rapport au fluide. Divers paramètres influent fortement sur l'efficacité du procédé, tels que la siccité des particules à séparer, leur forme, le champ d'accélération du flux d'air. On trouve des classificateurs pneumatiques à courant ascendant de type zig-zag, par centrifugation ou, encore, du type "air-knife" (Figure III.8).

Tableau III.1 : Masses volumiques moyennes des principaux matériaux métalliques et non métalliques

Matériaux	Masse volumique (t/m ³)
Polymères.....	0,9 à 1,9
Magnésium.....	1,75
Verre.....	2,5
Aluminium.....	2,7 à 2,9
Zamak et fonte grise.....	6,8
Acier inoxydable 18/8.....	7,85
Acier.....	7,8
Bronze et laiton.....	8,2 à 8,4
Cuivre.....	8,9
Plomb.....	11,4

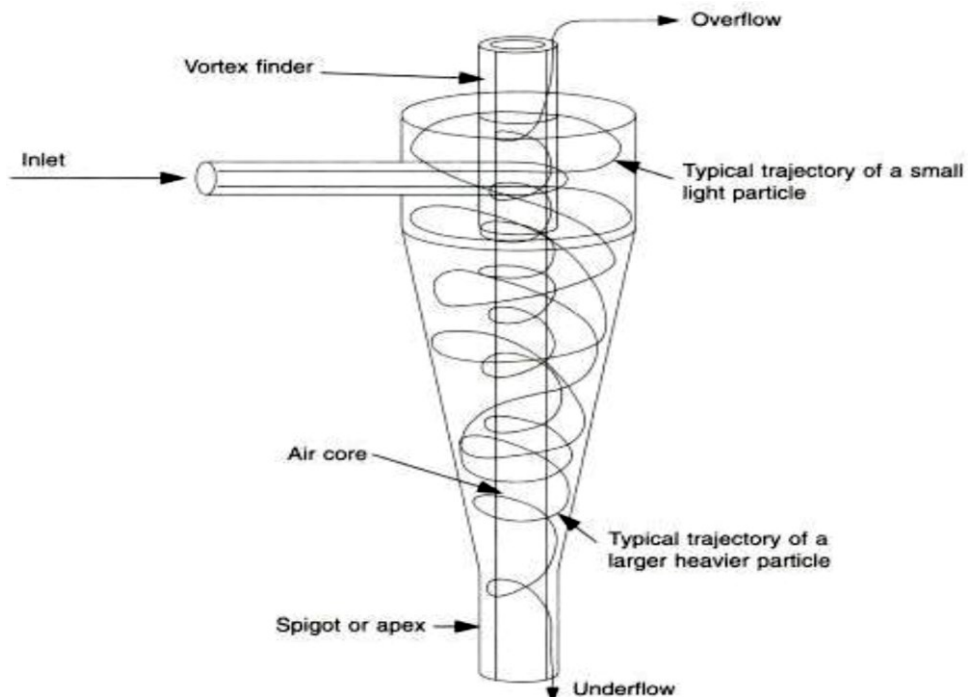


Figure III.7 : Principe d'un hydrocyclonne.

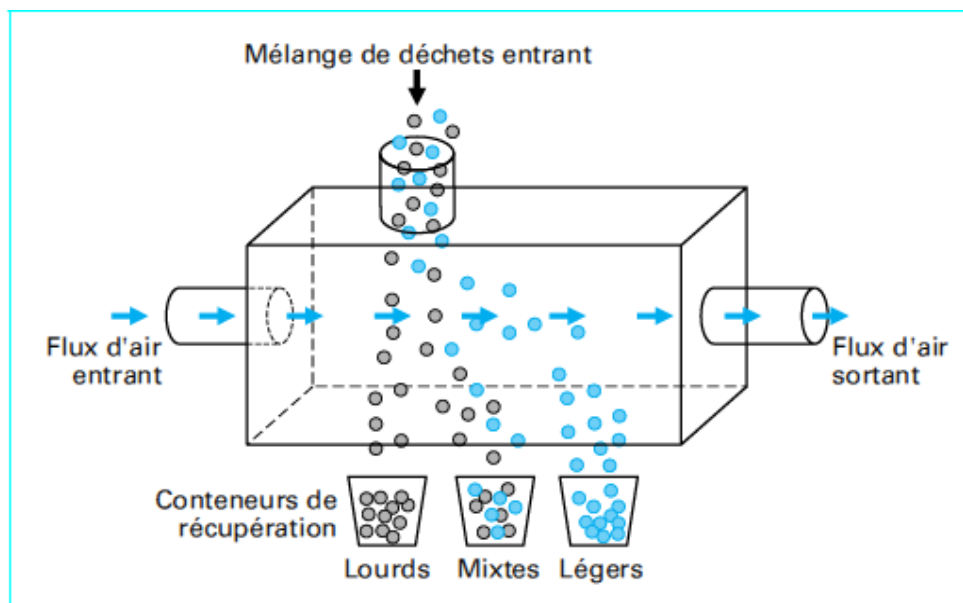


Figure III.8 : Schéma de principe du séparateur à Air-Knife

- Principe de séparation par liqueur dense :

C'est une séparation utilisant le principe de rapport des densités des matériaux (déchets non creux en générale). En effet cette méthode de tri consiste à plonger dans un liquide dense, de densité préalablement ajustée, les objets à trier caractérisés par des densités différentes. Les plus lourds sont décantés et les plus légers plongent à la surface.

La liqueur dense est une suspension aqueuse de particules denses, utilisée souvent pour des déchets particulièrement précieux (l'or, le platine, etc...), elle est composée de particules magnétiques afin de pouvoir les récupérer facilement. On utilise le plus souvent, pour réaliser des liqueurs de masses volumiques variant de 1,5 à 3,2 t/m³ :

- du ferrosilicium broyé ou atomisé ($r = 6,8 \text{ t/m}^3$) ;
- de la magnétite ($r = 5 \text{ t/m}^3$).

Les installations fonctionnent avec des valeurs médiums dont les masses volumiques sont comprises entre 1,7 et 3,2 t/m³.

III.4 Tri par séparation balistique

Ce mode de tri est basé sur le mouvement de projectiles et fait intervenir l'action de la gravité sur ces derniers. Dans ces procédés, les différents objets sont projetés dans l'air et acquièrent une trajectoire qui leur est propre, permettant ainsi une séparation. Parfois les déchets sont projetés sur un obstacle sur lequel ils vont rebondir plus ou moins fortement. Ce type de tri est essentiellement réservé aux corps plats et volumineux (figure III.9).

Le principe de son fonctionnement se base sur de multiples secousses et projections :

1. Les matériaux plats et lourds restent collés et remontent progressivement dans la partie supérieure de l'équipement,
2. les matériaux creux et légers rebondissent et chutent progressivement au fur et à mesure des secousses dans la partie inférieure de l'équipement, Les fines sont séparées par la suite du flux

Souvent deux cribles balistiques en série sont utilisés pour séparer :

- Dans une première étape : les grands corps plats (cartons) ; les petits corps plats, et les corps creux (emballages plastiques (PEHD, PET) et emballages métalliques). Cette fraction rejoint le second séparateur balistique
- Dans une seconde étape : les petits corps plats; les fines passant à travers les plaques perforées
- Principales caractéristiques
 - Captation de 80 à 90% des plats sur la chaîne des plats
 - Captation de 90 à 95% des creux sur la chaîne des creux
 - Pas d'effet sur les emballages liquides alimentaires qui se retrouvent indifféremment sur chacune des fractions.

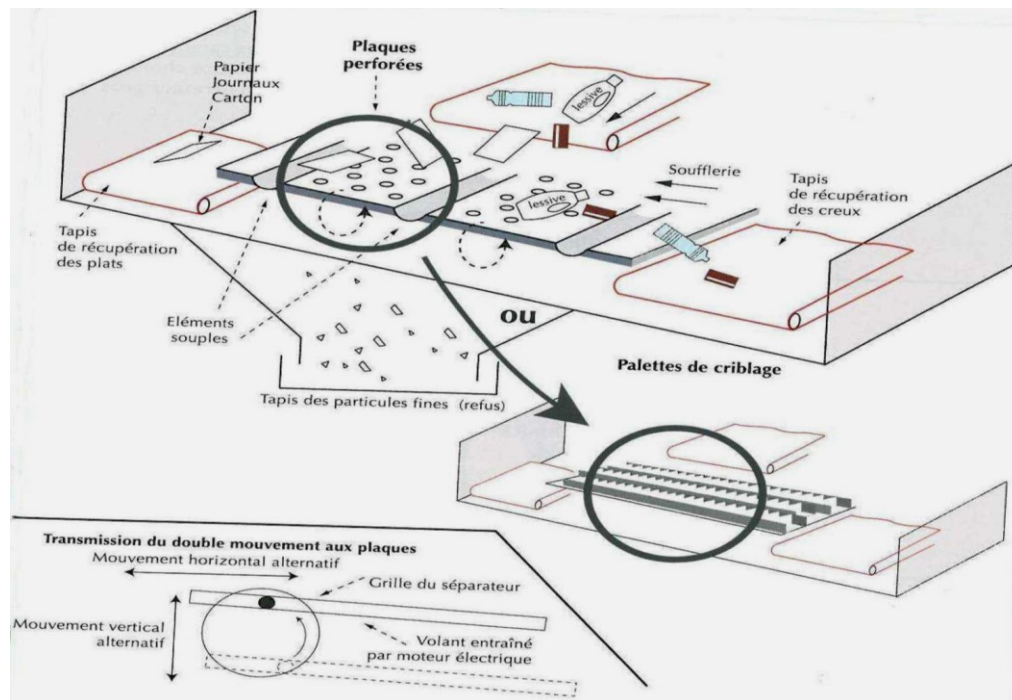


Figure III.9 : Schéma de principe du séparateur balistique

III.5 Tri magnétique

C'est une méthode permettant d'extraire des particules métalliques aimantables d'un flux de déchets. Les dispositifs fonctionnant selon ce principe sont très souvent présents en amont dans les installations de régénération. Ils sont efficaces pour ôter du flux, soit des objets métalliques, soit des pièces de matières plastiques assemblées avec des parties métalliques ou comportant des inserts.

Un champ magnétique consistant en une aimantation simple ou une électro aimantation permet de signaler la présence de métaux ferreux, parfois de retirer l'objet métallique par aimantation directe. Le plus souvent, ces systèmes sont couplés à des dispositifs d'éjection des corps indésirables (éjection manuelle, par jet d'air comprimé...).

Ils sont considérés comme des étapes de protection des installations de régénération ultérieure et de mise en œuvre par les procédés plasturgiques qui ne tolèrent pas la présence de pièces métalliques.

III.5.1 Sources de champ magnétique

L'organe essentiel d'un séparateur magnétique est la source de champ magnétique à l'origine de la force utilisée pour la séparation ; trois dispositifs peuvent être employés : des aimants permanents, des électroaimants ou des solénoïdes (bobines en cuivre ou supraconductrices).

Les aimants permanents sont des matériaux caractérisés par une induction magnétique rémanente B_r les rendements aptes à créer un champ magnétique sans dépense d'énergie. Les matériaux à aimants permanents sont nombreux (Remalloy, vicalloy, ferrites, Alnico), les aimants les plus couramment utilisés actuellement sont constitués d'alliages céramiques de types Co_5RE (ou RE est un élément de terre rares Sm, Sr, Ce, Nd, etc) ou de fer-neodyme (Fe-Nd) dont les intensités de champ magnétique peuvent atteindre 1200 kA/m et la valeur de $grad(H^2)$

est de $1,3 \times 10^{17} \text{ A}^2/\text{m}^3$. Dans les séparateurs magnétiques les aimants permanents peuvent être montés avec pièces polaires ($H > 800 \text{ kA/m}$). Sans pièces polaires, les lignes de champs magnétiques se propagent loin dans l'espace et les valeurs maximales du champ magnétique ne dépassent pas 200 kA/m .

Les électroaimants ou circuit magnétique conventionnel sont composés d'une ou de deux bobines en cuivre résistif entourant un noyau de fer doux ($\mu_r = B/\mu_0 H$ très élevé). Ces systèmes magnétiques conventionnels sont capables de créer un champ magnétique d'environ 1600 kA/m .

