

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**

**Université Mohammed Seddik Benyahia - Jijel-**

**Faculté des Sciences et de la Technologie**

**Département de Génie des Procédés**

# **Licence Métallurgie : Valorisation des déchets**



Polycopié de cours en destiné aux étudiants 3ème année Licence

*spécialité:* Métallurgie

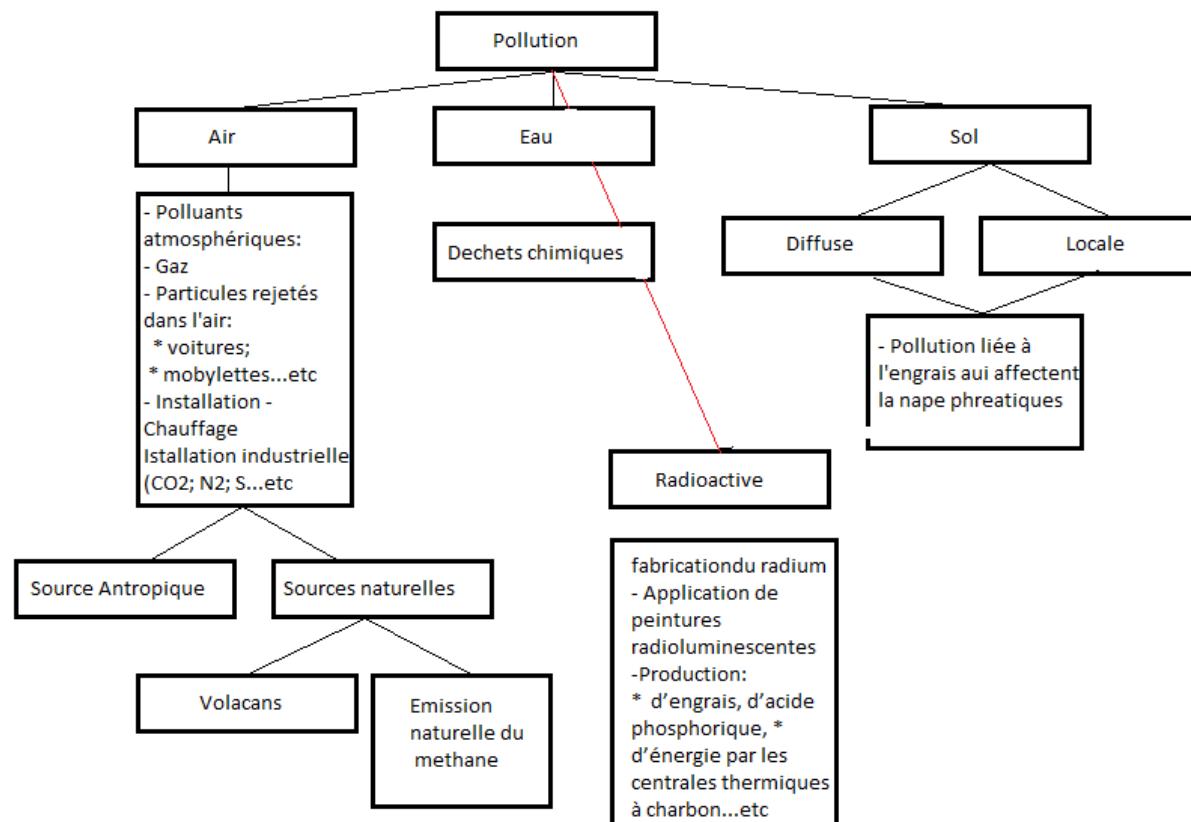
Dr. Mohammed El-Hachemi Arada

## I.1- Pollution

La pollution ou la pollution de l'environnement définit l'addition à l'environnement des substances solides ; liquides ou gazeux ou des substances en forme d'énergie comme la radioactivité....etc. Cette action additive ; par conséquent polluante ; s'effectue par la dispersion de ces mêmes substances dites : polluantes ; par le phénomène de décomposition ; de dilution ou du recyclage au niveau de l'air ; des eaux et du sol.

## I.2- Différents types de la pollution

On distingue quatre types de la pollution. Celle de l'air ; de l'eau ; du sol et la pollution radioactif comme le montre la figure suivante et qui présente des exemples sur les origines des pollutions en question.

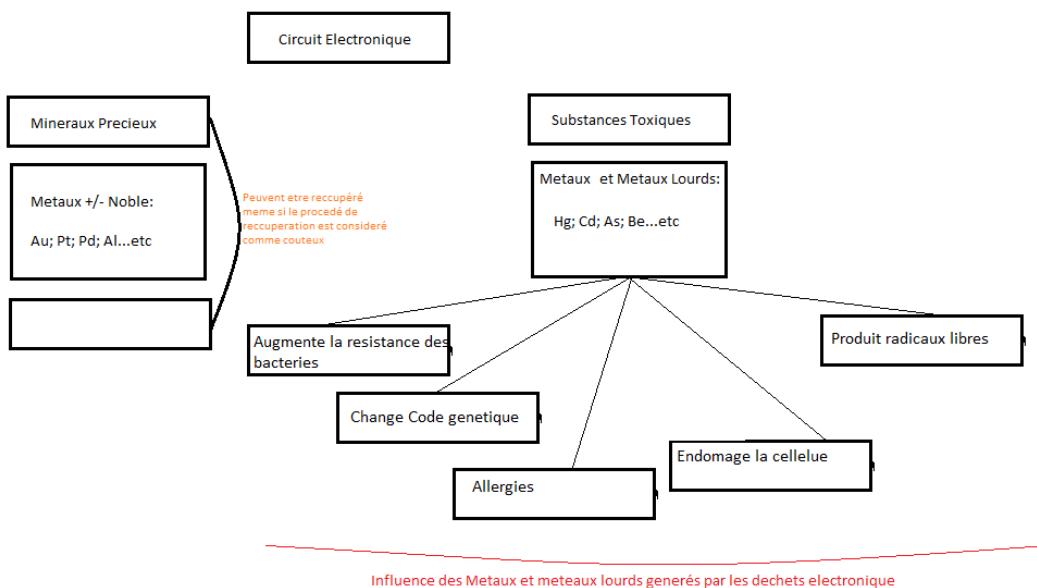


## I.3- Exemples de l'impact de la pollution de différentes origines sur l'environnement

### I.3.1- Déchets électronique

Généralement la pollution ; peu importe son origine ; est donc liée aux déchets de l'industrie ; à l'usage et l'utilisation des montages ainsi que les produits chimiques. Dans le domaine de l'électronique par exemple ; la pollution est engendrée par des déchets qui

peuvent être dangereux pour l'espace vital de l'espèce vivante en fonction du temps. Il est à savoir ; qu'un produit électronique a une durée de vie qui le rend néfaste pour l'environnement rien qu'en pensant à combien de produits (tel ; portable ; pc....etc) sont jetés à la poubelle tous les ans. Ces appareils présentent un danger réel car ils sont dotés d'éléments électroniques plus ou moins importants. Chacun des circuits électroniques contient des minéraux plus ou moins précieux comme l'or ; l'argent ; Platine...etc mais aussi des dizaines de substances plus ou moins toxiques concentrés dans un volume miniaturisé ; comme le mercure ; l'indium ; plomb ; Béryllium....etc

