

**Institut des Sciences de la Nature et de la Vie**  
**Sciences de la Nature et de la Vie / Département des sciences écologie et environnement**  
**MasterII Biodiversité et environnement**  
**Cours Ingénierie de l'environnement (Semestre 3) / Section A**

**Chapitre III. Gestion et stockage des déchets, méthanisation**

**1. introduction:**

Les déchets sont l'un des meilleurs indicateurs de la vitalité économique et du mode de vie d'une société. La croissance de la production et le développement, toujours plus rapide, de biens de consommation ont marqué en profondeur la structure socio-économique des pays industrialisés ; une société de gaspillage est née en l'espace d'un demi-siècle. Les instances politiques essaient de modifier l'approche que l'on a des produits et des déchets en recourant à de nouveaux instruments, basés sur l'incitation financière. Hormis ceux que l'on conserve dans des musées, tous nos biens de consommation finissent leur vie sous la forme de déchets. Il n'y a pas de doute, la propension à la consommation et au gaspillage dépend étroitement du pouvoir d'achat et de la prospérité d'une société.

**2. Définition des déchets:**

Selon le Code de l'Environnement (art. L541-1), un déchet est 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.

Autrement dit, tout élément qui est abandonné est un déchet. Ce n'est pas pour autant que cet élément est inutilisable, en l'état ou après modification. Seuls les déchets qualifiés d'ultimes sont réellement inutilisables et doivent être stockés pour éviter des pollutions de l'environnement.

**3. Les types des déchets :**

Les déchets peuvent être divisés selon leur origine (agricoles, municipaux, industriels, des activités de soins) ou selon la typologie comme ci-dessous (composables ou biodégradables, inertes, recyclables, ultimes ou dangereux).

**3.1 Les déchets biodégradables :**

Ils correspondent aux Déchets de jardin qui sont produits par les collectivités, les sociétés privées d'entretien des espaces verts et les particuliers, Déchets alimentaires qui sont issus essentiellement des métiers de la restauration et de l'industrie agro-alimentaire et les Déchets de maison qui sont produits par les particuliers ça ce qui montre le tableau suivant.

| Déchets de cuisine      | Déchets de jardin      | Déchets de maison           |
|-------------------------|------------------------|-----------------------------|
| Sachets de thé          | Pousses vertes         | Mouchoirs en papier         |
| Marc de café, de raisin | Fleurs fanées          | Papiers et cartons souillés |
| Coquilles d'œuf         | Fonds de pots de fleur | Cendre de bois              |

**3.2 Les déchets inertes :**

Les déchets inertes sont des déchets qui ne se décomposent pas, ne brûlent pas et ne produisent aucune autre réaction physique, chimique ou biologique de nature à nuire à l'environnement. Ils ne sont pas biodégradables et ne se détériorent pas au contact d'autres matières.

Ils proviennent principalement des filières du bâtiment et des travaux publics dans le secteur du bâtiment, on distingue les déchets issus des activités de construction, de rénovation, de démolition (béton, briques, tuiles, céramiques, carrelage...) ainsi que des activités liées à la réalisation et à l'entretien d'ouvrages publics (routes, ponts, réseaux...). Dans le secteur des travaux publics, les déchets inertes correspondent principalement à des déchets minéraux issus de la démolition d'ouvrages d'art et de génie civil mais également à des cailloux et de la terre.

### **3.3 Les déchets ultimes :**

Un déchet ultime est défini comme n'étant plus susceptible d'être traité dans les conditions techniques et économiques appartenant au processus de valorisation du déchet ou de réduction de son caractère polluant ou dangereux. La notion de déchet ultime n'est pas fonction de ses caractéristiques physico-chimiques mais plutôt du système de collecte et de traitement auquel il appartient.



**Les Déchets Ultimes**

### **3.4 Les déchets dangereux :**

Ils contiennent des substances dangereuses pour l'homme et pour l'environnement. Leur élimination nécessite des traitements particuliers dans des centres spécialisés. Et présente une ou plusieurs des caractéristiques suivantes : explosif, comburant, inflammable, irritant, nocif, toxique, cancérigène, infectieux, corrosif, mutagène.