Le solénoïde est une bobine d'induction constituée d'enroulements de fils conducteurs en cuivre résistif ou en alliage supraconducteurs (Nb-Ti). Le solénoïde présente l'avantage d'effectuer la séparation à l'intérieur même de la bobine d'induction et peut générer sans difficulté un champ magnétique de plus de 4000 kA/m .

Les aimants permanents sont employés dans le domaine de la séparation à basse intensité mais aussi le plus souvent dans le domaine de haute intensité, car la consommation d'énergie est quasi nulle. Les électroaimants et les solénoïdes offrent une grande souplesse de réglage mais consomment une énergie importante nécessitant parfois l'installation de redresseurs et de stabilisateurs de courant.

III.5.2 Classification des séparateurs magnétiques

En séparation magnétique, de nombreux appareils sont disponibles, plusieurs critères de classement peuvent être utilisés : l'intensité du champ magnétique, le milieu de séparation (eau ou air), le mode de fonctionnement (extraction ou déviation), et le générateur de champ magnétique. Le séparateur magnétique se classent par le produit $\mu_0 \text{grad}(H^2)$, c'est-à-dire par la forme de son champ magnétique. On distingue :

1. Les séparateurs à basse intensité (aimant permanents) avec $\mu_0 \text{grad}(H^2) \approx 2 \times 10^4$ à 10^6 N/m^3 .
2. Les séparateurs à haute intensité (électroaimant ou aimant permanent en céramique) avec : $\mu_0 \text{grad}(H^2) \approx 2 \times 10^7$ à $4 \times 10^9 \text{ N/m}^3$.
3. Les séparateurs à haut gradients et/ou haut champ (solénoïde) avec : $\mu_0 \text{grad}(H^2) \approx 6 \times 10^{10}$ à 10^{12} N/m^3 .

III.5.3 Technologie le tri magnétique

Il existe trois types d'installation utilisable dans les centres de tri

a) **L'overband** : C'est un système magnétique fixe placé au-dessus d'un convoyeur et autour duquel tourne une bande d'évacuation entraînée par un moto-réducteur. Sous l'effet de l'attraction magnétique, les produits ferreux acheminés par le convoyeur sont entraînés en dehors de la ligne de transport du mélange. L'attraction cessant en bout de course, les produits retombent, soit dans une trémie, soit sur un convoyeur.

b) **La poulie magnétique** : Elle se présente sous la forme d'un cylindre monté sur un axe (figure III.10). Son corps contient un aimant permanent ou un électro aimant. Elle est généralement utilisée en remplacement de la poulie d'entraînement d'un convoyeur à bande. À l'extrémité du convoyeur à bande, les corps ferreux sont retenus par la poule et entraînés en

dessous du convoyeur. Ils tombent alors par gravité. L'avantage de cet équipement est d'être beaucoup moins onéreux qu'un overband mais il est également moins performant et implique un tri amont.

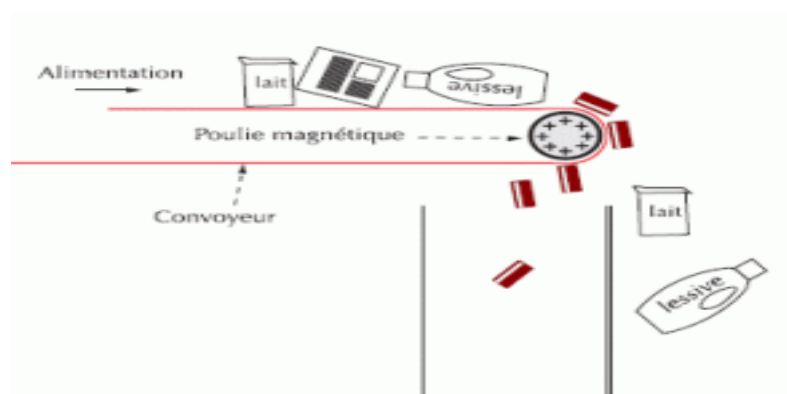
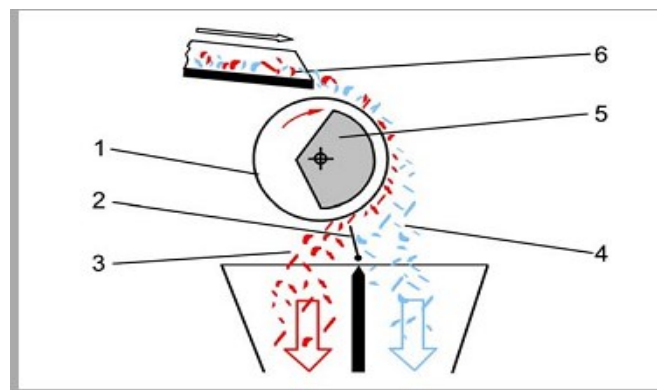


Figure III.10 : Principe de base d'un séparateur magnétique par poulie magnétique.

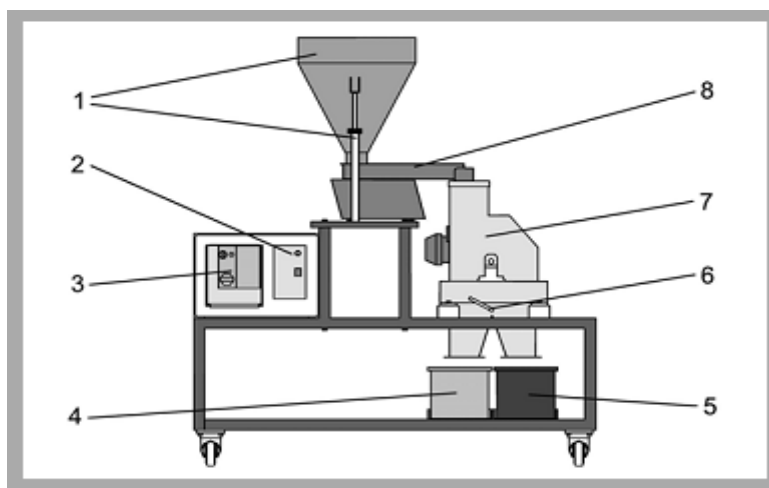
c) **Le tambour magnétique** : C'est un tambour rotatif à l'intérieur duquel un aimant forme une demi-circonférence (figures III.11 et III.12). Lorsque les matériaux tombent sur le tambour, les corps ferro-magnétiques restent plaqués contre le tambour et tombent une fois atteinte la partie non magnétique. Les autres corps tombent par gravité directement dans une goutte. Ce type de matériel peu onéreux peut convenir aux centres de tri de faible capacité, par exemple dans une trémie recevant un flux d'acier et d'aluminium : il sépare alors ce flux en deux fractions.



1 Tambour rotatif (amagnétique),
2 Tôle de séparation réglable,
3 Composants magnétisables

4 Composants non magnétisables,
5 Aimants permanents,
6 Charges d'alimentation

Figure III.11 : Principe de base des séparateurs magnétiques à tambour



- | | |
|--|---|
| 1 : Entonnoir d'alimentation réglable en hauteur, | 5 : Réservoirs de matières amagnétiques |
| 2 : Eléments de commande de l'auge vibrante, | 6 : Leviers pour la tôle de séparation, |
| 3 : Eléments de commande du séparateur magnétique, | 7 : Séparateur magnétique, |
| 4 : Réservoir de matières magnétiques, | 8 : Auge vibrante |

Figure III.12 : Schéma d'un séparateur magnétique à Tambour.

III.6 Tri des déchets par courants de Foucault

III.6.1 Principe des courants de Foucault

Les courants de Foucault sont des phénomènes électriques se produisant lorsqu'un conducteur (métal) traverse un champ magnétique variable. Ce mouvement relatif provoque une circulation d'électrons, ou courant induit, à l'intérieur du conducteur. Ces courants circulaires de Foucault créent des électroaimants avec des champs magnétiques qui s'opposent à l'effet du champ magnétique appliqué.

Les courants de Foucault et les champs contraires ainsi générés sont d'autant plus forts que

- Le champ magnétique appliqué est élevé, ou
- Que la conductivité du conducteur est élevée, ou
- Que la vitesse relative de mouvement est élevée.

Pour une démonstration pratique des courants de Foucault (Figure III.13), on utilise des aimants cylindriques que l'on laisse tomber verticalement dans un tube de cuivre ou d'aluminium. On peut observer expérimentalement que la force qui s'oppose au poids est proportionnelle à la vitesse de l'aimant. L'expérience est illustrée sur le dessin ci-joint :

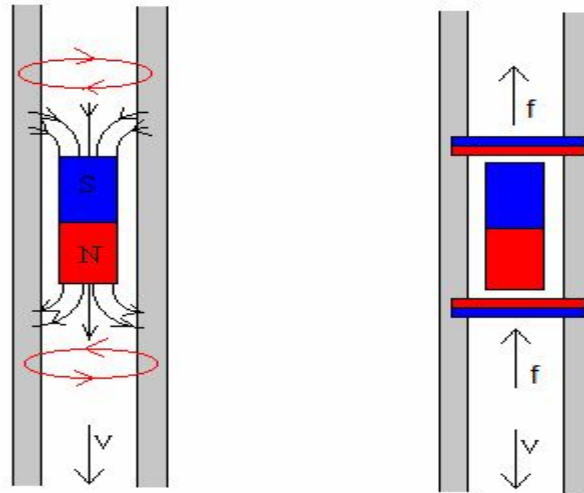


Figure III.13 : Démonstration pratique des courants de Foucault.

Supposons que l'aimant cylindrique descend avec son pôle Nord (couleur rouge) en avant et son pôle Sud (couleur bleue) en arrière. Dans un aimant, les lignes du champ magnétique vont du pôle Nord vers le pôle Sud.

Au cours de la descente de l'aimant, le flux du champ magnétique s'accroît dans la région proche du pôle Nord de l'aimant. Dans le tube, il apparaît alors un courant induit ou courant de Foucault, qui s'oppose à l'augmentation de flux, selon le sens indiqué sur la première la première partie de la figure III.13.

Le principe des courants de Foucault est appliqué aux freins dynamiques des camions, un type de frein dont sont aujourd'hui équipés la plupart des poids lourds. Leur grand avantage est qu'ils fonctionnent sans contact, et donc sans usure. Sur ces dispositifs, des disques solidaires de l'arbre de transmission tournent entre des électroaimants alimentés par une batterie. Pour freiner, un courant traverse les électroaimants. Plus la vitesse du véhicule est élevée, plus les disques tournent rapidement entre les électroaimants, et plus le freinage est efficace.

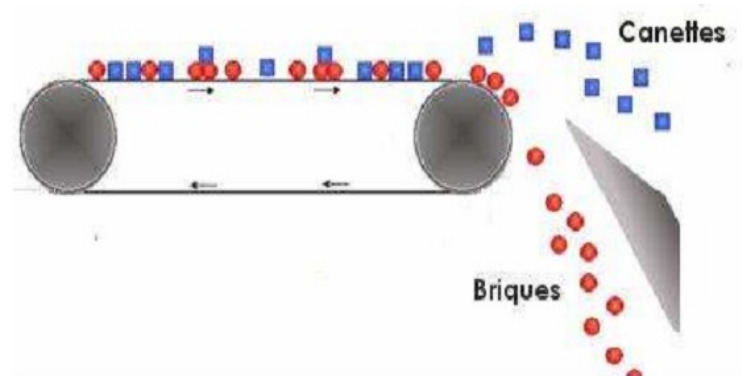


Figure III.14 : Principe de base d'un séparateur de déchet par courants de Foucault.

Les courants de Foucault sont générés par induction dans des pièces métalliques croisant le tambour inducteur d'un séparateur de métaux NON ferreux à courants de Foucault. Une force de répulsion opposée à l'effet du tambour inducteur apparaît ainsi, permettant un mouvement en avant et donc une séparation du reste des matériaux qui ne sont pas influencés et tombent suivant une trajectoire naturelle parabolique (figure III.14).