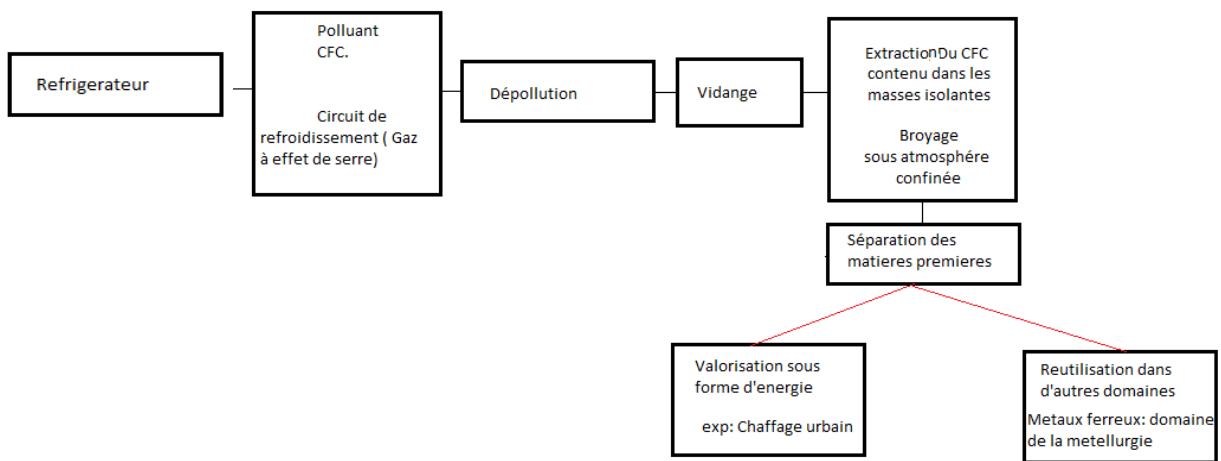


Ces dangers sont considérés comme réel lorsqu'ils sont mal gérés ; à savoir les soumettre à une incinération ou les abandonnés tout simplement dans la nature. D'une manière générale ; pour éviter tout impact négatif sur l'environnement ou du moins l'amoindrir ; il existe deux voies à prêter :

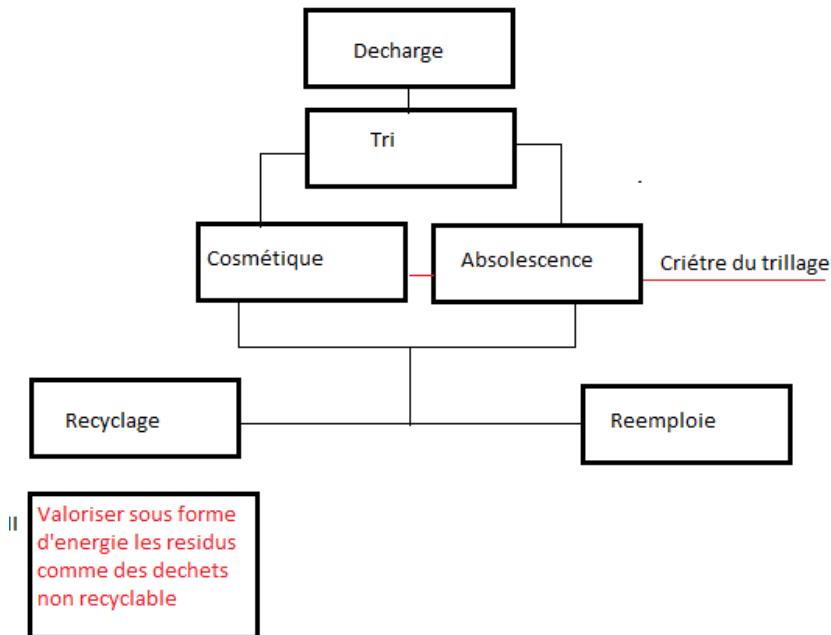
- La voie du recyclage
- La voie de la valorisation.

Le recyclage des déchets électroniques est un processus méticuleux ; car ces déchets doivent être dépollués puis utilisés sous forme de nouvelles matières premiers.

### Exemple : cas du réfrigérateur



Toute fois ; il est à signaler que l'initiation du recyclage et/ou valorisation est rencontrée au niveau des décharges ou déchets à recycler sont soumis à un tri méticuleux comme le montre la figure suivante :



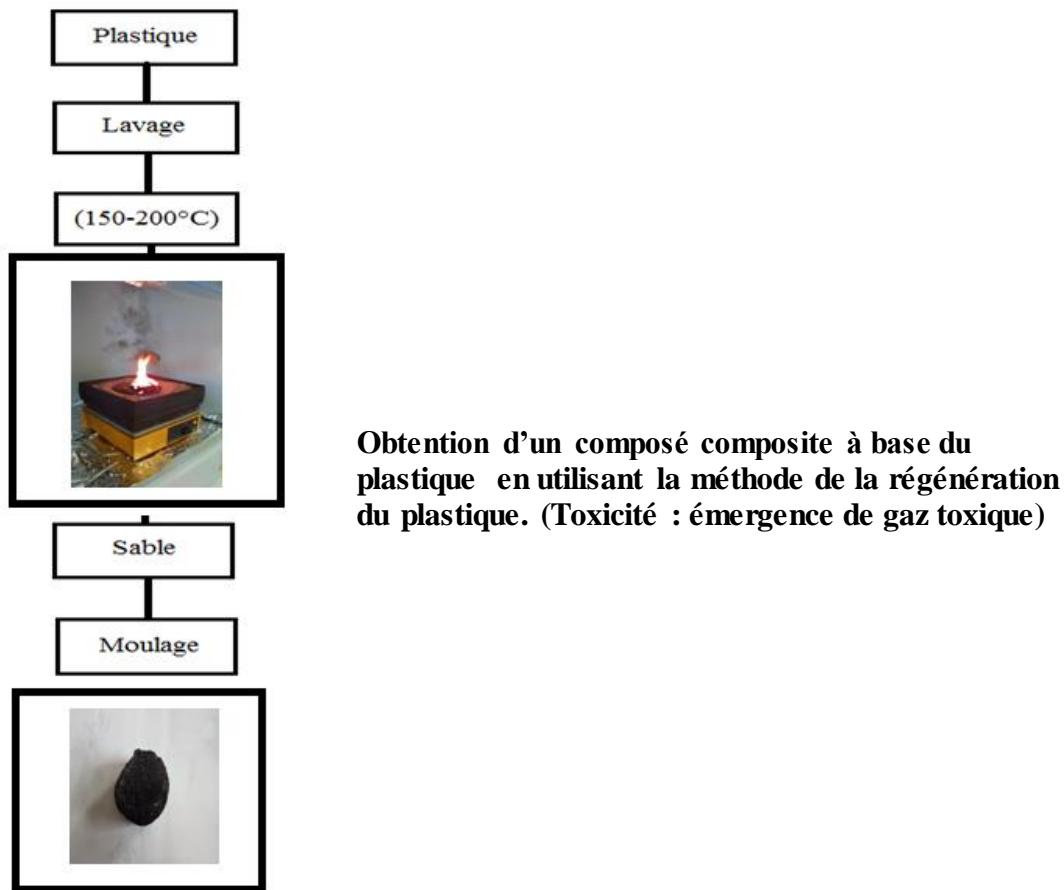
Le processus du recyclage de la matière est effectué par des professionnels qui participent à une logique commune aux ateliers. Si l'aspect économique est pris en compte ; ces professionnels favorisent les fournisseurs locaux des domaines de fabrication.