## Les Déchets Dangereux

### 3.5 Classification des déchets :

On distingue 4 classes de déchets dangereux :

#### 3.5.1 Les DTQD (déchets toxiques en quantités dispersées) :

Les DTQD produits en petites quantités par les ménages, les commerçants qui sont chargés de les faire éliminer ou valoriser dans les installations classées pour la protection de l'environnement. On distingue deux sortes de DTQD :

- Solides : déchets banals souillés, piles, batteries usagées, résidus de peinture, ...
- Liquides : produits de coiffure, lessives et détergents, eau de javel, aérosols, huiles de vidange, liquides de frein, de refroidissement, huiles de coupe, solvants, encres, révélateurs et fixateurs photos, ...
- Les piles et batteries usagées peuvent être rapportées auprès de tout vendeur de piles, mais aussi dans certains lieux publics qui disposent parfois de conteneurs spécifiques pour cette collecte. L'intérêt de la valorisation des piles et des accumulateurs réside dans la réutilisation de métaux comme le zinc le plomb le nickel le cadmium.



LES DTQD

- 3.5.2 Les DIS (déchets industriels spéciaux) :**  
 Correspondent aux déchets produits par les entreprises ainsi que les déchets spéciaux produits par les hôpitaux, les laboratoires et les agriculteurs. On peut les classer en trois catégories :  
 -Les déchets organiques : solvants, hydrocarbures, boues, etc.  
 -Les déchets minéraux liquides et semi liquides : bains de traitement de surface, acides,  
 -Les déchets minéraux solides : cendres, mâchefers, laitiers.



Les DIS

- 3.5.3 Les DEEE (déchets d'équipements électriques et électroniques) :**  
 Les DEEE sont composés de téléphones portables, de télévisions, d'ordinateurs et de tout appareil électroménager.



Les DEEE

### 3.5.4 Les DMS (déchets ménagers spéciaux) :

Les DMS sont séparés des déchets ménagers à cause de leur caractère toxique nuisible pour l'homme. Ils peuvent être assimilés aux DTQD car ils comprennent des produits tels que : aérosols, acides, ammoniac, métaux lourds, piles, les médicaments non utilisés (MNU), les produits électroniques et électriques en fin de vie (PEEFV), les produits phytosanitaires, en ce qui concerne les DMS, il est à noter l'existence de quelques organismes spécialisés dans leur

récolte :

- Piles et batteries usagées
- Médicaments
- Huiles usagées



LES DMS

La valorisation des déchets ou revalorisation est un ensemble de procédés par lesquels on transforme un déchet matériel ou organique dans l'objectif d'un usage spécifique comme le recyclage, le compostage ou encore la transformation en énergie : dans ce deuxième cas, on parle de valorisation énergétique. La valorisation des déchets peut être considérée comme une solution préférable à la mise en décharge. Dans la Loi sur la Transition Énergétique votée en mai 2015, le gouvernement appelle ainsi à favoriser la production d'énergie issue de la valorisation des déchets lorsqu'ils ne sont pas recyclables.

D'après l'ADEME, (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie), la valorisation consiste dans : « le réemploi, le recyclage ou toute autre action visant à obtenir, à partir des déchets, des matériaux réutilisables ou de l'énergie »(loi du 13 juillet 1992).

### II.2. Les type de valorisation des déchets :

#### II .2.1. Valorisation de matière (recyclage) :

La valorisation matière recouvre le réemploi, la réutilisation, la régénération et le recyclage des matériaux extraits des déchets. Les nouveaux matériaux générés sont appelés matières premières secondaires ou matières premières recyclées. On parle de valorisation en boucle quand la matière est recyclée dans le produit dont elle est issue : le verre redevient verre, les bouteilles d'eau en PET (Polyéthylène Téréphtalate) redeviennent bouteilles d'eau. Et de valorisation en cascade quand la matière est orientée vers d'autres usages : le caoutchouc issu des pneus devient un revêtement souple pour aires de jeux, ou le PET devient du textile polaire.

