



*République Algérienne Démocratique et Populaire*



*Ministère de l'Enseignement Supérieur*

*et de la Recherche Scientifique*

*Université de Jijel*



*Faculté des sciences et de la technologie*

*Département de Génie civil et Hydraulique*



# PROJET DE FIN D'ETUDE

*En vue de l'obtention du Diplôme de*

*Master Académique*

*Filière : Génie Civil*

*Option : Géotechnique*

## THEME

***Étude de comportement des centres de  
stockage des déchets***

***Présenté par :  
ABBOUD Yousra  
BOUAINAH Hadjer***

***Encadré par :  
Mr. SLIMANI Rachid***

***Promotion 2017***



## *Remerciements*

*On remercie en premier lieu, notre DIEU qui m'a donné la volonté et la force pour effectuer ce travail.*

*En second lieu, l'encadreur Mr SLIMANI RACHID pour leur suivi et leur conseil durant l'évolution de ce travail.*

*Et également nos remerciements sont exprimés :*

- ❖ A tous les membres de jury qui nous font l'honneur de présider et d'examiner ce modeste travail.*
- ❖ A tous les enseignants de Génie civil et surtout : Mm. Zeroual, Mr. Abdí,.....*
- ❖ A tous ceux qui nous ont aidées de près ou de loin pour la réalisation de ce mémoire de fin d'étude.*



# Dédicaces



*Je remercie dieu de m'avoir donnée la santé pour finir cursus universitaire*

*Je dédie ce travail:*

- ❖ *Celle pour laquelle je dois tout et je ne rendrais jamais assez, ma très chère mère **RACHIDA***
- ❖ *Celui qui représente pour moi l'exemple du courage, de volonté, mon très cher père **AMMER***
- ❖ *A mes frères : Yasser, Badis, Rabah, et haboubi Dido*
- ❖ *A ma sœur : Mima*
- ❖ *A amouta Latifa*
- ❖ *A mon binômes : Jiji*
- ❖ *A mes amies : Minoucha, Yassya, Loula, Linda, Fahima, Salouma, nada, Zouzou, merieuma, saïda, Radia, Iman.....*
- ❖ *Toute la promotion 2016/2017 surtout : Sousou, Haboucha, Imen, meriem, Assia, khadija, Safia, Hasina, Hadjer.....*
- ❖ *Toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à l'élaboration de ce mémoire.*

*Yousra*





# Dédicaces



*Je remercie dieu de m'avoir donnée la santé pour finir cursus universitaire*

*Je dédie ce travail:*

- ❖ *Celle pour laquelle je dois tout et je ne rendrais jamais assez, ma très chère mère **MASSOUDA***
- ❖ *Celui qui représente pour moi l'exemple du courage, de volonté, mon très cher père **AHCEN***
- ❖ *A mon frères : Haroun*
- ❖ *A mes sœurs : Rima, Marwa et Asma*
- ❖ *A mon binômes : Youssi*
- ❖ *A mes amies : Lolo, Ibtissem, Meriem, Samo, Souhila, Nadjla, Zouzou, Saïda, Radia.....*
- ❖ *A mon petit ami : Dido*
- ❖ *Toute la promotion 2016/2017 surtout : Sousou, Habouch, Imen, Meriem, Assia, khadija, Safia, Hasina, Hadjer.....*
- ❖ *Toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à l'élaboration de ce mémoire.*

*Hadjer*



# Liste des Tableaux

## Chapitre II : Les caractéristiques des déchets

Tableau.2.1 : Composition des déchets ménagers de par le monde d'après Manassero et al. (1997) .....	15
Tableau.2.2 : Composition moyenne d'un déchet français .....	16
Tableau.2.3 : Classification des déchets proposée par Landva et Clark (1990).....	18
Tableau.2.4 : Classification des déchets en fonction de leur vitesse de dégradation .....	18
Tableau.2.5 : Classification des déchets proposée par Grisolia et al. (1995).....	19
Tableau.2.6 : valeurs de perméabilités à saturation $K_{sat}$ relevées dans la littérature.....	24

## Chapitre III : Les installations de stockage des déchets non dangereux

Tableau.3.1: Composition chimique des ordures ménagères résiduelles en 1993 et 2007 en France (ADEME, 2009b) .....	34
Tableau.3.2 : Programmes de suivi des émissions, des eaux de ruissellement et des eaux souterraines en phases d'exploitation et de post-exploitation d'une ISDND (arrêté du 9 septembre 1997 modifié).....	36

## Chapitre V : Analytique du tassement des déchets

Tableau.5.1: mécanismes et facteurs contrôlant le tassement de déchets (Manassero et a., 1997).....	54
Tableau.5.2: Les Modèles du comportement mécanique des matériaux déchets.....	57
Tableau.5.3: Les Modèles rhéologiques du déchet .....	58
Tableau.5.4: Les Modèles empiriques du déchet .....	59

Tableau.5.5: Les Modèles bio-mécaniques de tassement .....	60
--	----

## ***Chapitre VI : Modélisation d'une cellule de stockage de déchet***

Tableau.6.1 : Comparaison entre les méthodes explicites et implicites(Candall1981).....	65
Tableau.6.2: Diverses valeurs publiées du poids unitaire des déchets.....	78
Tableau.6.3: Diverses valeurs publiées des paramètres élastiques des déchets. ....	81
Tableau.6.4: le module de Young et le ratio de Poisson pour les différentes couches de déchets.....	82
Tableau.6.5: Diverses valeurs publiées de l'angle de cohésion et de frottement des déchets ..	83
Tableau.6.6: Cohésion et angle de friction pour les différentes couches de déchets .....	84
Tableau.6.7: Les propriétés matérielles utilisées pour le sol.....	85
Tableau 1 Tableau 6.8: Les cordonniers des points étudiés à la diverse viscosité.....	91

# Liste des figures

## Chapitre I : la gestion des déchets

<b>Figure.1.1:</b> Répartition des déchets en France par secteurs de production (Ademe, 2009) .....	7
<b>Figure.1.2:</b> La décharge des déchets .....	8
<b>Figure.1.3:</b> Stockables solides .....	8
<b>Figure.1.4:</b> L'incinération des déchets .....	9
<b>Figure.1.5:</b> L'enfouissement des déchets dans un site .....	10
<b>Figure.1.6:</b> Compostage des déchets urbains .....	10
<b>Figure.1.7:</b> Traitement mixte .....	11

## Chapitre II : Les caractéristiques des déchets

<b>Figure.2.1 :</b> Différentes phases composant le déchet .....	12
<b>Figure.2.2:</b> Exemple d'une granulométrie grossière (Reddy et al., 2009) .....	15
<b>Figure.2.3 :</b> Evolution de la composition du lixiviat au cours de la biodégradation .....	18
<b>Figure.2.4:</b> Influence de la température sur la croissance des microorganismes (Lanini, 1998) .....	20
<b>Figure.2.5:</b> Différentes définition de la porosité .....	20
<b>Figure.2.6:</b> Evolution de la composition du biogaz au cours de la biodégradation (Pohland et Kim, 1999) .....	23

## Chapitre III : Les installations de stockage des déchets non dangereux

<b>Figure.2.1:</b> Vue aérienne ISDND .....	28
<b>Figure.2.2:</b> Coupe schématique d'un casier d'ISDND .....	29
<b>Figure.2.3:</b> Station de traitement des lixiviats .....	31

<b>Figure.2.4:</b> Installation d'un Réseau de biogaz .....	32
<b>Figure.2.5:</b> Répartition par type des déchets entrés dans les ISDND en 2008 en France , (CGDD SOeS, 2012 - données en ligne ; ADEME, 2009c) .....	33
<b>Figure.2.6:</b> Schéma d'une cellule de stockage d'ISDND(Stoltz, 2009).....	37
<b>Figure.3.7:</b> Schéma de principe des couvertures pour différents modes de gestion : ISDND, ISDD (Installation de stockage des déchets dangereux) et ISDND bioréacteur(Staub, 2010) .....	39

### *Chapitre IV : L'évolution des déchets en ISDND*

<b>Figure.4.1:</b> Représentation schématique d'une ISDND permettant la recirculation des lixiviats (FNADE-Ademe, 2007) .....	42
<b>Figure.4.2 :</b> Le bioréacteur de Trifyl, sur le site de Labessière-Candeil - © Le Paysan Tarnais .....	44

### *Chapitre V : Analytique du tassement des déchets*

<b>Figure.5.1 :</b> Schéma d'un casier de stockage (a) en phase d'exploitation (b) en phase de post- exploitation.....	51
<b>Figure.5.2 :</b> Evolution (a) de la hauteur de déchet (b) du tassement de surface associé au cours des phases d'exploitation et de post-exploitation d'un CSD.....	51
<b>Figure.5.3:</b> Diagramme ternaire applicable au compactage d'après Onyx (2000).....	55

### *Chapitre VI : Modélisation d'une cellule de stockage de déchet*

<b>Figure.6.1:</b> Procédé général de résolution des problèmes en géotechnique selon FLAC <sup>2D</sup> ....	63
<b>Figure.6.2:</b> Séquence de calcul générale, Billiaux(1993).....	64
<b>Figure.6.3:</b> Ressort .....	66
<b>Figure.6.4:</b> Amortisseur .....	67
<b>Figure.6.5:</b> Patin .....	67
<b>Figure.6.6:</b> Modèles de Maxwell et Voigt.....	70
<b>Figure.6.7:</b> Réponses des modèles de Maxwell et Voigt .....	70



<b>Figure.6.8:</b> Représentation du critère de Mohr-Coulomb .....	72
<b>Figure.6.9:</b> Modèle de Burgers.....	72
<b>Figure.6.10:</b> Représentation du modèle utilisé.....	76
<b>Figure.6.11:</b> Représentation du modèle par FLAC .....	77
<b>Figure.6.12:</b> Profondeur en fonction du poids unitaire pour les nouveaux déchets et les vieux déchets utilisés dans cette étude, Tano (2016) .....	79
<b>Figure.13:</b> Profondeur en fonction des paramètres élastiques pour les nouveaux déchets et les vieux déchets utilisés dans cette étude, Tano (2016) .....	81
<b>Figure.6.14:</b> La profondeur en fonction de (a) la cohésion et (b) l'angle de frottement pour les nouveaux déchets et les vieux déchets utilisés dans cette étude, Tano(2016) .....	83
<b>Figure.15:</b> Représentation du terrain par FLAC.....	86
<b>Figure.6.16:</b> Représentation de l'excavation du terrain par FLAC .....	86
<b>Figure.6.17:</b> Représentation de mise en place de la première couche de déchet par FLAC ....	87
<b>Figure.6.18:</b> Déplacement en fonction de temps pour la première couche de déchet.....	87
<b>Figure.6.19:</b> (a), (b) et (c) Simulation de la construction d'une colonne de déchet à l'aide du modèle CVISC .....	88
<b>Figure.6.20:</b> Déplacement en fonction de temps pour les différentes couches de déchet utilisés dans cette étude .....	89
<b>Figure.6.21:</b> Déplacement en fonction de temps après 10 ans .....	90
<b>Figure.6.22:</b> Représentation de point 'A' pour <b>Uyi</b> par FLAC .....	92
<b>Figure.6.23:</b> Déplacement en fonction de la viscosité selon <b>Uyi</b> .....	92
<b>Figure.6.24:</b> Représentation de point 'B' pour <b>Uxi</b> par FLAC .....	92
<b>Figure.6.25:</b> Déplacement en fonction de la viscosité selon <b>Uxi</b> .....	92

# Liste des notions

A	Le facteur de tassement total (final)
APE	Activités de Post-Exploitation
a	Coefficient de compression primaire à un module oedométrique $E_s$ ( $kPa^{-1}$ )
$\alpha *$	Un coefficient constant du taux de dégradation
B	Le facteur de taux de tassement initial
B	Coefficient de compression primaire à un module oedométrique $E_s$ ( $kPa^{-1}$ )
BTEX	Benzène, Toluène, Etylbenzène, Xylène
BTP	Bâtiment et travaux publics
C	Cohésion du déchet ( $kPa$ )
$C_{\alpha\varepsilon}$	Coefficients de compression
$C_{\alpha\varepsilon 1}$	Coefficients de compression primaire
$C_{\alpha\varepsilon 2}$	Coefficients de compression secondaire
$C_R$	Le coefficient de compression primaire (-)
CET	Centres d'Enfouissement Technique
CH4	Méthane
CO2	Carbone
COV	Composé Organique Volatil
CSD	Centre de Stockage Déchet
DASRI	Déchets d'Activité de Soins à Risque Infectieux
DDS	Déchets Diffus Spécifiques
DEA	Déchets d'Eléments d'Ameublement
DEEE	Déchets d'Equipements Electriques et Electroniques
DIB	Déchets Industriels Banals
DIS	Déchets Industriels Spéciaux
DMS	Déchets Municipaux Solide
DND	Déchets Non Dangereux
E	Module de Young ( $kPa$ )
$e_0$	L'indice des vides initial
$f_{si}$	La fraction massique solide $i$ ( $M_{si}^0/M_S^0$ )

G	Module de cisaillement ( $kPa$ )
GSB	Géo Synthétiques Benthoniques
$g_i$	Composante de l'accélération gravitationnelle par les forces de volume.
$h$	Hauteur (d'une couche ou d'un échantillon) (m)
$\Delta h$	Variation de hauteur, tassement absolu (m)
$h_0$	La hauteur initiale sous la contrainte $\sigma'_0$ (m)
$h_1$	La variation de hauteur due au tassement primaire (m)
$H_{réf}$	Hauteur de référence (m)
H ( $t_c$ )	Hauteur d'un casier de stockage au cours du temps (m)
ICPE	Installations Classées Pour l'Environnement
ISDD	Installation de Stockage des Déchets Dangereux
ISDND	Installation de Stockage des Déchets Non Dangereux
ISPM	International Standard for Phytosanitary Measures
K	Coefficient de gonflement ( $kPa$ )
$K_{sat}$	La Conductivité hydraulique à saturation
$m$	La compressibilité du déchet ( $1/kPa$ )
$M_{so}$	La masse de solide organique contenue dans le déchet ( $kg$ )
$M_S^0$	La masse de solide totale initiale dans le déchet ( $kg$ )
MBT	Mechanical Biological Treatment
MNU	Médicaments non utilisés
<i>MODECOM<sup>TM</sup></i>	Méthode De Caractérisation des Ordures Ménagères
$n$	Le taux de compression
$\eta$	La Viscosité dynamique (Pa.s)
$(n_t)_0$	La Porosité totale initiale du déchet
OM	Ordures Ménagères
OMR	Ordures Ménagères Résiduelles
P	La pression des fluides interstitiels
PVC	Permanent Virtual Circuit
$\rho$	La masse volumique ( $t/m^3$ )
$\rho_s$	Les masses volumiques du solide ( $t/m^3$ )
$\rho_{sp}$	Les masses volumiques du solide organique ( $t/m^3$ )
$\rho_i$	La constante cinétique de biodégradation de premier ordre ( $1/an$ )
$\rho_{si}$	La masse volumique de cette même fraction ( $kg/m^3$ )

REP	Responsabilité élargie du producteur
SNAT	Schéma national d'aménagement du territoire
SPE	Suivi-Post Exploitation
SUP	Servitudes d'Utilités Publiques
$\sigma'$	Contrainte effective ( $kPa$ )
$\sigma$	Contrainte ( $kPa$ )
$\sigma_{ij}$	Composante du tenseur des contraintes
$\Delta\sigma'$	Surcharge effective appliquée
$\gamma$	Poids volumique ( $kPa$ )
t	Temps (s)
$t_c$	Temps de construction d'une colonne de déchet (couverture incluse) (mois)
$t_{réf}$	Un temps de référence introduit par souci d'homogénéité ( $j$ )
$t_B$	Le temps correspondant au début du tassement
$u'$	Composante du vectrice vitesse nodale.
VHU	Véhicules Hors d'Usage
$V^0$	Le volume total initial du déchet ( $m^3$ )
$\nu$	Coefficient de Poisson
$W_p$	Tassement primaire de surface (modèles globaux) (m)
$x$	Paramètre lié au degré de saturation
$x'$	Coefficient intrinsèque au matériau
$x_i$	Composante du vecteur de position
Z	Profondeur (m)
$\varepsilon$	Déformation (ou tassement relatif) du déchet(%)
$\varepsilon_1$	Le tassement primaire
$\varepsilon_2$	Le tassement secondaire
$\varepsilon_{fin}$	Le tassement ultime de la colonne de déchets (m/m)
$\varepsilon_b$	Le tassement secondaire par la biodégradation ou biologique global
$\phi$	Angle de frottement interne du déchet ( $^\circ$ )
$\lambda/b$	Taux de compression secondaire ( $jour^{-1}$ )

## Abstract

This dissertation is the study of the behavior of class II waste repositories; the filling of storage centers allows the confinement of waste. However, they may be subjected to significant deformations due to the settlement of the underlying waste. Indeed, waste is a material that evolves over time, in particular because of the phenomena of degradation of organic matter. The interests of the study of settlement are as follows:

- Environmental and safety interest: Impact on laying and durability of roofing, biogas capture efficiency, slope stability ...;
- Economic interest: Prediction of the storage capacity of an installation and optimization of the operating life.

The settlement in municipal solid waste (MSW) is mainly attributable to: (1) Mechanical processes that include particle reorientation and collapse of voids; (2) Chemical processes that include corrosion, combustion and oxidation; (3) Processes for the dissolution of substances soluble in liquids by percolation and then the formation of leachates; (4) The biological decomposition of the organic components over time as a function of the humidity and the quantity of organic matter present in the waste. Significant settlement occurs shortly after placement of waste due to the physical and mechanical process, which is often referred to as primary settlement.

The particular physico-geomechanical characteristics of the waste differ from those of particulate materials such as soils, but remain very poorly known. We have tried to characterize by a geotechnical approach the "waste material" by defining its own parameters. After a literature search on the mechanisms and patterns of waste settlement, we used a viscoplastic model to predict the settlement of a waste column in elementary layers. We applied this model to the compaction measurements. We present in this dissertation the evolution of the long term settlement and the first results obtained.

**Keywords:** Waste , MSW, ISDND, Modeling, FLAC, Settlement.

# Sommaire

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

## *Chapitre I : la gestion des déchets*

I.1 Introduction.....	3
I.2 Le contexte général de la gestion des déchets .....	3
I.2.1 Définition de déchet .....	3
I.2.2 Catégories de déchets .....	4
I.3 La gestion des déchets .....	5
I.3.1 Techniques de gestion des déchets.....	7
I.4 Responsabilités .....	11
I.4.1 Responsabilité pénale des chefs d'établissement.....	11
I.4.2 Responsabilité des personnes morales .....	11
I.4.3 Responsabilité civile .....	12
I.4.4 Responsabilité élargie du producteur(REP) .....	12
I.5 Conclusion .....	12

## *Chapitre II : Les caractéristiques des déchets*

II.1 Introduction.....	14
II.2 La phase solide .....	14
II.2.1 Composition.....	15
II.2.2 Granulométrie .....	16
II.2.3 Classification.....	17

II.3 La phase Liquide .....	19
II.3.1 Composition.....	19
II.3.2 Viscosité dynamique.....	21
II.3.3 Teneur en eau.....	21
II.3.4 La température .....	21
II.3.5 Porosités.....	22
II. 3.6 Perméabilité .....	23
II.3.7 Poids volumique.....	24
II.4 La phase gazeuse .....	25
II.4.1 Composition.....	25
II.4.2 Masse volumique du biogaz.....	26
II.4.3 Viscosité dynamique du biogaz .....	26
II.5 Conclusion.....	26

### ***Chapitre III : Les installations de stockage des déchets non dangereux***

III.1 Introduction .....	27
III.2 Définition et réglementation.....	27
III.3 Implantation du site.....	28
III.4 Structure d'une installation de stockage de déchets non dangereux .....	29
III.4.1 L'aire de stockage et sa sécurisation .....	30
III.4.2 Les effluents : collecte et traitement.....	31
III.5 Les déchets admis.....	32
III.5.1 Types de déchets .....	32
III.5.2 Leur composition globale.....	33
III.6 La phase d'exploitation .....	34

III.6.1 L'enfouissement .....	34
III.6.2 Le suivi des émissions et des eaux souterraines.....	35
III.7 Le suivi post-exploitation.....	36
III.8 La cellule de stockage .....	37
III.8.1 Structure d'une cellule .....	37
III.8.2 Etanchéité en fond et sur les flancs de la cellule.....	38
III.8.3 Couverture.....	38
III.9 Gestion d'une ISDND.....	39
III.10 Conclusion.....	40

## ***Chapitre IV : L'évolution des déchets en ISDND***

IV.1 Introduction.....	41
IV.2 La recirculation .....	41
IV.2.1 Les avantages.....	42
IV.2.2 Les inconvénients.....	43
IV.3 Le bioréacteur .....	43
IV.3.1 Les avantages et les inconvénients.....	44
IV.4 Prétraitement .....	45
IV.5 La dégradation des déchets .....	45
IV.6 Facteurs conditionnant la dégradation des déchets en ISDND .....	45
IV.6.1 Configuration du site.....	45
IV.6.2 Caractéristiques des déchets.....	45
IV.6.3 Humidité .....	46
IV.6.4 Température .....	46
IV.6.5 Oxygène .....	46
IV.6.6 PH.....	46



IV.7 Accélération des processus de dégradation.....	47
IV.7.1 Broyage.....	47
IV.7.2 Compactage.....	47
IV.7.3 Addition d'éléments.....	47
IV.7.4 Pré-compostage.....	47
IV.7.5 Recirculation de lixiviats.....	48
IV.8 Ecocompatibilité, stabilité fonctionnelle, stabilité du massif de déchet.....	48
IV.9 Conclusion.....	48

## ***Chapitre V : Analytique du tassement des déchets***

V.1 Introduction.....	50
V.2 Définition et hypothèse.....	50
V.3 Comportement mécanique du déchet.....	50
V.3.1 Mécanismes du tassement.....	50
V.3.2 Facteurs d'influence du tassement.....	53
V.3.3 Compactage et préconsolidation du déchet.....	54
V.4 Évaluation des tassements sous l'effet d'un rechargement.....	55
V.5 Modélisation analytique des tassements des déchets.....	56
V.5.1 Les Modèles de prédiction du comportement mécanique des matériaux déchets.....	56
V.5.2 Modèles rhéologiques et application aux déchets.....	58
V.5.3 Modèles empiriques et application au déchet.....	59
V.5.4 Les modèles bio-mécaniques de tassement.....	60
V.6 Conclusion.....	60

## ***Chapitre VI : Modélisation d'une cellule de stockage de déchet***

VI.1 Introduction.....	62
VI.2 Principe de résolution numérique dans du logiciel <i>FLAC</i> <sup>2D</sup> .....	62
VI.3 Les différences finis .....	62
VI.4 Schéma de résolution explicite.....	64
VI.5 Modèles rhéologiques .....	66
VI.6 Les grandes classes de comportement .....	66
VI.6.1 Ressort.....	66
VI.6.2 Amortisseur .....	66
VI.6.3 Patin.....	67
VI.7 Choix des lois de comportement.....	68
VI.7.1 Comportements viscoélastique.....	68
VI.7.2 Comportements rigides-parfaitement plastiques .....	68
VI.7.3 Comportements plastiques .....	68
VI.7.4 Comportements viscoplastiques .....	68
VI.8 La viscoplasticité.....	69
VI.9 Le fluage .....	69
VI.10 Modèles rhéologiques viscoplastiques.....	70
VI.10.1 Modèle de Maxwell.....	70
VI.10.2 Modèle de Voigt.....	70
VI.11 Mohr Coulomb.....	71
VI.12 Modèle viscoplastique de Burgers-Creep(en Flac).....	72
VI.13 Description générale du modèle.....	76
VI.13.1 Propriétés mécaniques des déchets.....	77
VI.13.2 Unité de poids.....	77
VI.13.3 Les paramètres élastiques (le module de Young et le ratio de Poisson) .....	80

VI.13.4 Cohésion and friction angle.....	82
VI.13.5 Propriétés mécaniques des sols .....	84
VI.14 Représentation de modélisation par FLAC .....	85
VI.15 Conclusion .....	94
Conclusion générale.....	95

## Introduction Générale

Les centres de stockage des déchets (CSD) deviennent des ouvrages de plus en plus techniques au sein des quels interagissent des matériaux naturels (argile, sable), artificiels (géosynthétiques) et des déchets dont le comportement est variable à la fois dans le temps et dans l'espace. Ces interactions restent relativement méconnues car, si l'on appréhende relativement bien le comportement des argiles ou des géosynthétiques en conditions dites normales, le comportement des déchets, par leur hétérogénéité et leur caractère évolutif, est marqué par un grand nombre d'inconnues.