#### I.3.2- Déchets plastiques

Le recyclage du plastique est bien répondu. La production des matériaux destinés à la construction légère connaît de plus en plus de demande et leurs procédés d'obtention connaissent de plus en plus d'évolution. L'élaboration du pavé ; par exemple ; dont la matrice est : "sable-plastique récupéré" peut être obtenu selon plusieurs méthodes. Parmi

celles-ci; il y a la méthode de la régénération qui est très répandue dans certaines sociétés africaines pour l'obtention du pavé destiné à la construction légères. Ce processus (régénération du plastique) consiste à la réalisation d'une décomposition chimique sous air (Pyrolyse) et/ou combustion rentrant dans le cadre du recyclage chimique (émergence des gaz toxiques), par conséquent, son impact négatif sur l'environnement qui se résume dans l'émergence des constituants évoqués. Ce processus est considéré comme hyper polluant, par conséquent il est rejeté par la communauté internationale. On peut noter aussi la méthode de compactage manuel (la méthode de thermocompression) dont les conditions expérimentales sont considérées comme sévères au niveau de la température ; la pression.

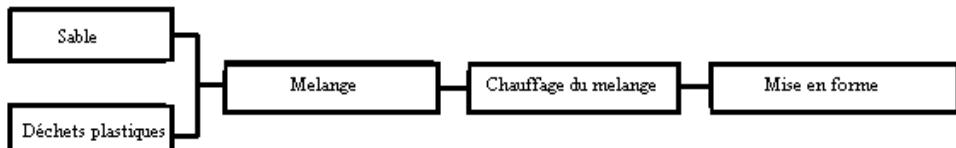
#### a- Procédés par régénération du plastique



L'émergence de gaz毒ique est flagrante lors de l'élaboration d'un composé composite à base de plastique en utilisant la méthode de la régénération du plastique est considéré comme un inconvénient majeur.

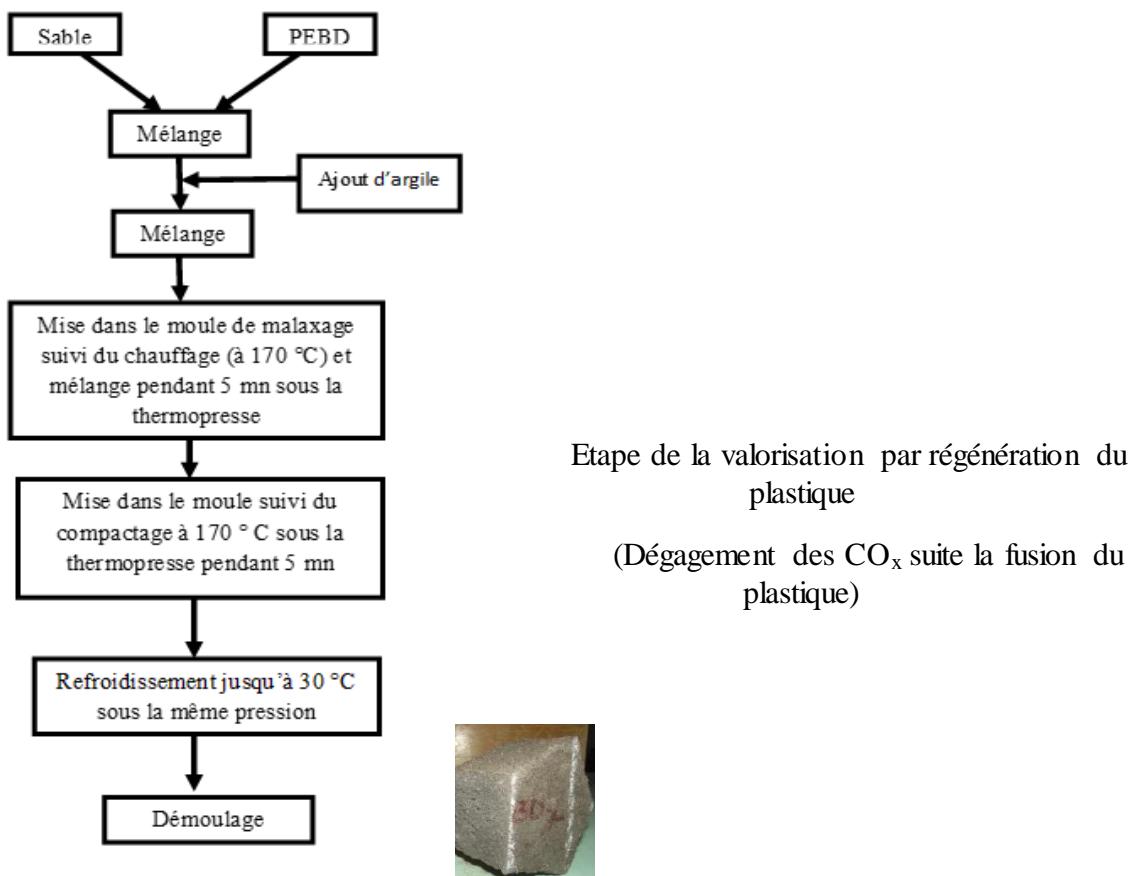
## b- Méthode de compactage manuel

D'une manière générale ; la voie empruntée pour l'obtention du pavé peut être présentée selon le schéma suivant



**Schéma représentant les étapes d'élaboration des matériaux en utilisant les méthodes connues**

Hors les étapes d'élaboration du matériau en utilisant cette méthode n'est pas évidente à cause de certaines étapes d'élaboration considérées comme critiques ; comme fut le cas de l'étape du refroidissement en maintenue constante le long du processus.