III.6.2 Domaines d'application de tri par courants de Foucault

Les mâchefers composites placés sur le tapis, les métaux ferreux restent accrochés et tombent par gravité sous la roue, les inertes (cailloux, verre...) tombent par gravité devant la roue, les métaux non ferreux sont éjectés devant la roue. Cette machine a été mise au point pour les broyeurs de voiture. L'idée a donc été de miniaturiser l'installation pour récupérer l'aluminium collecté et/ou broyé dans les ordures ménagères. La miniaturisation a eu lieu, mais les premières applications, en centres de collecte, ont échoué. En éjectant l'aluminium, la machine isolait tous les emballages qui contenaient ce métal, y compris les emballages complexes n'incorporant qu'une micro-feuille d'aluminium. L'utilisation a été reportée sur le tri de mâchefer issu d'incinérateurs. Ce tri, par machine à courant de Foucault, peut s'effectuer soit en sortie d'incinérateur, soit en centre de traitement des mâchefers, soit en centre de tri des métaux non ferreux tels que:

- Aluminium (emballages, fils...)
- cuivre (tubes, cables...)
- inox (équipements agroalimentaires, cuisines...)
- plomb (accumulateurs, batteries...)
- zinc (toitures, alliages...)
- chrome
- nickel

III.7 Tri Optique des déchets

Cette technique repose sur l'examen, au moyen de caméras, de la surface d'un produit particulaire circulant, éclairé dans des conditions contrôlées. Les critères examinés sont la forme, la taille des particules, et la couleur au sens large : spectre de la lumière réfléchié par l'objet dans le visible, l'infrarouge (IR) ou l'ultraviolet (UV). L'éclairage des produits est assuré par des lampes délivrant le spectre requis : néons à haute fréquence, lampes à incandescence (visible ou IR), diodes électroluminescentes (LED : *light emitting diode*) de puissance.

III.7.1 Quelques notions de base sur la couleur

La couleur d'un objet résulte de l'interaction de la lumière avec cet objet. La lumière est composée de rayonnements électromagnétiques dans une gamme relativement étroite de longueur d'onde sensiblement comprise entre 380 et 780 nm. La lumière blanche naturelle est composée de l'ensemble du spectre comme on le voit sur la figure II.9. S'il manque une ou plusieurs bandes de longueur d'onde, l'oeil interprète les longueurs d'onde restant en termes de couleur (teinte). Lorsque la lumière pénètre dans un objet, plusieurs cas de figure peuvent se présenter :

1. la lumière est totalement absorbée, et l'objet est noir
2. La lumière est partiellement absorbée. Les longueurs d'onde non absorbées donnent la couleur de l'objet
3. La lumière n'est pas absorbée et l'objet est transparent

Le rayonnement par les molécules est une onde électromagnétique qui transporte de l'énergie E liée à sa fréquence ν par la relation :

$$E = h\nu = hc / \lambda$$

h : La constante de Planck ($h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$),

c : La vitesse de la lumière dans le milieu où se propage l'onde ($c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ dans le vide),

λ : La longueur d'onde du rayonnement, exprimée habituellement en nanomètres (nm).

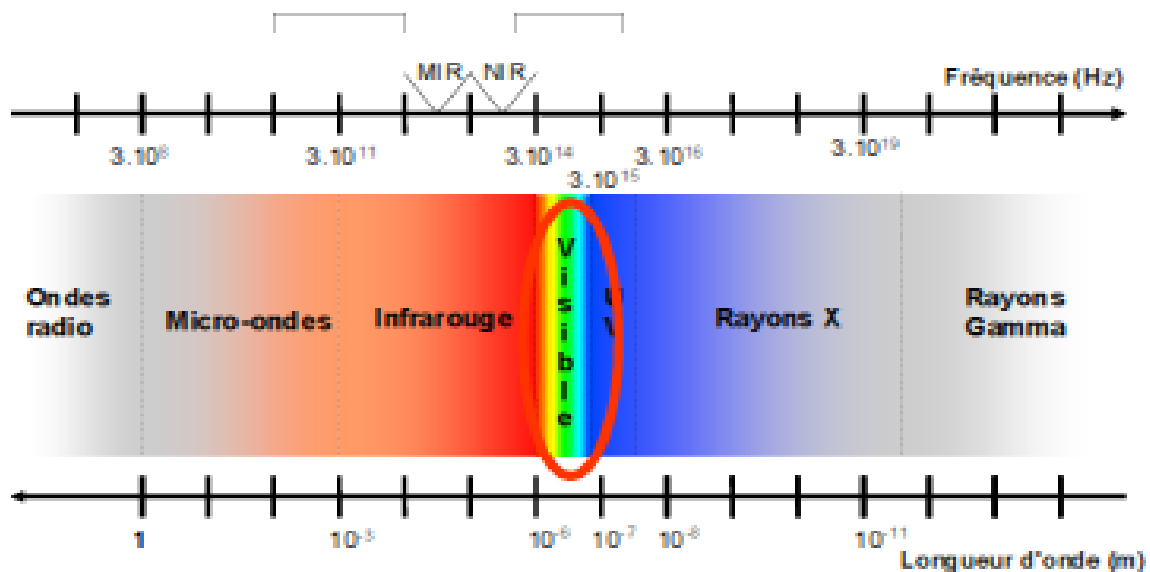


Figure III.15 : Plage de longueur d'onde.

Ce rayonnement absorbe dans plusieurs domaines (figure III.15) à savoir :

- Le domaine du rayon X
- Le domaine des rayons gamma
- Les domaines allant de 190 à 800 nm, qui correspondent à l'ultra- violet (190-400 nm) et au visible (400-800 nm).
- Les domaines couvrant l'infra rouge et le proche infrarouge (2500-3000 nm)
- Le domaine du micro- ondes
- Le domaine des ondes radio

III.7.2 Sources artificielles de lumière

La source artificielle de lumière peut être de deux principes :

- Incandescence
- Luminescence

a) Incandescence

C'est la production de la lumière par élévation de la température d'un corps solide, liquide ou gazeux. Dans une lampe à incandescence, l'électricité porte à haute température un filament de tungstène enfermé dans une ampoule en verre vide d'air ou remplie de gaz inertes. Les radiations thermiques obtenues émettent alors un spectre continu de lumière visible.

b) Luminescence

La luminescence est le rayonnement (non thermique...) émis par un gaz ou une vapeur métallique soumis à des décharges électriques. Ce rayonnement ne couvre pas forcément tout le spectre visible. Ces décharges sont intermittentes, la lumière émise également, à la fréquence des décharges (par exemple à la fréquence du courant alternatif). Ce principe a donné le jour à toutes les lampes à décharge basse et haute pression actuelles.

Les objets que nous voyons sont colorés parce qu'ils absorbent certaines longueurs d'ondes et en réfléchissent d'autres. Les objets blancs réfléchissent toutes les longueurs d'onde de la lumière, et les objets noirs les absorbent toutes. De même, une pomme rouge réfléchit principalement de la lumière rouge, et l'herbe réfléchit principalement de la lumière verte.

Tableau III.2 : Longueurs d'onde des principales couleurs

Couleurs	Longueur d'onde (nm)	Intervalle de longueur d'onde (nm)
Violet	400	380-450
Bleu	470	450-495
Vert	530	495-570
Jaune	580	570-590
Orange	600	590-620
rouge	650	620-750
IR proche	880	750-3000

III.7.3 Principe de fonctionnement du tri optique

La technologie de tri optique se base sur le principe de détection des couleurs dans le domaine du visible où la longueur d'onde λ est située entre 400 et 800 nm (figure III.16). L'objet est éclairé par des lampes halogènes et réfléchit une certaine quantité de lumière (figure III.17). Cette lumière réfléchie est relevée par un capteur (camera ou spectrocolorimètre) située dans la tête de lecture. Ces informations sont ensuite envoyées à l'unité de traitement qui analyse l'information et commande les électrovannes. Ces dernières éjectent alors les objets qui se retrouvent en deux ou trois catégories, par familles de couleurs.

On distingue deux technologies différentes de capteurs :

1. Le système de caméra couleur couplée a un prisme, qui effectue des mesures sur les couleurs primaires (rouge, vert et bleu) en fonction de leur intensités ;
2. La spectrocolorimétrie, qui analyse la totalité du spectre visible et permet d'obtenir des résultats plus sélectifs et plus précis que la caméra couleur.

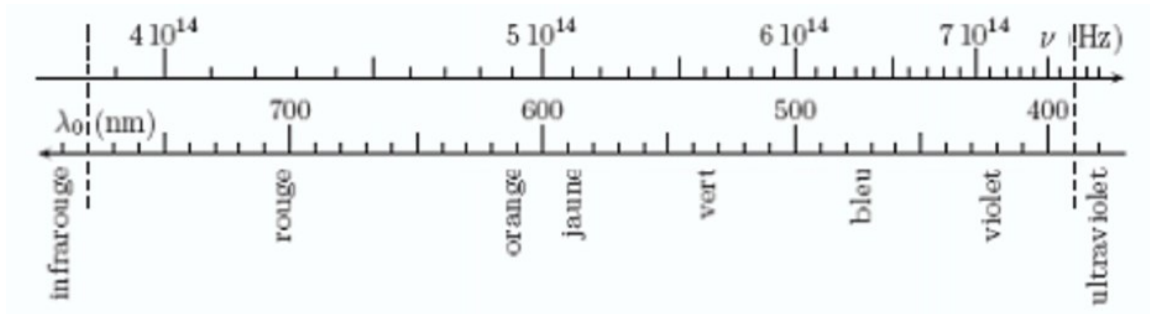


Figure III.16 : Plage de longueur d'onde.

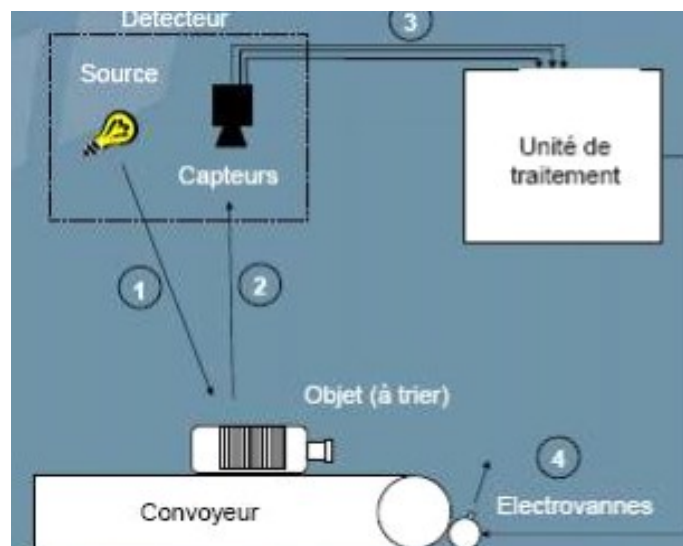


Figure III.17 : Principe de base d'un séparateur de déchet par tri optique.

III.7.2 Déchets concernés par cette technologie

La spectrométrie dans le visible est bien adaptée au tri des matières plastiques par couleur, par exemple le tri du PET clair/azuré et coloré, des papiers cartons (détection des couleurs brunes fortement présentes dans les emballages et des couleurs grises plutôt présentes dans les journaux) et des métaux.

Chapitre IV. Valorisation matières des déchets

Introduction

L'industrie du recyclage peut être considérée comme une composante majeure d'une industrie de l'environnement. La revalorisation des déchets, par recyclage réconcilie le consommateur avec son environnement dans la mesure où il y a moyen d'inverser les termes du problème entre ressources non renouvelables et consommation. De plus, les déchets constituent une matière première pour certaines activités économiques, agricoles, artisanales ou industrielles. L'exploitation de ce gisement peut avoir des impacts positifs sur toute la chaîne de gestion des déchets et au-delà (génération d'emplois et de ressources financière). Ceci permet de concevoir les déchets comme des produits marchands ayant une valeur économique. La valorisation de ces déchets peut être divisée en deux catégories selon la qualité et le type des déchets qu'on a à traiter ; la première consiste en la valorisation matières et la seconde en la valorisation énergétique qu'on verra plus loin au chapitre V.

IV.I Valorisation matières

La valorisation matière consiste à réutiliser ou à recycler un déchet dans le but de lui donner une valeur. D'un point de vue environnemental, la valorisation des déchets repose sur ce que l'on appelle la hiérarchisation des déchets, qui classe les différentes solutions de traitement de la "meilleure" à la "pire", comme suit :

1. Prévention des déchets, en premier lieu ;
2. Réutilisation du produit ;
3. Recyclage ou compostage des matériaux ;
4. Récupération d'énergie par incinération ;
5. Mise en décharge.