Ce mémoire porte sur une étude de l'évolution du tassement de déchets non dangereux à différentes âges.

Dans le premier chapitre on présentera une introduction aux enjeux et aux données majeures concernant la gestion des déchets et leurs techniques, des définitions des différents types de déchets sont énoncées, leur composition type et les tendances en termes de composition et de production de déchets sont discutées.

Dans le Chapitre II est consacré à la description des propriétés physiques du déchet, Les matériaux caractérisés et plus généralement dans l'ensemble de ce mémoire par le terme 'déchet' renvoient aux déchets ménagers et assimilés (déchets verts, refus de tri et d'incinération, encombrants et mâchefers non recyclables essentiellement) auxquels s'ajoutent les déchets industriels banals (DIB).

Dans Le chapitre III on mis en évidence la structure d'une installation de stockage de déchets non dangereux, la structure d'une cellule et leur gestion, les types des déchets et leur composition.

Le chapitre IV explique le prétraitement et aussi les facteurs conditionnant la dégradation de déchet et leur écocompatibilité.

Le chapitre V résume les modèles du comportement mécanique, rhéologique, empirique, bio-mécanique et leurs facteurs d'influence du tassement.

Dans le chapitre VI on propose un modèle de comportement pour prédire les tassements des déchets solides municipaux, sur la base d'un 'état critique et incorporant les déformations en

## Introduction générale

---

fonction du temps dues au fluage mécanique pour prédire la déformation totale des installations de stockage des déchets non dangereux –ISDND-.

Nous avons utilisé l’logiciel FLAC pour modéliser le comportement mécanique d’un CSD et en fin on a exposé les résultats du tassement final et des déformations horizontales ,dans notre cas la couche trop épaisse a été subdivisée en sous-couches donc il faut cumuler les tassements des couches élémentaires pour obtenir le tassement en un point du massif.

A la fin de ce mémoire, une conclusion générale a été faite concernant les résultats obtenus.

An orange scroll graphic with a light-to-dark orange gradient and a thin orange border. The scroll is unrolled in the center, with the top and bottom edges curling upwards and downwards respectively. The text is centered on the unrolled portion.

***CHAPITRE I***

***LA GESTION DES DECHETS***

# ***CHAPITRE I***

## ***LA GESTION DES DECHETS***

### **I.1 Introduction**

Avec la croissance rapide des populations urbaines et l'évolution des modes de consommation, la gestion des déchets constitue au niveau mondial un enjeu majeur. La production mondiale de déchets solides municipaux aurait ainsi doublé ces dix dernières années, soulevant de nombreux défis en termes de protection de l'environnement ou de santé publique.

Les opportunités de développement économique liées à la gestion des déchets restent très importantes s'ils sont utilisés comme des ressources, à travers des actions de réemploi, de recyclage ou de valorisation.

### **I.2 Le contexte général de la gestion des déchets**

#### **I.2.1 Définition de déchet**

La quantité perdue dans l'usage d'un produit, ce qui en reste après son utilisation. Ce terme tend à désigner tout objet ou substance ayant subi une altération d'ordre physique ou chimique, ou qui ne présente plus d'utilité et destiné à l'élimination ou au recyclage, les déchets peuvent être classés en trois types :

##### **I.2.1.1 Les déchets dangereux**

Qui présentent une ou plusieurs propriétés dangereuses (comburant, inflammable, explosif, corrosif, cancérigène...)

##### **I.2.1.2 Les déchets non dangereux**

Sont les déchets qui ne présentent aucune des caractéristiques relatives à la "dangerosité". Ce sont les déchets "banals" des entreprises, souvent assimilés aux ordures ménagères car ils présentent les mêmes composants et ont des modes de traitement ou des conditions d'élimination similaires.

Par exemple : matières plastiques (PVC, PE, polystyrène, ...), bois non traités, métaux, films plastiques, palettes, cartons, emballages non souillés, ...

### I.2.1.3 Les déchets inertes

Qui ne sont pas dangereux et ne contiennent pas de constituants évolutifs. Ils « ne se décomposent pas, ne brûlent pas et ne produisent aucune autre réaction physique ou chimique, ne sont pas biodégradables et ne détériorent pas d'autres matières avec lesquelles ils entrent en contact, d'une manière susceptible d'entraîner une pollution de l'environnement ou de nuire à la santé humaine.

Dans ce manuscrit, seuls les déchets non dangereux sont étudiés et, par conséquent, lorsque le terme déchet sera par la suite utilisé il désignera les déchets non dangereux.

## I.2.2 Catégories de déchets

Les déchets sont regroupés en trois grandes catégories :

- Les déchets agricoles.
- Les déchets ménagers et assimilés.
- Les déchets industriels.

### I.2.2.1 Les déchets agricoles

Désigne un déchet qui provient de l'agriculture, de la sylviculture et de l'élevage, constitué de déchets organiques (résidus de récolte, déjections animales) et de déchets dangereux (produits phytosanitaires non utilisés, emballages vides ayant contenus des produits phytosanitaires, ...).

### I.2.2.2 Les déchets ménagers et assimilés

Les communes ou les établissements publics de coopération intercommunale assurent, éventuellement en liaison avec les départements et les régions, l'élimination des déchets des ménages. Ces collectivités assurent également l'élimination des autres déchets définis par décret, qu'elles peuvent, eu égard à leurs caractéristiques et aux quantités produites, collecter et traiter sans sujétions techniques particulières. Il faut distinguer :

- A. Les déchets ménagers :**(déchets produits par les ménages) qui se composent des :
- Ordures ménagères collectées dans le cadre des tournées de ramassage organisées par les municipalités.
  - Déchets volumineux ou "encombrants" soit collectés en porte à porte, soit réceptionnés dans une installation mise à la disposition des ménages.
  - Déblais et gravats produits par les ménages réceptionnés dans des déchetteries ou des dépôts réservés aux seuls déchets inertes.



- Déchets ménagers spéciaux (DMS), ne pouvant en raison de leur danger être éliminés sans risques avec les déchets ménagers. Ils sont réceptionnés dans des déchetteries équipées à cet effet.
  - Déchets végétaux issus de l'habitat pavillonnaire.
  - Déchets de l'automobile (huiles, épaves, batteries, pneus, ...).
- B. Les déchets des espaces publics :**(rues, marchés, égouts, espaces verts) ou des établissements publics (administrations, écoles, hôpitaux, casernes).
- C. Les déchets artisanaux et commerciaux.**
- D. Les déchets assimilables aux ordures ménagères :** synonymes de déchets industriels banals (DIB), ne sont pas des déchets des ménages mais peuvent être éliminés dans les mêmes installations que les ordures ménagères.

### I.2.2.3 Les déchets industriels

Ils sont classés, selon leurs caractères plus ou moins polluants en trois grandes catégories :

- A. Les déchets industriels spéciaux (D.I.S.) :** contiennent des éléments polluants en concentration plus ou moins forte. Ils présentent certains risques pour la santé de l'homme et l'environnement.
- B. Les déchets industriels banals (D.I.B.) :** appelés quelquefois déchets industriels assimilés aux déchets ménagers, sont constitués de déchets non dangereux et non inertes. Ils contiennent effectivement les mêmes composants que les déchets ménagers mais en proportions différentes. Le traitement et l'élimination de ces déchets sont couverts par le même plan départemental ou interdépartemental que celui des déchets ménagers. *f*
- C. Les déchets industriels inertes :** sont des déchets non susceptibles d'évolution physique, chimique ou biologique importante. Ils sont essentiellement constitués de déblais et gravats et ne doivent pas être mélangés avec d'autres déchets. Les dépôts de déchets inertes sont souvent à l'origine de décharges sauvages.

## I.3 La gestion des déchets

La gestion des déchets, une des branches de la rudologie appliquée, est la collecte, le transport, le traitement (le traitement de rebut), 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.

L'environnement. L'une de ses conséquences les plus inquiétantes dans le monde en développement, et particulièrement en Afrique, réside d'ailleurs dans les problèmes de gestion des déchets solides, liquides et toxiques.

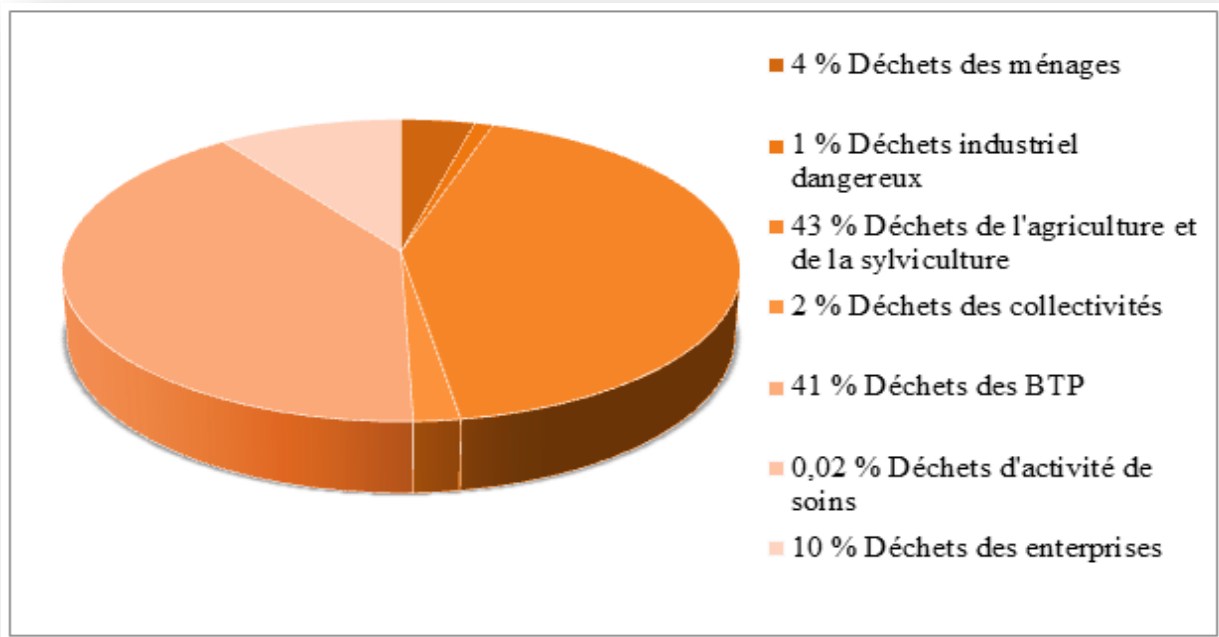
En Algérie, de fortes pressions sur l'environnement été enregistré notamment dans le domaine de service de déchets municipaux. Cette situation se caractérise par une dégradation de plus en plus d'hygiène et de salubrité publique malgré la volonté et les grands efforts déployés par l'État. Par ailleurs, l'Algérie vise à travers le schéma national d'aménagement du territoire (SNAT) pour 2025 en matière de la politique de la ville à atteindre des objectifs en matière de sécurité et de qualité des services publics : eau, déchets, éducation, santé.... L'état de l'environnement actuel en Algérie est marqué par cinq facteurs :

- Le problème de la salubrité publique.
- L'insuffisance des moyens humains et matériels.
- La saturation des décharges.
- L'augmentation des coûts d'élimination.
- L'augmentation de la production totale et le ratio par habitant.

Aujourd'hui, en Algérie, il est impératif de réhabiliter les milliers de décharges sauvages qui encombrant nos communes et sont autant de sources de désagréments et de nuisance pour le citoyen, de même qu'elles sont à l'origine d'une pollution intempestive du milieu et des ressources naturelles. La solution qui semble la plus appropriée étant de les remplacer par des Centres d'enfouissement technique (CET). En règle générale, ces derniers se présentent sous la forme d'un ensemble d'excavations, appelées casiers, imperméabilisées à l'aide de géomembrane (géotextile), à l'intérieur desquelles sont déversés et stockés les déchets ménagers dépourvus des produits recyclables. A ce jour, plus d'une centaine de CET ont été réalisés à travers tout le territoire national, dont plus d'une quarantaine ont été mis en exploitation. Le gouvernement a pris conscience de l'importance de gérer efficacement les déchets et du recyclage de certaines catégories, comme le verre, le plastique, le carton etc. Comme quoi, l'Algérie peut prétendre avoir trouvé la voie pour se débarrasser définitivement de ces maudites décharges qui hantent ses villes et conquièrent ses villages.

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (Ademe) propose régulièrement des enquêtes sur la production et la gestion des déchets en France. D'après l'enquête réalisée en 2006 (Ademe, 2009), 868 millions de tonnes de déchets ont été produites cette année-là.

La répartition de ces déchets selon les différents secteurs de production est donnée (La Figure. 1.1).



*Fig.1.1: Répartition des déchets en France par secteurs de production (Ademe, 2009)*

Les déchets dans leur ensemble sont différenciés puis gérés selon plusieurs types. On peut noter en particulier les déchets dangereux, les déchets non dangereux et les déchets inertes. Dans ce manuscrit, seuls les déchets non dangereux sont étudiés et, par conséquent, lorsque le terme déchet sera par la suite utilisé il désignera les déchets non dangereux. Selon les statistiques fournies par l'Ademe (Ademe, 2009) la production de déchets non dangereux en 2006 était de 354 kg produits par habitant et par an pour les ménages français. Les études fournies par l'Ademe tendent à démontrer une stabilisation de la production de déchets par les ménages depuis une dizaine d'années.

### **I.3.1 Techniques de gestion des déchets**

Généralement, il y a deux techniques de gestion des déchets et des ordures ménagères: procédés classiques et procédés modernes.

#### **I.3.1.1 Procédés classiques**

Ce sont des techniques de gestion traditionnelle des ordures ménagères dans lesquelles on utilise des méthodes non appropriées et non contrôlées pour éliminer les ordures ménagères. Ces méthodes sont les décharges sauvages, l'incinération, l'enfouissement non contrôlé et le déversement des ordures dans les endroits non appropriés.

### I.3.1.2 Procédés modernes

A côté des procédés classiques de gestion des ordures ménagères, il existe des procédés modernes visant à récupérer des matières premières ou à permettre une valorisation de déchets. Ici les déchets ne sont pas considérés comme des débris dont il faut se débarrasser mais plutôt comme une matière première ou comme une ressource à valoriser. Parmi ces procédés, on note:

- A. La décharge contrôlée :** c'est un procédé le plus simple et souvent le plus économique dans la mesure où les coûts d'approche sont limités. C'est un procédé le plus utilisé dans les nombreux pays pour les ordures ménagères et pour certains déchets industriels.



*Fig.1.2: La décharge des déchets*

- B. La production de combustible solides stockables :** se présentant sous forme des granulés ou de flacons et pouvant être utilisés moyennement quelques adaptations.



**Fig.1.3: Stockables solides**

Hormis les procédés modernes précités, il y a aussi d'autres procédés modernes de traitement des ordures:

- C. L'incinération :** technique qui consiste à brûler les déchets pour les transformer. Par ce procédé, la matière organique est complètement détruite, ce qui permet une réduction considérable du volume des rebuts. La chaleur produite peut servir de sources de chauffage à édifices, à des serres ou pour d'autres fins.



*Fig.1.4: L'incinération des déchets*

- D. L'enfouissement sécuritaire :** les déchets sont disposés en couches successives d'environ 2 m d'épaisseur à l'aide de niveleuses spéciales. Entre deux couches des déchets, on étend une couche de terre de 15 cm à 30 cm d'épaisseur. Les bactéries se trouvant dans la terre vont dégrader les détritiques organiques qui lui avaient été empruntés. En plus d'être un processus de recyclage écologique, sa réglementation stricte en fait une solution très acceptable du point de vue économique. Ce procédé ne doit pas être utilisé pour les déchets toxiques ou non biodégradables.



*Fig.1.5: L'enfouissement des déchets dans un site*

**E. Compostage** : technique qui consiste à faire fermenter rapidement les produits fermentescibles contenus dans les déchets urbains. Il en résulte un compost utilisé principalement pour enrichir les terres agricoles comme engrais organique, il a aussi un avantage écologique. Mais ce procédé nécessite une séparation des déchets.



*Fig.1.6: Compostage des déchets urbains*

**F. Traitement mixte** : ici il y a combinaison de ces trois procédés précédents. Cette combinaison peut être de diverses façons : incinération et enfouissement sécuritaire, compostage et incinération.



*Fig.1.7: Traitement mixte*

## **I.4 Responsabilités**

La législation sur les déchets repose sur la transparence de l'ensemble des opérations (dépôts, stockage, transport, élimination). Le producteur de déchets doit pouvoir justifier de la destination de ses déchets et fournir toutes informations aux agents verbalisateurs. La responsabilité pénale des chefs d'établissement et des personnes morales pourra donc être recherchée en cas de manquement.

### **I.4.1 Responsabilité pénale des chefs d'établissement**

- Refuser de fournir à l'administration les informations visées ou fournir des informations inexactes.
- Refuser de fournir à l'administration les informations visées ou fournir des informations inexactes, ou se mettre volontairement dans l'impossibilité matérielle de fournir ces informations.
- Abandonner, déposer ou faire déposer, dans des conditions contraires aux dispositions, des déchets appartenant aux catégories visées et énumérés dans son texte d'application.
- Remettre ou faire remettre des déchets à tout autre que l'exploitant d'une installation agréée, en méconnaissance et mettre obstacle à l'accomplissement des contrôles ou à l'exercice des fonctions des agents prévus.

### **I.4.2 Responsabilité des personnes morales**

Les personnes morales peuvent être déclarées responsables pénalement dans les conditions prévues.

### **I.4.3 Responsabilité civile**

La responsabilité civile des établissements publics peut également être recherchée devant les tribunaux administratifs pour les dommages ou les nuisances causés aux tiers.

### **I.4.4 Responsabilité élargie du producteur (REP)**

Le producteur est ici entendu comme la personne qui fabrique, importe ou introduit sur le marché les produits et équipements concernés. Les producteurs, importateurs et distributeurs de produits peuvent se voir imposer de pourvoir ou de contribuer à la gestion des déchets provenant de ces produits ou des éléments et matériaux entrant dans leur fabrication.

La responsabilité élargie du producteur (REP) fait ainsi peser la responsabilité de la gestion des déchets sur le producteur du produit ou de l'équipement générateur du déchet.

Les déchets concernés par la REP sont les suivants :

- Les déchets d'emballages ménagers
- Les déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE)
- Les véhicules hors d'usage (V.H.U.)
- Les pneumatiques usagés
- Les piles et accumulateurs usagés
- Les textiles usagés
- Les déchets de papiers graphiques
- Les médicaments non utilisés (MNU)
- Les déchets diffus spécifiques (DDS) ménagers
- Les déchets d'éléments d'ameublement (DEA)
- Les déchets d'activité de soin à risque infectieux (DASRI)

## **I.5 Conclusion**

La question des déchets est quotidienne et touche chaque individu tant sur le plan professionnel que familial. En tant que consommateur, jeteur, usager du ramassage des ordures ménagères, et trieur de déchets recyclables, citoyen ou contribuable, chacun peut et doit être acteur d'une meilleure gestion des déchets. Des gestes simples permettent d'agir concrètement pour améliorer le cadre de vie et préserver le bien-être de chacun : chaque citoyen peut jeter moins et jeter mieux. Différentes lois, regroupées et inscrites dans le code de l'environnement, fixent les objectifs à respecter pour gérer correctement les déchets :



- Prévenir ou réduire la production et la nocivité des déchets.
- Organiser le transport des déchets.*f*
- Valoriser les déchets par réemploi, recyclage ou toute action visant à obtenir des matériaux réutilisables ou de l'énergie. *f*
- Informer le public des effets pour l'environnement et la santé publique.*f*
- Limiter le stockage définitif aux seuls déchets résiduels, ultimes.

Le code de l'environnement oblige tous les producteurs de déchets, et donc tous les établissements d'enseignement supérieur et de recherche, à assurer ou à faire assurer l'élimination de leurs déchets dans des conditions propres à éviter lesdits effets.

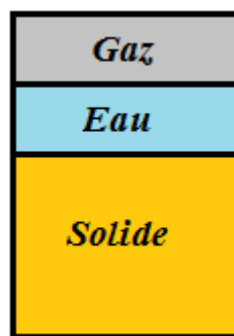
Aujourd'hui, chaque agent d'établissement public, en tant que citoyen, fait le geste simple et déterminant de trier ses déchets en les déposant selon leur nature dans des bacs verts, jaunes, bleus, dans des sacs papiers.