### I.3.3- Déchets métalliques

La valorisation des déchets métalliques se limite pour ces déchets au sens du recyclage dont le but de donner une seconde vie aux déchets métalliques pour d'éventuelles utilisations et usages. Généralement ; avant d'entamer tout recyclage ; les produits métalliques subissent un traitement préliminaire qui consiste à exécuter des opérations afin de réduire le volume et le poids ; par conséquent réduire le cout du stockage ; comme exécuter des Operations au niveau de la fusion et de décontamination mécanique.

Toutefois ; il faut savoir que les déchets se présentent sous forme de déchets métalliques ferreux (Fer ; Acier) comme non ferreux (Cuivre ; Aluminium...etc) comme ils peuvent se présenter comme des déchets résiduels issues des zones de Tri ; produit de la découpe ou encore de la poussière récoltées dans les filtres de ventilation et ; peu importe l'issues de ces déchets ; ces derniers sont soumis à un système électro-aimant afin de les séparer des déchets non métalliques.



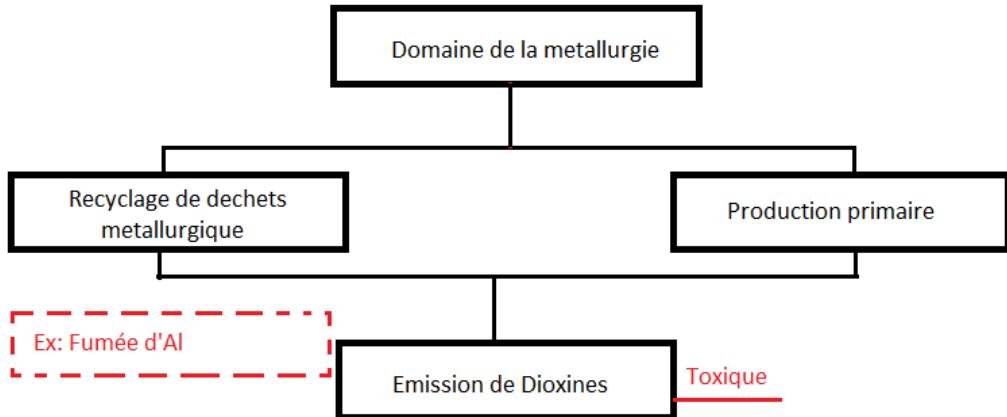
**Electro-aimant**

Il est à noter que les déchets résiduels ; connaissent un traitement spécial pour qu'ils soient utiles pour une seconde vie. Ce traitement est exécuté par des professionnels qui connaissent quoi mettre et ne pas mettre dans le bac a Tri ; au-delà des boites de conserves ; les canettes métalliques....etc; ils doivent savoir que le papier aluminium ; par exemple ; ne se recycle pas et donc il ne doit pas être collecté.

Cette étape de Tri est suivie par le broyage des déchets qui ; après ; seront soumis à une température basse afin de d'éliminer les impuretés ; les étiquettes ; peinture....etc. Cette opération est exécutée dans un four suivie par une étape qui consiste à les portés à une température qui permet de les fondre (température élevée) avant de les transformé en matières premières.

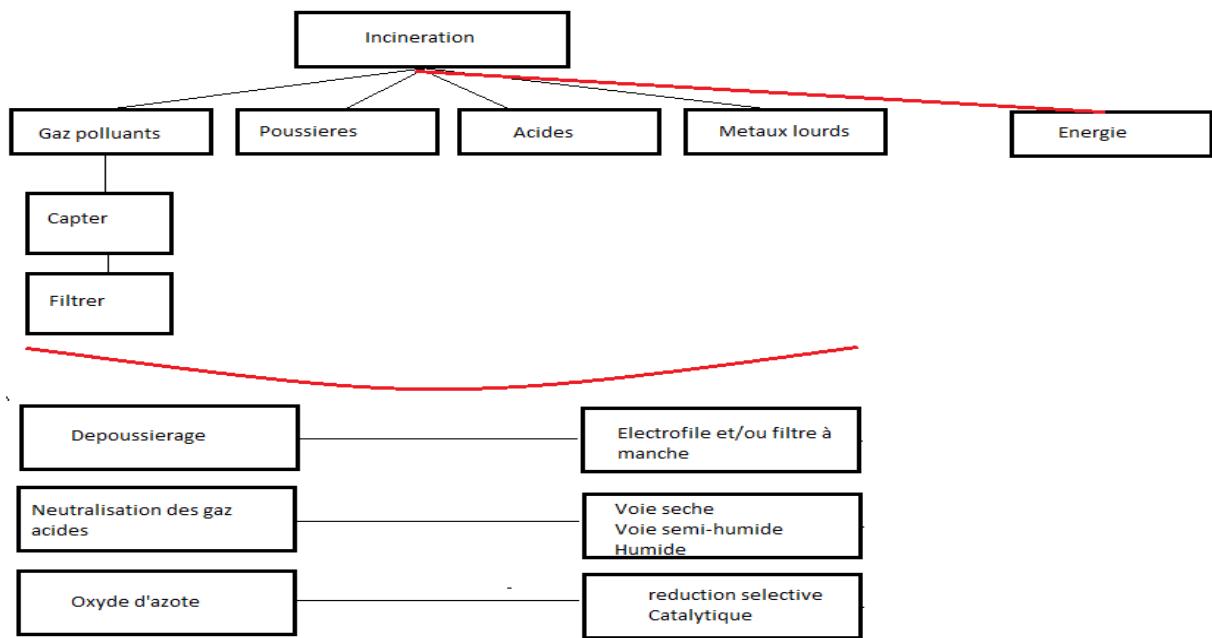


Toute fois ; il est à savoir que dans le domaine de la métallurgie ; que ce soit sur le volet du recyclage des déchets métalliques comme le cuivre ; l'aluminium ; l'acier ; ou sur le volet de la production primaire ; les risques d'émission de produits toxiques comme la dioxine existent. Ces produits toxiques (Dioxines) sont connus par leur stabilité chimique et ils sont considérés comme des polluants persistants.



#### I.4- Valorisation énergétique des déchets

La valorisation énergétique est un procédé de transformation des matériaux en énergie et qui s'effectue généralement par incinération avancée de redistribution thermique. Les gaz émanant durant ses opérations sont captés et filtrés afin d'éviter une quelconque pollution de l'environnement. La récupération de l'énergie sous forme de vapeur ou d'électricité est basée sur la cogénération qui est définie comme la production simultanée de l'énergie thermique et l'énergie mécanique dans la même installation.