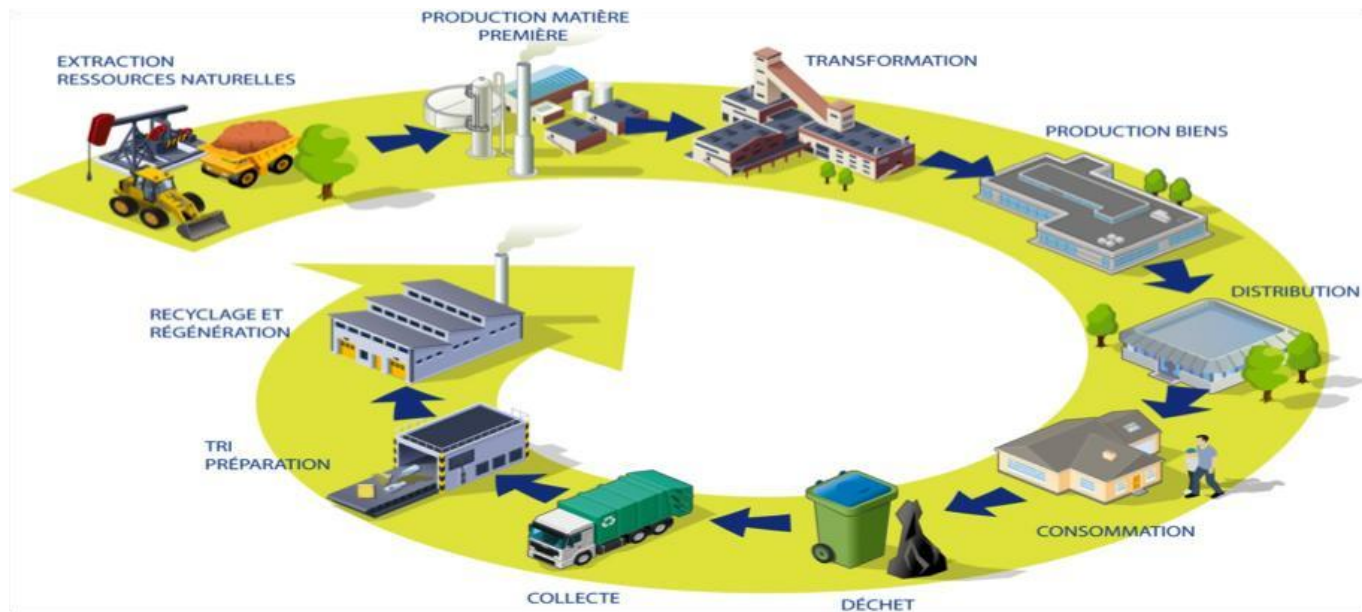


### les déchets recyclables

#### II.2.1.1.Principes des cycles des matières et des produits :

Chaque étape du cycle peut influencer, de manière variable, les étapes de la collecte des déchets jusqu'à la production de biens a titre d'exemple, on notera :

- l'éco-conception des produits, qui prévoit ou pas l'incorporation de Matières premières de recyclage (MPR) et/ou la recyclabilité du produit une fois usagé ;
- la collecte, qui détermine le niveau de mobilisation des gisements de déchets et produits usagés destinés au recyclage ;
- le démantèlement (démontage et dépollution), le tri (identification, extraction, et/ou la séparation des matières) et la préparation (déchiquetage, broyage...) des déchets et des matières qui en sont issues, qui permet d'augmenter et régulariser les flux. À ce stade, l'enjeu est d'optimiser la qualité des MPR tout en diminuant la quantité des résidus ultimes non valorisés.
- la transformation et mise en œuvre des matières issues de déchets, qui permet l'augmentation de l'intégration de MPR dans des domaines d'application existants ou nouveaux.