An orange scroll graphic with a light-to-dark gradient, featuring a vertical strip on the left and a horizontal strip at the bottom, with rounded corners and a shadow effect. The text is centered on the horizontal strip.

***CHAPITRE II***  
***LES CARACTERISTIQUES DES***  
***DECHETS***

**CHAPITRE II****LES CARACTERISTIQUES DES DECHETS****II.1 Introduction**

Le déchet est un milieu polyphasique constitué de solide, liquide et gaz en proportions variables. Pour l'approche bio-hydro-mécanique, le déchet est assimilé à un milieu poreux aux propriétés hétérogènes dans le temps et dans l'espace pour chacune des trois phases. Sa spécificité par rapport aux études de milieux poreux en mécanique ou en hydrologie des sols est due aux phénomènes de biodégradation d'une partie de sa matière organique par les microorganismes. Dans ce Chapitre II, une revue des propriétés physiques de chacune des phases est présentée ainsi que quelques notions relatives à la biodégradation de la phase solide organique. Notons encore une fois que l'emploi du terme « bio » dans « bio-hydrromécanique » n'a pas la prétention d'inclure l'étude de tous phénomènes et couplages biologiques et biochimiques. Il montre cependant l'importance de ces phénomènes sur le tassement et la circulation des fluides, objets de nos études.



*Fig.2.1 : Différentes phases composant le déchet*

**II.2 La phase solide**

Les éléments constitutifs du déchet sont de nature, de taille et de forme très différente. Certains éléments sont déformables sous compression mécanique (putrescibles, cartons, etc.) et d'autres quasiment indéformables (bois, verre, métaux, etc.). De plus, la fraction organique biodégradable va être transformée au cours du temps. La composition de la phase solide évolue ainsi par ces phénomènes de biodégradation.

### II.2.1 Composition

Le déchet est un milieu polyphasique constitué de solide, liquide et gaz en proportions variables. La phase solide, considérée comme inerte et non déformable pour les sols, peut être séparée schématiquement en 3 catégories (matière inerte, matière déformable et matière décomposable). La phase liquide, quant à elle, est composée de résidus liquides provenant de la décomposition des déchets organiques et d'eau de percolation provenant des précipitations. La phase gazeuse, enfin, est composée d'air et de gaz essentiellement organiques ou azotés issus de la décomposition de la matière organique.

La composition des déchets varie d'une région à l'autre en fonction du degré de développement, de l'urbanisation, du système de collecte sélective les grandes métropoles internationales représentent dans (Le tableau.2.1) :

Composition (%)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Déchets putrescibles	44	45	74	15	20	61	28	59	71	58
Papier et carton	25	5	12	3	22	10	31	19	2	16
Plastique	-	1	5	-	-	3	9,5	7	3	20
Cuir,bois,caoutchouc	7	1	-	7	3	6	4	4	1	-
Textile	3	-	-	10	-	3	5	-	-	-
Verre	1	1	4	10	6	1	9	2	1	2
Autres	19	46	2	22	46	14	11	5	21	1

*Tableau.2.1 : Composition des déchets ménagers par le monde d'après Manassero et al. (1997)*

Origines :

1. Bangkok (Thaïlande)
2. Pékin (Chine)
3. Nairobi (Kenya)
4. Hong-Kong (Chine)
5. New York (USA)
6. Istanbul (Turquie)
7. Genève (Suisse)
8. Athènes (Grèce)
9. Cochabamba (Bolivie)
10. Wollongong (Australie).

Composé de matière organique qui dans des conditions habituelles de stockage est amenée à se dégrader, le déchet se distingue des 'sols conventionnels' étudiés classiquement par les géomécánicosiens par son caractère évolutif. Les notions utilisées classiquement en mécanique des sols (poids volumique, teneur en eau et porosité notamment) devront donc être précisées dans le cadre d'une application à ce matériau particulier.

La détermination de la composition des déchets peut se faire en poids ou en volume. Traditionnellement, et encore aujourd'hui dans de certains pays, on s'est contenté de déterminer des volumes (Maystre et al., 1994) du fait de l'absence de dispositifs de pesage. Toutefois, le mode de caractérisation pondéral tend à se généraliser.

### II.2.2 Granulométrie

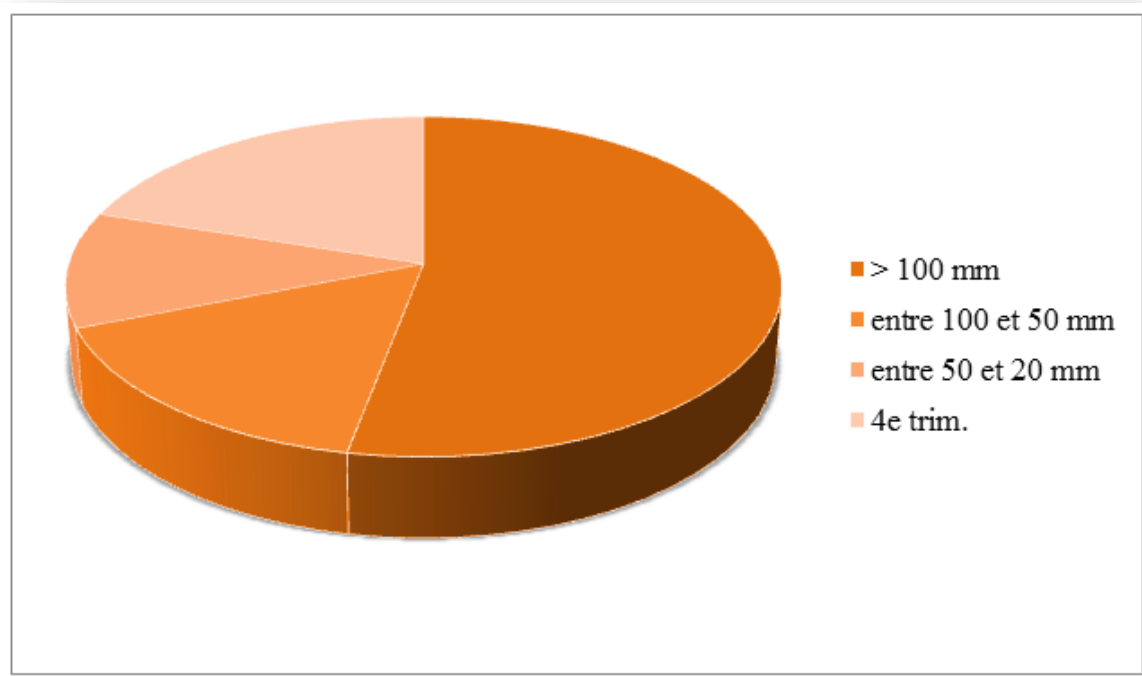
La connaissance de la taille et de la forme des éléments du déchet est essentielle pour comprendre la structure de la matrice solide et le comportement de celle-ci. Les éléments composant un déchet sont de tailles et formes fortement variables. Les éléments peuvent être d'une taille.

Catégorie	MODECOM <sup>TM</sup> 2007
Putrescibles	32,2% <sub>MR</sub>
Papiers	14,5 % <sub>MR</sub>
Cartons	7,0 % <sub>MR</sub>
Composites	2,0 % <sub>MR</sub>
Textiles	2,2 % <sub>MR</sub>
Textiles sanitaires	8,2 % <sub>MR</sub>
Plastiques	11,2 % <sub>MR</sub>
Combustibles non classés	2,3 % <sub>MR</sub>
Verres	11,0 % <sub>MR</sub>
Métaux	3,0 % <sub>MR</sub>
Incombustibles non classés	0,0 % <sub>MR</sub>
Déchets ménagers spéciaux	1,0 % <sub>MR</sub>
Eléments fins (<20mm)	5,4 % <sub>MR</sub>

*Tableau.2.2 : Composition moyenne d'un déchet français*

Une granulométrie a été réalisée après broyage. On y observe une augmentation des éléments fins. La granulométrie, comme la composition, varie avec le temps vers une plus grande proportion d'éléments fins (La figure.2.2). La forme des éléments est elle aussi variable. En particulier, certains composants (papiers, cartons, plastiques, ...) ont une forme en général aplatie. Cette forme, conjuguée au remplissage couche par couche d'une cellule

d'ISDND tend à générer une stratification du massif de déchet. Cette stratification est une origine possible de l'anisotropie du milieu (Stoltz, 2009).



*Fig.2.2: Exemple d'une granulométrie grossière (Reddy et al., 2009)*

### II.2.3 Classification

Les classifications traditionnelles relatives aux déchets sont multiples mais aucune ne se recoupe parfaitement (une catégorie de déchet peut ainsi se retrouver dans des classes différentes) ce qui rend difficile toute comparaison. La pertinence des différents critères de classification est fonction de l'utilisation qui en est fait mais aussi du point de vu adopté (biochimique, géomécanique, etc.).

Un premier type de classification consiste à subdiviser le déchet suivant ses fractions minérales ou organique. Cette méthode est proposée par Landva et Clark (1990) ou chaque fraction en quatre sous-catégories représentée dans (Le tableau .2.3) :

Catégorie	Sous-catégorie	Déchets
Organique	Putrescible (rapidement dégradable)	Déchets alimentaires, déchets verts, etc.
	Lentement dégradable	Papier, bois textiles, cuir, plastique, etc.
Minérale	Dégradable (partiellement corrosif)	Métaux
	Non dégradable	Verre, céramique, sols minéraux, gravats, cendres, béton, débris de construction, etc.

*Tableau.2.3 : Classification des déchets proposée par Landva et Clark (1990)*

Un deuxième type de classification largement utilisé dans les modèles de biodégradation [Aguilar-Juarez (2000), Aran (2001)] consiste à classer les déchets en fonction de leur vitesse de dégradation (Le tableau .2.4).

Classes du déchet solide	Eléments constitutifs
Rapidement biodégradable	Déchets alimentaires, Déchets verts (feuilles, végétaux), Boues
Moyennement biodégradable	Papiers, cartons
Lentement biodégradable	Textiles, déchets ligneux, bois
Inertes	Matière minérale (grave), métaux, plastiques

*Tableau.2.4 : Classification des déchets en fonction de leur vitesse de dégradation*

Un troisième type de classification est basé sur des critères géotechniques, notamment la résistance au cisaillement. Le déchet est alors vu comme un mélange de fibres (renforcement) contenu dans une matrice. Kolsch et al. (1995) ont proposé ce type de classification basée sur le concept de 'matériau fibreux'. Ils considèrent sept classes de matériaux suivant leurs caractéristiques de renforcement : papier / carton, matériaux synthétiques lisses (feuilles, caoutchouc, cuir, textiles), matériaux synthétiques durs (plastiques, cuir dur), métaux, minéraux (verre, céramique, sol), bois et résidus putrescibles. La taille des éléments est aussi

prise en considération à travers un tamisage de 8, 40 et 120 mm et un tri visuel pour les éléments compris entre 500 et 1000 mm.

La déformabilité des éléments peut également être un critère de classification. Une classification de ce type, la plus répandue à ce jour, a été proposée par Grisolia et al. (1995) qui suggèrent de séparer les constituants du déchet suivant de trois catégories : inertes, déformables et dégradables (Le tableau. 2.5).

Catégorie	Description
Inertes (éléments inertes rigides)	Matériaux non(ou très peu) dégradables et dont la résistance à la déformation est élevée. Sont concernés : particules de sol naturel, gravats, le verre, les céramiques, les métaux, les plastiques durs et aussi le bois
Déformables (éléments très déformables)	Dégradation est très lente Soumis à une charge, ces matériaux tendent à tasser instantanément du fait des vides importants caractérisant leur arrangement initial ; certains d'entre eux continuent à se déformer dans le temps sous charge constante sous l'effet du fluage Sont concernés : papiers, plastiques en feuilles, textiles, caoutchouc, pneus, etc.
Dégradables (éléments facilement dégradables)	Matériaux évoluant rapidement à la fois en termes de composition et de consistance Sont concernés : végétaux, déchets alimentaires, etc.

*Tableau 2.5 : Classification des déchets proposée par Grisolia et al., (1995)*

## II.3 La phase Liquide

### II.3.1 Composition

La phase liquide est en partie initialement présente dans les particules mais est aussi issue d'apports extérieurs (précipitations, infiltration d'eau souterraine, injection). La phase liquide d'un déchet est généralement appelée lixiviat. Elle est composée en très grande majorité d'eau (> 90 %) et contient en quantité variable les éléments suivants :

- Des substances organiques dissoutes
- Des macro-composés inorganiques composés d'ions majeurs

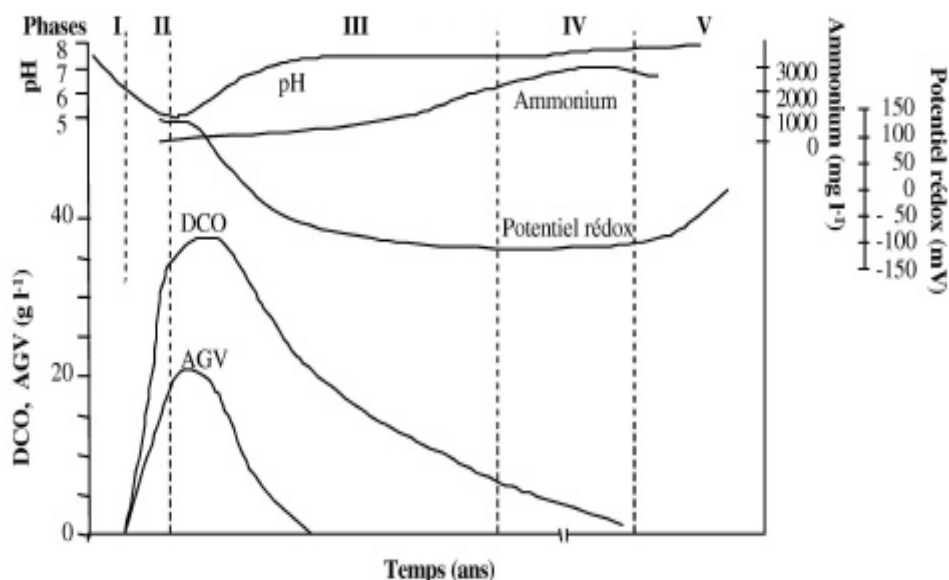


- Des métaux lourds (zinc, plomb, cadmium...)
- Des composés organiques de type hydrocarbures, pesticides ...
- Des microorganismes

Un lixiviat issu d'une ISDND contient en quantités variables :

- Des matières organiques et minérales dissoutes et en suspension. La quantification de la matière sèche est réalisée par passage d'un échantillon à l'étuve à 105°C et la distinction entre matières organique et minérale est obtenue par calcination à 550°C.
- Des anions ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ , etc....)
- Des cations (ion ammonium  $\text{NH}_4^+$ , ion potassium  $\text{K}^+$ , ion calcium  $\text{Ca}^{2+}$ , ion magnésium  $\text{Mg}^{2+}$ , ion sodium  $\text{Na}^+$ ) dont des métaux (plomb Pb, chrome Cr, zinc Zn, manganese Mn, cadmium Cd, fer Fe, aluminium Al, nickel Ni, cuivre Cu, etc.) sous forme oxydes.
- des microorganismes,
- des particules en suspensions solides.

La composition des lixiviats dépend de la qualité des déchets enfouis et est variable dans le temps. (La figure.2.3) présente son évolution en fonction des étapes de la dégradation du déchet.



**Fig2.3 : Evolution de la composition du lixiviat au cours de la biodégradation**

*(Pohland et Kim, 1999)*

### II.3.2 Viscosité dynamique

La viscosité dynamique ( $\eta_L$  en Pa.s) est un paramètre caractéristique d'un liquide. Comme la masse volumique liquide, en général la valeur de l'eau ( $\eta_{eau} = 1,003 \times 10^{-3}$  Pa.s à  $20^\circ\text{C}$ )

$$\log\left(\frac{\eta}{\eta_{20^\circ\text{C}}}\right) = \frac{1,3(20-T(^{\circ}\text{C})) - 1,0 \times 10^{-3}(T(^{\circ}\text{C}) - 20)^2}{T(^{\circ}\text{C}) + 105} \quad \text{Eq.2.1}$$

### II.3.3 Teneur en eau

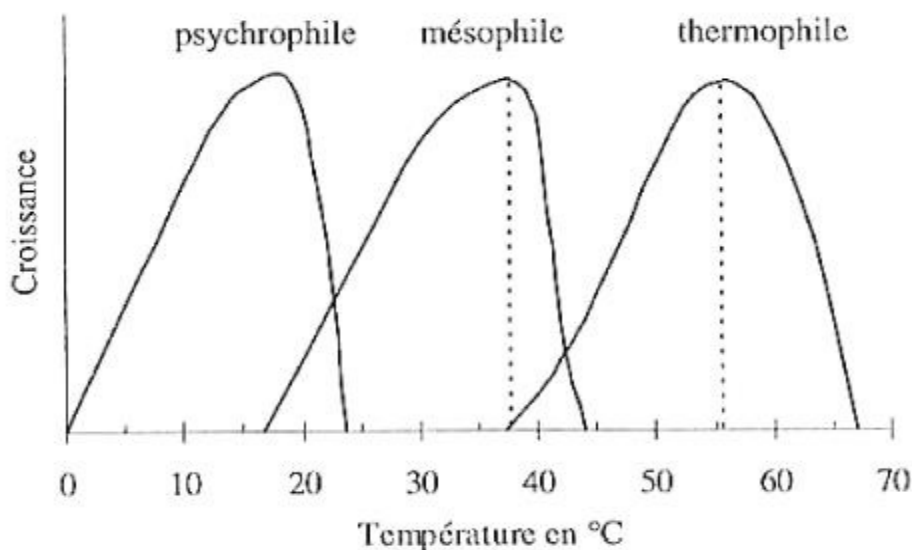
La répartition de l'eau dans le déchet et l'influence de la compression sur la teneur en eau sont en grande partie l'objet des travaux menés.

La teneur en eau est un facteur clé de la biodégradation des déchets. En effet, en plus d'être un facteur indispensable à toute vie bactérienne, l'eau est à la fois un réactant (hydrolyse), un vecteur de colonisation bactérienne et de diffusion des enzymes, des nutriments et des métabolites extracellulaires (Aguilar-Juarez, 2000). Elle facilite les contacts et le mélange entre le substrat à dégrader, les nutriments et les microorganismes. L'apport en eau permet également de diluer des inhibiteurs potentiels. La plupart du temps, seule la masse d'eau par quantité de déchet (masse sèche ou humide) est mesurée, ce qui ne prend pas en compte ces différents aspects.

### II.3.4 La température

La température est l'un des facteurs essentiels à la production de biogaz. Celle-ci détermine en effet la nature des populations microbiennes actives au cours de la dégradation et contrôle de ce fait la cinétique de décomposition. Suivant la température du milieu, trois types de populations bactériennes ont été répertoriées (dont la croissance est mise en évidence sur (La Figure.2.4).

- les bactéries psychrophiles ( $T < 20^\circ\text{C}$ ).
- les bactéries mésophiles ( $20^\circ\text{C} < T < 44^\circ\text{C}$ ).
- les bactéries thermophiles ( $T > 44^\circ\text{C}$ ).



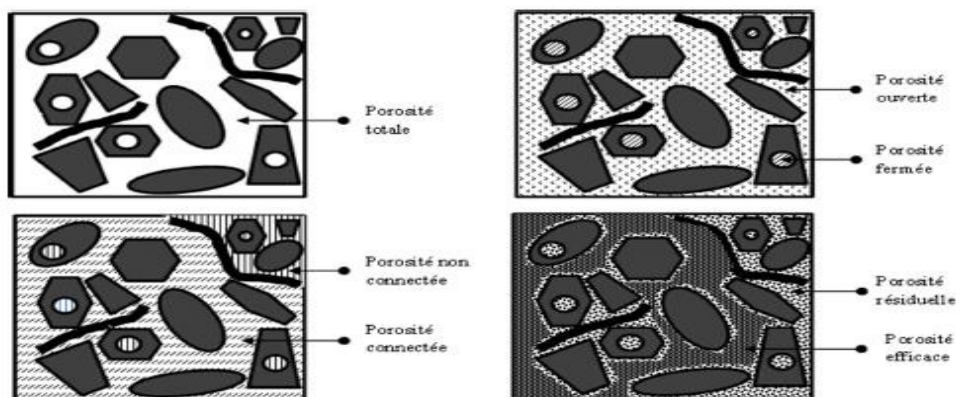
*Fig.2.4: Influence de la température sur la croissance des microorganismes (Lanini, 1998)*

L'augmentation de température a pour effet d'accroître la vitesse de réaction comme l'indique Harmon et al., (1993) : la production de biogaz augmente globalement avec la température jusqu'à un palier critique de 60 °C. Au-dessus de 70 °C, l'inactivation enzymatique empêche tout développement microbien (Mata-Alvarez, 2003).

Comme le montre (la Figure.2.4) il existe deux optima de température pour les microorganismes méthanogènes, dont un mésophile autour de 35 °C et un thermophile autour de 55 °C, ainsi qu'un minimum entre ces deux zones, entre 40 et 45 °C.

### II.3.5 Porosités

La porosité totale  $\varepsilon_T(m^3 \cdot m^{-3})$  correspond au volume des vides sur le volume total de milieu poreux. Cette variable indique la fraction de volume disponible aux fluides. Selon les types de représentations cette porosité totale peut être découpée de plusieurs manières.



*Fig2.5: Différentes définition de la porosité*

### II. 3.6 Perméabilité

La perméabilité caractérise la capacité d'un milieu à laisser s'écouler un fluide. Elle est souvent assimilée à la conductivité hydraulique à saturation  $K_{sat}$  (m/s), car c'est une valeur homogène à une vitesse souvent utilisée en hydrogéologie ou en géotechnique, que l'on définit par :

$$K_{sat} = \frac{q}{\Delta H/L} \quad \text{Eq.2.2}$$

Avec  $q$  le débit liquide spécifique ( $m^3/s.m^2$ ),  $\Delta H$  la perte de charge hydraulique consécutive à l'écoulement (m) et  $L$  la distance entre les deux points de mesure de la charge (m). Cette définition de la perméabilité se base sur la loi de Darcy, valable pour les sols, mais dont l'application au milieu déchet n'est pas toujours évidente (Bellenfant, 2001). De plus, le milieu déchet étant triphasique, la valeur de  $K_{sat}$  n'est pas toujours la plus pertinente pour décrire les écoulements de liquides mais aussi de gaz en son sein.