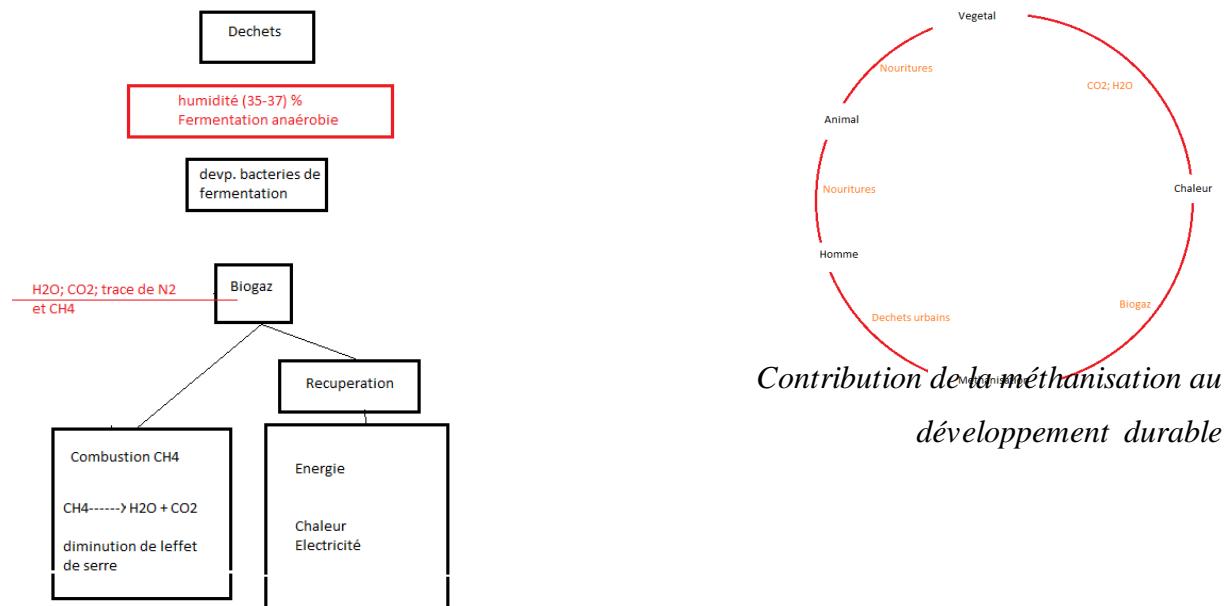


Hors ; la **valorisation énergétique** la plus intéressante est celle qui est considérée comme une source d'énergie propre et dont le cout est faible. Nous évoquerons la méthanisation comme procédé qui permet l'obtention du biogaz ; considéré comme une énergie propre.

#### I.4.1- Biogaz

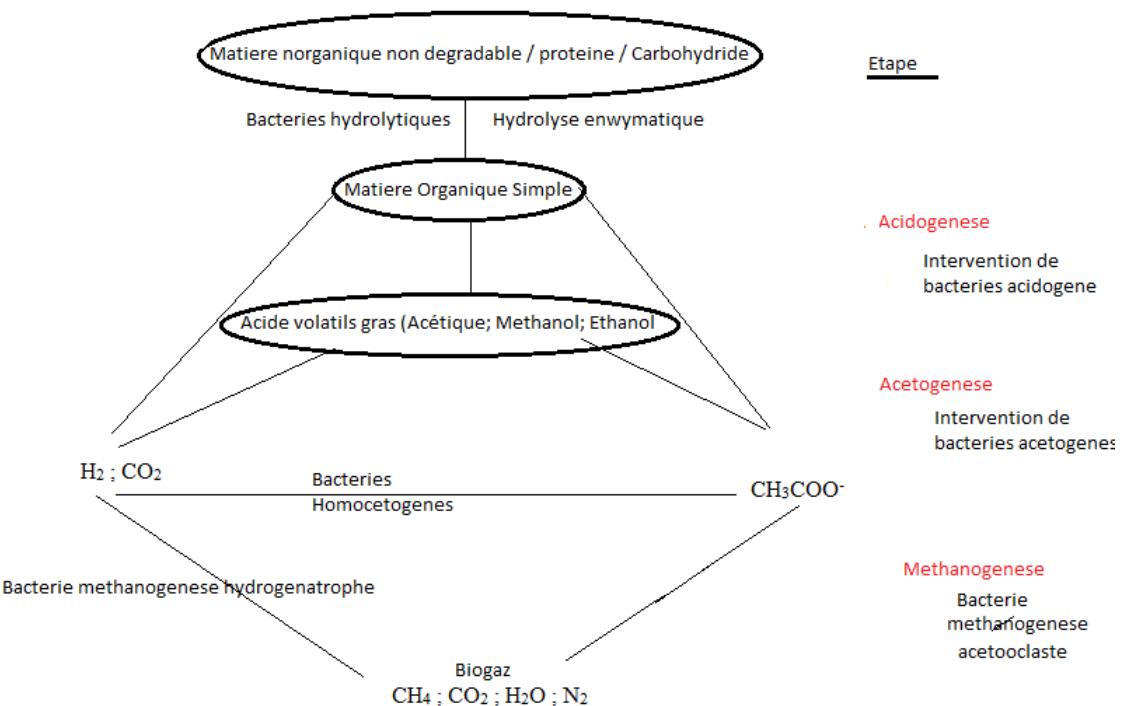
Le biogaz est un gaz obtenu par la fermentation **anaérobiose** (absence de l'oxygène) qui se produit dans la nature à partir des déchets animaux par exemple. Les conditions d'obtention du biogaz sont bien déterminées au niveau du taux d'humidité pour permettre le développement des bactéries qui provoquent la fermentation; à savoir :

Avec une humidité qui va **de 35 à 55%** ; le **biogaz** obtenu est constitué de (**50-65%**) de CH<sub>4</sub> et (**35-50%**) de CO<sub>2</sub> ; et **traces** de H<sub>2</sub>O ; N<sub>2</sub>.



### I.4.1.1- Principe Biologique

Le principe biologique est basé sur la **mise en œuvre** d'une fermentation anaérobiose. Durant cette dernière ; de différentes flores bactériennes et métabolismes sont mis en jeu. Le processus de la transformation Bio-carbonée en Biogaz passe par trois étapes essentielles ; l'étape acidogènes ; acetogenese et celle de la méthanol. Hors ; lorsque les conditions au niveau de l'oxygène et l'humidité sont fixées; il est primordial de satisfaire certaines conditions pour une production **optimale** du biogaz. Ces conditions interviennent au niveau de certains paramètres comme la température (choix du régime) ; le mixage ; le suivit de l'évolution du pH...etc



### I.4.1.2- Paramètres expérimentaux

#### - Température

Il existe deux types de régimes ; le régime mésophile dont la température va de (30 à 40°C) et le régime thermophile avec une température allant de (50 à 60°C). Ce dernier favorise une croissance rapide des micro-organismes ce qui provoque une instabilité qui influe sur le rendement de la production. Pour cette raison les industriels optent pour le **régime mésophile** (température modérée).