Cycle des matières et des produits

### II.2.1.2. Les marchés établis et les procédés de recyclage maîtrisés :

#### 1. Le verre :

Le verre peut être produit presque indifféremment à partir de matière minérale vierge (silice), ou de calcin (verre broyé) de récupération. C'est lors du choc pétrolier de 1974, qu'il a été découvert que la fonte du calcin revenait moins chère que la récupération des matières premières traditionnelles. Ce procédé de récupération était déjà utilisé par les verriers, mais personne n'avait envisagé de l'appliquer aux déchets. Le verre usagé peut être recyclé par réemploi direct (consigne comme dans le système allemand), ou en re-fabriquant de la matière première (système français). Le verre récupéré, exempt de polluants, se recycle indéfiniment sans perdre ses qualités dès suivants d'origines. Il doit cependant être traité avant réutilisation, avec les procédés suivants :

- Broyage, lavage, élimination des colles, étiquettes et capsules.
- Séparation du verre des métaux ferreux par tri magnétique et des non ferreux par courant de Foucault.

#### ➤ Avantages de recyclage :

Le coup de production est moindre pour plusieurs raisons :

-Moins de frais de transport : le sable, la chaux et la soude ne sont pas produits sur le même site et la fabrication traditionnelle nécessite au moins trois transports distincts. Dans le cas du recyclage, tous les composants sont présents.

-Les frais de fusion sont également inférieurs dans le cas du recyclage : le calcin fondant à une température inférieure à celle requise pour les matières premières, la fabrication du verre à partir de ce dernier permet une économie d'énergie de l'ordre de 30%.

On estime l'économie de fuel à 100 litres par tonne de calcin traité (40 litres pour la fusion et 60 pour l'extraction et le transport des matières premières).

Il est générateur d'emploi puisque l'on estime à 10 000 son nombre d'emplois dans la filière. La collecte séparative du verre permet aux collectivités locales de réaliser des économies sur le coût de traitement, celui-ci étant partagé avec l'industrie. Ce coût est divisé par cinq par rapport à celui de l'incinération. Et surtout l'aspect environnemental : les besoins énergétiques requis pour la fusion étant inférieurs, on estime à 200kg par tonne recyclée la réduction des émissions de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère.

**Inconvénients du recyclage :**

La concentration en plomb dans les emballages en verre a tendance à augmenter au cours des Traitements successifs. Cette propriété à concentrer les métaux lourds est intéressante pour la vitrification des déchets ultimes, mais moins pour les emballages ménagers.

- La collecte du verre fonctionne si bien qu'il ne s'en trouve presque plus dans les déchets destinés à l'incinération. Or la présence de verre dans les mâchefers conférerait à ces derniers des propriétés physiques intéressantes.
- Le recyclage du verre demande, de la part du public producteur, un soin particulier lors du Dépôt en effet, la présence d'impuretés comme les bouchons, débris d'autre nature, mais Assimilés à du verre (céramique, porcelaine) compromettent la bonne marche de la chaîne de production. Il y a des donc des tris automatiques pour séparer les indésirables, mais cela occasionne un surcoût supplémentaire.

**2. Le papier carton :**

Sous cette appellation, on regroupe les produits issus de la transformation de Fibres végétales naturelles et dont la grande majorité est recyclable : emballages, Journaux, papiers de bureau, annuaires, vieux livres etc. La consommation de Papiers et de cartons est en règle générale proportionnelle au niveau de Développement et de richesse d'un pays.



**collectée les déchets carton**

**a. la collecte :**

Il y a trois gisements:

- Le circuit industriel : il s'agit des sous-produits de la production et de la transformation des papiers cartons (chutes de fabrication, rognures d'imprimerie)
- Le circuit commercial : il s'agit des produits qui après usage, peuvent être récupérés (Emballages, journaux invendus)
- Le circuit des déchets ménagers : il concerne les produits issus de la consommation des Ménages 93% des fibres récupérées proviennent des deux premiers circuits.

**b. b. Traitement recyclage :**

L'industrie du recyclage des vieux papiers est mature. Le circuit industriel se présente de la Façon suivante :

**1) prétraitement :**

Détenteur (grande surface, industriel) => tri sélectif éventuel

(papiers/journaux/cartons...) => Conditionnement => transport vers une usine de recyclage=> Deuxième tri => premier traitement physique.

**2) Premier traitement physique :**

Au cours de cette phase de traitement, sont éliminées les impuretés qui sont :

- Grandes que les fibres (plastique, agrafes) par procédé de grilles et densimétrie
- lourdes que les fibres (sable, verre) par gravimétrie.
- Légères que les fibres (plastiques, colles) par centrifugation.

