

CHAPITRE IV. VALORISATION DES DÉCHETS

• **Responsable de la matière :**
Pr. MOUSSACEB Karim // e-mail:moussaceb_k@yahoo.fr

GÉNÉRALITÉS SUR LES DÉCHETS

I. GÉNÉRALITÉS SUR LES DÉCHETS

Avant de **valoriser** un déchet, il faut connaître son origine, **l'analyser**, **caractériser** son état actuel et son comportement dans le **temps** et **évaluer** sa traitabilité. Il s'agit donc de «**mesurer pour connaître et connaître pour agir**». L'approche globale du déchet permettra d'en définir son devenir, à savoir quel type de valorisation choisir.

I.1. Définition : Le déchet est défini comme « **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'abandonne** ».

I.2. Origine de la production de déchets

La production des déchets est inéluctable (inévitabile) pour les raisons suivantes :

✓ **Biologiques** : Tout cycle de vie produit des métabolites (le métabolisme définit l'ensemble des réactions couplées se produisant dans les cellules de l'organisme);

✓ **Chimiques** : Toute réaction chimique est régie par le principe de la conservation de la matière et dès que on veut obtenir un produit à partir de deux autres on en produira un quatrième ;

- ✓ **Technologiques** : Tout procédé industriel conduit à la production de déchet ;
- ✓ **Économiques** : Les produits en une durée de vie limitée ;
- ✓ **Écologiques** : Les activités de la dépollution (eau, air) génèrent inévitablement d'autres déchets qui nécessiteront une gestion spécifique ;
- ✓ **Accidentelles** : les inévitables dysfonctionnements des systèmes de production et de consommation sont eux aussi à l'origine de déchets.

I.3. Différents types de déchets

I.3.1. Déchets ultimes

Tout déchet ménager et assimilé brut issu du ramassage parallèle à la collecte sélective, le refus de tri, le déchet industriel banal issu des ménages et des déchetteries ainsi que les boues de stations d'épuration.

I.3.2. Déchets inertes

Déchet qui ne subi **aucune modification physique, chimique ou biologique importante** ; ne se décompose pas, ne brûle pas, et ne produit aucune réaction physique ou chimique, ne sont pas biodégradable et ne détériore pas d'autres matières avec lesquelles il entre en contact, d'une manière susceptible d'entraîner une pollution de l'environnement ou de nuire à la santé humaine.

Ces déchets sont admissibles dans les installations de stockage et proviennent essentiellement **des chantiers de bâtiment** et de **travaux publics** ou d'industries de fabrication de **matériaux de construction**. Ce sont notamment les déchets suivants : Les **bétons**, les **tuiles** et les **céramiques**, les **briques**, les déchets de verre, les terres, les enrobés bitumeux.

I.3.3. Déchets assimilés

Les déchets ménagers et assimilés recouvrent les **ordures ménagères** (OM) qui proviennent des ménages et tous les déchets gérés comme tels par les collectivités locales (déchets des artisans ou commerçants).

I.3.4. Déchets verts

Déchets végétaux des parcs et jardins (gazon, ...)

I.3.5. Déchets organiques

Les termes suivants recouvrent la même notion : biodéchets ou déchets fermentescibles ou FFOM (fraction fermentescible des ordures ménagères). Il s'agit de :

✓ Déchets **végétaux** des parcs et jardins (déchets verts)

✓ **Déchets organiques** de la cuisine (restes de repas, épluchures, papiers essuie-tout, papier journal, fleurs coupées, marc de café, filtres à café, sachets de thé, coquilles d'oeufs, etc....

✓ **Boues**

I.3.6. Déchets industriels banals (DIB)

Ils regroupent l'ensemble des déchets **non dangereux** produits par les industriels et par les entreprises du commerce, de l'artisanat, des services et de l'administration, de la métallurgie, la peinture, la chimie et la pétrochimie. Ce sont des déchets d'emballage, des déchets d'entretien et les matériels en fin de vie.

I.3.7. Déchets dangereux

I.3.7.1. Déchets industriels spéciaux (DIS)

Ces déchets figurent en raison de leurs propriétés dangereuses, exemple : déchets contenant de l'**arsenic**, du **plomb** ; constitués de boues de peinture, d'hydrocarbures ; provenant de l'industrie pétrolière, etc....