#### - Paramètre pH

Le pH optimal de la méthanisation se situe entre (**6.5 et 7.5**) ; le suivi de ce paramètre est essentiel car les bactéries méthanoliques sont sensibles à ses variations. Pour un **pH = 5** par exemple ; une inhibition du processus est observée ce qui induit l'accumulation d'acides gras volatils lors d'une surcharge du réacteur biologique (méthaniseur). Hors ; pour une valeur du pH supérieure à **7.5** l'accumulation observée est celle de l'ammoniaque ce qui provoque aussi une inhibition microbienne. Cette accumulation est causée par la précipitation des composés minéraux suite à une prise de masse dans le réacteur biologique. Pour remédier à ce problème ; souvent on utilise de la soude considérée comme régulateur du pH (implication des réactions acido-basique).

#### **- Paramètre Macronutriments**

Les bactéries anaérobies ont besoin de macronutriments afin de satisfaire les conditions optimales de la production du biogaz. Les macronutriments doivent être contrôlés. Pour l'azote et le phosphore par exemple ; leur ajout se fait selon des proportions bien définies ; à savoir pour **100%** de matière bicarbonée ; l'azote doit être présent à **50%** et le phosphore à **1%** ; par conséquent ; l'expression des proportions s'écrit comme suit : (**C/N/P = 100/5/1**). Hors l'azote et le phosphore ; il existe aussi des éléments minéraux utilisés comme macronutriments tel que : K ; Ca ; Fe ; Cu ; Co...etc.

#### **- Paramètre Mixage**

Le mixage a pour but de mélanger la matière entrante dite fraîche avec les bactéries ainsi d'éviter la formation d'une croute bactérienne qui provoque un gradient de température. Le mixage est un mixage mécanique qui doit être **lent** pour éviter la rupture des colonnes bactériennes.

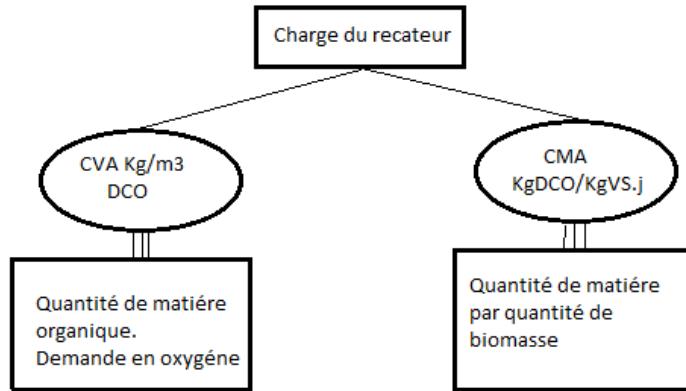
#### **- Paramètre inhibiteur de la méthanisation**

L'inhibition (freinage et/ou ralentissement de la digestion anaérobie) de la méthanisation (production du Biogaz) est due à la présence en grande quantité de certains composés classés comme inhibiteurs et qui sont répertoriés étant l'oxygène ; les chlorures de sodium ; le cuivre ; le chrome et le nickel.

#### **- La masse volumique et massique appliquée.**

Tenir compte de la charge du réacteur est très important car un excès de charge de la matière volatile provoquera une inhibition des bactéries anaérobies ; par conséquent le

rendement de la production du biogaz sera bien affecté. La matière volatile qui est un solide contenant une fraction organique peut-être combustible ; lentement biodégradable et/ou inerte tel que le verre ou le sable. La présence de cette matière doit être optimisée au minimum afin d'éviter le remplissage du volume du réacteur.



## I.5- Les Réacteurs (méthaniseurs)

Il existe plusieurs types de réacteurs pour la production du biogaz. Le choix de ce dernier (réacteur) dépend directement de l'origine de la matière organique ; à savoir :

- Matière organique issue des collectivités.
- Matière organique issue de l'agriculture.
- Matière organique issue de l'industrie agro-alimentaire.

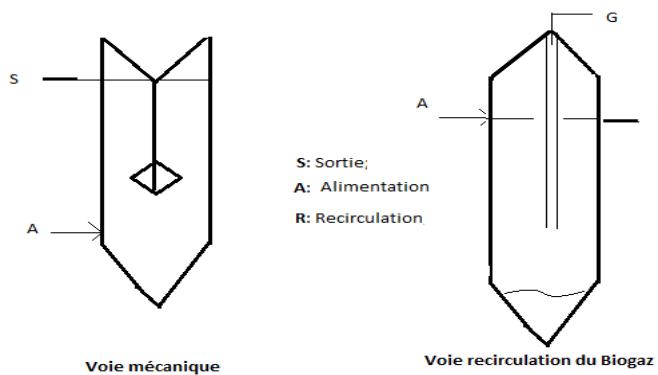
### I.5.1- Matière organique issue des collectivités

Les déchets issus des collectivités sont connus étant la **boue** qui trouve origine dans les stations d'épuration ainsi que les **ordures ménagères**. Pour ces déchets ; deux types de réacteurs sont utilisés :

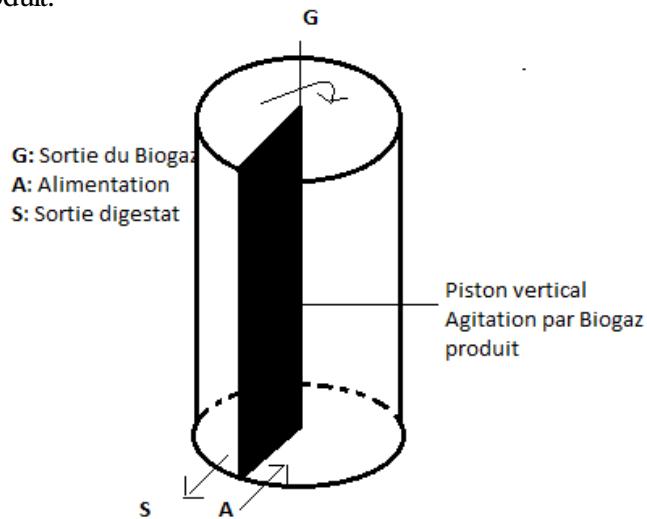
- Le réacteur infiniment mélangé.
- Le réacteur à piston.

Les boues liquides sont généralement traitées dans les réacteurs infiniment mélangés (parfaitemment agités). Cette agitation est assurée par trois types de voie :

- Voie mécanique
- Véhicule de la boue
- Injection sous pression du Biogaz



Hors ; le réacteur à piston dont la capacité est de **10Kg M<sub>Om</sub><sup>3</sup>** est utilisé pour les substrats secs et il est utilisé pour le traitement des fractions organiques ménagères (absence de boues). L'agitation pour ce type de réacteur est assurée par la recirculation du biogaz produit.