Les matières principales valorisables et recyclables sont diverses, on en cite les principales qui sont :

- Le recyclage des plastiques
- Le recyclage des métaux ferreux, non ferreux et câbles
- Le recyclage des caoutchoucs et pneumatiques
- Le recyclage des bois et palettes
- Le recyclage des papiers et cartons
- Le recyclage des produits dangereux
- Recyclage des DEEE (**D**échets d'**E**lectrotechniques **E**lectronique et d'**E**lectricité)

La valorisation matière est donc une opération de récupération, de réutilisation et de régénération des matériaux extraits des déchets. Les nouveaux matériaux générés sont appelés "matières premières secondaires" ou "matières premières recyclées". En effet, c'est aussi une opération de recyclage qui est une opération de "transformation, en vue de leur utilisation.

IV.1.1 Quelques exemples de valorisation matière

IV.1.1.1 Traitement des éléments métalliques et non ferreux

On divise les métaux en deux catégories : les ferreux et les non ferreux. Les métaux ferreux, ou ferrailles, désignent les déchets de fabrication apparaissant entre le stade du métal liquide et la consommation du produit industriel final ainsi que les objets métalliques mis au rebut. Ils sont séparables par des électro-aimants.

Les métaux non ferreux comprennent tous les métaux à l'exception du fer à l'état pur ou faiblement allié (moins de 10%). Ils sont séparables par machine à courant de Foucault.

Les principaux métaux non ferreux sont l'aluminium, le cuivre, le zinc, le nickel, le plomb, l'étain et le chrome.

Parmi les métaux non ferreux, on peut citer deux catégories particulières de métaux : les métaux précieux (or, argent, platine et palladium) et les métaux rares et semi-précieux (titane, cobalt, vanadium, molybdène). Les déchets de métaux ont des origines très diverses, les principales sources sont les suivantes :

1. Chutes issues de la métallurgie

Chutes des usines de transformation Les ferrailles de récupération : objets mis au rebut, déchets de démolition, produits électroménagers en fin de vie, charpentes ;

2. Fers de réemploi : métaux ferreux récupérés lors de démolitions d'ouvrages métalliques, démontages d'usine, de ponts, de charpentes, de voies ferrées mais également dans les collectes, les ventes domaniales, débarras d'usines, de chantier ;
3. La fraction métallique des déchets d'ordures ménagères ou industrielles (mâchefers) ;
4. Emballages métalliques (fûts, cadres métalliques ;
5. Cartes électroniques ;
6. Bains de traitement de surface ;
7. Générateurs et détenteurs du déchet

Toutes les activités produisent des déchets métalliques, le tableau ci-dessous dresse un bilan non exhaustif de la production de déchets de métaux. Les sociétés de transports, de plomberie... sont également des producteurs de déchets métalliques.

Activité	Type de déchet généré
Sidérurgie	Chutes propres de la sidérurgie : il s'agit de ferrailles de qualité, dont les caractéristiques sont exactement connues et qui représentent donc pour l'aciériste une matière première de choix.
Incinération des ordures ménagères	Résidus métalliques d'incinération : les unités d'incinération des ordures ménagères s'équipent de plus en plus de systèmes magnétiques de déferrage des mâchefers permettant, après combustion, d'isoler et de récupérer les boîtes de conserve et autres ferrailles.

Les usines de transformation de Déchets ferreux de qualité très inégale : les sidérurgistes se sont adaptés à la présence de zinc ou d'étain apparue sur les chutes de produits sidérurgiques ferrailles en raison des traitement de surface utilisés : le zinc est ou éléments de récupéré dans les installations de traitement des fumées et l'étain reste fondé allié à l'acier.

Gestion des déchets Objets métalliques issus des mises au rebut ou des démolitions : épaves automobiles, matériel ferroviaire, éléments de charpentes métalliques, ferrailles navales, appareils électroménagers hors d'usage, emballages ménagers.... La qualité de cette ferraille est très variable du fait de la variété de ces usages.

Industrie mécanique et artisanat industriel Copeaux métalliques issus des processus d'usinage : ils sont généralement imprégnés d'huile de coupe (à l'exclusion des copeaux issus du matriçage).

Bâtiment, construction Métaux issus de la démolition : les phases de démolition sont généralement précédées d'une phase de dépose lors de laquelle les principaux éléments métalliques sont extraits du bâtiment.

Traitement de surface Bains de traitement de surface contenant des métaux précieux (argent) voir fiche Boues et Bains de traitement de surface

Tout secteur d'activité Fûts métalliques : de nombreux produits liquides ou pulvérulents sont conditionnés dans des fûts de 5L à 200L. Les produits contenus peuvent être dangereux (huiles, graisses, solvants...) ou d'une autre nature, notamment alimentaires (colorants, poudres alimentaires, sucre, huile alimentaire).

Le procédé de traitement des éléments métalliques et non ferreux est représenté dans la figure IV.1.

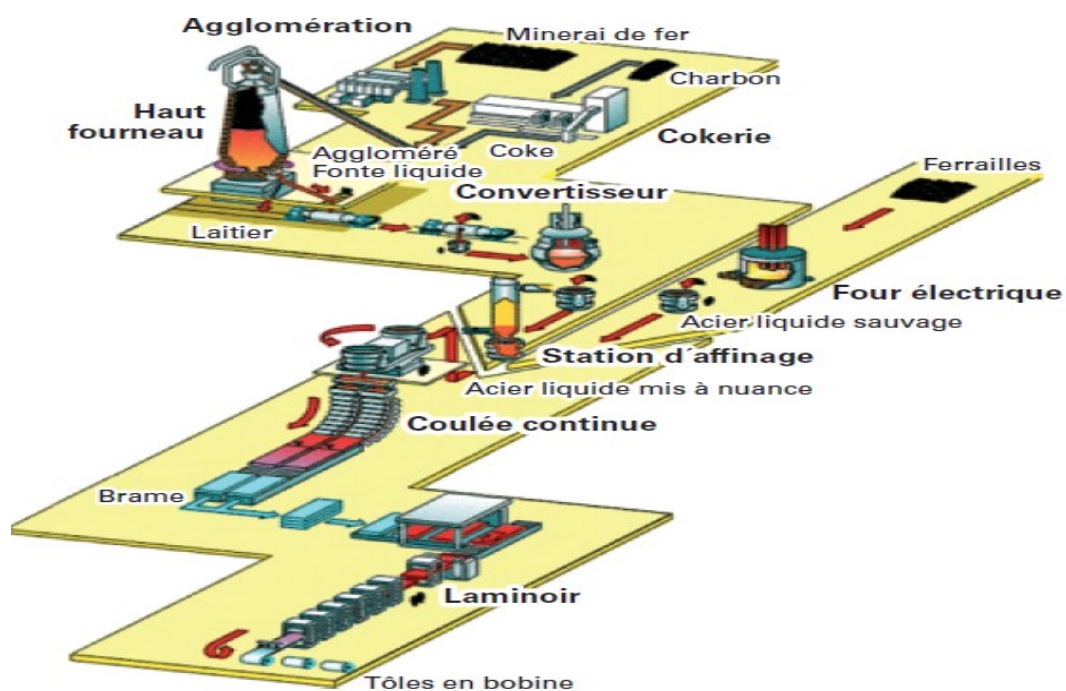


Figure IV.1 : Le traitement type des éléments métalliques

- Le cycle de fer

Le cycle de fer est une boucle de recyclage qui se concentre en 5 axes (figure IV.2) :

1. Le premier axe nous entraîne dans l'exploration des gisements de ferrailles et l'approfondissement des mécanismes de marchés ;
2. Le second axe nous introduit dans l'analyse des contraintes métallurgiques, environnementales et économiques, résultant de l'utilisation des ferrailles en aciérie. Par voie de conséquence, il conduit à formuler des cahiers des charges et à mettre au point des moyens de contrôle ;
3. Le troisième axe explore les possibilités de libérer des contraintes liées aux processus sidérurgiques, afin d'optimiser et d'accroître, si tant est que l'on puisse en disposer suffisamment, la consommation des ferrailles ;
4. Le quatrième axe fait de même avec les contraintes liées aux aciers eux-mêmes, leurs analyses et leurs conditions d'emploi, pour progresser également dans l'utilisation des ferrailles ;
5. Le cinquième axe nous fait découvrir les filières de valorisation des produits en fin de vie existantes, ou à mettre en place, et les traitements appliqués aux ferrailles afin de les rendre compatibles avec les contraintes reformulées en fonction des résultats des quatre axes d'investigation précédents.

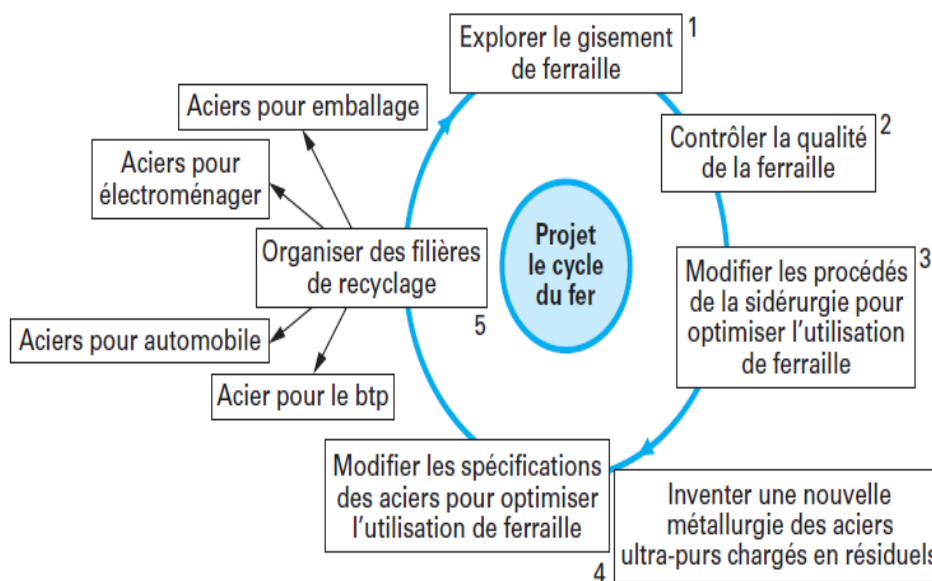


Figure IV.2 : Cycle de vie de fer.

La ferraille est une source de matière ferreuse, pour les sidérurgistes et les fondeurs. Les récupérateurs et les négociants la préparent assez naturellement, du titre de matière première secondaire par analogie avec la véritable matière première qu'est le minerai. Parmi les déchets métalliques et les déchets contenant des métaux on trouve :

1. B1010, déchets de métaux et de leurs alliages sous forme métallique, non susceptible de dispersion :

- métaux précieux (or, argent, groupe du platine, le mercure étant exclu),
 - déchets de fer et d'acier,
 - déchets de cuivre, etc...
2. B1200, laitier granulé provenant de la fabrication du fer et de l'acier ;
 3. B1210, scories issues de la fabrication du fer et de l'acier, y compris l'utilisation de ces scories comme source de dioxyde de titane et de vanadium ;
 4. B1230, battitures provenant de la fabrication du fer et de l'acier.

IV.1.1.2 Traitement et valorisation des déchets miniers

Les déchets miniers peuvent être définis comme tout produit ou dépôt qui résulte de la recherche et de l'exploitation minière ou du traitement du minerai. Ces résidus peuvent être des produits naturels (stériles francs, produits minéralisés non exploitables) ou des produits artificiels, issus des phases de traitement et d'enrichissement du minerai (rejets de laverie) contenant d'éventuels additifs chimiques, minéraux ou organiques, ou générés lors d'une étape de fusion métallurgique (scories).

a) Spécificité des déchets miniers en matière réglementaire

L'exploitation des mines présente de telles spécificités que le législateur la fait dépendre d'un corpus de dispositions adaptées, baptisé code minier.

La version actuelle du code minier a intégré les dispositions, concernant l'environnement, relatives aux lois sur :

- Les déchets (13 juillet 1992) ;
- L'eau (3 janvier 1992) ;
- Les carrières (4 janvier 1993) ;
- Le renforcement de la protection de l'environnement (2 février 1995).