I.3.7.2. Déchets ménagers spéciaux (DMS)

Ce sont les déchets à risque contenus dans les déchets ménagers, tels que les colles, détergents, détachants insecticides, peintures, piles, tubes néon, produits de nettoyage.

Entre autres, on cite essentiellement : Déchets de la **construction/démolition** ; Déchets utilisés comme **granulats du béton** ; **Laitier** de haut fourneau ; **Laitier d'acier** ; Sous-produits provenant des **centrales thermiques** ; Mâchefer ; Scories de sole ; **Cendres volantes** ; **Béton récupéré** ; Déchets provenant de l'exploitation de **mines** et de **carrières** ; Déchets divers ; Déchets de mines de charbon ; Verre de récupération ; Pneus usages ; Résidus d'incinérateurs ; Boues rouges ; **Argile cuite** ; Sciure de bois...etc.

I.4. Constitution chimique du déchet

Les déchets sont pour la plupart constitués des mêmes **molécules chimiques** que celles des produits. Ce qui différencie les déchets des autres produits provient d'un certain nombre de particularités. Certains déchets résultent du traitement involontaire de molécules usuelles avec production de sous produits de composition, a priori inconnu. Par ailleurs, le déchet peut se retrouver dans un milieu dont il n'est pas issu en tant que produit et de ce fait auquel il n'est pas destiné. Enfin, le mélange au hasard des déchets peut conduire à la formation de produits nouveaux.

PROCEDES DE GESTION DES DECHETS

La gestion des déchets est la **collecte**, le **transport**, le **traitement**, la **réutilisation** ou **l'élimination** des déchets, habituellement ceux produits par l'activité humaine, afin de réduire leurs effets sur la santé humaine, l'environnement, l'esthétique ou l'agrément local. L'accent a été mis, ces dernières décennies, sur la réduction de l'effet des déchets sur la nature et l'environnement et sur leur valorisation.

Principe de gestion des déchets

Il y a plusieurs principes de gestion des déchets dont l'usage varie selon les pays ou les régions. La hiérarchie des stratégies (règle des trois R) :
Réduire ; **Réutiliser** ; **Recycler**

Certains experts en gestion des déchets ont récemment ajouté un « quatrième R » : « Repenser », qui implique que le système actuel a des faiblesses et qu'un système parfaitement efficace exigerait qu'un regard totalement différent soit porté sur les déchets. Certaines solutions "re-pensées" sont parfois peu intuitives.

Une autre méthode de réduction des déchets à la source est d'accroître les incitations au recyclage. L'efficacité des politiques de réduction à la source se mesure à l'importance de la réduction de la production de déchets.

Technique de gestion des déchets

Décharge

Stocker les déchets dans une décharge est la méthode la plus traditionnelle de stockage des déchets, et reste la pratique la plus courante dans la plupart des pays.

Historiquement, les décharges étaient souvent établies dans des carrières ou des mines. Utiliser une décharge qui minimise les impacts sur l'environnement peut être une solution saine et à moindre coût pour stocker les déchets ; néanmoins une méthode plus efficace sera sans aucun doute requise lorsque les espaces libres appropriés diminueront. Les anciennes carrières ou celles mal gérées peuvent avoir de forts impacts sur l'environnement, comme l'éparpillement des déchets par le vent, l'attraction des vermines et les polluants comme les lixiviats qui peuvent s'infiltrer et polluer les nappes phréatiques et les rivières. Un autre produit des décharges contenant des déchets nocifs et le biogaz, la plupart du temps composé de méthane et de dioxyde de carbone, qui est produit lors de la fermentation des déchets.

Les caractéristiques d'une décharge moderne sont des méthodes de **rétenion des lixiviats**, tels que des couches d'argile ou des bâches plastiques.

Le biogaz est souvent brûlé dans une chaudière pour produire de l'électricité. Il est même préférable pour l'environnement de brûler ce gaz que de le laisser s'échapper dans l'atmosphère, ce qui permet de consommer le méthane, un gaz à effet de serre encore plus nocif que le dioxyde de carbone. Une partie de ce biogaz peut aussi être utilisé comme carburant.