En fait, la perméabilité décrite ci-dessus masque une dépendance de la perméabilité à la viscosité dynamique du fluide  $\eta_{fluide}$ , c'est pourquoi on utilise souvent la perméabilité intrinsèque  $k$  ( $m^2$ ) définie par (Stoltz, 2009) :

$$K = \frac{\eta_{fluide}}{\rho_{fluide}} K_{satfluide} \quad \text{Eq.2.3}$$

Ainsi, la perméabilité intrinsèque ne dépend plus du fluide ou de la température. Des perméabilités peuvent être définies pour les deux fluides, le liquide et le gaz ( $K_l$  et  $K_g$ ), en fonction du degré de saturation (Stoltz, 2009).

Pour l'application au lixiviat, à 20°C, on a  $k/K_{sat l} = 1.31 \times 10^{-7}$  m.s, avec  $\eta_l \approx 1.30$  mPa.s et  $\rho_l \approx 1.009$  kg/L (Assaghir, 2009).

(Le tableau.2.6) donne quelques valeurs de perméabilités à saturation relevées dans la littérature. Globalement, la perméabilité à saturation des déchets est comprise entre  $10^{-7}$  et  $10^{-4}$  m/s pour la plupart des références citées, malgré l'utilisation de différentes techniques de mesure et de différents déchets. Cela correspondrait environ à un sable fin.

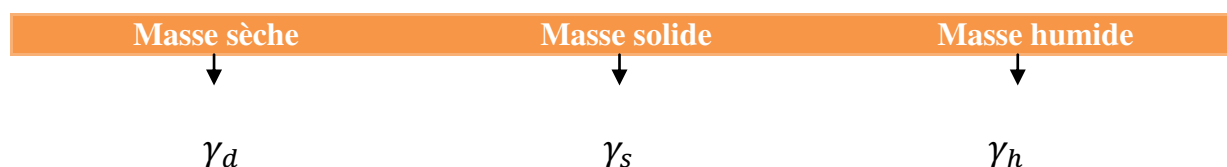
Auteurs	Valeurs de $K_{sat}$ (m/s)	Commentaires
Oweis et Khera, 1990	$10^{-7} - 10^{-5}$	Déchets en place, essai de puits
Beaven et Powrie, 1995	$1,7 \times 10^{-4} - 2 \times 10^{-4}$	Déchets frais
Bleiker et al., 1995	$10^{-9} - 10^{-6}$	Déchets frais
Chen et Chynoweth, 1995	$4,7 \times 10^{-7} - 9,6 \times 10^{-4}$	Déchets frais
Gawande et al., 2005	$1,2 \times 10^{-5} - 2,5 \times 10^{-5}$	Déchets en place, essai de puits
Durmusoglu et al., 2006	$10^{-6} - 10^{-4}$	Déchets frais
Jain et al., 2006	$5,4 \times 10^{-8} - 6,1 \times 10^{-7}$	Déchets en place, essai de puits
Capelo et de Castro, 2007	$1,7 - 10^{-6}$	Déchets frais
Olivier et Gourc, 2007	$10^{-6} - 10^{-4}$	Déchets frais
Reddy et al., 2009	$10^{-7} - 10^{-4}$	Déchets en place extraits
Stoltz, 2009	$10^{-6} - 10^{-4}$	Déchets frais

Tableau 2.6 : Valeurs de perméabilités à saturation  $K_{sat}$  relevées dans la littérature

### II.3.7 Poids volumique

Le poids volumique ( $\gamma$ ) fixe la relation entre poids et volume. A de rares exceptions près, il sera utilisé préférentiellement à la masse volumique ( $\rho$ ) ou encore à la densité ( $\rho / \rho_w$ ). Il constitue une caractéristique essentielle pour traiter des problèmes de tassement et de stabilité auxquels sont soumis les massifs de déchet. Il influe en effet directement sur l'état de contrainte interne du matériau. Sa valeur dépend initialement de la composition des déchets, du degré de compactage lors de la mise en place et enfin de la présence ou non de couvertures périodiques. Par la suite, sa valeur évoluera en fonction de sa profondeur dans le massif, de sa teneur en eau et de son degré de décomposition.

Comme pour la teneur en eau, on définit 3 poids volumiques distincts selon que l'on considère la masse de déchet sèche, solide ou encore humide :



Trois relations peuvent être mises en évidence reliant ces 3 expressions de poids volumique :

$$\gamma_d = \frac{\gamma_s}{1 + \omega_s} \quad \text{Eq. 2.4}$$

$$\gamma_d = \frac{\gamma_h}{1 + \omega_h} \quad \text{Eq. 2.5}$$

$$\gamma_s = \frac{\gamma_h}{1 + (\omega_h - \omega_s)} \quad \text{Eq. 2.6}$$

Mis à part le cas d'échantillons prélevés dans le cadre de bilans de masse avant / après dégradation, le poids volumique sec (eau constitutive exclue) n'est jamais évoqué dans la littérature. Le poids volumique solide est nettement plus courant en revanche : c'est cette valeur (moyenne) qui sera calculée par l'exploitant à l'issue du remplissage d'un casier (à partir des tonnages de déchet entrant et du volume de remblaiement estimé par le géomètre), en supposant que le déchet soit délivré en conditions non humides ! En général, le poids volumique solide moyenné sur la hauteur d'une colonne de déchet ou pour l'ensemble d'un casier exploité suivant les techniques modernes d'épandage et de compactage est compris entre 8 et 11  $kN/m^3$ .

## II.4 La phase gazeuse

### II.4.1 Composition

La composition du biogaz évolue dans le temps en fonction des étapes de la biodégradation (Figure.2.6). Il est composé majoritairement de 5 espèces : l'oxygène  $O_2$  et l'azote  $N_2$  présents principalement lors de deux premières étapes de dégradation ; le dioxyde de carbone  $CO_2$  et le méthane  $CH_4$  présents lors des deux étapes suivantes. Il comporte aussi de nombreuses molécules, au caractère plus ou moins polluant, comme le  $H_2S$  (hydrogène sulfureux) le  $NH_3$  (ammoniac), le  $N_2O$  (protoxyde d'azote), des COV (Composé Organique Volatil). Lornage (2006) a étudié les COV présents dans le biogaz, leur origine et leur toxicité. Le biogaz contient aussi des composés toxiques type BTEX (Benzène, Toluène, Etylbenzène, Xylène). Manoukian (2008) a réalisé une étude portant sur la quantification de ces BTEX dans le biogaz et a notamment montré que l'étape de méthanogènes est précédée d'une émission importante de BTEX.

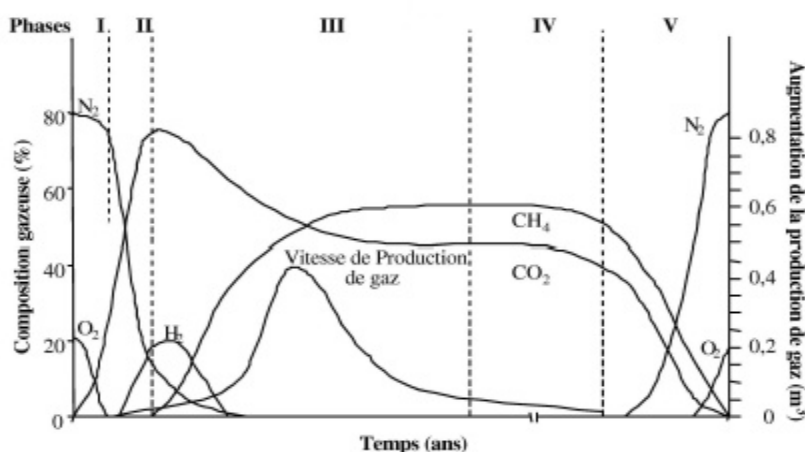


Fig2.6: Evolution de la composition du biogaz au cours de la biodégradation (Pohland et Kim, 1999)

### II.4.2 Masse volumique du biogaz

En fonction de la composition du biogaz et donc des différentes étapes de la biodégradation, la masse volumique va évoluer au cours du temps.

Le biogaz est en général considéré comme un gaz parfait. La loi des gaz parfaits appliquée au mélange permet d'obtenir la masse volumique du biogaz en fonction de la température, de la pression et des fractions molaires (Eq.2.7).

$$P_G = \frac{P_G M_G}{RT} \quad \text{Eq.2.7}$$

Avec,  $M_G$  ( $\text{kg.mol}^{-1}$ ) la masse molaire du mélange,  $R$  ( $8,314 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$ ) la constante des gaz parfaits,  $T$  (K) la température et  $P_G$  (Pa) la pression de gaz.

### II.4.3 Viscosité dynamique du biogaz

Comme la masse volumique, la viscosité dynamique du biogaz dépend de la composition de la phase gazeuse, donc du temps, et de la température. Pour un mélange à 40 de 50% de dioxyde de carbone et 50% méthane (en fraction molaire), la viscosité dynamique  $\eta_G$  (Pa.s) moyenne est d'environ  $1,4 \times 10^{-6}$  Pa.s (Townsend et al., 2005).

## II.5 Conclusion

En conclusion, ce chapitre contient les définitions ainsi que des valeurs issues de la littérature des paramètres et variables caractéristiques qui sont nécessaires à une meilleure description des phénomènes ayant lieu dans une cellule de stockage. De manière générale, on peut remarquer que l'absence de méthodes de mesures standardisées pour le milieu déchet est une difficulté pour la meilleure interprétation des paramètres et variables décrits. En effet, selon les méthodes de mesures utilisées, les définitions des paramètres et variables considérés, le type de déchet et les conditions initiales de ce déchet, les valeurs obtenues des différents paramètres et variables peuvent être fortement différentes. Enfin, s'il existe un nombre de données non négligeables dans la littérature on peut noter la faible quantité de jeux de données complets et cohérents. Or, un jeu de données cohérent est un atout primordial pour une modélisation adaptée.

An orange scroll graphic with a light-to-dark gradient, featuring three rolled-up corners. The text is centered on the scroll.

***CHAPITRE III***

***LES INSTALATIONS DE  
STOCKAGE DES DECHETS NON  
DANGEREUX***



## ***CHAPITRE III***

# ***LES INSTALLATIONS DE STOCKAGE DES DECHETS NON DANGEREUX***

### **III.1 Introduction**

La production de déchets a augmenté sensiblement sur les dernières dizaines d'années. , plus particulièrement, des efforts importants ont été faits depuis près de 40 ans pour améliorer la gestion des déchets. Le stockage de déchet en Installation de Stockage des Déchets Non Dangereux (ISDND) est une solution de gestion des déchets encore fortement utilisée en France même si les directives européennes tendent vers une forte diminution de l'usage de cette solution. Dans le but d'améliorer la viabilité des ISDND. Pour satisfaire les enjeux environnementaux, sanitaires et / ou économiques, les installations de stockage de déchets modernes nécessitent une gestion contrôlée des effluents liquides et gazeux.

Pour cela, divers process telles que la récupération des effluents ou l'injection de liquide sont mis en place lors de la vie d'une installation de stockage. Lors de la construction de celle-ci, une anticipation de la mise en œuvre de ces process est nécessaire pour le dimensionnement des technologies associées (réseaux de puits, couvertures, ...).

Le premier chapitre décrit le contexte de l'étude. En particulier, le contexte général de l'industrie du matériau déchets puis leur caractéristique, après une description des Installations de Stockage des Déchets Non Dangereux ainsi que des innovations possibles de ces installations sont présentées.

### **III.2 Définition et réglementation**

Anciennement appelées décharges ou centres d'enfouissement technique de classe II, les installations de stockage des déchets non dangereux (ISDND) sont destinées à accueillir les déchets non dangereux des ménages et les déchets s'y apparentant issus des activités économiques. Depuis le 1<sup>er</sup> juillet 2002, seuls les déchets ultimes sont acceptés (loi n° 92-646 du 13 juillet 1992, article 1<sup>er</sup>-II). Il s'agit de tout déchet «résultant ou non du traitement d'un déchet, qui n'est plus susceptible d'être réutilisé ou valorisé dans les conditions techniques et économiques du moment, notamment par extraction de la part valorisable ou par la réduction

de son caractère polluant ou dangereux ». Les déchets bruts, autrefois accueillis dans les décharges doivent désormais subir un traitement avant enfouissement afin de limiter leur nocivité ainsi que les quantités à stocker, conformément à la réglementation française qui privilégie les méthodes de valorisation (code de l'environnement). À l'heure actuelle, le stockage constitue le dernier maillon de la chaîne de traitement des déchets.

Les ISDND sont des installations classées pour l'environnement (ICPE) et sont, de ce fait, soumises à autorisation préfectorale. Les grands principes de conception, de construction, d'exploitation et de suivi des ISDND sont définis par l'arrêté du 9 septembre 1997 modifié mais sont adaptés à chaque ISDND au travers de l'arrêté préfectoral d'exploitation qui lui est propre.

### III.3 Implantation du site

Le choix de l'implantation du site visant à accueillir l'ISDND est primordial et doit satisfaire à plusieurs critères (arrêté du 9 septembre 1997 modifié):

- absence de nuisances à l'encontre de l'environnement et de la santé humaine.
- exploitation compatible avec les autres activités existantes et les occupations du sol à proximité
- caractéristiques géologiques et hydrogéologiques du sous-sol favorables.
- La proximité des centres de production et la qualité du réseau routier.



*Fig.3.1: Vue aérienne ISDND*

### III.4 Structure d'une installation de stockage de déchets non dangereux

Le principe du stockage consiste à enfouir les déchets dans des casiers (ou cellules de stockage) isolés hydrauliquement les uns des autres, dans lesquels une combinaison de réactions physiques, chimiques et biologiques s'opère au cours de la dégradation des déchets pour aboutir principalement à la formation de liquides pollués (lixiviats) et de gaz. Les anciennes décharges, construites avant la prise de conscience du réel impact des émissions des massifs de déchets sur l'environnement, étaient établies à même le sol ; ce qui est le cas du premier casier de la décharge d'Étueffont sur laquelle porte l'étude qui suit. Étant donné qu'elles constituent un réel danger pour l'homme et l'environnement, elles doivent être réhabilitées selon les mesures figurant dans l'arrêté préfectoral d'autorisation d'exploiter (ADEME, 2005). Pour parer à d'éventuelles infiltrations incontrôlables de lixiviats dans le sous-sol, les ISDND actuelles sont équipées d'un système de double barrière de sécurité mis en place sous l'aire de stockage, qui assure notamment le drainage, la collecte des lixiviats et permet de prévenir une pollution des sols, des eaux souterraines et superficielles (La figure.3.2).

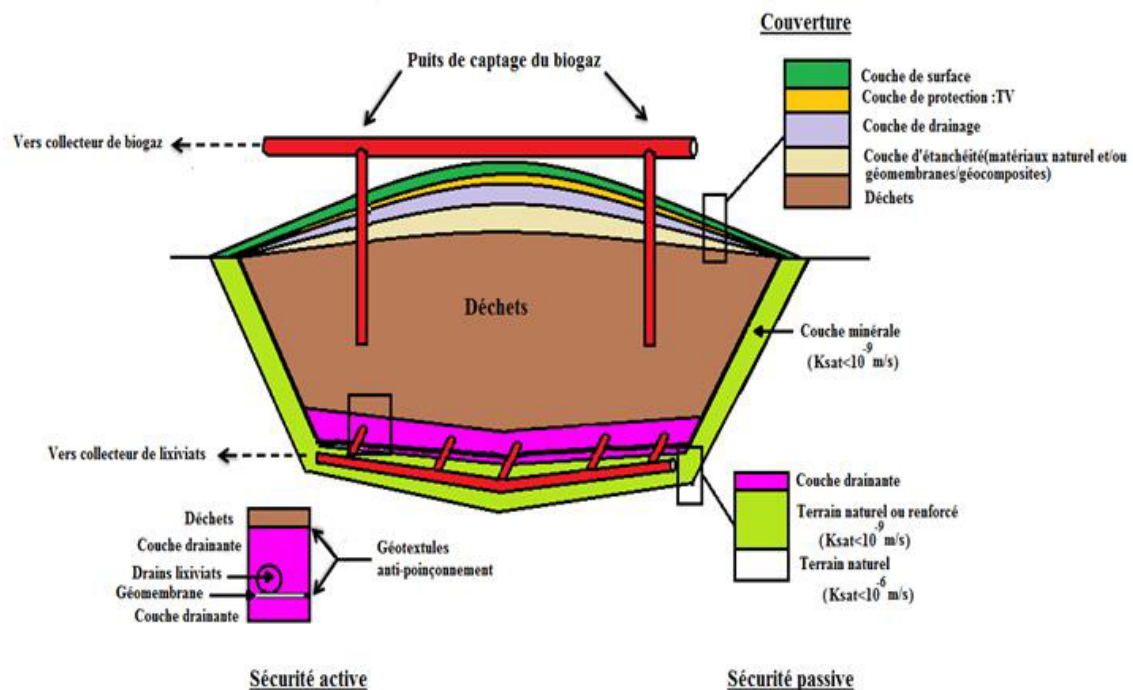


Fig.3.2: Coupe schématique d'un casier d'ISDND

---

La gestion des effluents est éventuellement complétée par des dispositifs de collecte, de traitement et d'utilisation du biogaz, en cas de forte production. Le site comprend également un dispositif de récupération des eaux de ruissellement (fossés, bassins de rétention) qui capte et stocke les eaux et un réseau piézométrique destiné au suivi des eaux souterraines en amont hydraulique (au moins un piézomètre) et en aval (au moins deux piézomètres) de l'aire de stockage.

#### III.4.1 L'aire de stockage et sa sécurisation

Le sous-sol, sur lequel est implanté l'ISDND, constitue une barrière de sécurité passive qui peut être naturelle ou artificiellement renforcée, si le sous-sol ne répond pas aux exigences suivantes (arrêté du 9 septembre 1997 modifié) :

En surface, une couche d'un mètre d'épaisseur minimum, de perméabilité  $K < 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  sur au minimum cinq mètres sous-jacents, une perméabilité  $K < 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

En complément, la base et les flancs de chaque casier sont étanchéifiés par une barrière de sécurité active qui assure le drainage et la collecte des lixiviats. Elle est constituée d'une géo membrane étanche en contact avec la barrière passive, surmontée d'une couche drainante qui est associée à un réseau de drains permettant la collecte des lixiviats.

À la fin de l'exploitation de chaque casier, une couverture finale est mise en place afin de minimiser l'infiltration des eaux météoriques dans le massif de déchets, qui est responsable de l'augmentation de la quantité de lixiviats produits. De plus, elle permet le confinement des déchets et renforce la stabilité mécanique du massif. Elle limite également la migration du biogaz vers l'atmosphère ainsi que les intrusions d'air dans le massif. En dernier lieu, elle réduit l'impact visuel avec sa couche supérieure végétalisable. Le type de couverture mis en œuvre est fortement dépendant de la nature des déchets enfouis et de leur âge, qui déterminent le potentiel polluant du site. Un site ancien, dont les déchets sont peu évolutifs et où la production de biogaz est quasi-nulle, pourra se contenter d'une couverture terreuse à perméabilité supérieure ou égale à  $10^{-6} \text{ ms}^{-1}$  en raison de son faible potentiel polluant tandis qu'un site à impact fort requiert la présence d'une couverture imperméable ( $K \leq 10^{-9}$ ) composée de couches d'argile, de matériaux drainants et de matériaux synthétiques (ADEME, 2005) pour préserver le milieu naturel en confinant le massif.

### III.4.2 Les effluents : collecte et traitement

#### III.4.2.1 Lixiviats

Les lixiviats sont les liquides percolant à travers les déchets qui se chargent en éléments polluants contenus dans les déchets et sont relégués dans le milieu environnant. Ils sont collectés en fond de casier par un dispositif de drainage ancré dans la barrière active. Sous certaines conditions de qualité, le rejet des lixiviats dans le milieu peut être envisagé sans traitement préalable. Dans le cas contraire, les lixiviats sont traités in situ selon des procédés adaptés à leur nature et aux objectifs de qualité attendus (lagunage, oxydation à l’ozone, coagulation-floculation, précipitation, osmose inverse...) ou ex situ avec traitement dans une station d’épuration (ADEME, 2005).



*Fig.3.3: Station de traitement des lixiviats*

#### III.4.2.2 Biogaz

Le biogaz est un gaz produit lors de la fermentation de la fraction organique des déchets. Il se compose essentiellement de méthane ( $CH_4$ ) et de dioxyde de carbone ( $CO_2$ ). Outre sa nuisance olfactive, il est potentiellement dangereux pour l’homme et l’environnement de par ses caractères inflammable et explosif. De ce fait, en cas de production importante, le biogaz est drainé puis acheminé vers une unité de valorisation énergétique (électricité, chaleur voire carburant) (Al Seadi et al., 2008), ou à défaut détruit par combustion (torchère). À l’inverse lorsque la production est moindre et ne présente pas de danger, un réseau d’évents à biogaz,

qui permet d'évacuer passivement le biogaz vers l'atmosphère, peut être mis en place (Robinson, 1986).