Les modifications édictées par la loi du 15 juillet 1994 prennent largement en compte les aspects environnementaux. Le code minier et ses décrets d'application couvrent donc tous les problèmes concernant les résidus provenant de la mine. Une distinction est apparue, il y a quelques années, faisant rentrer les installations de concentration de minerai (laverie) ainsi que les résidus issus de cette usine dans la catégorie des installations classées pour la protection de l'environnement. Sous l'angle technique, ce changement n'a rien modifié.

b) Les activités génératrices de déchets

Une mine comprend tous les aménagements, ouvrages et équipements d'extraction, installations de traitement de minerai, hâles de stockage, prévisionnels et permanents, de matériaux et/ou de résidus nécessaires pour l'exploitation et la valorisation d'un gisement. Une usine de traitement ou de concentration de minerai comprend les installations nécessaires à la mise en œuvre des procédés physiques et/ou chimiques destinés à conditionner, trier ou séparer les différentes substances minérales. Une usine métallurgique correspond aux procédés de fusion (pyro-métallurgie) ou de mise en solution (hydrométallurgie), mis en œuvre pour produire un métal pur (produit marchand).

c) Les principaux types de déchets miniers

Chacune des étapes d'exploitation peut être génératrice de résidus miniers, généralement de caractéristiques physiques et chimiques, donc d'impact environnemental potentiel, très différentes. Leurs volumes respectifs, surtout en ce qui concerne les résidus de découverte, seront fonction aussi du type d'exploitation (mine à ciel ouvert, mine souterraine) ; leur composition chimique variera en fonction de la substance exploitée et la nature du gisement. En premier lieu, nous pouvons classer les principaux types de résidu minier en quatre groupes :

- les stériles francs de découverte et/ou de traçage de galerie ;
 - les résidus d'exploitation (stériles francs et/ou stériles de sélectivité minéralisés) ;
 - les résidus de traitement (rejets de l'usine de concentration) ;
 - les autres résidus (scories de grillage ou de fusion du minerai).
- Les stériles francs de découverte

Ce sont les sols et morts terrains qui recouvrent le minerai, décapés pour une mise en exploitation à ciel ouvert ou, dans le cas d'une mine souterraine, les matériaux stériles extraits lors du percement de galeries, puits ou descenderies.

- Les résidus d'exploitation (minerais pauvres)

Lors de l'exploitation, le mineur opérera un tri précoce entre le minerai vendable et le minerai pauvre où la récupération des substances valorisables sera non économique dans un tel contexte. Ce minerai pauvre pourra être stocké sur place, dans l'attente d'un traitement éventuel si les cours du métal ou autre minéral d'intérêt venaient à monter.

- Les résidus de traitement (tailings)

La valorisation du minerai vendable consiste à effectuer plusieurs opérations de pré-concentration du ou des minéraux économiques. Ces opérations produisent plusieurs types de solides : l'un enrichi en substances valorisables (le concentré) et un ou plusieurs qui en sont appauvris. Dans le cas des métaux, les résidus issus de l'usine (appelée laverie) sont généralement constitués de particules finement broyées, de sables fins et limons issus du traitement du minerai par gravité ou flottation. Ils sont souvent resédimentés dans des bassins de décantation retenus par des digues à résidus (tailing dams) ou déposés en terril. Afin de réduire les coûts de transport, l'exploitant localisera la laverie en aval de la mine (transport par gravité) et les schlamms (rejets) de laverie seront décantés dans le vallon sous-jacent, à l'amont d'une digue à résidus.

- Autres types de résidus

Dans bon nombre d'exploitations anciennes polymétalliques (Fer, Cuivre, Etain, Plomb/Zinc, Or ...), le minerai ou concentré était grillé ou fondu sur place pour éliminer certains composants (sulfures, par exemple) afin d'arriver à un produit marchand de qualité. Dans ces cas, on peut retrouver sur ces sites anciens des tas de scories qui forment un cas particulier de rejets. Des suies provenant du nettoyage des fours de grillage ou des conduits d'évacuation des fumées y sont fréquemment associées. Ces produits oxydés se retrouvent soit accumulés à proximité de la

mine si le grillage était opéré sur place, soit souvent entassés à proximité de la fonderie en contrebas.

IV.1.1.3 Recyclage des déchets de verre

De tout temps, les verriers ont recyclé leurs rebuts de fabrication dans les fours. Cette pratique assurait non seulement des économies de matières premières mais elle apportait aussi une amélioration sensible des mécanismes de fusion de la composition vitrifiable. Les quantités introduites, appelées de nos jours calcin interne, restaient modestes, de l'ordre de 10 % en poids de la composition vitrifiable. À partir des années 70, une organisation originale entre les collectivités locales, les verriers et les traiteurs de verre, s'est mise en place pour collecter, à grande échelle le verre usagé (ou verre ménager) auprès des particuliers. Ce système fonctionne très bien et a permis d'accroître, de façon importante et régulière, le taux de recyclage du verre usagé dans les fours jusqu'à des valeurs proches de 90 %, par exemple, sur certains fours bouteilles en verre coloré. Ainsi ce verre usagé, appelé calcin externe, est devenu progressivement une véritable matière première avec des exigences de qualité élevées pour permettre d'élaborer un verre de qualité identique à celui obtenu avec des matières premières conventionnelles. Aujourd'hui, cette pratique continue à progresser dans le cadre des impératifs du développement durable : on considère désormais le recyclage comme un outil stratégique pour l'industrie du verre.

Les déchets de verre sont triés dans un centre de traitement, il consiste en les étapes suivantes :

- Un tri manuel permet de retirer les objets de taille importante qui ne sont pas en verre.
- Un tri mécanique élimine ensuite les métaux comme les collerettes et les capsules.
- Un tri optique identifie et extrait les matériaux infusibles comme les débris de faïence, de porcelaine puis par soufflage, les éléments légers sont extraits comme les bouchons, papiers...
- Le verre est ensuite broyé et transformé en calcin. Ce dernier est obtenu après broyage et tri manuel et/ou optique. Pour approvisionner les usines verrières, sa qualité doit répondre à un cahier des charges mis au point par la Chambre Syndicale des Verreries Mécaniques. Le taux d'utilisation de calcin pourrait atteindre 100% mais il est limité par la présence d'indésirables (porcelaine, faïence, graviers...) et par la couleur du verre récupéré. En effet, le verre se compose d'un mélange de verre incolore (30%) et de verre de couleur (dont 60% de verre vert) qui ne peut être recyclé qu'en fabrication de verre coloré.

Les différentes étapes du traitement des déchets verriers types ampoules électriques et fluorescents sont représentées dans la figure IV. 3.

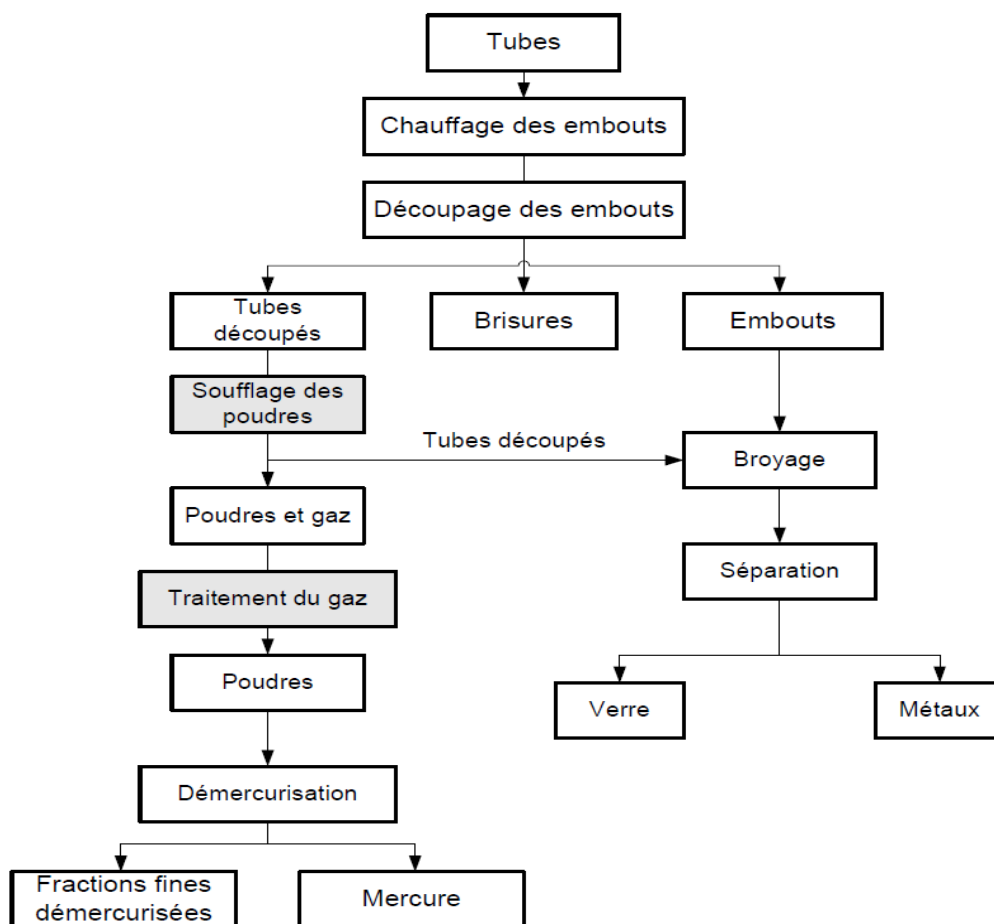


Figure IV.3 : Schéma de traitement des tubes par découpage.

Le procédé de traitement du verre d'ampoules électriques et des tubes fluorescents est différent de celui des verres ordinaires du fait de la présence de produits toxiques. En effet, les tubes et certaines ampoules contiennent de la poudre fluorescente et du mercure qui présentent des risques pour la santé et l'environnement. Ils sont classés comme déchets dangereux par le décret n° 97-517 du 15 mai 1997 relatif à la classification des déchets dangereux. Ces tubes et ampoules sont soumis à une élimination spécifique et contrôlée, deux techniques de traitement sont utilisées pour séparer le verre, les métaux, les poudres fluorescentes et le mercure. Ces techniques sont :

- Le découpage pour les tubes fluorescents ;
- Le broyage pour les lampes à économie d'énergie et LED. Grâce à ces procédés, les matériaux des tubes fluorescents et ampoules sont récupérés dans les proportions représentées dans le tableau IV.1 suivant :

Tableau IV.1 : Quantité moyenne des matériaux séparés des tubes et ampoules

Verre	Culots	Poudre fluorescente	Debris metalliques	Mercure
88%	5%	4 %	2,98 %	0,02 %

IV.1.1.4 Valorisation matière des plastiques

1. Généralités sur les plastiques

Les plastiques sont des matériaux chimiques, composés de très grosses molécules hydrocarbonées, relativement complexes (chaînes des polymères) issues du pétrole. Deux grandes familles de plastiques sont identifiées :

a) Les thermoplastiques

Les thermoplastiques ont la caractéristique mécanique de fondre sous une température élevée (de 150° à 250°) et de durcir à température ambiante, ceci de manière réversible. Leur forme s'acquiert donc par injection ou extrusion de cette matière chauffée dans des moules (pour l'injection) ou des profils (pour l'extrusion) puis par refroidissement. Cette action reflète la caractéristique mécanique du thermoplastique et se trouve donc réversible. Qui dit réversibilité dit potentialité de réutilisation de la matière, donc implique la possibilité de recyclage des matériaux de cette catégorie de plastiques. Les thermoplastiques les plus courants sont le polypropylène, le polyéthylène, le polycarbonate, le PVC, l'ABS, etc ..

b) Les thermodurcissables

Ceux ci acquièrent leur propriété mécanique finale par réaction chimique. A l'origine sous forme liquide, une catalyse les rendra géométriquement figés (chaîne polymère en 3 dimensions), dans leur configuration d'utilisation. Chargés de fibre de verre, de carbone ou autres, ils deviennent extrêmement rigides pour leur poids, ce qui en fait des matériaux largement utilisés dans la construction nautique ou aéronautique. Leur transformation étant irréversible, leur recyclage sera beaucoup plus limité (usage en renfort). Cependant, des études de décomposition chimique des thermodurcissables sont en cours. Les thermodurcissables les plus courants sont l'époxy, le polyester, la bakelite, le formica, ..

c) Autres familles

Deux autres familles, les élastomères et les plastiques "techniques" (fibres nylon, teflon), moins répandus, ne sont pas pris en compte dans l'opération de valorisation par recyclage.