Incinération

L'incinération est le processus de destruction d'un matériau en le brûlant. L'incinération est souvent appelée « Énergie à partir des déchets » ou « des déchets vers l'énergie » ; ces appellations sont trompeuses puisqu'il y a d'autres façons de récupérer de l'énergie à partir de déchets sans directement les brûler (voir fermentation, pyrolyse et gazéification).

Elle est connue pour être une méthode pratique pour se débarrasser des déchets contaminés, comme les déchets médicaux biologiques.

L'incinération est une technique éprouvée et répandue, en Europe comme dans les pays en voie de développement, même si elle est soumise à controverse pour plusieurs raisons.

L'incinération est malgré tout identifiée en France en 2002 comme la deuxième source d'énergie renouvelable pour la production d'électricité (après l'hydraulique) et pour la production de chaleur.

Deuxièmement, l'incinération des déchets solides des villes produit une certaine quantité de polluants atmosphériques (dioxines et furannes, métaux lourds, gaz acides, poussières), dont les valeurs limites d'émissions sont fixées par la réglementation.

L'incinération produit aussi un grand nombre de résidus solides (mâchefers) qui doivent être éliminés en décharge ou qui font l'objet d'un traitement si une valorisation en technique routière est envisagée.

Compost et fermentation

Les déchets organiques, comme les végétaux, les restes alimentaires, ou le papier, sont de plus en plus recyclés. Ces déchets sont déposés dans un composteur ou un digesteur pour contrôler le processus biologique de décomposition des matières organiques et tuer les agents pathogènes.

Le produit organique stable qui en résulte est recyclé comme paillis ou terreau pour l'agriculture ou le jardinage.

Traitement biologique et mécanique

Le traitement biologique et mécanique (TBM) est une technique qui combine un tri mécanique et un traitement biologique de la partie organique des déchets municipaux.

La partie « mécanique » est souvent une étape de tri du vrac. Cela permet de retirer les éléments recyclables du flux de déchets (tels les métaux, plastiques et verre).

La partie « biologique » réfère quant à elle à une fermentation anaérobique ou au compostage.

La partie « biologique » peut aussi faire référence à une étape de compostage.

NB:

Anaérobique: (biologie) relatif aux anaérobies, micro-organismes n'ayant pas besoin d'oxygène -

Aérobic: se dit des microbes qui ont besoin pour vivre de la présence d'air, d'oxygène libre

Compostage: Procédé biologique qui permet, sous l'action de bactéries aérobies (en présence d'oxygène), la dégradation accélérée de déchets organiques pour produire du compost. Les réactions de compostage dégagent de la chaleur qui hygiénise le compost, c'est-à-dire élimine les agents pathogènes contenus dans les déchets entrants.

Pyrolyse et gazéification

La pyrolyse et la gazéification sont deux méthodes liées de traitements thermiques où les matériaux sont chauffés à très haute température et avec peu d'oxygène.

Cette méthode est plus efficace que l'incinération directe, plus d'énergie pouvant être récupérée et utilisée. La pyrolyse des déchets solides transforme les matériaux en produits solides, liquides ou gazeux.

La gazéification est utilisée pour transformer directement des matières organiques en un gaz de synthèse appelé syngaz composé de monoxyde de carbone et d'hydrogène. Ce gaz est ensuite brûlé pour produire de l'électricité et de la vapeur. La gazéification est utilisée dans les centrales produisant de l'énergie à partir de la biomasse pour produire de l'énergie renouvelable et de la chaleur.

Biomasse: est l'ensemble de la matière organique d'origine végétale ou animale. Les principales formes de l'énergie de biomasse sont: les biocarburants pour le transport (produits essentiellement à partir de céréales, de sucre et d'huiles usagées) ; le chauffage domestique (alimenté au bois) ; et la combustion de bois et de déchets dans des centrales produisant de l'électricité, de la chaleur ou les deux.