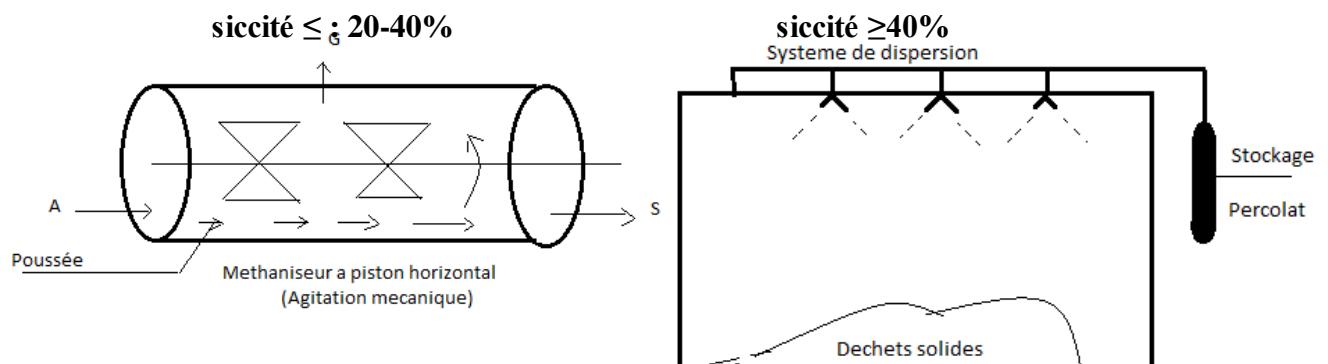
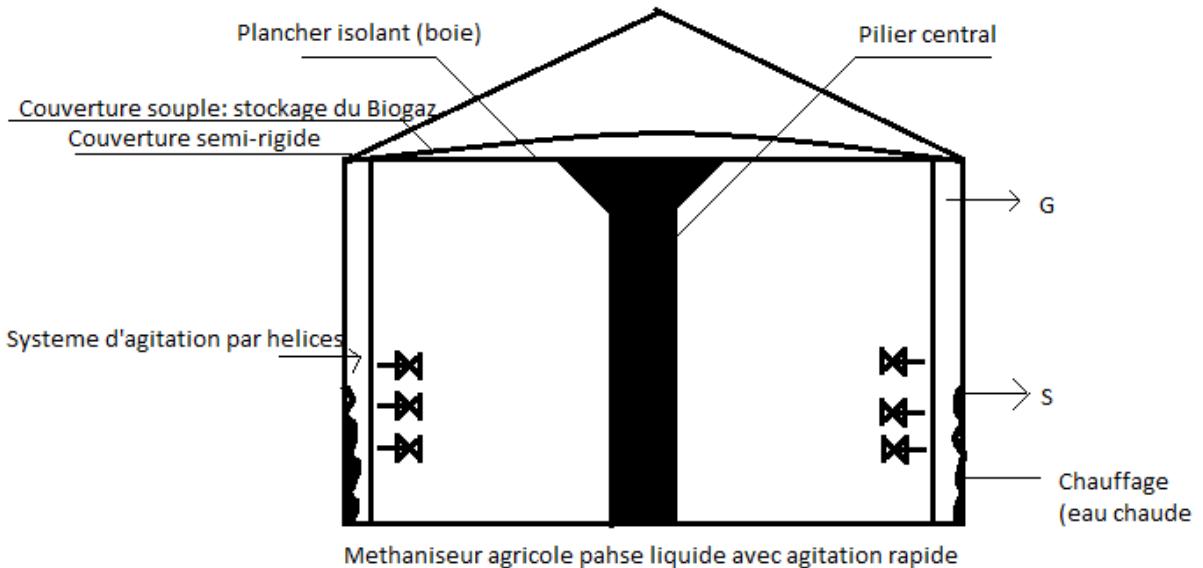


### I.5.2- Matière organique issue de l'agriculture

La matière organique issue de l'agriculture se présente sous deux aspects distincts :

- Matières organiques issues des déchets liquides (**siccité : 15-20%**) dont le principe du fonctionnement du réacteur adéquat est semblable à celui du réacteur infiniment agité du fait que les déchets sont classées étant des déchets liquides (voir siccité de la boue)
- Matières organiques issues des déchets secs (**siccité ≤ : 20-40%**) ; le principe de fonctionnement repose sur la poussée du substrat déjà présent dans le réacteur. Cette poussée provoque une avancée régulière de la matière première. Ce type de méthaniseur se caractérise par la non nécessité d'utiliser de l'eau pour la réalisation d'une agitation verticale assurée par un piston. Pour les déchets secs avec une siccité supérieure à **40%** ; une série de réacteurs équipés d'un **percolât** riche en micro-organismes est utilisé pour la production du biogaz. L'utilisation cette série de réacteurs a

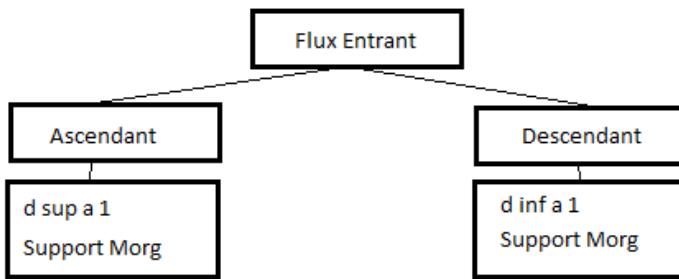
pour but d'obtenir un traitement régulier du substrat avec une production stable en biogaz.



### I.5.3- Matière organique issue de l'industrie agro-alimentaire

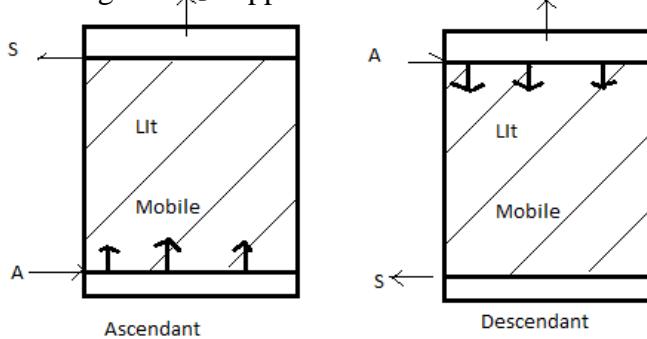
Ce type de matière est traitée dans des réacteurs dits : **Lit de Fluidité** ; dont les plus répondus sont les réacteurs de contact ; bioréacteur à membranes ; le lit fixé....etc.

Le fonctionnement du recteur lit de fluidité est basé sur la garniture de support de croissance des micro-organismes mobiles qui se déplacent au sein du réacteur biologique. Le flux entrant met en suspension les supports mobiles et crée un milieu homogène permettant un contact optimal des micro-organismes et du substrat. Il est à savoir que ce lit peut être ascendant comme il peut être descendant.