*Fig.3.4: Installation d'un Réseau de biogaz*

## III.5 Les déchets admis

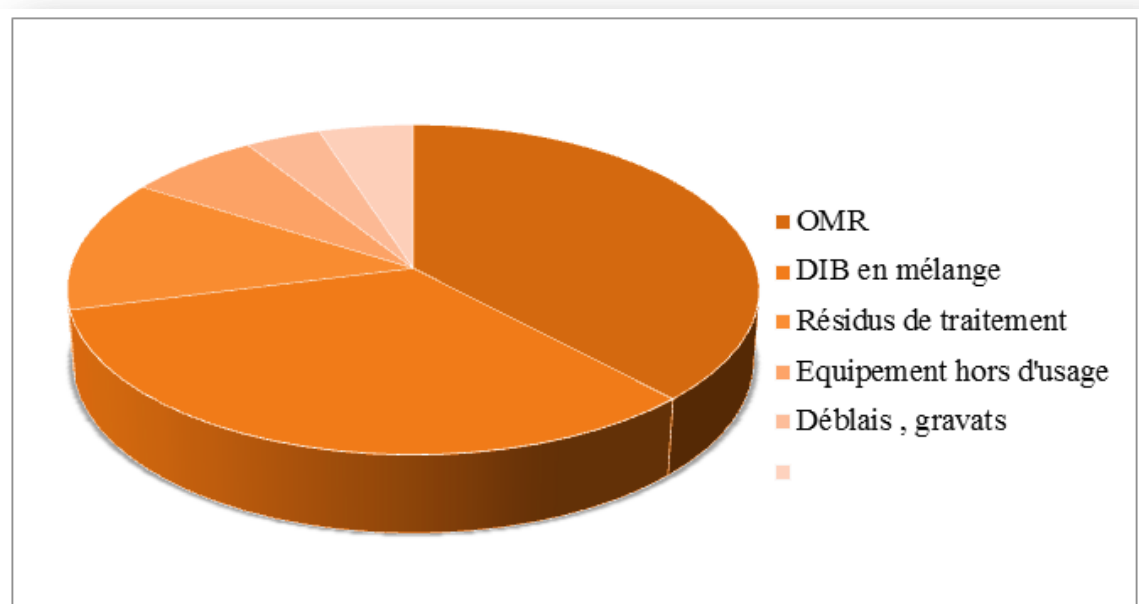
### III.5.1 Types de déchets

Les anciennes décharges brutes pouvaient recevoir (Damien, 2004) :

- Des déchets industriels spéciaux.
- Des déchets ménagers bruts ou mélangés à des déchets industriels banals.
- Des déchets inertes.
- Des refus de tris ou d'incinération. Avec l'évolution de la réglementation, seule la fraction ultime des déchets suivants est autorisée à être stockée depuis le 1er juillet 2002 :
  - Les déchets municipaux.
  - les DND de toute autre origine, conformes aux critères d'admission (directive n°1999/31/CE), dont déchets de plâtre, à stocker dans des casiers spécifiques (arrêté du 9 septembre 1997 modifié).
  - Les déchets dangereux stables et non réactifs (amiante lié à des matériaux non inertes, déchets solidifiés ou vitrifiés...), à condition que leur comportement à la lixiviation n'évolue pas de manière défavorable à long terme et respecte les valeurs limites de lixiviation (décision n° 2003/33/CE).

### III.5.2 Leur composition globale

Les déchets admis en ISDND en 2008 sont composés essentiellement d'ordures ménagères résiduelles (OMR) et de DIB en mélange, à part quasi-égales (38% et 33%, respectivement). Le petit tiers restant est constitué de résidus de traitement, de déblais et gravats, d'équipements hors d'usage, et en très faibles quantités de matériaux recyclables, déchets organiques, mâchefers provenant des usines d'incinération, boues et déchets dangereux (La figure.3.5).



\*Autres : matériaux recyclables, déchets organiques, mâchefers, boues, déchets dangereux.

*Fig.3.5: Répartition par type des déchets entrés dans les ISDND en 2008 en France, (CGDD SOeS, 2012 - données en ligne ; ADEME, 2009c)*

Les catégories principales composant les OMR sont les déchets putrescibles (déchets verts et alimentaires), les papiers-cartons, le verre, les plastiques, les textiles, les métaux et autres matériaux composites ou non classés (bois, caoutchouc, déblais, gravats...). Les papiers cartons et les déchets putrescibles représentent plus de la moitié des OMR. Leur composition est variable d'un pays à l'autre et dépend des conditions socio-économiques du pays, du type d'industrie et du niveau d'industrialisation, de la localisation géographique, du climat, du niveau de consommation, du système de collecte, de la densité de population, du degré d'utilisation du recyclage et des attitudes des consommateurs (Williams, 2005). L'évolution

de la gestion des déchets au cours de ces 15 dernières années avec l'adhésion croissante des particuliers à la collecte sélective permet de limiter les quantités d'éléments traces métalliques dans les OMR.

	2007	1993	Composant	2007	1993
MO totale (%)	65,8	59,2	Cu (mg.kg <sup>-1</sup> )	56	1048
Soufre(%)	0,17	0,28	Cd (mg.kg <sup>-1</sup> )	1,3	4
C organique(%)	34,9	33,4	Cr (mg.kg <sup>-1</sup> )	87	183
N Kjeldahl(%)	1,1		Ni (mg.kg <sup>-1</sup> )	20	48
N organique(%)	0,71	0,73	Zn (mg.kg <sup>-1</sup> )	301	1000
NH <sub>4</sub> -N(%)	0,014		Hg (mg.kg <sup>-1</sup> )	0,1	3
Cl (mg.kg <sup>-1</sup> )	2878	14000	As (mg.kg <sup>-1</sup> )	2,5	5
F (mg.kg <sup>-1</sup> )	100	58	Sc (mg.kg <sup>-1</sup> )	0,22	0,02

*Tableau.3.1: Composition chimique des ordures ménagères résiduelles en 1993 et 2007 en France (ADEME, 2009b)*

## III.6 La phase d'exploitation

### III.6.1 L'enfouissement

Deux modes d'enfouissement sont généralement constatés dans les anciennes décharges et les ISDND, le stockage anaérobie et le stockage favorisant la dégradation aérobie des déchets (ADEME, 2005).

#### III.6.1.1 Stockage anaérobie

Les déchets sont déposés en couches successives dans le casier en service, qui sont compactées à l'aide d'engins munis de roues dentées en acier (Damien, 2004). Le véhicule compacteur a deux fonctions principales : l'étalement des déchets en couches d'épaisseur uniforme sur une surface limitée et le compactage des déchets dans le but de réduire leur volume et d'améliorer la stabilité de la décharge. Chaque couche de déchets est régulièrement recouverte par de la terre pour limiter les envols, les odeurs, la prolifération de nuisibles (rats,



mouettes, corbeaux...) (Williams, 2005). L'association du compactage, qui chasse l'air interstitiel, et du recouvrement limite nettement l'apport en oxygène dans le massif et génère rapidement des conditions anaérobies, après une brève étape aérobie. De ce mode d'enfouissement résulte la formation de lixiviats à forte charge organique et minérale et de fortes émissions de biogaz) (Erses et al, 2008). Les ISDND « classiques » sont exploitées selon ce mode.

### **III.6.1.2 Stockage aérobie**

Dans le cas du stockage aérobie, les déchets sont déposés en couches de faible épaisseur sur une grande surface et ne subissent pas de phase de compactage. Dans les années 1970, une étape de broyage des déchets précédait souvent le dépôt (ADEME, 2005), permettant d'augmenter la surface de contact des fragments de déchets et ainsi d'améliorer leur dégradation. Ce mode d'exploitation contribue à la diffusion de l'oxygène au sein du massif de déchets, qui génère une dégradation aérobie avec une forte production de lixiviats dilués, à faible charge organique et minérale et une très faible production de biogaz.

### **III.6.2 Le suivi des émissions et des eaux souterraines**

En phase d'exploitation, les émissions (lixiviats et biogaz), les eaux de ruissellement et les eaux souterraines doivent être contrôlées selon les modalités définies dans (Le tableau.3.2) et les résultats d'analyses sont transmis à l'inspection des ICPE périodiquement. Le programme de suivi des lixiviats, du biogaz et des eaux souterraines est commun à toutes les ISDND. Par contre, le suivi des eaux souterraines, notamment pour l'analyse de leur composition, est adapté à chaque site en fonction des contaminants potentiellement présents dans les lixiviats et de la qualité des eaux souterraines du secteur. En cas de constat de dégradation de la qualité des eaux souterraines avec le temps, la fréquence d'analyse peut être temporairement plus élevée. Ces dispositions sont détaillées dans l'arrêté préfectoral d'autorisation spécifique à chaque ISDND.

	Phase d'exploitation	Période de suivi post-exploitation
Emissions		
Volume de lixiviat	Mensuellement	Tous les 6 mois
Composition du lixiviat	Trimestriellement	Tous les 6 mois
Volume et composition des eaux de ruissellement	Trimestriellement	Tous les 6 mois
Emission potentielles de gaz et pression atmosphérique ( $CH_4, CO_2, O_2, H_2, H_2O$ )	Mensuellement	Tous les 6 mois
Eaux souterraines		
Niveau piézométrique	Tous les 6 mois	Tous les 6 mois
Composition des eaux souterraines	Fréquence adaptée au site	Fréquence adaptée au site

*Tableau 3.2 : Programmes de suivi des émissions, des eaux de ruissellement et des eaux souterraines en phases d'exploitation et de post-exploitation d'une ISDND (arrêté du 9 septembre 1997 modifié)*

### III.7 Le suivi post-exploitation

Pour les ISDND françaises, la période (ou phase) de post-exploitation commence après la notification de la mise à l'arrêt définitif de l'ISDND. Le Suivi-Post Exploitation (SPE) commence après que les travaux de réhabilitation et de remise en état du site aient été réalisés et constatés par les autorités. Ce SPE réglementaire inclut des activités de post-exploitation (APE) qui consistent en la gestion des effluents (collecte, traitement, contrôle des rejets de lixiviat et biogaz) et de surveillance des milieux récepteurs (eaux de surface, eaux souterraines, air, santé humaine). On parlera de gestion active (nécessitant la présence d'équipements, d'énergies, de main d'œuvre humaine pour leur maintenance et surveillance) et de gestion passive (ne les nécessitant pas, ou beaucoup moins). Les actions de gestion passive peuvent commencer pendant le SPE et parfois se maintenir après, si l'usage futur le nécessite.

À l'issue de la période d'exploitation, le site est soumis à une période de suivi post exploitation jusqu'à ce que les autorités (préfet, inspection des ICPE) statuent sur la stabilisation des déchets et l'innocuité du site envers l'environnement (Laner et al., 2012). En effet, l'arrêt des dépôts n'est pas concomitant avec la finalisation de la dégradation des déchets, qui continue à s'opérer pendant de nombreuses années en générant des lixiviats et du biogaz. Ces effluents qui servent d'indicateurs de stabilisation des déchets peuvent avoir une qualité constante sur plusieurs années alors qu'au sein même du massif les déchets peuvent toujours être évolutifs. Généralement, le suivi post-exploitation est prévu sur une durée de 30ans. Or, aucune ISDND n'a, à ce jour, atteint la fin de la période de post-exploitation et il est impossible de définir si 30 ans suffisent à assurer une parfaite résorption des risques de pollution, d'incendie et des nuisances (Kjeldsen et al., 2002).

### **III.8 La cellule de stockage**

#### **III.8.1 Structure d'une cellule**

Une cellule de stockage a une surface de 5000  $m^2$  environ pour une hauteur pouvant varier, en France, entre quelques mètres et 30 à 40 mètres (Olivier, 2003). Chaque cellule est équipée de barrières imperméables au fond et sur ses flancs ainsi que d'une couverture. La partie dégradable des déchets est susceptible de produire des effluents gazeux qui peuvent être des gaz a été de serre ou générer des problèmes d'odeur. Par ailleurs, du liquide potentiellement polluant pour l'environnement (nommé lixiviats) est amené à percoler à travers le massif de déchets. Par conséquent, un réseau de puits de récupération des effluents gazeux ainsi qu'un système de drainage des effluents liquides sont mis en place.

La structure d'une cellule de stockage est présentée (La figure.3.6).

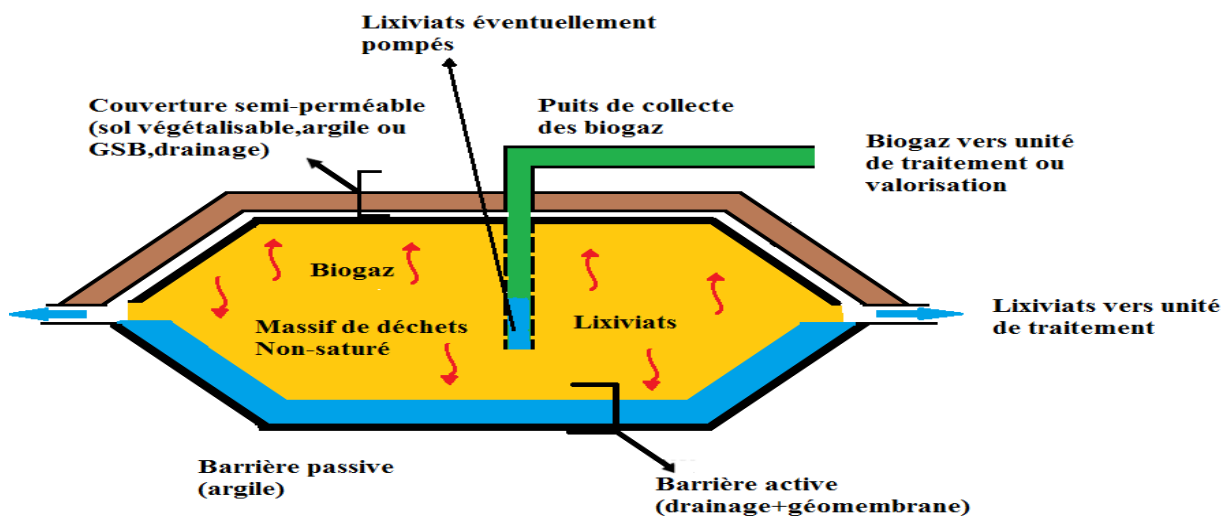


Fig.3.6: Schéma d'une cellule de stockage d'ISDND (Stoltz, 2009)

### III.8.2 Etanchéité en fond et sur les flancs de la cellule

Pour limiter la contamination du sous-sol ainsi que des nappes phréatiques par les lixiviats et pour limiter l'infiltration d'eau souterraine dans le massif de déchet des dispositifs d'étanchéités sont installés en fond et sur les flancs de chaque cellule de stockage.

Le principe de ces dispositifs d'étanchéité est celui d'une double barrière (Ademe, 1999) :

- **Une barrière de sécurité passive**, assurant à long terme la prévention de la pollution des sols et des eaux, est constituée par une formation géologique de faible perméabilité, naturelle ou rapportée. Pour les déchets non dangereux, il s'agit d'une barrière naturelle de 1 m d'épaisseur environ avec une conductivité hydraulique à saturation  $K_{sat} < 10^{-9}$  m/s, sous laquelle se trouve du sol avec une conductivité hydraulique à saturation  $K_{sat} < 10^{-6}$  m/s au moins.
- **Une barrière de sécurité active**, assurant le drainage et la collecte des lixiviats. Elle est mise en place pour assurer à la fois l'étanchéité et le drainage en associant des géosynthétiques (géomembrane, géotextile) et des matériaux naturels (couche drainante). Concernant les barrières du fond et des flancs, des équivalences peuvent être acceptées, par exemple avec des matériaux plus imperméables sur une épaisseur plus faible. Ceci est notamment fait sur les flancs avec l'emploi de géosynthétiques bentoniques (GSB). Cependant la diminution de l'épaisseur du dispositif d'étanchéité peut entraîner des risques liés à des défauts des matériaux et donc des problèmes de sécurité.

### III.8.3 Couverture

Pour limiter les rejets d'effluents gazeux ainsi que l'infiltration d'air et des eaux de pluie une couverture est disposée au-dessus du massif de déchet. Pendant le remplissage des cellules des couvertures temporaires, souvent composées de sols, sont posées de façon hebdomadaire voire journalière. Une fois la cellule remplie une couverture finale est installée. Pour celle-ci, une couche composite est préconisée (Ademe, 1999) :

- Une couche de drainage du biogaz directement au-dessus des déchets.
- Une couche d'étanchéité d'épaisseur d'environ 1 m et de conductivité hydraulique à saturation telle que  $K_{sat} < 10^{-6}$  m/s au moins, mais une valeur inférieure peut s'avérer nécessaire.
- Une couche de drainage des eaux pluviales directement au-dessus de l'étanchéité, avec l'ajout d'un dispositif anti-poinçonnant le cas échéant.
- Une couche de terre végétale destinée à maximiser l'évapotranspiration (ce qui diminue le risque d'infiltration non contrôlée dans le massif de déchets) à stabiliser les pentes et à favoriser une insertion paysagère de l'installation. (La Figure.3.7) permet de visualiser cette barrière type et de comparer les différents concepts de confinement en fonction de la nature des déchets et des conditions d'exploitation. On remarque en particulier que dans les cas d'ISDD et d'ISDND bioréacteur, la couverture est rendue imperméable par l'installation d'une géo membrane entre la couche d'étanchéité et la couche de drainage supérieure. De plus, dans le cas de l'ISDD, il n'y a pas de couche de drainage directement au-dessus des déchets.

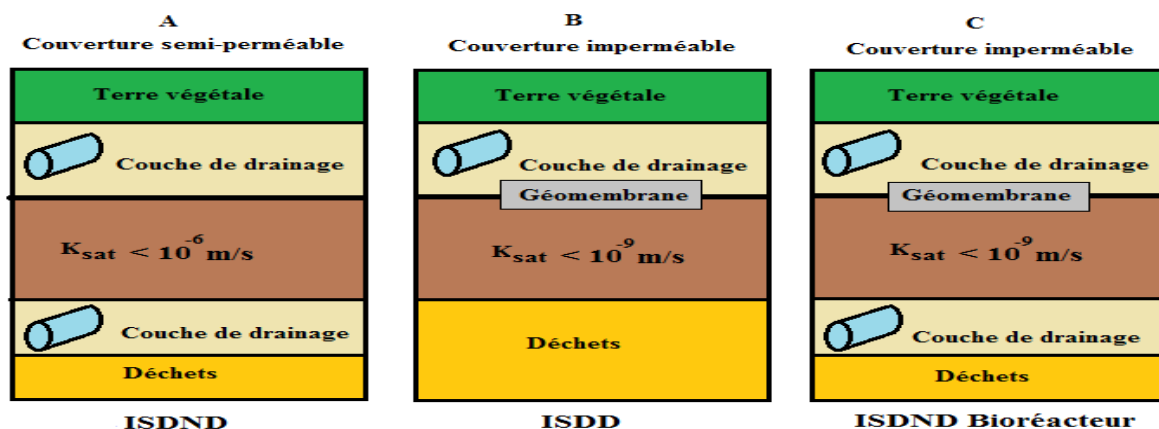


Fig.3.7: Schéma de principe des couvertures pour différents modes de gestion : ISDND, ISDD (Installation de stockage des déchets dangereux) et ISDND bioréacteur (Staub, 2010)

### III.9 Gestion d'une ISDND

Cinq phases peuvent être distinguées durant la vie d'une cellule de stockage d'ISDND.

- **Phase 1(durant une période d'environ 3 à 6 mois)** : phase d'exploitation au sens propre de la cellule de stockage durant laquelle celle-ci est ouverte et les déchets sont mis en place. Les déchets sont mis en place couche par couche puis compactés par de lourds engins compacteurs. Ces engins transmettent des contraintes non négligeables aux déchets ce qui permet d'en augmenter la densité.
- **Phase 2(environ 2 ans)** : Phase primaire de post-exploitation où une couverture temporaire est mise en place, pour éviter l'endommagement de la couverture définitive du stockage en raison de forts tassements en phase 2, une couverture géo synthétique temporaire est généralement utilisée.
- **Phase 3a** : Phase secondaire de post-exploitation où une couverture finale, telle que décrite section 1.2.3 est mise en place et durant laquelle est réalisé un traitement des eurent et des mesures de contrôle systématiques
- **Phase 3b** : Phase de suivi post-exploitation jusqu'à l'obtention de critères environnementaux éco compatibles (stabilisation biomécanique) jusqu'à environ 30 ans, durant laquelle un traitement au moins partiel des émissions est encore réalisé.
- **Phase 4** : Phase de veille où un suivi ponctuel du site éco compatible non contraignant et une réutilisation potentielle du site peuvent être envisagés. Les travaux importants sur une cellule de stockage sont en principe réalisés durant la phase d'exploitation (Phase 1). Les phases de post-exploitation (Phases 2 et 3) sont des phases de suivi et de contrôle du site. Par ailleurs, ces 5 phases peuvent être aussi utilisées pour le site de stockage en entier. Cependant, un site pourra être considéré en phase d'exploitation quand bien même la majorité de ses cellules de stockage sont en phase de post exploitation ce qui rend l'utilisation de ces terminologies plus décillles à interpréter à l'échelle du site.

### III.10 Conclusion

Les centres de stockage de déchets sont de nos jours des ouvrages à part entière, devant respecter une réglementation très stricte. Ils n'ont plus rien de commun avec les décharges non contrôlées d'autrefois. Si leur implantation nécessite des études géologiques sérieuses, le concept de confinement, la gestion des flux avec ou sans recirculation des lixiviats, la

valorisation du site, sont autant de questions qui justifient des études géotechniques importantes et apportent au chercheur des problèmes nouveaux. Cet article a permis de présenter succinctement un certain nombre de problèmes géomécanique étudiés au LIRIGM sous les trois angles des suivis expérimentaux sur sites réels, des tests de laboratoire et de la modélisation analytique ou numérique.



***CHAPITRE IV***  
***L'EVOLUTION DES DECHETS***  
***EN ISDND***



## ***CHAPITRE IV***

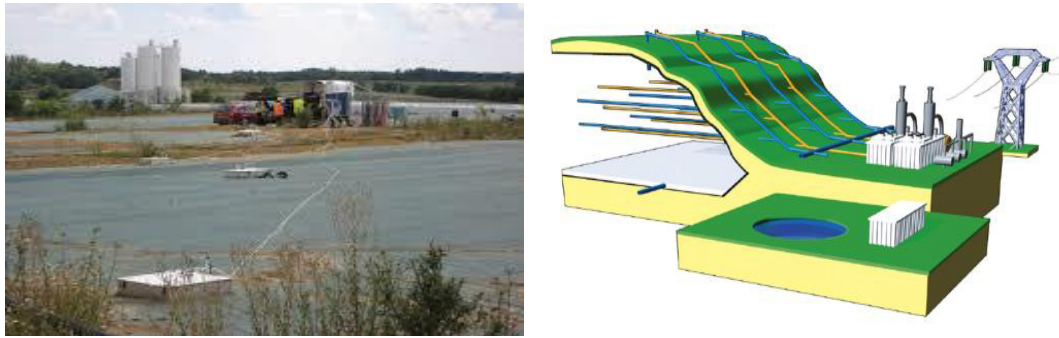
### ***L'EVOLUTION DES DECHETS EN ISDND***

#### **IV.1 Introduction**

Au début des ISDND et pour préserver l'environnement des pollutions par les effluents, principalement liquides, le stockage privilégié était celui de la décharge sèche. En effet, les étanchéités et couvertures n'étaient pas de suffisamment bonne qualité pour éviter les fuites d'effluents et par conséquent l'environnement a été pollué. La décharge sèche, par définition, est opérée en condition sèche, c'est à dire défavorable à la biodégradation. En effet, l'humidité est un des facteurs bloquant principaux de la biodégradation. Par conséquent, le déchet reste susceptible de contaminer l'environnement à long terme et ne peut atteindre des conditions éco-compatibles qu'après un temps long ce qui augmente les risques de fuites des barrières imperméables, par vieillissement par exemple. Par conséquent, des solutions pour accélérer la biodégradation tout en assurant le confinement des déchets et donc la non contamination de l'environnement ont été recherchées.