Procédés de stabilisation /solidification (S/S)

Les procédés S/S se sont développés suite à la loi Française votée en 1992 introduisant des critères réglementaires pour l'acceptation en décharge des déchets industriels. Cependant, ces critères ne permettent pas de prévoir le comportement des déchets stockés. Ce programme de recherche consiste donc à évaluer le comportement des déchets stabilisés soumis à une lixiviation à long terme, et à développer un modèle numérique capable de prévoir le comportement de ces déchets dans des conditions de stockage données.

Le terme "**stabilisation /solidification**" est le terme générique pour décrire les procédés qui transforment les déchets en matériaux solides moins problématiques d'un point de vue environnemental ; ces procédés font appel à des techniques d'immobilisation physiques et / ou chimiques de ces déchets.

La stabilisation, ou fixation chimique, est définie comme le procédé qui permet de réduire le potentiel dangereux et la lixivibilité des matériaux en convertissant ces polluants sous des formes moins solubles, mobiles ou toxiques. Cette rétention chimique de polluants se produit grâce à la formation de liaisons chimiques entre les polluants et les composés de la matrice cimentaire. La notion de stabilisation est souvent associée à la notion de solidification ; on parle alors de stabilisation /solidification.

La solidification permet de transformer un matériau en un monolithe solide ayant une bonne intégrité physique et structurellement homogène.

La solidification n'implique pas forcément un déroulement d'une réaction chimique entre le déchet et l'agent de solidification ; cela peut être un piégeage mécanique du déchet dans le solide.

V.7. Objectifs de la stabilisation/solidification des déchets

Les procédés de la stabilisation /solidification doivent donc répondre aux **objectifs** suivants :

- Transformer le déchet en un solide plus facile à transporter et à stocker ;
- Diminuer la surface d'exposition déchet – environnement ;
- Limiter la solubilité des polluants en cas de contact avec un fluide lixiviant.

Un matériau liant est utilisé pour atteindre les objectifs de stabilisation/solidification. Cependant le terme de stabilisation est plus souvent retenu par les matrices qui interagissent chimiquement avec le déchet en immobilisant ses polluants.

Ces procédés de stabilisation/solidification visent donc à améliorer les propriétés physico-chimiques des déchets en vue de faciliter leur stockage.

VALORISATION DES DECHETS ET SOUS-PRODUITS INDUSTRIELS

Laitier de haut fourneau

Le laitier de haut fourneau est un sous-produit de la transformation du minerai de fer en fonte brute. Le laitier est ensuite refroidi lentement à l'air et donne un matériau cristallin et compact connu sous le nom de «**laitier refroidi à l'air**» ou bien il est refroidi rapidement et traité au moyen de jets d'eau pour obtenir un matériau léger désigné sous le nom de «**laitier expansé**». Le laitier refroidi à l'air **est approprié comme granulats pour le béton.**

Les fines du laitier peuvent être utilisées pour remplacer sans inconvénient le sable. La stabilité volumique, la résistance aux sulfates et la résistance à la corrosion par les solutions de chlorure font que le béton de laitier armé convient pour plusieurs applications.

Le béton de laitier a une excellente résistance au feu et une conductivité thermique d'environ 75% de celle des autres bétons légers. Le laitier expansé réduit en boulettes a été mis au point au Canada. On prétend que ce procédé de fabrication pollue moins l'air que le procédé normal de fabrication.

Sous-produits provenant des centrales thermiques

La combustion du charbon aux fins de la production d'électricité donne plusieurs sous produits. **Dans les centrales électriques anciennes**, les résidus de la combustion de la **houille** sont désignés sous le nom de «**mâchefer**». Dans les centrales **modernes**, on utilise du **charbon broyé** ou pulvérisé pour la production de vapeur. **Les petites particules qui sont transportées par les gaz de combustion sont recueillies par précipitation électrostatique ou par un autre moyen quelconque.** Ces particules sont appelées «**cendres volantes**». Certaines des **particules de cendres** forment des **scories** qui tombent au **fond du four**. Dans les fourneaux à température élevée, il se produit également des résidus fondus appelés laitier de charbon.

Mâchefer

Le **mâchefer** contient une proportion considérable de **charbon non brûlé** et d'autres impuretés. Il est utilisé principalement pour la fabrication de **blocs de béton**. Étant donné que le mâchefer contient des sulfates et des chlorures, il n'est pas recommandé pour le béton armé. Ce matériau risque de devenir de plus en plus rare à mesure que les centrales électriques anciennes passent à la combustion de charbon pulvérisé.