L'opération centrale consiste dans le défibrage. Le produit est inséré dans un mixeur avec apport d'eau, qui casse les liaisons entre les fibres. Le papier carton se transforme en pâte, et les principales impuretés peuvent être éliminées par les procédés évoqués ci-dessus.

### ➤ Avantages de recyclage :

C'est l'économie de matière première : une tonne de papier-carton permet d'obtenir à quelques Kilogrammes près la même quantité de pâte à papier alors que trois tonnes de bois seraient nécessaires. Autre avantage, l'économie réalisée sur les moyens de traitement : les opérations de coupe, de broyage, de cuisson, de défibrage, de lavage et de raffinage, indispensables dans le cas du bois, ne sont pas nécessaires dans le cas du recyclage. Le papier recyclé se retrouve de plus en plus dans les journaux et les magazines, qui en achètent de grandes quantités à moindre coût. Paradoxalement, pour les particuliers, le papier à écrire recyclé n'est pas moins cher que le papier neuf : cela est lié à leur préférence pour la qualité du second qui entraîne une moindre consommation du premier. Néanmoins, il bénéficie d'une bonne image de marque grâce au symbole du respect de l'environnement.

### 3. Le bois :

Les déchets en bois ont plusieurs origines :

- Exploitation forestière : souvent brûlés sur place (branchages, écorces), ou laissés à l'abandon (sciures), la nature faisant le reste.
- Les industries de première transformation : chutes de scieries.



**Installation de collection bois et broyer**

Les déchets en bois sont classés en trois catégories :

- La biomasse : bois naturel non traité (déchets de l'exploitation forestière et desscieries)
- Les bois faiblement traités (palettes, ameublement)
- Les bois-déchets toxiques pour l'environnement et imposant des traitements spéciaux : bois traités à la créosote, au cuivre, au chrome ou à l'arsenic et bois Ignifugés (c'est partie sur polluants et toxique).

**Traitement recyclage :** La valorisation des déchets de bois non traités peut se faire de plusieurs manières, selon les besoins des entreprises et les différentes essences de bois :

- compostage des écorces de résineux.
- Concassage des écorces de résineux pour le paillage couvre-sol en horticulture.
- Fabrication de panneaux d'agglomérés à partir de sciures et de copeaux.
- utilisation en papeteries pour les dosses et déligneurs d'essence non tanniques.
- Production d'énergie à partir des écorces et des sciures de feuillus : ce mode de

valorisation Est souvent réalise en interne par les entreprises productrices et l'énergie ainsi obtenue, Est utilisée pour le chauffage des locaux ou le séchage du bois.

- Fabrication de charbon de bois pour les dosses et déligneurs de feuillus.
- valorisation en granulés ou briquettes pour servir de combustible.

#### 4. Acier et Ferrailles :

Les métaux ferreux et plus particulièrement l'acier sont liés à l'ère industrielle, ils ont des caractéristiques particulières :

- Une propriété fondamentale, le magnétisme, utilisé pour leur séparation d'un Stock de déchets, permet de les récupérer même s'ils ne sont pas triés à la source Et quel que soit le mode de traitement de ces déchets, hormis la mise en décharge sauvage.
- La grande quantité produite
- Un traitement de recyclage qui requiert des installations moins importantes que les hauts fourneaux utilisés pour le minerai. L'acier peut, en effet, être fabriqué Indifféremment par les aciéries qui traitent le minerai par production de fonte ou par des aciéries électriques, qui traitent les ferrailles à recycler. Cette dernière est plus économique elle consomme trois fois moins d'énergie que la filière dite de conversion exclusivement réservée aux ferrailles, elle n'utilise pas de minerai et consomme beaucoup moins d'eau.



**Station broyeur pour la ferraille**

Traitement recyclage : L'acier est recyclable à l'infini, d'ailleurs en France, 40% de la production d'acier s'effectue à partir des ferrailles récupérées. Ces dernières sont fondues dans un four électrique Cuve garnie de réfractaires dans laquelle sont plongées des électrodes. La chaleur dégagée par l'arc électrique (1600 C°) fait fondre la ferraille.