#### **IV.2 La recirculation**

La recirculation des lixiviats s'est développée depuis une quarantaine d'années aux Etats-Unis où de nombreux sites utilisent ce procédé. La recirculation est souvent réalisée dans le but de réduire les quantités de lixiviats à traiter, sans avoir pour but final une diffusion homogène des lixiviats pour favoriser la biodégradation. Comme expliqué par (Reinhart and Townsend 1998), l'humidité d'un déchet est un facteur primordial de sa biodégradation. Par conséquent, et grâce à l'amélioration des dispositifs d'étanchéité, l'une des solutions d'amélioration des ISDND vise à augmenter in situ l'humidité des déchets de manière contrôlée. Pour cela, une des méthodes envisagée est la recirculation des lixiviats. Des réseaux de puits horizontaux ou verticaux sont utilisés sur les massifs de déchets, déjà en place, pour réinjecter les lixiviats. Outre le fait d'humidité le déchet, la recirculation de lixiviat permet aussi l'apport des nutriments et microorganismes présents dans le lixiviat. (La figure. 4.1) montre une représentation schématique d'une ISDND permettant la recirculation des lixiviats. On peut y voir le circuit de récupération du biogaz (en jaune) et le circuit de réinjection et de drainage du lixiviat (en bleu).



*Fig.4.1: Représentation schématique d'une ISDND permettant la recirculation des lixiviats  
(FNADE-Ademe, 2007)*

### IV.2.1 Les avantages

Les avantages de la recirculation sont multiples comme le notent Warith (2002) ou Benson et al., (2007) :

- Diminution importante du temps de post-exploitation des ISDND, le temps de post-exploitation d'une ISDND conventionnelle est de l'ordre de 30 ans, ce temps peut être réduit à quelques années pour une gestion dans des conditions d'humidité optimales (Warith, 2002). Par conséquent, cela limite les risques de contamination des sous-sols à long terme.
- Augmentation du taux de tassement (Morris et al., 2003, Swati and Joseph, 2008). Comme le tassement est plus rapide, de l'espace de stockage est libéré, permettant dès lors à un même site de stocker plus de déchet. Or, l'espace de stockage est un problème critique de la gestion des déchets, son augmentation sensible est donc primordiale Warith (2002). Pour une ISDND recirculée aux Etats-Unis, une augmentation de l'espace de stockage de l'ordre de 25 %. Par ailleurs, le tassement étant plus rapide, cela évite le risque d'endommagement des couvertures à long-terme (Benson et al., 2007) et donc le risque de fuites importantes de gaz à effet de serre et d'infiltration incontrôlée d'air et d'eau de pluie.
- Augmentation du taux de production de biogaz (François et al., 2007) .Cette augmentation du taux de production de biogaz permet de diminuer le temps de production de biogaz et par conséquent le temps durant lequel le système de collecte et de traitement du gaz est mis en œuvre. Par ailleurs, l'augmentation du taux de production de biogaz améliore la viabilité de la valorisation du gaz en énergie électrique.
- Diminution des coûts de traitement du lixiviat. En effet, le lixiviat étant réutilisé pour la recirculation la quantité de liquide à traiter est diminuée. Par ailleurs certains

auteurs notent une amélioration de la qualité des lixiviats même si certains composants polluants tendent à augmenter (François et al., 2007; Morris et al., 2003).

L'un des intérêts de cette technique est son coût modéré. La valorisation du biogaz peut améliorer la rentabilité des installations. En effet, le coût d'exploitation d'une ISDND utilisant la recirculation des lixiviats n'est pas significativement différent de celui d'une ISDND conventionnelle sur le long terme.

### **IV.2.2 Les inconvénients**

Les inconvénients majeurs d'une augmentation substantielle de l'humidité d'un massif de déchet sont les problèmes de stabilité mécaniques ainsi (Koerner and Soong, 2000) que les risques accrus de colmatage des systèmes de drainage des lixiviats. La recirculation est une solution d'optimisation de la gestion en ISDND. Cependant, comme le note Warith (2002), la quantité de lixiviat disponible sur site est généralement insu-sante pour permettre une humidification optimale du massif de déchet. Par conséquent, une méthode optimisée de la recirculation de lixiviat appelée bioréacteur est développée, en particulier aux Etats-Unis.

### **IV.3 Le bioréacteur**

Warith (2002) définit l'ISDND bioréacteur comme une ISDND utilisant des processus microbiologiques avancés dans le but de dégrader les composés organiques des déchets en 5 à 8 ans jusqu'à l'obtention de la stabilisation de ces déchets. Cette stabilisation correspond à l'obtention de valeurs éocompatibles pour les paramètres critiques d'un point de vue environnemental d'une ISDND (taux d'émission et composition du biogaz ainsi que composition des lixiviats). Cela correspond à une gestion in situ adaptée pouvant mettre en œuvre différents procédés. La technique principale et la plus importante est l'humidification du massif de déchet. Par conséquent, une ISDND recirculée comme décrite précédemment est la forme la plus simple de bioréacteur. La quantité de lixiviat disponible sur site est en général insu-sante pour humidifier de façon optimale le massif déchet. Dès lors, d'autres liquides sous semi-liquides non toxiques et non dangereux (tels que de l'eau, du lixiviat ou de l'eau enrichissent nutriments ou des boues) peuvent être utilisés selon les réglementations en vigueur (Warith, 2002).

D'autres procédés comme le broyage, le contrôle de la température ou du pH ainsi que d'autres formes de prétraitements (tels que l'ajout de nutriments) font aussi partie intégrante de la gestion en mode bioréacteur (Warith, 2002).

Par ailleurs, la gestion d'une ISDND bioréacteur implique nécessairement une attention particulière aux systèmes d'étanchéité et de couverture ainsi qu'aux procédures opérationnelles de manière à optimiser l'efficacité du site.



*Fig.4.2 : Le bioréacteur de Trifyl, sur le site de Labessière-Candeil - © Le Paysan Tarnais*

### IV.3.1 Les avantages et les inconvénients

D'une ISDND bioréacteur sont similaires à ceux d'une ISDND récirculée mais avec des taux d'évolution (stabilisation, tassement, génération biogaz) plus importants.

Berge et al., (2009) évaluent par ailleurs l'impact économique d'une ISDND bioréacteur par rapport à une ISDND conventionnelle. Cette étude prend en compte les coûts de construction, de gestion, la durée de post-exploitation ainsi les coûts de traitement des effluents. Il résulte de cette étude qu'une ISDND bioréacteur (37 \$/tonne) est moins coûteuse qu'une ISDND conventionnelle (46 \$/tonne). Cependant, une ISDND conventionnelle adaptée pour fonctionner en ISDND bioréacteur (50 \$/tonne) est plus coûteuse que si cette ISDND n'avait pas été transformée.

Les principaux avantages de cette technique sont :

- L'accélération de la stabilisation biochimique et mécanique des sites ;
- La diminution de la quantité de lixiviat à traiter
- La valorisation du biogaz
- Une meilleure maîtrise des odeurs

#### **IV.4 Prétraitement**

Ce n'est pas une technique nouvelle, mais un agencement nouveau de techniques classiques. On le nomme couramment MBT (mécanique, biologique, traitement). Il consiste à effectuer l'essentiel de la dégradation de la matière organique avant la mise en décharge (ou l'incinération). Les objectifs sont la réduction des quantités à enfouir et la diminution de la fraction organique mise en décharge. C'est donc d'abord une amélioration de la mise en décharge. Ce prétraitement peut être intégré dans une filière plus globale qui comprend en amont le recyclage du maximum de matériau et en aval une valorisation énergétique (biogaz ou incinération). Plusieurs installations françaises sont opérationnelles : Carpentras, Mende, Lorient.

#### **IV.5 La dégradation des déchets**

Un massif de déchets contient un mélange diversifié de composants, à la fois organiques et inorganiques, aux propriétés physiques et chimiques variables. Après enfouissement des déchets, une combinaison de processus physiques, chimiques et microbiologiques s'opère au sein du massif, entraînant une dégradation des déchets jusqu'à un état dit « stabilisé ». Les déchets alimentaires font partie des déchets qui se dégradent le plus facilement tandis que les autres matériaux, tels que le plastique, le caoutchouc, le verre sont très résistants à la décomposition.

#### **IV.6 Facteurs conditionnant la dégradation des déchets en ISDND**

De nombreux facteurs influencent la dégradation des déchets qui sont à la fois liés au type de déchets ainsi qu'à des paramètres intrinsèques au massif de déchets.

##### **IV.6.1 Configuration du site**

La hauteur des déchets conditionne la vitesse de dégradation des déchets. Les massifs profonds requièrent une quantité importante d'eau pour atteindre l'humidité optimale nécessaire à la dégradation, ce qui engendre globalement un temps plus long de décomposition des déchets, comparativement à des massifs moins profonds (Reinhart et Grosh, 1998).

### **IV.6.2 Caractéristiques des déchets**

La composition des déchets est déterminante pour l'évolution de la dégradation. Un massif contenant une forte proportion de composants biodégradables sera le siège d'une intense activité biologique. De plus, leur structure (granulométrie, densité, porosité) détermine la disponibilité de l'humidité, nécessaire à une dégradation optimale de la matière organique fermentescible (Williams, 2005).

### **IV.6.3 Humidité**

L'eau est le plus important facteur d'influence de la stabilisation des déchets. Le taux d'humidité affecte particulièrement la vitesse de dégradation du massif. En effet, des taux d'humidité de l'ordre de 15-50 % sont considérés comme critiques puisque l'activité biologique est insignifiante (Rouez, 2008). L'humidité intrinsèque aux déchets n'est pas suffisante pour contribuer au bon déroulement de la dégradation.

### **IV.6.4 Température**

La température influence également la vitesse de dégradation, en affectant le développement des bactéries et les réactions chimiques (Lei et al., 2012). Étant donné que chaque microorganisme possède une température optimale de développement, toute variation de température peut engendrer un déclin de croissance (Reinhart et Grosh, 1998).

### **IV.6.5 Oxygène**

La quantité d'oxygène disponible dans les pores du massif détermine le type de dégradation, aérobie ou anaérobie. La décomposition aérobie, qui intervient en présence d'oxygène durant une courte période suivant le dépôt, peut perdurer en cas de diffusion d'air à travers la dernière couche de déchets ou la couverture finale (Kelly, 2002).

### **IV.6.6 PH**

L'acidité du massif influence l'activité des micro-organismes et les processus chimiques qui interviennent dans le massif de déchets. Initialement, le PH du massif est neutre, puis acide lors des phases II et III pour atteindre finalement un pH compris entre 6,8 et 7,5 en phase méthanogène (Williams, 2005). Les conditions acides du début de la phase anaérobie augmentent la solubilité des constituants chimiques et diminuent la capacité (sorptive capacité) des déchets (Andreottola et Cannas, 1992).

## **IV.7 Accélération des processus de dégradation**

Des techniques d'accélération de la dégradation de la matière organique ont vu le jour car la durée nécessaire à la stabilisation des déchets est longue. Couplées entre elles, elles agissent simultanément sur plusieurs facteurs fondamentaux contrôlant la dégradation afin d'intervenir sur la durée nécessaire à l'obtention d'une stabilisation du massif.

### **IV.7.1 Broyage**

Le broyage permet une homogénéisation des déchets et une augmentation de leur surface spécifique pour la biodégradation tout en facilitant la distribution de l'eau dans le massif, en supprimant les barrières hydriques formées par les enchevêtrements de sacs plastiques, qui sont généralement rencontrées dans les massifs de déchets non broyés (Yuen, 2001). Cependant d'après Christensen et al., (1992), le broyage peut induire une forte production d'acides lors des premières phases de dégradation.

### **IV.7.2 Compactage**

Sur des déchets relativement secs, le compactage peut optimiser la circulation d'eau et permettre une meilleure distribution des nutriments au cœur de la masse des déchets afin de favoriser la dégradation (Christensen et al., 1992). Au contraire, sur déchets humides, un trop fort compactage peut empêcher la diffusion de l'eau à l'intérieur du déchet, ce qui ralentit la dégradation.

### **IV.7.3 Addition d'éléments**

L'addition d'éléments (boues de station d'épuration, solution tampon, citron, enzymes, cendres,  $C_aCO_3$ ...) a généralement pour but d'accélérer la dégradation des déchets pour atteindre plus rapidement la méthanogènes. Ces solutions additives agissent soit en tant qu'agent tampon, source de nutriments ou inoculum (Reinhart et Grosh, 1998, Yuen, 2001, Kylefors, 2002).

### **IV.7.4 Pré-compostage**

Le pré-compostage d'une fraction des déchets permet de dégrader la matière organique facilement dégradable par des processus aérobies. Ceci a pour conséquence de réduire la durée de la phase acide de la dégradation anaérobie (Christensen et al., 1992) responsable d'une forte production d'AGV. En résulte une réduction de la charge organique des lixiviat et de la quantité de biogaz produite (Mahar et al., 2009).

### **IV.7.5 Recirculation de lixiviats**

La recirculation de lixiviats accélère la dégradation des déchets en augmentant la teneur en eau des déchets ainsi qu'en facilitant la distribution dans le massif des nutriments, des micro-organismes, des enzymes responsables du bon déroulement du processus de dégradation (Mehta et al., 2002). Les conséquences directes de l'utilisation de cette méthode sont une réduction du temps nécessaire à la dégradation des déchets, une amélioration de la qualité des lixiviats et un accroissement de la production de biogaz.

## **IV.8 Ecocompatibilité, stabilité fonctionnelle, stabilité du massif de déchet**

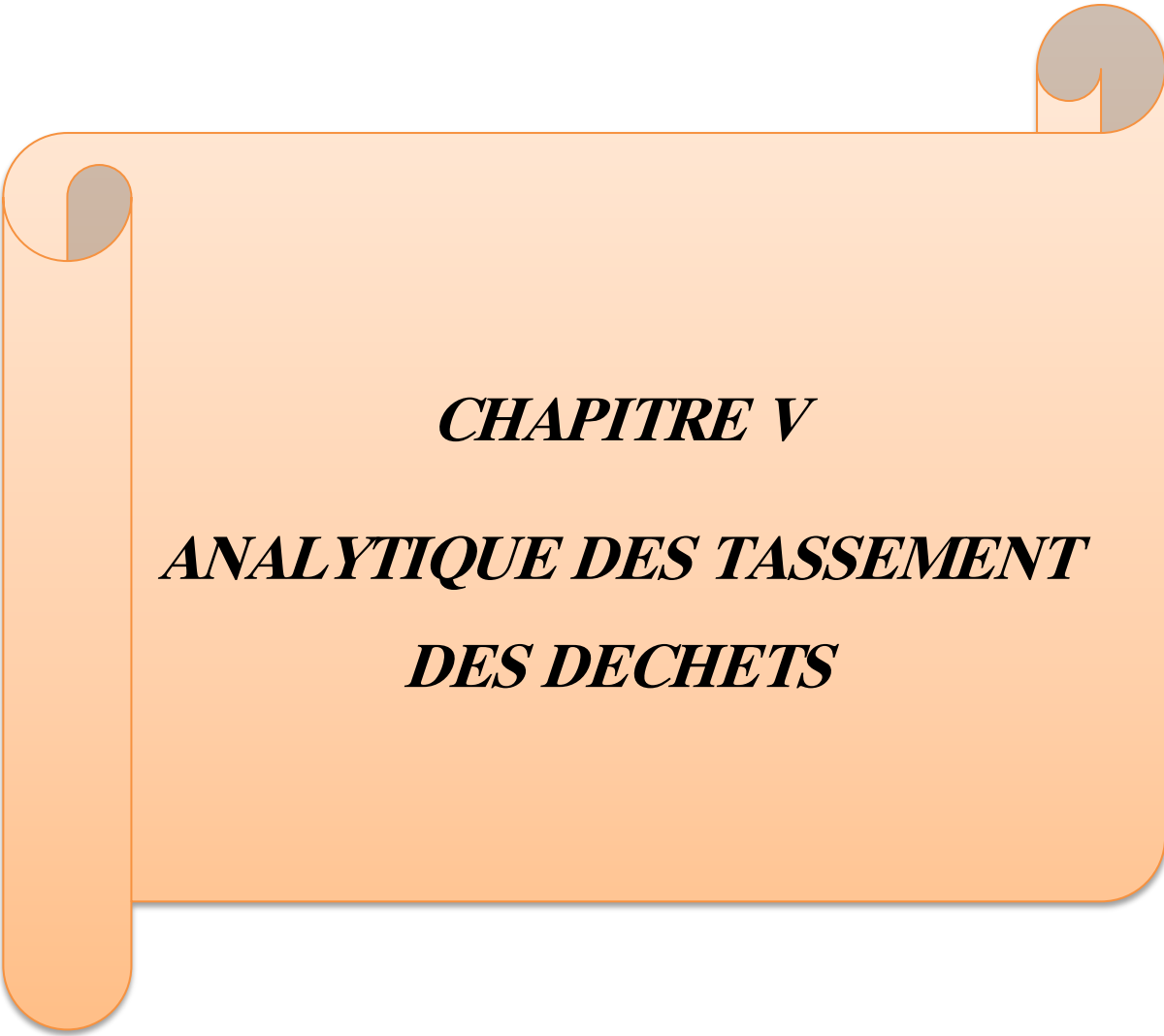
L'écocompatibilité des déchets vis à vis de l'environnement est définie comme « une situation dans laquelle les flux de polluants émis par les déchets (stockés ou valorisés), placés dans un certain contexte physique, hydrologique, hydrogéologique, physico-chimique ou biologique sont compatibles avec les flux de polluants acceptables par les milieux récepteurs concernés par le scénario étudié » (ADEME, 2002). Toute ISDND doit être écocompatible avec son environnement, tout au long de sa vie (ses émissions ne doivent pas impacter l'environnement). Pour que le SPE puisse être arrêté, l'ISDND doit être écocompatible en l'absence de gestion active (sans nécessiter de captage et torchage du biogaz, sans nécessiter de traitement des lixiviats...). Un certain type de gestion passive peut être mis en place selon les sites et les usages. Le site a alors atteint un état de stabilité fonctionnelle (car il est en état de remplir une nouvelle fonction compatible avec les Servitudes d'Utilités Publiques (SUP)). On parlera de stabilité du massif de déchet lorsque plus aucune réaction bio-physico-chimique et effet géotechnique ne sera susceptible d'exister en son sein. Cette notion de stabilité absolue implique que le massif de déchet n'évoluera pas quelles que soient ses conditions de stockage (brèche dans la couverture, entrée d'eau, d'air...).

## **IV.9 Conclusion**

Les déchets non dangereux, déchets ménagers et déchets industriels banals, sont généralement incinérés ou enfouis en centres de stockage anciennement. La gestion de ces centres de stockage répond à des critères très précis, tant au cours de l'exploitation qu'après l'arrêt de celle-ci. En particulier, un suivi des sites fermés est imposé pendant 30 ans, période pendant laquelle la matière organique, contenue dans les déchets, produit par dégradation biologique d'importantes quantités de biogaz et des lixiviats chargés. A côté de ce mode de



stockage « classique », il est apparu depuis quelques années des modes de gestion différents, qui visent à limiter les émissions gazeuses et liquides des déchets enfouis. Il s'agit d'une part, du fonctionnement de CSD en casiers de type bioréacteur, et d'autre part de l'enfouissement de déchets prétraités biologiquement. Ces nouvelles filières de traitement des déchets ont été développées dans plusieurs pays étrangers : bioréacteurs aux Etats-Unis, MBT (Mécanique, Biologique, Traitement) en Autriche, Allemagne, Italie et Espagne. La situation est plus contrastée en Grande-Bretagne, et en France, où cependant la filière de tri-compostage a été très répandue dans les années 1980. Récemment, différentes installations de traitement et de stockage de déchets selon ces nouvelles filières se sont ouvertes en France.

An orange scroll graphic with a light-to-dark gradient, featuring a vertical strip on the left and a horizontal strip at the bottom, with rounded corners and a shadow effect.

***CHAPITRE V***  
***ANALYTIQUE DES TASSEMENT***  
***DES DECHETS***

# *CHAPITRE V*

## *ANALYTIQUE DES TASSEMENT*

### *DES DECHETS*

#### **V.1 Introduction**

Le tassement du sol est sa déformation verticale due à l'application des contraintes extérieures telles que les remblais, les fondations ou son propre poids. Les tassements peuvent être uniformes ou différents d'un point à l'autre selon la nature du sol en place. Dans les sols non saturés les tassements sont presque instantanés mais dans les sols saturés, ils peuvent s'étendre sur quelques secondes dans les sols sableux-graveleux, jusqu'à plusieurs dizaines d'années dans les argiles peu perméables. Pour vérifier la conformité des structures vis-à-vis des conditions de sécurité et de service on doit faire un calcul de tassement.

#### **V.2 Définition et hypothèse**

Le tassement s'entend ici par la contraction verticale d'une couche élémentaire de déchets (Thomas, 2000). La plupart du temps, les études des tassements sont réalisées en conditions dites œnométriques, c'est-à-dire avec une contrainte verticale sur le déchet, qui se traduit par une déformation verticale, mais sans déformation latérale possible. Les déchets sont ainsi souvent étudiés dans des œdomètres, cylindres dont le plateau supérieur et ou la base peuvent se déplacer, mais où les parois latérales sont fixes. Ainsi, dans la suite, les variations de volume dues au tassement seront directement traduites en variation de hauteur de couche de déchet, l'hypothèse de conditions œnométriques impliquant pour le massif de déchets une largeur constante au cours du temps.