2. Types de plastiques à recycler

Le tableau IV. 2 résume certaines caractéristiques des plastiques les plus courants. Les plastiques les plus simples à recycler sont les thermoplastiques. Leur transformation réversible assure de pouvoir fabriquer plusieurs fois la même pièce après l'avoir "fondue". En revanche, ces plastiques sont difficilement compatibles entre eux d'un point de vue moléculaire. Il ne sera donc pas possible d'obtenir un polymère à partir de deux plastiques différents. Il conviendra donc soit d'effectuer un sérieux et difficile tri, soit d'envisager une autre forme de recyclage : les plastiques en mélange. Cette dernière est une nouvelle technique qui est issue du mélange de différents types de plastiques que de nouvelles techniques de mélange permettent de combiner (au niveau macroscopique et non pas au niveau moléculaire). Cette technique joue, entre autre sur les réglages de température. Des comptabilisants peuvent aussi être introduits dans le mélange afin de favoriser une meilleure homogénéité. Les techniques de transformation sont les mêmes que celles utilisées pour les thermoplastiques vierges : injection, rotomoulage, ... Elles

permettent de réaliser des pièces massives en plastiques mélangés. Le recyclage de plastiques mélangés peut être considéré comme une opportunité de valorisation pour les produits déposés dans les déchèteries.

Les étapes à entreprendre pour recycler les plastiques sont résumées dans la figure VI.4.

Tableau VI.2 : Caractéristiques des plastiques les plus courants.

Nom	Symbole	Sigle*	Caractérisation	Objets produits
Polyéthylène	PE BD	4	Souple, trace de rayure à l'ongle, doux, gras, flotte	Jouets, gainages, films / bâches, barquettes
	PE HD	2	Souple, trace de rayure à l'ongle, bruit au toucher proche de celui de l'alu, flotte	Bidons, bouteilles, caisses, casiers, bouchons vissés, seaux, cuves
Polypropylène	PP	5	Dur, brillant, pas de trace à l'ongle, flotte	Pare-chocs, tableaux de bord, pots, corbeilles, enjoliveurs, mobilier de jardin
Chlorure de polyvinyle	PVC	3	Pliable sans se casser, marque blanche à la pliure, coule	Tuyaux d'évacuation, fenêtres, piscine de jardin, jouets d'extérieurs
Polystyrène « cristal »	PS	6	Transparent, sec, rigide, cassure franche, bruit métallique, coule	Stylos, boîtiers de CD,
Polyéthylène téréphtalate	PET	1	Dur, pliure non cassante, coule	Emballages, bouteilles d'eau, blisters, boîtes à œufs, laine polaire
Polycarbonate	PC	7 (autres)	Rigide, cassant, sensible à la rayure	Vérandas, CD, DVD, phares automobiles, biberons (mais présence bisphénol A)
Polyméthacrylate de méthyle	PMMA	7 (autres)	Rigide, cassant, sensible à la rayure	Meubles, « plexiglass »

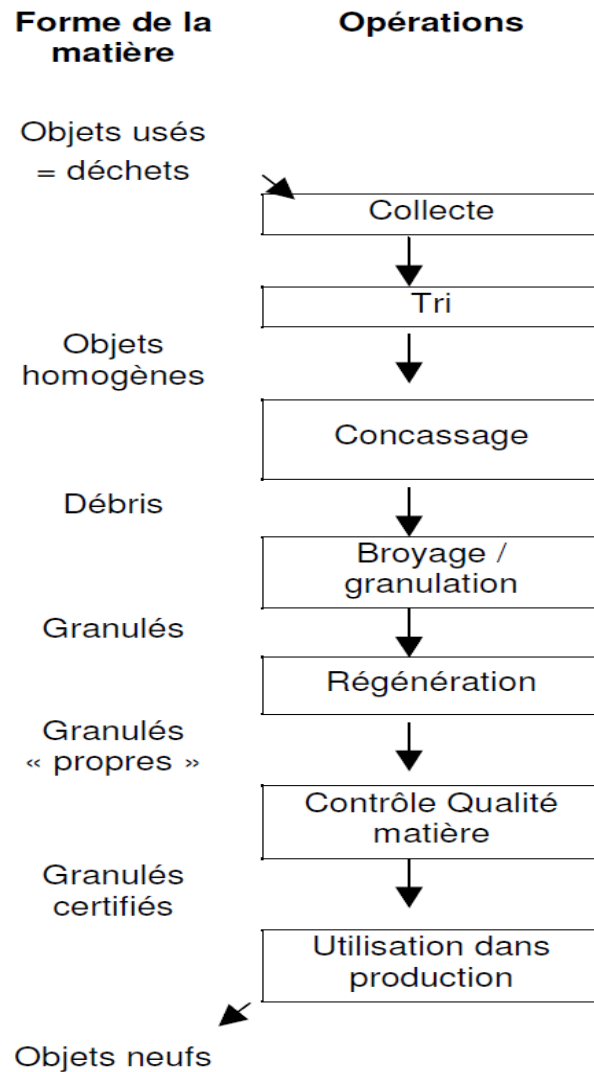


Figure IV.4 : Etapes de recyclage des plastiques.

- Différences entre plastiques recyclés et plastiques "vierges"

Certains matériaux, comme le verre peuvent être recyclés à l'infini. D'autres, comme le papier, ont une capacité de recyclage limitée mais, les composants trop usés s'élimineront d'eux même lors du processus de recyclage. Le plastique offre des caractéristiques de recyclage plus difficiles que le verre ou le papier. Si la théorie laisse penser que la transformation entre l'objet et la matière est réversible, les contraintes de fabrication et de récupération rendent la réalité plus difficile. Les raisons sont les suivantes :

- A chaque fois que le plastique est fondu, les chaînes de polymères risquent des ruptures ;
- Chaque cisaillement (broyage, découpage), coupent les chaînes de polymères ;
- La présence de matières étrangères gênent le recyclage : Encres, colles vont dégrader les caractéristiques du plastique original.

Faire fondre et cisailer le plastique sont des actions obligatoires aujourd'hui pour le réutiliser dans des chaînes de production. Il s'en trouvera que le plastique recyclé aura des caractéristiques moins bonnes que la matière vierge pour les éléments suivants :

- Tenue au feu
- Caractéristiques physiques (résistance mécanique, étanchéité)
- Couleur sombre souvent imposée (objets à recycler de couleur variable)

IV.1.1.5 valorisation matière par compostage

1. Généralités sur le compostage

Le compostage est un procédé biologique et naturel qui permet la transformation de déchets organiques. Il a lieu depuis la nuit des temps dans nos forêts grâce à des micro-organismes (bactéries, champignons...) dans des conditions d'air, d'humidité et de température spécifiques.

- il permet de **réduire** la quantité d'ordure produite par les ménages et donc de diminuer les coûts des traitements de déchets par les communes mais aussi pour vous (moins de sac poubelle à payer et à transporter).

- Il permet de **valoriser** les déchets grâce à la production d'un amendement de qualité directement utilisable par et pour le particulier.

Tous les déchets organiques ou fermentescibles de cuisine, jardin ou maison sont compostables auxquels on peut ajouter les papiers et cartons. Cependant ces derniers seront mieux valorisés par le recyclage. Dans tous les cas, il vaut mieux éviter les déchets avec de l'encre qui pourrait polluer le sol.

2. Mise en œuvre du compostage

La mise en œuvre du compostage comporte généralement deux étapes biologiques (figure IV.5), auxquelles s'ajoutent des prétraitements et post traitements éventuellement nécessaires (broyages, mélange avec d'autres produits, tris, etc.). La première étape biologique, dite de "fermentation chaude", répond aux deux premiers objectifs de stabilisation du déchet et de réduction de sa masse. Sa dénomination est en fait un abus de langage puisque le terme "fermentation" désigne en toute rigueur un processus microbiologique anaérobie. Au cours de cette étape, la matière organique la plus facilement biodégradable du déchet est oxydée par des micro-organismes aérobies qui consomment de l'oxygène et libèrent de la chaleur. On assiste donc, si le déchet est suffisamment biodégradable et aère et que les pertes thermiques sont réduites à une élévation de la température qui peut atteindre 70°C ou plus. Pour de nombreux déchets de biomasse, on enregistre une dégradation d'environ 30 à 40 % de la masse qui s'accompagne d'une réduction d'environ 50 % du volume. La durée de cette première étape varie de quelques jours à quelques semaines en fonction de la nature du déchet, des conditions opératoires (aération, etc.) et de contraintes diverses (dimensionnement de l'installation, objectifs fixés...).

3. Paramètres pour la mise en œuvre d'un compostage

Les paramètres du compostage sont ceux pouvant influencer l'activité microbienne. On peut distinguer deux catégories de paramètres, à savoir les paramètres de conduite du procédé et les paramètres caractéristiques du déchet. Les paramètres de conduite du procédé sont ceux qui, pour un cas de figure donné (un déchet donné dans une configuration donnée traité dans une installation donnée), permettent de contrôler ou de suivre l'avancement du processus. Il s'agit essentiellement de l'aération, de la température et de la teneur en eau. Ces trois paramètres sont interdépendants, c'est à dire qu'il n'est pas possible de contrôler l'un d'entre eux sans affecter plus ou moins significativement au moins l'un des deux autres. Les paramètres caractéristiques du déchet à traiter ne peuvent, en revanche, pas être modifiés en cours de traitement et ne permettent donc pas de piloter le procédé. Il s'agit notamment de la biodégradabilité et de la granulométrie du déchet, de son pH et de son rapport C/N/P (ratios des masses de carbone, azote et phosphore dans le déchet).

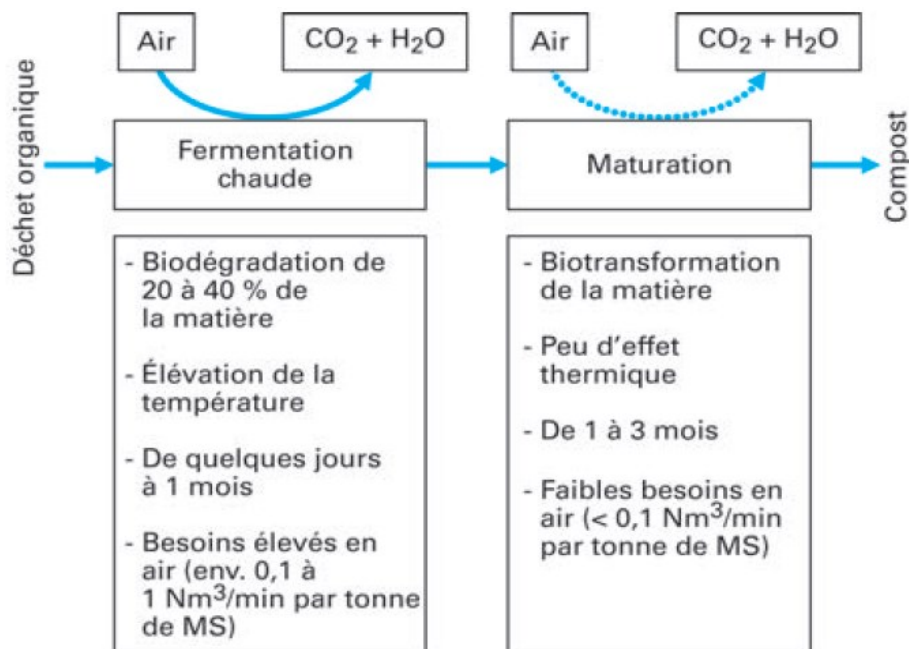


Figure IV.5 : Etapes biologique du compostage.

Conclusion

Il existe d'autres valorisations matières des déchets dans le domaine des déchets banals tels que le recyclage du papier et carton, des pneus, des déchets de démolition, des huiles usagées, des solvants etc... la liste reste ouverte et exhaustive.