L'acier liquide est récupéré à la sortie du four, et utilisé dans les mêmes conditions que l'acier Produit à partir de minerai. L'acier recyclé représente des avantages et des économies Substantielles : chaque Tonne d'acier recyclé représente une économie de 1,5 tonne de minerai de fer 0, 5 Tonnes de coke, et utilise 40% d'eau (pour le lavage des fumées) par rapport à l'acier issu du minerai.

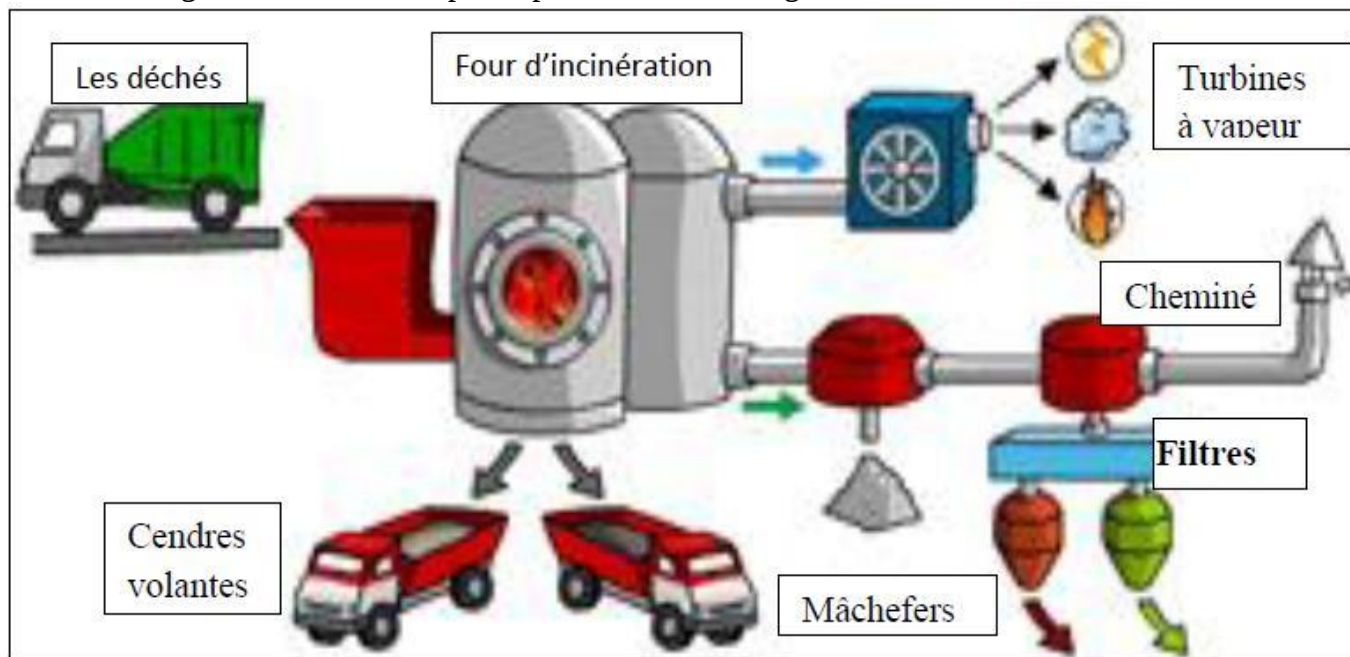
#### II.2.2. Valorisation énergétique :

La valorisation énergétique consiste à récupérer et à valoriser l'énergie produite lors du traitement des déchets sous forme de chaleur, d'électricité, de carburant. On peut distinguer deux sortes de valorisation énergétique : la valorisation par traitement thermique (incinération, Co-incinération, pyrolyse et gazéification) et la valorisation du biogaz issu notamment des installations de stockage de déchets non dangereux et de la méthanisation des déchets organiques. [9]

##### II.2.2.1.L'incinération :

L'incinération avec récupération d'énergie consiste à transformer en vapeur sous pression la chaleur dégagée par la combustion des déchets, vapeur qui est ensuite détendue dans un turboalternateur produisant de l'électricité et, lorsque cela est possible, utilisée pour alimenter un réseau de chaleur urbain ou des industriels avoisinants. Le statut d'opération de valorisation

énergétique n'est accordé qu'aux incinérateurs atteignant une performance énergétique minimum. La France dispose actuellement d'un parc de 127 installations d'incinération de déchets ménagers, dont 97% en capacité produisent de l'énergie.