#### **V.3 Comportement mécanique du déchet**

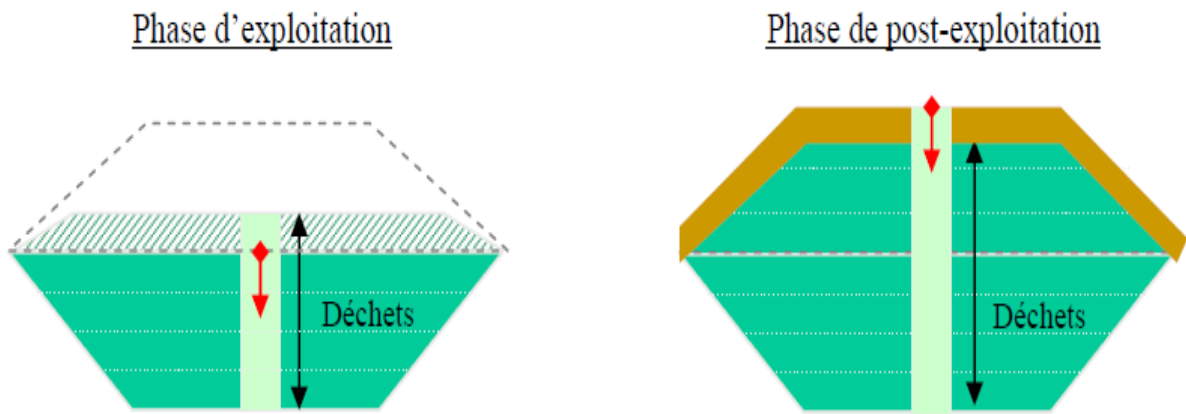
##### **V.3.1 Mécanismes du tassement**

Le comportement mécanique d'un massif de déchet peut être envisagé en deux étapes :

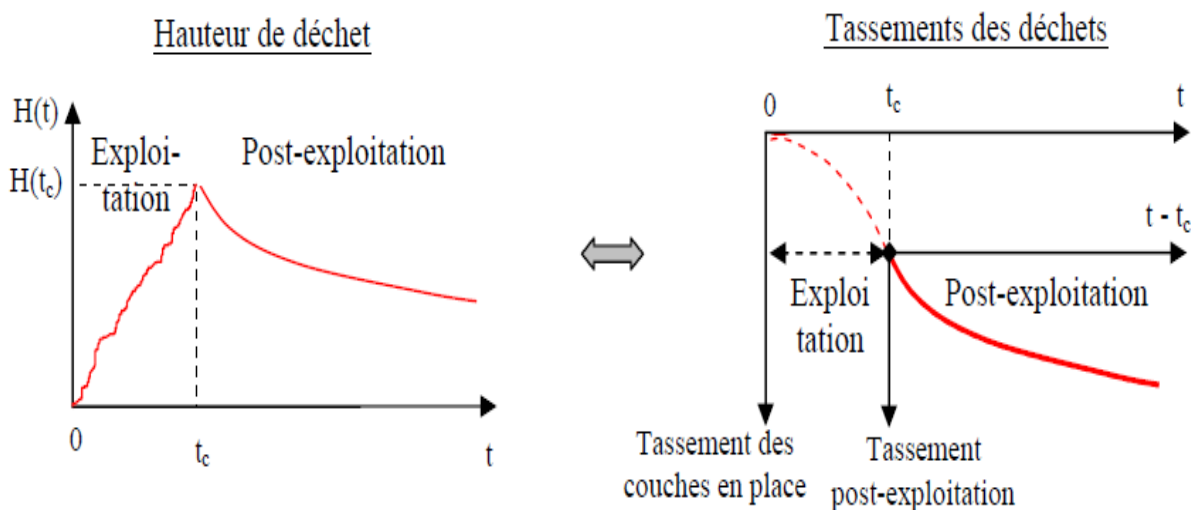
- **une phase d'exploitation ( $t < t_c$ )** : cette période correspond à la phase de construction du massif considéré (i.e. mise en place des déchets et pose de la couverture). Les couches de déchet sont alors soumises à une surcharge croissante. Si la hauteur finale de la colonne de déchet  $H(t_c)$  est fixée par arrêté préfectoral, la masse de déchet stockée dépendra du tassement observé au cours de cette phase. A

cette phase d'exploitation correspond une durée très variable de quelques semaines à quelques années.

- **une phase de post-exploitation ( $t > t_c$ )** : le massif de déchet étant confiné avec sa barrière de couverture définitive, les surcharges appliquées sur chacune des couches de déchet sont considérées constantes. La dégradation du déchet se poursuivant, c'est à l'exploitant qu'incombe la responsabilité d'assurer le drainage et le traitement des effluents liquides et gazeux mais aussi de veiller au contrôle et à la maintenance des barrières de couverture subissant directement l'effet des tassements. A cette période de post-exploitation est actuellement associée une durée de 30 ans à partir de la pose de la couverture.



*Fig.5.1 : Schéma d'un casier de stockage (a) en phase d'exploitation (b) en phase de post-exploitation.*



*Fig.5.2 Evolution (a) de la hauteur de déchet (b) du tassement de surface associé au cours des phases d'exploitation et de post-exploitation d'un CSD.*

Une troisième phase est parfois considérée, dite phase de ‘post-gestion’, consécutive à la fermeture d’un site de stockage. A ce stade, le déchet est considéré inerte et les tassements sont supposés sans effet sur les éventuels projets de requalification de site. Dans la pratique, des observations réalisées sur le centre de stockage ont mis en évidence que la compression secondaire pouvait se prolonger de manière substantielle au cours de périodes de durée supérieure à 30 ans. Cela corrobore l’anecdote citée par Bjarngard et Edgers (1990) évoquant le papier retrouvé par Stone (1975) peu ou pas décomposé après 40 ans de stockage.

Sur le plan phénoménologique, ces tassements dont la vitesse tend à décroître au cours du temps, peuvent être subdivisés schématiquement en cinq catégories [(Sowers, 1973), (Thomas, 2000)] :

- D’actions mécaniques (principalement liées à l’application de surcharges qui entraînent une distorsion et un réarrangement des composants du déchet).
- D’actions biochimiques (sous l’effet de la décomposition de la matière organique du déchet).
- D’actions physico-chimiques (corrosion des matériaux ferreux, phénomènes d’oxydation, etc.).
- D’un tamisage des particules dégradées au travers des macrospores du déchet.
- Interactions (Les différentes actions présentées précédemment ont pour caractéristique d’interférer entre elles, ce qui accentue les phénomènes de tassement).

Ces mécanismes interagissent entre eux en se superposant de manière complexe au cours du temps. Leur association peut néanmoins être représentée à partir de deux composantes distinctes ce sont les phases de tassement (Olivier, 2003) :

### V.3.1.1 Tassement primaire

Le tassement primaire est généralement terminé après quelques semaines ou quelques mois (Sowers, 1973 ; El-Fadel et Khoury, 2000). Sous l’action d’une surcharge extérieure, les éléments fortement déformables (papier, textiles, plastiques en feuilles) et dégradables (substance organique) produiront une diminution substantielle du volume initial du massif de déchet. Pendant cette phase, les éléments inertes subissent de grandes déformations et ils tendent à se disposer selon une structure quasi définitive (Grisolia, 1995). Les contacts entre ces éléments seront encore en grande partie empêchés par les matériaux déformables et par la substance organique. Par contre, la dégradation de la partie organique est supposée ne pas intervenir durant cette phase du tassement.

### V.3.1.2 Tassement secondaire

Le tassement secondaire, quant à lui, est observé durant la quasi-totalité de la durée de vie de l'ISDND. Il a une origine double, à la fois mécanique et biologique (Bjarngard et Edgers, 1990, Park et al., 2002, Dixon et Jones, 2005, Hettiarachchi et al., 2007 et 2009, Machado et al., 2008). Cette phase se poursuivra pendant toute la durée de post-exploitation et de suivi par les exploitants. Notons que, généralement, plus de la moitié du tassement total est imputable au tassement secondaire (McDougall, 2007). Grisolia et al., (1995) séparent la phase de tassement secondaire en trois sous-phases (tassement secondaire intermédiaire surtout dû à une première phase de fluage, tassement secondaire supplémentaire dû à la surimposition d'une cinétique de biodégradation, tassement secondaire résiduel induit par la déformation résiduelle du déchet, due à la réorientation mécanique retardée, la biodégradation étant terminée). La distinction de sous-phases au sein du tassement secondaire paraît assez réaliste car elle rend compte de la succession de phénomènes mécaniques puis biochimiques, et sera utilisée dans l'approche biomécanique proposée. Toutefois, l'ampleur du tassement induit par la biodégradation, car le tassement induit par la perte de masse reste une composante généralement non majoritaire du tassement secondaire pour un déchet type.

### V.3.2 Facteurs d'influence du tassement

Le tassement est influencé notamment par le type de déchet, la teneur en matière organique et en eau, la densité, la compressibilité, l'état de dégradation et la conduite d'opération sur l'ISDND (Elagroudy et al., 2008). Les mécanismes qui entrent en jeu pendant les processus des tassements sont en fait multiples et interagissent souvent entre eux. (Le tableau.5.1) résume les principaux mécanismes du tassement et les facteurs contrôlant leur amplitude. Un exploitant peut agir sur la déformabilité d'ensemble du massif de déchets en réalisant par exemple un prétraitement, un broyage, un tri ou un compactage des déchets. Les actions mécaniques auront pour principale conséquence une augmentation de la densité des déchets à la mise en place, des actions tendant à favoriser les réactions biologiques quant à elles auront un effet différé mais d'autant plus rapide qu'elles sont importantes.

Mécanismes du tassement	Facteurs contrôlant l'amplitude du tassement
Compression mécanique et fluage	Compressibilité, composition initiale du déchet : granulométrie, forme des particules, propriétés intrinsèques à chaque composant.....
Percolation et tamisage	Densité et porosité initiales, teneur en eau et fréquence d'injection/recirculation, teneur en matière organique
Effondrement ou rupture de macro-structures	Degré de surcharge et historique de chargement, conduction du compactage, mécanismes biologiques et chimiques (corrosion, oxydation, dissolution
Perte de masse par biodégradation	Disponibilité du substrat, facteurs environnementaux (teneur en eau, température, Ph.....)

*Tableau.5.1: mécanismes et facteurs contrôlant le tassement de déchets (Manassero et al., 1997)*

### V.3.3 Compactage et préconsolidation du déchet

Le compactage consiste à transformer le déchet d'un état lâche à un état dense avec pour objectif:

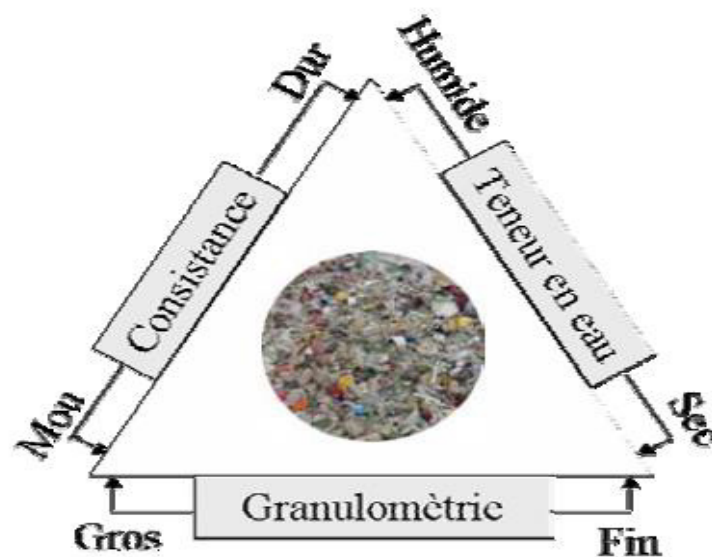
- La réduction des tassements ultérieurs.
- L'augmentation de la capacité portante.
- L'augmentation de la résistance au cisaillement.
- La réduction de la conductivité hydraulique.
- La limitation des risques de combustion interne.

L'épandage par couches d'épaisseur variable (1 à 2,50 m par le passé, 30 à 60 cm aujourd'hui), parfois lestées de couvertures journalières en matériaux inertes est assortie d'un compactage à l'aide d'engins munis de roues à bandages spéciaux (souvent appelés 'pieds de mouton') garantissant le pétrissage du déchet (qui s'accompagne d'une augmentation de l'isotropie 'en grand' de la structure) et une bonne interpénétration des couches successives.

Dans le cas de déchets à forte teneur en DIB, ces derniers peuvent être associés à des compacteurs à couteaux ayant essentiellement pour fonction de déchiqueter le déchet. En définitive, le compactage permet d'une part une trituration des déchets (importance du relief des roues) permettant de déstructurer les matériaux et donc de réduire la taille de ces derniers,

d'autre part de réduire les vides sous l'effet de la charge surfacique (importance du poids de l'engin).

Le résultat final dépend de l'engin utilisé (poids surfacique, dentition), du nombre de passes et de l'épaisseur des couches compactées mais également de la teneur en eau du déchet lors du compactage. L'art du compactage inclut par ailleurs un certain nombre de règles empiriques difficiles à décrire (mélange des éléments grossiers avec des éléments fins, mélange des déchets secs avec des déchets humides, mélange des déchets durs avec des constituants plus mous) (La figure.5.3) qui rendent cette technique largement tributaire de l'appréciation du conducteur d'engin.



*Fig.5.3: Diagramme ternaire applicable au compactage d'après Onyx (2000)*

L'efficacité du compactage est généralement estimée à partir du taux de compactage équivalent à la masse volumique 'solide' globale. Compte tenu des fluctuations relatives à la composition des déchets entre différents sites et des hauteurs de stockage tout autant variables, ce taux de compactage doit être considéré avant tout comme un indicateur relatif valable pour un site donné.

### **V.4 Évaluation des tassements sous l'effet d'un rechargement**

Afin d'anticiper les mouvements (structurels) futurs de la barrière de rehausse de casier, il est proposé en premier lieu l'utilisation du Modèle Incremental de Prédiction des Tassements (modèle ISPM) [Olivier(2003), ADEME (2005)]. En effet, l'application de ce modèle présente, vis-à-vis des modèles traditionnels, des avantages tant fondamentaux (détermination



de coefficients de compression intrinsèques au déchet) que pratiques (fiabilité accrue des prédictions). En outre, le caractère incrémental de ce modèle (analyse par couche élémentaire de déchets) lui confère une grande souplesse d'utilisation, le prédestinant à l'étude de massifs de déchets de hauteur et d'âge souvent variables dans l'espace. Enfin, ce modèle présente l'avantage d'avoir été calibré sur une cinquantaine d'ISDND en France et à l'étranger, ce qui lui confère une robustesse que n'ont pas d'autres modèles. Par ailleurs, en complément de l'étude traditionnelle des tassements structurels (à grande échelle), il convient, afin d'anticiper (de manière conservative) les déformations maximales qui peuvent se produire au sein d'un massif de déchets, de prendre en compte parallèlement le risque de survenue d'affaissements localisés. En l'absence de modèle mathématique adapté, ce risque est estimé sur la base de retours d'expériences acquis sur un grand nombre de sites dans le monde.

### **V.5 Modélisation analytique des tassements des déchets**

Il existe un certain nombre de modèles de prédiction des tassements des déchets que l'on peut classer suivant différents critères en fonction de :

- Leur origine (lois tirées de la mécanique des sols, lois rhéologiques, lois empiriques et modèles biologiques).
- Leur formulation (logarithmique, exponentielle, hyperbolique, etc.).
- Leur mode de résolution (analytique, géométrique, numérique).

#### **V.5.1 Les Modèles de prédiction du comportement mécanique des matériaux déchets**

Modèle	Description	La relation
modèles de Buisman (1936) et Terzaghi (1943)	Cette théorie exprime le tassement des sols en deux phases, une phase de tassement primaire pour tous les sols, et une phase plus différée de tassement secondaire pendant laquelle le squelette de sol continue son tassement	$\sigma = \sigma' + P_g + x. (P_1 + P_g)$ $\varepsilon_1 = \frac{\Delta h_1}{h_0} = C_R \cdot \log \left[ \frac{\sigma'_0 + \Delta \sigma'}{\sigma'_0} \right]$ $\varepsilon_2 = \frac{\Delta h_2}{h_1} = C_{\alpha\varepsilon} \cdot \log \left[ \frac{t}{t_1} \right]$
Modèle de Sowers (1973)	Sa formulation est simple et le nombre de paramètres à introduire réduit. De plus, ses coefficients peuvent être déduits de l'observation d'une colonne de déchet pendant une période réduite avec pour objectif une prédiction à plus long terme.	$\varepsilon_1 = \frac{\Delta H_1}{H_{réf}} = C_R \cdot \log \left[ \frac{\sigma'_0 + \Delta \sigma'}{\sigma'_0} \right]$ $\varepsilon_1 = \frac{\Delta H_2}{H_{réf}} = C_{\alpha\varepsilon} \cdot \log \left[ \frac{t}{t_1} \right]$
Modèle de Bjarngard et Edgers (1990)	proposé une formulation du tassement en deux étapes : une formulation pour la part mécanique du tassement secondaire, et une formulation pour la part biochimique du tassement secondaire.	$\varepsilon_2 = \frac{\Delta H_2}{H_0} = C_{\alpha\varepsilon 1} \cdot \log \left[ \frac{t_B}{t_1} \right]$ $+ C_{\alpha\varepsilon 2} \cdot \log \left[ \frac{t}{t_B} \right]$
Modèle de Yen et Scanlon (1975)	-----	$d\varepsilon = \varepsilon(t + dt) - \varepsilon(t)$ $= C_{\alpha\varepsilon} \cdot \log \left[ \frac{(t + dt) - t_c}{t - t_c} \right]$ $C_{\alpha\varepsilon} = m(t) \cdot \frac{dt}{\log \left[ \frac{(t+dt)-t_c}{t-t_c} \right]}$

Tableau .5.2: Les modèles du comportement mécanique des matériaux déchets

V.5.2 Modèles rhéologiques et application aux déchets

Modèle	Description	La relation
Modèle de Gibson et Lo (1961)	<p>Le principe du modèle est de considérer :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- une compression primaire représentée par un ressort de Hooke de compressibilité <math>a</math> (indépendante de la contrainte effective appliquée <math>\sigma'</math>).</li> <li>- une compression secondaire représentée par l'association (dite de Kelvin) d'un ressort de Hooke de compressibilité <math>b</math> monté en parallèle avec un amortisseur de viscosité <math>\lambda/b</math>.</li> </ul>	$\varepsilon_t = \frac{\Delta h(t)}{h_0}$ $= \sigma' \cdot (a + b) \cdot (-e^{-\lambda/b(t-t_0)})$
Modèle d'Edil et al. (1990) et de Bleiker et al., (1995)	<p>Le modèle est appliqué tel quel et les paramètres <math>a</math>, <math>b</math> et <math>\lambda</math> peuvent être déterminés à partir du tassement final et d'essais de laboratoire. Les résultats seraient moins satisfaisants qu'avec d'autres types de modèles mécaniques ou empiriques.</p>	-----

Tableau .5.3: Les modèles rhéologiques du déchet

V.5.3 Modèles empiriques et application au déchet

Modèle	Description	La relation
Modèle hyperbolique de Ling et al., (1998)	L'avantage de ce modèle est d'être suffisamment flexible pour pouvoir envisager des prédictions à partir de n'importe quel instant initial retardé après la fin d'exploitation. Selon les auteurs du modèle, ce dernier donnerait de meilleurs résultats que les autres lois empiriques.	$\varepsilon_2(t) = \frac{\Delta h_2(t)}{h_0}$ $= \frac{t}{h_0/\rho_0 + t/\varepsilon_{fin}}$
Modèle en loi de puissance d'Edil et al., (1990)	la fonction puissance tend toutefois à diverger et donc à donner des valeurs de tassements largement surestimées pour des temps importants, ce qui rend son application problématique. Il n'est donc pas très répandu dans la modélisation des tassements de déchets.	$\varepsilon_2 = \frac{\Delta h_2(t)}{h_0}$ $= \sigma' \cdot m \cdot \left(\frac{t}{t_r}\right)^n$

Tableau .5.4: Les modèles empiriques du déchet

## V.5.4 Les modèles bio-mécaniques de tassement

Modèle	Description	La relation
Modèle bio-mécanique de Machado et al., (2008)	Le milieu déchet est décomposé ici en quatre fractions (milieu gazeux, milieu liquide, matrice organique, fibres). Le modèle est assez comparable au module de tassements des modèles de McDougall (2007) et Lobo et al., (2008).	$\alpha(t) = \frac{-\alpha^* \cdot \Delta M_{so}}{M_{so}}$ $\frac{d\varepsilon_b}{dt} = -\left(\frac{\rho_s}{\rho_{sp}}\right) \cdot \left(\frac{1}{1+e_0}\right) \cdot \left(1 - \alpha^* \frac{\Delta M_s}{M_{so}}\right) \cdot \frac{\partial M_s}{\partial t} \cdot \frac{1}{M_{so}}$
Modèle empirique d'Elagroudy et al., (2008)	Elagroudy et al. ont proposé un modèle purement empirique pour les tassements secondaires induits par la biodégradation.	$\varepsilon_b = A(1 - e^{-Bt})$
Modèle bio-mécanique de Hettiarachchi et al., (2007 ; 2009)	Hettiarachchi et al. (2007 et 2009) ont proposé un modèle prenant en compte les effets de l'humidité, de la pression de biogaz et de la biodégradation sur le tassement long terme de déchets stockés. Ce modèle inclut des couplages relativement complexes	$\varepsilon_b = \frac{M_s^0}{V_0} \cdot \sum_{i=1}^4 \frac{f_{si}}{\rho_{si}} \cdot (1 - e^{-\lambda_i t})$

Tableau .5.5: Les modèles bio-mécaniques de tassement

## V.6 Conclusion

La prédiction des tassements a en premier lieu un objectif sécuritaire. Dans le contexte actuel de pénurie de sites de stockage de déchets, la prédiction des tassements se justifie aussi par

## CHAPITRE V ANALYTIQUE DES TASSEMENT DES DECHETS

---

une démarche opérationnelle. Les principaux paramètres qui régissent l'exploitation d'un casier de stockage sont :

- la durée d'exploitation.
- la hauteur d'exploitation autorisée fonction de la cote de fond de casier et de la cote supérieure autorisée.
- le flux de déchets entrants (équivalent à un tonnage quotidien ou mensuel).

En règle générale, l'arrêté préfectoral d'autorisation d'exploiter stipule à la fois la durée d'exploitation du casier considéré et sa cote supérieure autorisée (généralement avant ou immédiatement après la pose de la couverture). La prédiction des tassements au stade de l'avant-projet permet d'évaluer la capacité de stockage du casier en fonction des flux de déchets entrants.

Dans d'autres cas, la prédiction des tassements peut constituer par ailleurs un outil permettant:

- à partir de la hauteur d'exploitation autorisée et des flux de déchets entrants d'estimer au mieux la durée d'exploitation effective.
- à partir de la durée d'exploitation et des flux de déchets entrants d'estimer au mieux la hauteur de déchet effective en fin d'exploitation.

An orange scroll graphic with a light-to-dark gradient, rounded corners, and a vertical strip on the left side. The scroll is unrolled, showing the text in the center.