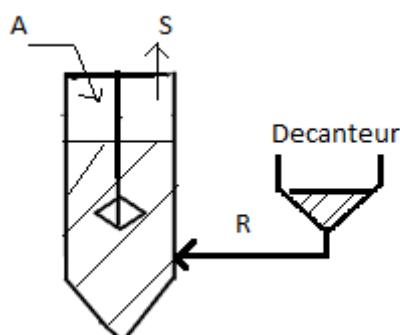
Pour contrer le flux et effectuer la suspension

Ce procédé est adapté aux traitements riches en MES supérieure à **10g/l** et dont la charge admissible peut aller jusqu'à **50KgDCO/m<sup>3</sup>**. Hors il se trouve qu'il est difficile à réaliser car le flux doit être parfaitement maîtrisé afin de pouvoir obtenir une mise de suspension suffisante et homogène des supports.

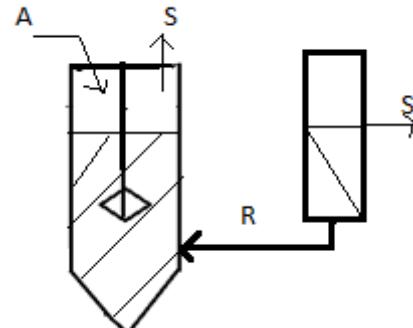


- Pour un réacteur de contact par exemple, il se présente comme étant une association d'un réacteur parfaitement agité et **un décanteur**. Les boues décantées sont recirculées dans le réacteur biologique afin d'augmenter la concentration en biomasse active ainsi que le temps de séjour des particules non dégradées. Les charges admissibles sont de **1 à 6 KGDCO/m<sup>3</sup>**.
- Dans le cas où une augmentation de la charge est recherchée tout en augmentant la qualité des opérations ; il suffit de changer le décanteur par une membrane. Le réacteur de contact devient alors un réacteur à membrane qui permet l'obtention d'un taux d'abattement de la pollution organique élevée supérieure à **90%** ainsi qu'il permet de valoriser les déchets en question.

### Réacteur de contact



### Réacteur de contact

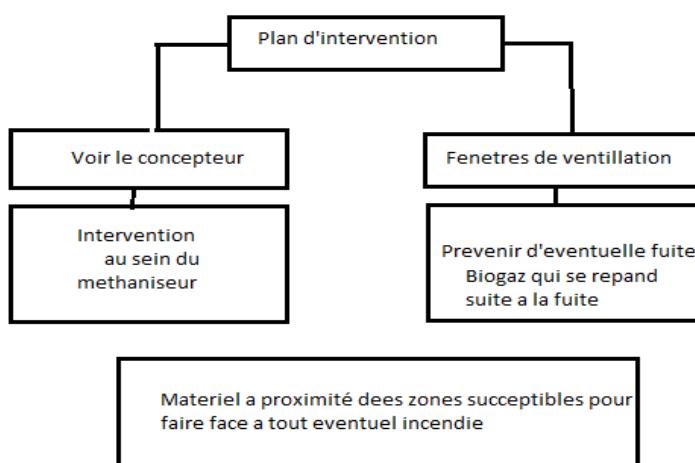


## I.6- Accidentologie

Il existe de différents types d'accidents rencontrés au niveau des réacteurs dont le Biogaz produit est impliqué d'une manière directe ou indirecte quel que soit l'origine de la matière organique. Parmi les accidents les plus répandus ; nous pouvons citer l'explosion ; accident liés à la présence de H<sub>2</sub>S...etc

### I.6.1- Explosion du Biogaz

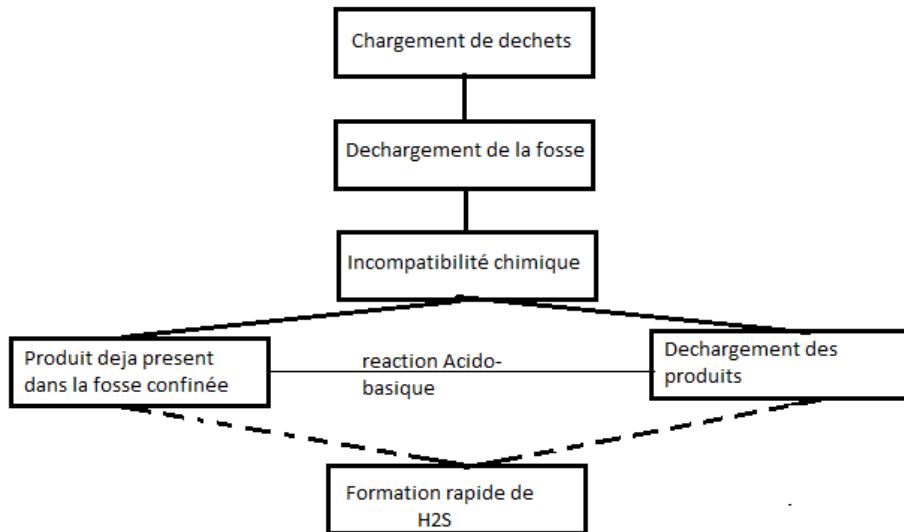
Les cas les plus recensés dans l'explosion di biogaz proviennent essentiellement des méthaniseurs ou les déchets sont issus des collectivités (plus particulièrement les ordures ménagères) ou les déchets issus de l'industrie. Ces explosions sont provoqués par des fuites du Biogaz dans le réacteur ou au niveau de l'installation ainsi à cause de l'accumulation du Gaz lors du stockage dans un milieu confiné. Pour faire face à ce genre d'accident et pour des mesures préventives ; il faut suivre les mesure présentées ci-dessous :



### I.6.2- Accident liés à la présence de H<sub>2</sub>S

L'implication de H<sub>2</sub>S dans les accidents souvent rencontrés durant la méthanisation est due à sa formation au cours du processus de la dégradation de la matière organique. Ce type d'accident est rencontré le plus souvent dans les réacteurs agricoles et ceux adéquats à la matière organique issue de l'industrie.

Les victimes sont d'abord prises de malaise comme la perte de conscience et évanouissement qui est souvent mortel à cause des asphyxies. Pour des mesures préventives il faut toujours effectuer une vérification de la **compatibilité chimique** des produits et/ou éléments qui se trouvent dans la fosse ; cette opération est réalisée par un personnels compétant et qui saura surtout respecter les normes de sécurité.



### I.6.3- Débordement du méthaniseur

Le débordement du méthaniseur est lié directement à un mauvais fonctionnement de celui-ci comme celui qui se produit lorsqu'il y a réduction du volume utile à cause de la formation d'une zone sableuse par exemple. Dans ce cas ; les entrants n'ont pas assez de temps pour se dégrader et le réacteur est donc ; susceptible de déborder.