Usine d'incinération.

L'incinération fait l'objet d'une surveillance et d'un encadrement par la réglementation qui prévient ses effets sur l'environnement. Cette dernière encadre le traitement des fumées et des résidus de traitement. Elle impose notamment le respect de valeurs limites d'émission extrêmement strictes pour les principaux polluants libérés par les déchets.

### II.2.3. Valorisation organique :

La valorisation organique désigne l'ensemble des modes de gestion et de valorisation des déchets biodégradables (déchets alimentaires, déchets verts, boues urbaines, boues industrielles, déchets des industries agro-alimentaires, déchets agricoles...). les déchets biodégradables peuvent être valorisés via 2 grands modes de traitement : le compostage et la méthanisation.

#### II.2.3.1. Le compostage :

Le compostage est un procédé de traitement aérobie (en présence d'oxygène) des déchets fermentescibles par les micro-organismes, dans des conditions contrôlées. Il produit du gaz carbonique, de la chaleur et un résidu organique stable (faible potentiel de biodégradabilité), riche en composés humiques. Il ya plusieurs techniques de compostage :

##### ▪ Le compostage individuel :

Il caractérise l'ensemble des techniques mises en œuvre par les particuliers pour traiter à domicile leurs déchets organiques (compostage en tas, en bacs, lombricompostage). Les déchets verts représentent la plus grande part des déchets biodégradables gérés à domicile, soit entre 4,5 et 5 millions de tonnes.

##### ▪ Le compostage partagé :

Il s'agit du compostage de quartier réalisé à proximité des immeubles. Les apports de matières à composter sont effectués directement par les habitants dans un composteur dédié.

##### ▪ Le compostage industriel :

Le compostage industriel désigne la valorisation des déchets fermentescibles à grande échelle. Ce type de compostage s'effectue en plusieurs étapes :

1. **Préparation des déchets** : Il peut s'agir d'un tri, d'un broyage, d'un criblage et d'un mélange des déchets afin d'obtenir une composition optimale pour les transformations biologiques.

2. **Fermentation** : C'est lors de cette étape que commence le processus biologique de

transformation des déchets en compost. Les matières fermentescibles placées en andain ou en tas sont retournées, ventilées et arrosées pour activer le processus de dégradation. La montée en température lors de cette phase assure l'hygiénisation des matières.

4. **Criblage** : Cette étape peut précéder ou succéder l'étape de maturation, elle permet d'éliminer les éléments indésirables et d'atteindre la granulométrie souhaitée en fonction de l'utilisation prévue pour le compost.
4. **Maturation et stockage** : Cette étape doit permettre de stabiliser le produit et de fournir un fertilisant dont les caractéristiques agronomiques sont fixées.
5. **Le tri-compostage** : Le tri-compostage fait partie des Traitements Mécano-Biologiques (TMB). Il associe à la fois des opérations mécaniques (visant à séparer les matières fermentescibles valorisables des éléments inertes ou indésirables à éliminer) et une opération de compostage telle que décrite précédemment. Les installations de tri-compostage sont conçues pour produire du compost à partir de la fraction fermentescible des Ordures Ménagères Résiduelles (OMR). Elles permettent également d'extraire des OMR des matériaux recyclables non captés par les collectes sélectives (métaux ferreux et non ferreux...) ou de produire des CSR à partir des refus de tri.

### II.2.3.2. La Méthanisation :

La méthanisation est un processus de décomposition de la matière organique contenue dans les déchets biodégradables en milieu anaérobie (c'est-à-dire en absence d'oxygène), ou fermentation méthanique, qui transforme la matière organique en compost, méthane et gaz carbonique par un écosystème microbien complexe fonctionnant en absence d'oxygène. La méthanisation permet d'éliminer la pollution organique tout en consommant peu d'énergie, en produisant peu de boues et en générant une énergie renouvelable le biogaz.