## ***CHAPITRE VI***

### ***Modélisation d'une cellule de stockage de déchet***

## ***CHAPITRE IV***

### ***L'EVOLUTION DES DECHETS EN ISDND***

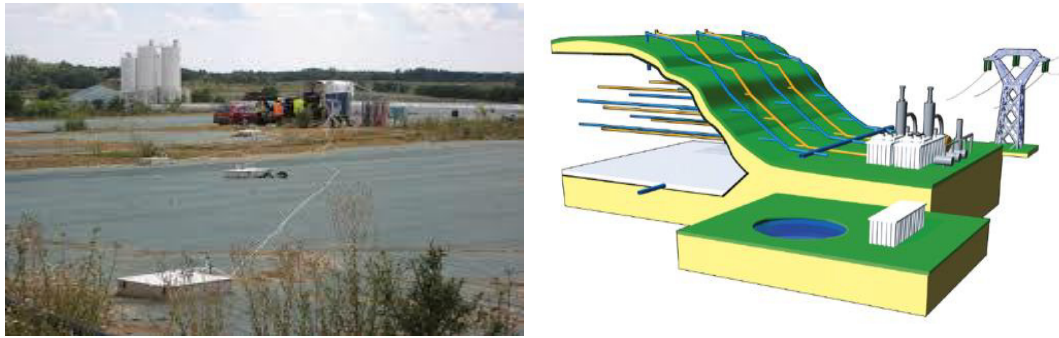
#### **IV.1 Introduction**

Au début des ISDND et pour préserver l'environnement des pollutions par les effluents, principalement liquides, le stockage privilégié était celui de la décharge sèche. En effet, les étanchéités et couvertures n'étaient pas de suffisamment bonne qualité pour éviter les fuites d'effluents et par conséquent l'environnement a été pollué. La décharge sèche, par définition, est opérée en condition sèche, c'est à dire défavorable à la biodégradation. En effet, l'humidité est un des facteurs bloquant principaux de la biodégradation. Par conséquent, le déchet reste susceptible de contaminer l'environnement à long terme et ne peut atteindre des conditions éco-compatibles qu'après un temps long ce qui augmente les risques de fuites des barrières imperméables, par vieillissement par exemple. Par conséquent, des solutions pour accélérer la biodégradation tout en assurant le confinement des déchets et donc la non contamination de l'environnement ont été recherchées.

#### **IV.2 La recirculation**

La recirculation des lixiviats s'est développée depuis une quarantaine d'années aux Etats-Unis où de nombreux sites utilisent ce procédé. La recirculation est souvent réalisée dans le but de réduire les quantités de lixiviats à traiter, sans avoir pour but final une diffusion homogène des lixiviats pour favoriser la biodégradation. Comme expliqué par (Reinhart and Townsend 1998), l'humidité d'un déchet est un facteur primordial de sa biodégradation. Par conséquent, et grâce à l'amélioration des dispositifs d'étanchéité, l'une des solutions d'amélioration des ISDND vise à augmenter in situ l'humidité des déchets de manière contrôlée. Pour cela, une des méthodes envisagée est la recirculation des lixiviats. Des réseaux de puits horizontaux ou verticaux sont utilisés sur les massifs de déchets, déjà en place, pour réinjecter les lixiviats. Outre le fait d'humidité le déchet, la recirculation de lixiviat permet aussi l'apport des nutriments et microorganismes présents dans le lixiviat. (La figure. 4.1) montre une représentation schématique d'une ISDND permettant la recirculation des lixiviats. On peut y voir le circuit de récupération du biogaz (en jaune) et le circuit de réinjection et de drainage du lixiviat (en bleu).





*Fig.4.1: Représentation schématique d'une ISDND permettant la recirculation des lixiviats  
(FNADE-Ademe, 2007)*

### IV.2.1 Les avantages

Les avantages de la recirculation sont multiples comme le notent Warith (2002) ou Benson et al., (2007) :

- Diminution importante du temps de post-exploitation des ISDND, le temps de post-exploitation d'une ISDND conventionnelle est de l'ordre de 30 ans, ce temps peut être réduit à quelques années pour une gestion dans des conditions d'humidité optimales (Warith, 2002). Par conséquent, cela limite les risques de contamination des sous-sols à long terme.
- Augmentation du taux de tassement (Morris et al., 2003, Swati and Joseph, 2008). Comme le tassement est plus rapide, de l'espace de stockage est libéré, permettant dès lors à un même site de stocker plus de déchet. Or, l'espace de stockage est un problème critique de la gestion des déchets, son augmentation sensible est donc primordiale Warith (2002). Pour une ISDND recirculée aux Etats-Unis, une augmentation de l'espace de stockage de l'ordre de 25 %. Par ailleurs, le tassement étant plus rapide, cela évite le risque d'endommagement des couvertures à long-terme (Benson et al., 2007) et donc le risque de fuites importantes de gaz à effet de serre et d'infiltration incontrôlée d'air et d'eau de pluie.
- Augmentation du taux de production de biogaz (François et al., 2007) .Cette augmentation du taux de production de biogaz permet de diminuer le temps de production de biogaz et par conséquent le temps durant lequel le système de collecte et de traitement du gaz est mis en œuvre. Par ailleurs, l'augmentation du taux de production de biogaz améliore la viabilité de la valorisation du gaz en énergie électrique.
- Diminution des coûts de traitement du lixiviat. En effet, le lixiviat étant réutilisé pour la recirculation la quantité de liquide à traiter est diminuée. Par ailleurs certains

auteurs notent une amélioration de la qualité des lixiviats même si certains composants polluants tendent à augmenter (François et al., 2007; Morris et al., 2003).

L'un des intérêts de cette technique est son coût modéré. La valorisation du biogaz peut améliorer la rentabilité des installations. En effet, le coût d'exploitation d'une ISDND utilisant la recirculation des lixiviats n'est pas significativement différent de celui d'une ISDND conventionnelle sur le long terme.

### **IV.2.2 Les inconvénients**

Les inconvénients majeurs d'une augmentation substantielle de l'humidité d'un massif de déchet sont les problèmes de stabilité mécaniques ainsi (Koerner and Soong, 2000) que les risques accrus de colmatage des systèmes de drainage des lixiviats. La recirculation est une solution d'optimisation de la gestion en ISDND. Cependant, comme le note Warith (2002), la quantité de lixiviat disponible sur site est généralement insuffisante pour permettre une humidification optimale du massif de déchet. Par conséquent, une méthode optimisée de la recirculation de lixiviat appelée bioréacteur est développée, en particulier aux États-Unis.

### **IV.3 Le bioréacteur**

Warith (2002) définit l'ISDND bioréacteur comme une ISDND utilisant des processus microbiologiques avancés dans le but de dégrader les composés organiques des déchets en 5 à 8 ans jusqu'à l'obtention de la stabilisation de ces déchets. Cette stabilisation correspond à l'obtention de valeurs écocompatibles pour les paramètres critiques d'un point de vue environnemental d'une ISDND (taux d'émission et composition du biogaz ainsi que composition des lixiviats). Cela correspond à une gestion in situ adaptée pouvant mettre en œuvre différents procédés. La technique principale et la plus importante est l'humidification du massif de déchet. Par conséquent, une ISDND recirculée comme décrite précédemment est la forme la plus simple de bioréacteur. La quantité de lixiviat disponible sur site est en général insuffisante pour humidifier de façon optimale le massif déchet. Dès lors, d'autres liquides sous semi-liquides non toxiques et non dangereux (tels que de l'eau, du lixiviat ou de l'eau enrichissent nutriments ou des boues) peuvent être utilisés selon les réglementations en vigueur (Warith, 2002).

D'autres procédés comme le broyage, le contrôle de la température ou du pH ainsi que d'autres formes de prétraitements (tels que l'ajout de nutriments) font aussi partie intégrante de la gestion en mode bioréacteur (Warith, 2002).

Par ailleurs, la gestion d'une ISDND bioréacteur implique nécessairement une attention particulière aux systèmes d'étanchéité et de couverture ainsi qu'aux procédures opérationnelles de manière à optimiser l'efficacité du site.



*Fig.4.2 : Le bioréacteur de Trifyl, sur le site de Labessière-Candeil - © Le Paysan Tarnais*

### IV.3.1 Les avantages et les inconvénients

D'une ISDND bioréacteur sont similaires à ceux d'une ISDND récirculée mais avec des taux d'évolution (stabilisation, tassement, génération biogaz) plus importants.

Berge et al., (2009) évaluent par ailleurs l'impact économique d'une ISDND bioréacteur par rapport à une ISDND conventionnelle. Cette étude prend en compte les coûts de construction, de gestion, la durée de post-exploitation ainsi les coûts de traitement des effluents. Il résulte de cette étude qu'une ISDND bioréacteur (37 \$/tonne) est moins coûteuse qu'une ISDND conventionnelle (46 \$/tonne). Cependant, une ISDND conventionnelle adaptée pour fonctionner en ISDND bioréacteur (50 \$/tonne) est plus coûteuse que si cette ISDND n'avait pas été transformée.

Les principaux avantages de cette technique sont :

- L'accélération de la stabilisation biochimique et mécanique des sites ;
- La diminution de la quantité de lixiviat à traiter
- La valorisation du biogaz
- Une meilleure maîtrise des odeurs

#### **IV.4 Prétraitement**

Ce n'est pas une technique nouvelle, mais un agencement nouveau de techniques classiques. On le nomme couramment MBT (mécanique, biologique, traitement). Il consiste à effectuer l'essentiel de la dégradation de la matière organique avant la mise en décharge (ou l'incinération). Les objectifs sont la réduction des quantités à enfouir et la diminution de la fraction organique mise en décharge. C'est donc d'abord une amélioration de la mise en décharge. Ce prétraitement peut être intégré dans une filière plus globale qui comprend en amont le recyclage du maximum de matériau et en aval une valorisation énergétique (biogaz ou incinération). Plusieurs installations françaises sont opérationnelles : Carpentras, Mende, Lorient.

#### **IV.5 La dégradation des déchets**

Un massif de déchets contient un mélange diversifié de composants, à la fois organiques et inorganiques, aux propriétés physiques et chimiques variables. Après enfouissement des déchets, une combinaison de processus physiques, chimiques et microbiologiques s'opère au sein du massif, entraînant une dégradation des déchets jusqu'à un état dit « stabilisé ». Les déchets alimentaires font partie des déchets qui se dégradent le plus facilement tandis que les autres matériaux, tels que le plastique, le caoutchouc, le verre sont très résistants à la décomposition.

#### **IV.6 Facteurs conditionnant la dégradation des déchets en ISDND**

De nombreux facteurs influencent la dégradation des déchets qui sont à la fois liés au type de déchets ainsi qu'à des paramètres intrinsèques au massif de déchets.

##### **IV.6.1 Configuration du site**

La hauteur des déchets conditionne la vitesse de dégradation des déchets. Les massifs profonds requièrent une quantité importante d'eau pour atteindre l'humidité optimale nécessaire à la dégradation, ce qui engendre globalement un temps plus long de décomposition des déchets, comparativement à des massifs moins profonds (Reinhart et Grosh, 1998).

### **IV.6.2 Caractéristiques des déchets**

La composition des déchets est déterminante pour l'évolution de la dégradation. Un massif contenant une forte proportion de composants biodégradables sera le siège d'une intense activité biologique. De plus, leur structure (granulométrie, densité, porosité) détermine la disponibilité de l'humidité, nécessaire à une dégradation optimale de la matière organique fermentescible (Williams, 2005).

### **IV.6.3 Humidité**

L'eau est le plus important facteur d'influence de la stabilisation des déchets. Le taux d'humidité affecte particulièrement la vitesse de dégradation du massif. En effet, des taux d'humidité de l'ordre de 15-50 % sont considérés comme critiques puisque l'activité biologique est insignifiante (Rouez, 2008). L'humidité intrinsèque aux déchets n'est pas suffisante pour contribuer au bon déroulement de la dégradation.

### **IV.6.4 Température**

La température influence également la vitesse de dégradation, en affectant le développement des bactéries et les réactions chimiques (Lei et al., 2012). Étant donné que chaque microorganisme possède une température optimale de développement, toute variation de température peut engendrer un déclin de croissance (Reinhart et Grosh, 1998).

### **IV.6.5 Oxygène**

La quantité d'oxygène disponible dans les pores du massif détermine le type de dégradation, aérobie ou anaérobie. La décomposition aérobie, qui intervient en présence d'oxygène durant une courte période suivant le dépôt, peut perdurer en cas de diffusion d'air à travers la dernière couche de déchets ou la couverture finale (Kelly, 2002).

### **IV.6.6 PH**

L'acidité du massif influence l'activité des micro-organismes et les processus chimiques qui interviennent dans le massif de déchets. Initialement, le PH du massif est neutre, puis acide lors des phases II et III pour atteindre finalement un pH compris entre 6,8 et 7,5 en phase méthanogène (Williams, 2005). Les conditions acides du début de la phase anaérobie augmentent la solubilité des constituants chimiques et diminuent la capacité (sorptive capacité) des déchets (Andreottola et Cannas, 1992).

## **IV.7 Accélération des processus de dégradation**

Des techniques d'accélération de la dégradation de la matière organique ont vu le jour car la durée nécessaire à la stabilisation des déchets est longue. Couplées entre elles, elles agissent simultanément sur plusieurs facteurs fondamentaux contrôlant la dégradation afin d'intervenir sur la durée nécessaire à l'obtention d'une stabilisation du massif.

### **IV.7.1 Broyage**

Le broyage permet une homogénéisation des déchets et une augmentation de leur surface spécifique pour la biodégradation tout en facilitant la distribution de l'eau dans le massif, en supprimant les barrières hydriques formées par les enchevêtrements de sacs plastiques, qui sont généralement rencontrées dans les massifs de déchets non broyés (Yuen, 2001). Cependant d'après Christensen et al., (1992), le broyage peut induire une forte production d'acides lors des premières phases de dégradation.

### **IV.7.2 Compactage**

Sur des déchets relativement secs, le compactage peut optimiser la circulation d'eau et permettre une meilleure distribution des nutriments au cœur de la masse des déchets afin de favoriser la dégradation (Christensen et al., 1992). Au contraire, sur déchets humides, un trop fort compactage peut empêcher la diffusion de l'eau à l'intérieur du déchet, ce qui ralentit la dégradation.

### **IV.7.3 Addition d'éléments**

L'addition d'éléments (boues de station d'épuration, solution tampon, citron, enzymes, cendres,  $C_aCO_3$ ...) a généralement pour but d'accélérer la dégradation des déchets pour atteindre plus rapidement la méthanogènes. Ces solutions additives agissent soit en tant qu'agent tampon, source de nutriments ou inoculum (Reinhart et Grosh, 1998, Yuen, 2001, Kylefors, 2002).

### **IV.7.4 Pré-compostage**

Le pré-compostage d'une fraction des déchets permet de dégrader la matière organique facilement dégradable par des processus aérobies. Ceci a pour conséquence de réduire la durée de la phase acide de la dégradation anaérobie (Christensen et al., 1992) responsable d'une forte production d'AGV. En résulte une réduction de la charge organique des lixiviat et de la quantité de biogaz produite (Mahar et al., 2009).

### **IV.7.5 Recirculation de lixiviats**

La recirculation de lixiviats accélère la dégradation des déchets en augmentant la teneur en eau des déchets ainsi qu'en facilitant la distribution dans le massif des nutriments, des micro-organismes, des enzymes responsables du bon déroulement du processus de dégradation (Mehta et al., 2002). Les conséquences directes de l'utilisation de cette méthode sont une réduction du temps nécessaire à la dégradation des déchets, une amélioration de la qualité des lixiviats et un accroissement de la production de biogaz.

## **IV.8 Ecocompatibilité, stabilité fonctionnelle, stabilité du massif de déchet**

L'écocompatibilité des déchets vis à vis de l'environnement est définie comme « une situation dans laquelle les flux de polluants émis par les déchets (stockés ou valorisés), placés dans un certain contexte physique, hydrologique, hydrogéologique, physico-chimique ou biologique sont compatibles avec les flux de polluants acceptables par les milieux récepteurs concernés par le scénario étudié » (ADEME, 2002). Toute ISDND doit être écocompatible avec son environnement, tout au long de sa vie (ses émissions ne doivent pas impacter l'environnement). Pour que le SPE puisse être arrêté, l'ISDND doit être écocompatible en l'absence de gestion active (sans nécessiter de captage et torchage du biogaz, sans nécessiter de traitement des lixiviats...). Un certain type de gestion passive peut être mis en place selon les sites et les usages. Le site a alors atteint un état de stabilité fonctionnelle (car il est en état de remplir une nouvelle fonction compatible avec les Servitudes d'Utilités Publiques (SUP)). On parlera de stabilité du massif de déchet lorsque plus aucune réaction bio-physico-chimique et effet géotechnique ne sera susceptible d'exister en son sein. Cette notion de stabilité absolue implique que le massif de déchet n'évoluera pas quelles que soient ses conditions de stockage (brèche dans la couverture, entrée d'eau, d'air...).

## **IV.9 Conclusion**

Les déchets non dangereux, déchets ménagers et déchets industriels banals, sont généralement incinérés ou enfouis en centres de stockage anciennement. La gestion de ces centres de stockage répond à des critères très précis, tant au cours de l'exploitation qu'après l'arrêt de celle-ci. En particulier, un suivi des sites fermés est imposé pendant 30 ans, période pendant laquelle la matière organique, contenue dans les déchets, produit par dégradation biologique d'importantes quantités de biogaz et des lixiviats chargés. A côté de ce mode de

stockage « classique », il est apparu depuis quelques années des modes de gestion différents, qui visent à limiter les émissions gazeuses et liquides des déchets enfouis. Il s'agit d'une part, du fonctionnement de CSD en casiers de type bioréacteur, et d'autre part de l'enfouissement de déchets prétraités biologiquement. Ces nouvelles filières de traitement des déchets ont été développées dans plusieurs pays étrangers : bioréacteurs aux Etats-Unis, MBT (Mécanique, Biologique, Traitement) en Autriche, Allemagne, Italie et Espagne. La situation est plus contrastée en Grande-Bretagne, et en France, où cependant la filière de tri-compostage a été très répandue dans les années 1980. Récemment, différentes installations de traitement et de stockage de déchets selon ces nouvelles filières se sont ouvertes en France.



## Conclusion générale

---

### Conclusion générale:

Dans un contexte de rationalisation croissante de la gestion des déchets ménagers et assimilés de classe II, le contrôle et la prédiction des tassements des déchets deviennent des aspects à part entière du suivi des CSD modernes. Le suivi et l'analyse de ces tassements se placent simultanément dans une démarche d'ordre sécuritaire et économique.

Du point de vue comportement mécanique des déchets tout d'abord, l'expérience suggère que la durée de post-exploitation devrait à l'avenir être considérée à partir d'indicateurs objectifs clairement définis.

Les enjeux sont importants. S'agissant des nouveaux sites ouverts, ceux-ci sont à la fois d'ordre sécuritaire (estimation des tassements différentiels que la couverture devra supporter, stabilité des talus), économique (prévision de la capacité de stockage ultime, optimisation de la durée d'exploitation et période de pose de la couverture finale) et réglementaire (anticipation par rapport à la hauteur maximale autorisée pour le tumulus de déchet).

Le tassement primaire est essentiellement dû au premier mécanisme, alors que le tassement secondaire mécanique est essentiellement constitué par du fluage.

Dans ce mémoire on a étudié le tassement essentiellement dû au fluage qui est un phénomène très lent, d'après notre travail :

- Les propriétés de déchet sont variées on fonction de la profondeur.
- On peut calculer le tassement de déchet à différent période dans notre cas on prend la durée d'un mois et demi pour le tassement primaire de chaque couche et 10 ans pour le tassement secondaire.
- A partir du programme élaboré à l'aide du FLAC on peut déterminer les déformations des déchets soit vertical ou horizontale ( $U_{yA}$  et  $U_{xB}$ ) aux différent point A et B.
- Lorsqu'on augmente les valeurs de la viscosité les déformations verticales et horizontales diminuent.
- On peut prédire le tassement à long terme.
- Le tassement après 10 ans est de 4.6 m
- Ce modèle nous permettre de savoir le tassement après 10 ans donc nous avons une idée sur le volume supplémentaire du déchet qu'on peut ajouter par la suite.

## Conclusion générale

---

- L'amplitude des tassements post-exploitation est importante : 10 à 25 % de la hauteur initiale des déchets (Olivier, 2008). Pour notre cas c'est 22% de la hauteur initiale pour dix ans.

## Résumé

Ce mémoire vise l'étude du comportement des Centres de Stockage de Déchets de Classe II, Le remplissage de centres de stockage permet le confinement des déchets. Cependant, elles peuvent être soumises à des déformations importantes dues aux tassements des déchets sous-jacents. En effet, le déchet est un matériau évolutif dans le temps, notamment en raison des phénomènes de dégradation de la matière organique. Les intérêts de l'étude des tassements sont les suivants:

- Intérêt environnemental et sécuritaire : Impact sur la pose et la pérennité des couvertures, efficacité du captage de biogaz, stabilité des talus ... ;
- Intérêt économique : Prévion de la capacité de stockage d'une installation et optimisation de la durée d'exploitation.

Le tassement des déchets municipaux solide (DMS) est principalement attribuable à: (1) des procédés mécaniques qui comprennent la réorientation des particules et l'effondrement des espaces vides; (2) des processus chimiques qui comprennent la corrosion, la combustion et l'oxydation; (3) des processus de dissolution des substances solubles dans les liquides par percolation puis la formation de lixiviats; et (4) la décomposition biologique des composants organiques au cours du temps en fonction de l'humidité et de la quantité de matières organiques présentes dans les déchets. Un tassement significatif se produit peu de temps après le placement de déchets en raison du processus physique et mécanique, qui est souvent appelé le tassement primaire.

Les caractéristiques physico-géomécaniques particulières du déchet se différencient de celles des matériaux particuliers tels que les sols, mais restent très mal connues. Nous avons tenté de caractériser par une approche géotechnique, le «matériau déchet» en définissant des paramètres qui lui sont propres. Après une recherche bibliographique sur les mécanismes et les modèles de tassement des déchets, nous avons utilisé un modèle viscoplastique pour prédire le tassement d'une colonne de déchet en couches élémentaires. Nous avons appliqué ce modèle aux mesures de tassement réalisées. Nous présentons dans ce mémoire l'évolution du tassement à long terme et les premiers résultats obtenus.

**Mots clés :** Déchet, DMS, ISDND, Modélisation, FLAC, Tassement.