Scories de sole

Ces résidus constituent environ 2.5% de la production totale de cendres. On prévoit que plus le charbon sera utilisé, plus on aura de cendres. La **composition chimique des scories** de combustion américaines est semblable à celle des **cendres volantes**, sauf que les **scories** ont une plus **forte proportion d'alcalis et de sulfates**. Les scories de charbon et le laitier de charbon peuvent être utilisés comme **granulats légers** pour la fabrication de **blocs de béton**.

Cendres volantes

Les bétons qui contiennent de tels granules (de **Cendres volantes**) ont une **résistance à la compression** à 28 jours de l'ordre de **40 MN/m²** et une masse volumique d'environ 1100 à 1800 kg/m³. Puisque ces granulats ont une forme adéquate et une bonne résistance, ainsi qu'une absorption d'eau modérée, ils conviennent à la fabrication de **blocs de béton léger**.

Béton récupéré

Le béton constitue presque 75%, en poids, de tous les matériaux de **construction**. Il s'ensuit donc que la plus grande partie des rebuts de démolition soit du béton. Par ailleurs, les sinistres fournissent des millions de tonnes de débris de béton. **L'épuisement des sources courantes de granulats, les lois plus strictes relatives à la protection de l'environnement et les problèmes posés par la destruction des déchets sont tous des facteurs** qui favorisent l'usage du béton récupéré.

Déchets provenant de l'exploitation de mines et de carrières

L'exploitation des mines et des carrières produit de grandes quantités de déchets. Les déchets de minerais ne sont pas encore très utilisés étant donné qu'ils proviennent d'endroits très éloignés des régions peuplées. **Ils pourraient cependant être utilisés pour la fabrication de briques, et de blocs de béton.** Un des problèmes relatifs à l'usage de ces déchets découle de la diversité de leur composition.

Déchets de mines de charbon

Dans les opérations d'extraction du charbon, environ la moitié du matériau est rejetée sous forme de déchets. **Ceux-ci servent principalement de matériau de remblai pour les routes et peuvent aussi être utilisés comme granulats pour le béton léger.**

Verre de récupération

Des millions de tonnes de verre sont récupérées chaque année. En général, la résistance du béton contenant du verre est inférieure à celle du béton contenant du gravier. Le béton ainsi obtenu présente une résistance à la compression d'environ 17 MPa après une période de cure à la vapeur de 28 jours.

Argile cuite

Selon la méthode utilisée pour la fabrication et la manipulation des briques, il y a toujours un certain pourcentage de briques cassées, trop cuites ou mal cuites.

Les briques concassées et bien cuites conviennent bien à la fabrication des blocs de béton. Le béton contenant de l'argile cuite comporte une résistance au feu beaucoup plus élevée que celle du béton à base de gravier naturel

Sciure de bois

Le béton à base de sciure de bois est très peu utilisé à cause de sa faible résistance. Le béton contenant beaucoup de sciure de bois est inflammable. La sciure provenant du chêne rouge, du sapin de Douglas, du peuplier du Canada, de l'érable, du bouleau ou du cèdre rouge donne des bétons à faible résistance alors que la sciure d'épinette ou de pin rouge donne des bétons dont les propriétés sont acceptables.

Pneus usages

L'incorporation de granulats en caoutchouc issus du broyage de pneus usagés dans un mortier confère au composite obtenu une plus grande capacité de déformation avant localisation de la macro fissure.

Résidus d'incinérateurs

L'incinération des déchets domestiques et industriels entraîne la production de grandes quantités de résidus solides. Ces résidus comportent toutefois certaines matières délétères, ce qui compromet leur utilisation en tant que composants du béton.

Boues rouges

Les boues rouges proviennent de l'extraction de l'alumine de la bauxite. Elles sont de consistance assez plastique pour être formées en boules. Chauffées à des températures de 1260 à 1310°C, elles sont transformées en granulats denses et résistants pouvant entrer dans la composition de bétons de résistances convenables.