Chapitre V : La valorisation énergétique des déchets

Introduction

Aujourd'hui, les propriétaires de décharges, de stations de traitement des eaux usées et d'autres sources de combustibles issus des déchets reconnaissent de plus en plus la valeur des combustibles gazeux alternatifs : sans cette valorisation, ces gaz seraient libérés dans l'atmosphère, aggravant ainsi le réchauffement climatique. Les groupes électrogènes biogaz (ou gaz à faible teneur calorifique) sont à l'origine de ce changement : leurs technologies éprouvées permettent de convertir ces sources d'énergie "gratuites" en électricité, de façon écologique et rentable. L'utilisation de cette technique présente de nombreux avantages. Les propriétaires de sources de combustible issues des déchets peuvent utiliser cette énergie pour leurs propres installations ou choisir de la vendre au réseau électrique public ou à d'autres clients et bénéficier ainsi de nouveaux revenus.

Cette partie introductive a pour but de présenter quelques notions afin de faciliter la compréhension de la valorisation énergétique.

V.1 Technologies de préparation/alimentation des déchets

La mise en œuvre d'un processus de destruction thermique des déchets nécessite, la plupart du temps, des opérations de préparation et/ou de mise en forme préalables des déchets. Celles-ci peuvent être décomposées en plusieurs opérations élémentaires.

- Réception et stockage des déchets

Les déchets sont en général déchargés sur un quai par camions puis pesés, identifiés, analysés et entreposés sur une aire de stockage ou en fosse.

- Préparation des déchets

Les déchets nécessitent parfois un prétraitement avant introduction dans le four, comme c'est particulièrement le cas en alimentation de foyers à lit fluidisé, par exemple. Ce prétraitement des déchets bruts vise à en éliminer les éléments incombustibles massifs (matériaux inertes ou métalliques), par criblage/ séparation (trommels rotatifs, par exemple) ainsi que les objets ferreux, par extraction magnétique (*over-band*). Ce type de séparation permet, par ailleurs, la valorisation matière de certains constituants des déchets bruts.

1. Un ajustement granulométrique par déchiquetage/broyage/criblage des déchets (broyeurs à couteaux, broyeurs à marteaux, lents ou rapides), est souvent indispensable, et ce, en fonction du procédé de traitement thermique utilisé.
 2. Des opérations de mélange/homogénéisation peuvent être également pratiquées, afin de minimiser les fluctuations de composition des déchets, ou de réaliser une co-incinération de déchets et/ou enfin, d'adapter leur pouvoir calorifique au procédé utilisé. Leur pouvoir calorifique peut également être ajusté par déshydratation/ séchage préalable du déchet brut, ou de l'effluent à traiter.
- Reprise des déchets et introduction dans le foyer

Pour les déchets solides, leur reprise est assurée par des dispositifs de grappins/ponts roulants, pour l'introduction dans les trémies d'alimentation du four. L'alimentation des fours s'effectue *via* une goulotte de descente vers le foyer. L'introduction dans le foyer est réalisée par un dispositif à poussoir destiné à éviter les remontées de feu vers la goulotte d'introduction, l'enceinte du four étant toujours maintenue en légère dépression (quelques millimètres de colonne d'eau) par un extracteur disposé en aval.

V.2. Procédés d'incinération

Plusieurs technologies sont actuellement disponibles en ce qui concerne les procédés d'incinération des déchets solides : les fours à grilles, les fours tournants et/ou oscillants et les fours à lit fluidisé, dense, rotatif ou circulant. À ces procédés, il faut adjoindre les installations de co-incinération, dans lesquelles les déchets sont essentiellement :

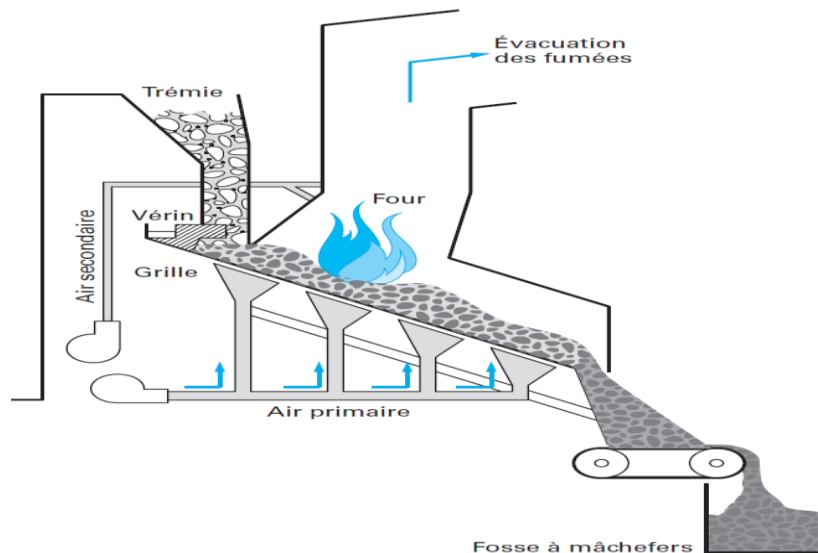
- brûlés en présence d'un co-déchet, par exemple boues/déchets industriels solides ;
- utilisés en tant que combustible d'appoint ;
- traités thermiquement en vue de leur élimination par combustion simultanée dans la charge d'un procédé industriel de transformation matière et/ou énergie, de type cimentier par exemple.

V.2.1 Types de fours d'incinération

a) Les fours à grille

Dans ce type de four (figure V. 1), la combustion des déchets a lieu sur un support mobile, en général une grille, constituée soit de barreaux (mouvements de translation du déchet), soit de rouleaux (mouvements de rotation), et/ou de gradins. Les fumées produites sont extraites, en partie haute, vers une enceinte verticale équipée de réfractaires, couplée ou non à une chaudière de récupération.

- L'épaisseur de la couche de déchets est contrôlée (250-350 kg/m² de surface de grille/h), afin d'éviter le contact de la flamme avec les barreaux. L'air primaire de combustion, en excès, est soufflé sous la grille, de façon uniforme ou étagée, *via* des caissons de distribution. Ce mode d'aération permet non seulement le refroidissement de la grille, mais aussi une aération poussée des déchets en cours de combustion. Cet air peut être préchauffé, afin d'améliorer le rendement global de la combustion. Pour les déchets à forts PCI, on peut utiliser des grilles refroidies par circulation interne d'eau.
- Les temps de séjour couramment pratiqués pour obtenir une combustion complète des déchets sur grille sont de l'ordre de 45 min à 1 h, à une température ne dépassant pas 1100°C, afin d'éviter les processus de fusion des fractions minérales des déchets sur la grille. L'ensemble de la chambre de combustion est équipé de matériaux réfractaires, permettant de supporter les températures typiques de l'incinération, comprises entre 850 et 950 °C.
- Le type de déchets traités est varié, allant de déchets à faible pouvoir calorifique (environ 6-8 MJ/kg) jusqu'à des déchets à fort contenu énergétique (environ 30-35 MJ/kg), soit par exemple de déchets agro-industriels aux DIB.



FigureV.1 : Schéma de principe d'un four à grille.

b) Fours tournants et/ou oscillants

Ce type de four consiste essentiellement en une enceinte cylindrique en réfractaire, légèrement inclinée sur l'horizontale (1 à 4°), mise en mouvement de rotation lente (moins de 2 tr/min), ou d'oscillation, pour permettre la mise en mouvement et le brassage des déchets. L'intérieur du four peut être lisse ou bien équipé d'inserts permettant le retournement des déchets en cours de traitement. Ce type de four est, en général, équipé d'une double enveloppe, assurant le préchauffage de l'air de combustion, celui-ci étant injecté sous les déchets. En four tournant, les fumées sont extraites au niveau de l'introduction des déchets, en face avant, les fumées progressant dans ce cas à contre-courant de la charge. Le temps de séjour moyen des déchets en four tournant peut être estimé par :

$$t = \frac{0,19L}{N \cdot D \cdot P}$$

t : temps de séjour du déchet (min),

D : diamètre intérieur de la chambre (m),

N : vitesse de rotation (tr/min),

P : pente du four (m/m).

Les valeurs moyennes des temps de séjour pour des déchets solides varient entre 45 minutes et 1 h 30, suivant le type de déchet traité.

c) Fours à lit fluidisé

Cette technologie, couramment utilisée en combustion du charbon, est d'application relativement récente pour le traitement thermique des déchets, compte tenu des difficultés liées à sa mise en œuvre pour des déchets bruts, hétérogènes et de granulométries souvent grossières. En effet, la combustion en lit fluidisé impose des contraintes spécifiques aux caractéristiques des déchets entrants, liées à l'aérodynamique de la fluidisation. L'état fluidisé correspond à la mise en

suspension de particules solides dans un courant gazeux ascendant, en général l'air de combustion, injecté en partie basse du lit de particules. Ce lit est constitué d'un média de fluidisation inerte, finement divisé, sable ou chamotte, préalablement préchauffé, dans lequel on disperse les déchets préalablement broyés. Le mouvement engendré par l'écoulement gazeux permet un bon brassage du mélange des particules inertes (média de fluidisation), du déchet solide divisé, et de l'air de fluidisation/combustion, permettant ainsi d'améliorer les transferts internes de masse et de chaleur.

V.2.2 Principes de combustion des déchets

L'incinération est un processus d'oxydation de la partie combustible d'un déchet, au sein d'une unité adaptée aux variations de caractéristiques des déchets en contrôlant trois facteurs : Température de combustion - Temps de séjour- Turbulence (règle des 3T).

1) Température

En général, de l'ordre de 850 °C à 900 °C. La plupart des équilibres thermodynamiques de la combustion sont favorisés par la température.

< 1200 °C : c'est à partir de cette température que certaines substances minérales se ramollissent et forment des cendres dites collantes.

> 1200 °C : combustion de certains déchets difficilement auto combustibles, notamment les polychlorobiphényles, les phénols.

2) Temps de séjours :

Il est Calculé pour permettre la combustion complète des déchets. Le temps de séjour moyen est déterminé par la relation $T = V/Q$ avec Q le débit en volume de gaz produit par la charge incinérée et V le volume de la chambre de combustion.. Pour permettre la combustion complète des déchets. Le temps de séjour moyen est déterminé par la relation $T = V/Q$ avec Q le débit en volume de gaz produit par la charge incinérée et V le volume de la chambre de combustion.

3) Turbulence

Il permet de maintenir l'homogénéité du mélange gazeux par un mélange intime des combustibles et de l'air comburant. Comme il permet aussi la présence de zones froides qui diminueraient les vitesses de réaction.

Les principes de base de l'incinération sont les suivants :

- Les matières organiques combustibles (matières cellulosiques, plastiques, solvants, etc.) formées essentiellement des éléments C, H, Cl, N et S subissent une dégradation thermique qui conduit à la génération de CO₂ et d'H₂O et en quantités moindres, de HCl, SO_x, et NO_x qui se retrouvent dans les effluents gazeux.
- Les matières inorganiques ne sont pas dégradées. Certaines seront à l'état fondu dans le four. L'essentiel de ces minéraux, sous forme d'oxydes, ou d'autres sels, sera retrouvé dans les résidus solides (mâchefers ou cendres volantes).

V.2.3 Organisation et techniques du traitement par incinération

Une installation d'incinération comporte généralement les éléments représentés sur la figure V.2 :

- Aire de réception et de stockage des déchets : les déchets sont stockés séparément en fonction de leur état physique, de leur conditionnement et de leur nature chimique.
- Aire de préparation : Tri, broyage, filtration, séparation, etc ;
- Système d'alimentation : pour l'introduction ou l'injection des déchets ;
- Chambre de combustion principale ;
- Système d'allumage des déchets ;
- Système de transit des déchets au travers du four ;
- Système de brassage de la charge ;
- Chambre de postcombustion ;
- Système d'extraction et d'évacuation des résidus de combustion ;
- Equipements pour la récupération de la chaleur sous forme de vapeur ;
- Equipements de traitement et d'évacuation des fumées tels que le dépoussiérage (centrifugation et/ou électro-filtre et/ou filtre à manche), lavage, neutralisation (voie sèche ou semi-sèche, humide ou semi-humide, voie par condensation), dispersion des fumées (dépendant de la hauteur de la cheminée, de la vitesse des fumées et des conditions atmosphériques).