Il peut être utilisé en :

- Cogénération : production d'électricité et de chaleur.
- Injection dans un réseau de gaz (bio méthane).
- Chaudière pour les besoins de l'usine.
- Un traitement de finition aérobie du résiduel et de l'azote est souvent nécessaire pour le rejet dans le milieu naturel.

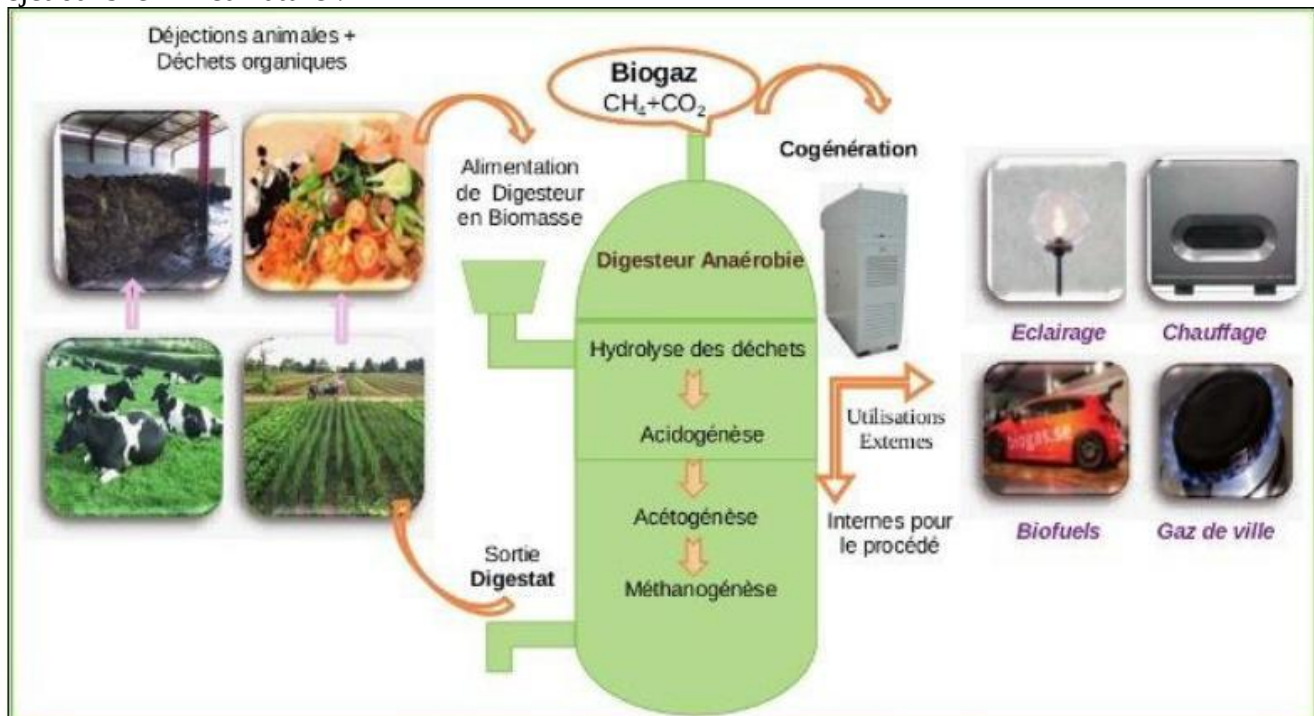


schéma d'une unité de production de biogaz

**Conclusion**

La valorisation énergétique des déchets peut être une partie de la solution optimale. Il est difficile de donner des estimations précises des économies globalement réalisées étant donné la grande diversité des technologies et du pouvoir calorifique des déchets traités. On peut considérer que l'énergie issue de l'incinération joue un rôle sensible et très important dans notre approvisionnement énergétique. En respectant bien sur quelques ordres de grandeur. Dans le chapitre suivant nous nous intéresserons à la méthanisation.