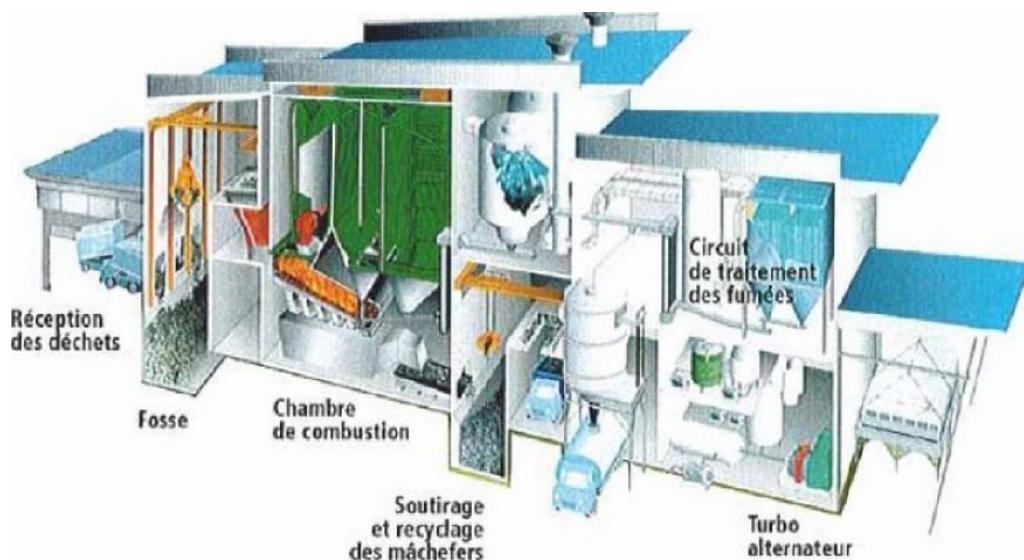


Figure V.2 : Vue d'ensemble d'une usine d'incinération d'ordures ménagères.

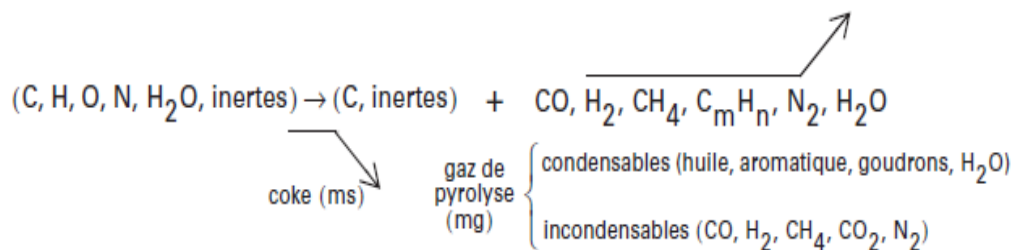
V.3 Technologie de traitement thermique des déchets

Les procédés de pyrolyse et de gazéification sont les technologies les plus performantes en terme de conversion d'énergie. La pyrolyse à haute température (jusqu'à 1000 °C) et la gazéification produisent un combustible dérivé gazeux qui est brûlé dans un four annexe. Le principe est de séparer les phases de pyrolyse et de gazéification de la

phase de combustion. La séparation est réalisée dans des fours ou chaudières possédant différentes chambres. Ces technologies permettent également de réduire ou d'éviter la corrosion et les émissions en retenant les métaux lourds (à l'exception du cadmium et du mercure) et alcalins, le soufre et les chlorures dans les résidus, prévenant ainsi la formation des dioxines et furannes et réduisant la formation des Nox. Le gaz obtenu en sortie du réacteur peut être réutilisé dans de nombreuses applications énergétiques (fours de cimenteries et métallurgie, chaudière à vapeur, moteurs à gaz et turbines, ...) ou comme matière première (gaz naturel synthétique, synthèse du méthanol, ...). Cependant, ces applications n'en sont encore qu'au premier stade et ne sont pas susceptibles de jouer un rôle majeur dans un proche futur.

V.3.1 Procédé de pyrolyse

La pyrolyse des déchets, également désignée par thermolyse, consiste en un traitement thermique endothermique ($\Delta H > 0$), à température modérée, au cours duquel la fraction organique du déchet est décomposée, en l'absence d'air ou en atmosphère réductrice ($O_2 < 2\%$), pour fournir une phase gazeuse et une phase solide :



Les déchets visés sont des solides ou des boues, et notamment :

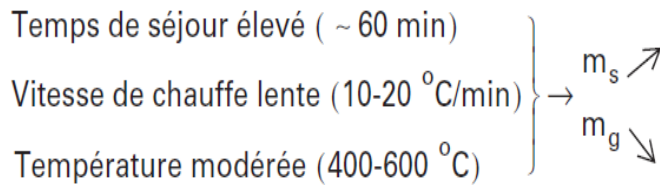
- des matériaux contenant une fraction inerte valorisable, de type métaux, ceux-ci n'étant pas oxydés lors du traitement pyrolytique, et donc recyclables.
- des matériaux subissant des changements de phase, en fonction du niveau de température, et donc entraînant des processus de ramollissement avec agglomération de la charge à traiter.
- des matériaux contenant une fraction volatilisable aux températures de l'incinération.
- des matériaux fortement azotés, chlorés ou soufrés, leur pyrolyse limitant la génération de polluants gazeux de type NO_x, HCl et SO_x ;
- des boues biologiques contaminées, permettant leur séchage/ hygiénisation et carbonisation de leur fraction organique.

Deux modes de conduite de la pyrolyse peuvent être appliqués au traitement pyrolytique des déchets :

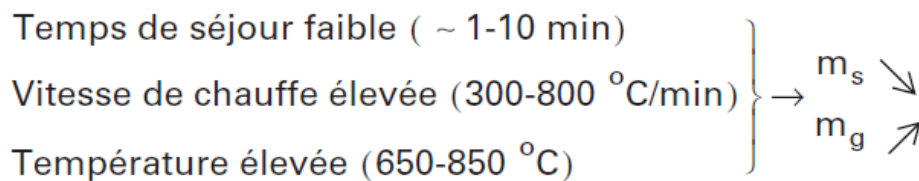
1. la pyrolyse lente ou carbonisation à température modérée ;
2. la pyrolyse rapide, à haute température.

Dans le cas de procédés de pyrolyse couplés à une unité de combustion intégrée, ils sont brûlés en phase gazeuse. Ils peuvent également être craqués thermiquement, afin de fournir un gaz combustible épuré, utilisable en moteur thermique par exemple. Ainsi, en désignant par ms et mg, les masses produites par pyrolyse, respectivement en solide et en gaz, on a :

- En pyrolyse lente



- En pyrolyse rapide



Par exemple, pour une tonne de déchet brut contenant par exemple 20 % d'humidité, une pyrolyse lente produit, après séchage (200 kg d'eau) :

- un gaz combustible, typiquement 380-400 kg par tonne de déchets bruts, composé d'un mélange complexe de gaz incondensables
- un résidu solide carboné appelé coke, semi-coke ou charbon (\approx 420-400 kg par tonne de déchets bruts), contenant de l'ordre de 40 % de matériaux inertes.

Dans le cas d'une pyrolyse rapide, la fraction de gaz produits passe typiquement à 550-600 kg/t et la production de coke est réduite à 200-250 kg/t. Elle nécessite des réacteurs à coefficients de transfert thermique élevés. le produit majoritaire formé est, au contraire, un gaz combustible. Celui-ci peut être craqué thermiquement, afin d'en éliminer les traces de goudrons, et épuré, afin d'alimenter un moteur thermique ou une turbine à gaz à des fins de production d'énergie électrique.

V.3.2 Procédé de gazéification

La gazéification d'un déchet résulte d'un processus thermochimique en deux étapes :

Une étape de pyrolyse suivie d'une étape de gazéification. Ces deux étapes peuvent être réalisées dans la même enceinte thermique ou dans deux réacteurs séparés. L'étape de pyrolyse produit des matières volatiles sous forme d'hydrocarbures gazeux (goudrons) et du coke, essentiellement constitué de carbone fixe. Les hydrocarbures et le carbone fixe sont convertis en gaz combustible (CO , H_2), dans la seconde étape, dite de gazéification, par réactions thermochimiques, en présence d'un agent gazeux de gazéification (air, O_2 , H_2O).

Le PCI du gaz combustible, produit par gazéification, dépend du type de déchet traité, mais surtout de l'agent de gazéification utilisé. La gazéification par des mélanges air/vapeur d'eau conduit, par la présence du ballast azote introduit par l'air, à la génération de gaz pauvres ($\text{PCI} < 8 \text{ MJ/Nm}^3$), tandis que l'utilisation de mélanges oxygène/vapeur d'eau permet de produire des

gaz combustibles à contenu énergétique intermédiaire ($8 \text{ MJ/Nm}^3 < \text{PCI} < 18 \text{ MJ/Nm}^3$) entre gaz pauvres et gaz riches ($\text{PCI} > 25\text{-}35 \text{ MJ/Nm}^3$).

V.4 Les rejets des incinérateurs et leurs conséquences sur la santé

L'incinération de déchets entraîne un certain nombre de pollutions. Celles-ci proviennent de déchets initialement toxiques ou de la transformation chimique pendant la combustion. Globalement voici les quatre catégories de polluants rencontrés et certains de leurs effets :

1. Des métaux lourds (arsenic, cadmium, mercure, plomb etc.) causent des cancers et des troubles neurologiques,
2. Des substances organiques (les dioxines par exemples) Provoquent des lésions cutanées et endommagent les systèmes nerveux et immunitaire,
3. Des particules fines entraînent des maladies cardiovasculaires et respiratoires,
4. Gaz polluants (dioxyde de soufre, oxydes d'azote...) causent des pluies acides et des troubles respiratoires.

Conclusion

Les différents procédés par incinérations sont valables dans une industrie d'exploitation de cette énergie dans le domaine du chauffage ou de production d'électricité. En aucun cas cette valorisation énergétique ne serait réalisable s'il n'y a pas de fin d'exploitation. Par ailleurs la production d'énergie (thermique ou électrique) est en fonction du type de déchets à incinérer (grand pouvoir calorifique tels que les ordures ménagers ou les solvants usagers ;etc). Comme tout autre industrie, la valorisation énergétique réduit effectivement les déchets mais possède néanmoins des points néfastes qui sont : la pollution atmosphérique par les dioxines, les furanes et les poussières.

Références bibliographiques

- [1] A.F.Didier, J.Méhu, V.Mayeux. "Evolution of regulations and standards for stabilized hazardous industrial waste management in France". WASTE MATERIALS IN CONSTRUCTION. ELSEVIER 71,1997.
- [2] V.Mayeux, Y.Perrodin. "Éco-comptabilité des déchets : vers une prise en compte de la notion d'impact pour l'élimination et la valorisation des déchets". DÉCHETS SCIENCES & TECHNIQUES . SAP, no 3,1996.
- [3] J.Méhu, G.Keck, A. Navarro. "Stabilisation des déchets et environnement". DÉCHETS SCIENCES & TECHNIQUES, 99. 766 pages, SAP,1999.
- [4] J.Méhu et L.Grelier-Volatier. "Évaluation de la dangerosité des déchets : analyse des critères dans La directive 91/689/CEE". Association RECORD, 1998.
- [5] J.Méhu, Y.Perrodin, L.Grelier-Volatier, R. Gourdon. "Contribution à l'établissement d'une procédure d'évaluation du critère écotoxique" la Commission des Communautés Européennes, 1994.
- [6] G.M. Ritcey, "Tailings management, problems and solutions in the mining industry", Process Metallurgy. Elsevier, 6, 0-444-87374-0, 1989.
- [7] D.Aughinish. "Residue storage area extensions scheme, environmental impact statement, chapter 4", Aughinish alumina refinery, IPC permit application. 2001.
- [8] M. L. L. Lisheen, "Environmental impact statement", Irish EPA. 1995.
- [9] J. Abbott, P.Coleman, L.Howlett and P. Wheeler. "Environmental and health risks associated with the use of processed incinerator bottom ash in road construction".BRE's Waste & Environmental Body, 2003.
- [10] M.L.Tara. "IPC application, attachment No. 22, reclamation and closure plan, preliminary cost estimate (Golder Associates)", Irish EPA, 2008.