

وزارة التربية الوطنية  
MINISTRE DE L'EDUCATION NATIONALE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT *Environnement*

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

# PROJET DE FIN D'ETUDES

## SUJET

*Caractérisation du lixiviat de la décharge  
de Oued Smex.*

Proposé par :  
*Dr. R. KERBACH*

Etudié par :  
*A. GHEBOULI*

Dirigé par  
*Dr. R. KERBACH*

PROMOTION  
*Septembre 1993*

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التربية الوطنية  
MINISTERE DE L'EDUCATION NATIONALE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT *Environnement*

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

# PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

*Caractérisation des lixiviats de la décharge  
de Oued-Smar.*

Proposé par :  
*Dr.* R. KERBACH

Etudié par :  
A. GHEBOULI

Dirigé par  
*Dr.* R. KERBACH

PROMOTION  
*Septembre 1993*

---

DEDICACE

---

*Je dedie ce modeste travail à :*

- *Mes très chers parents pour leur aide et soutien durant ma période d'étude.*
- *Mes frères et mes soeurs.*

## REMERCIEMENTS

*Je tiens à présenter mes remerciements à tous les personnes qui m'ont aidé à élaborer ce travail je voudrais citer en particulier le professeur R.KERBACHI pour son suivi et ses conseils prodigieux.*

*Je remercie aussi les techniciens de L'INA pour leur collaborations .*

*Je tiens à presneter mes remerciements à tous les enseignants qui m'ont enseigné et aux membres de jury.*

S O M M A I R E

INTRODUCTION.....1

PARTIE THEORIQUE

CHAPITRE I : GENERALITE SUR LES DECHETS.....2

    I- 1- DÉFINITION.....2

    I- 2- CLASSIFICATION DES DÉCHETS.....2

    I- 3- PARAMÈTRES CARACTÉRISTIQUE DES DÉCHETS.....2

    I- 4- DEVENIR DES DÉCHETS.....3

    I- 5- PROBLÈMES DE DÉCHETS EN ALGERIE.....5

CHAPITRE II : DECHARGE DE OUED SMAR.....9

    II- 1- PRESENTATION DE LA DÉCHARGE.....9

    II- 2- IMPACT DE LA DÉCHARGE SUR L'ENVIRONNEMENT.....9

    II- 3- NATURE ET ORIGINE DES DÉCHETS REJETÉS  
         DANS LA DÉCHARGE.....11

CHAPITRE III : LIXIVIATS DE DECHARGES.....13

    III- 1- DÉFINITION.....13

    III- 2- MECANISME DE FORMATION.....13

    III- 3- CONDITION INFULUANÇANT LA BIODEGRADATION  
         DE LA MATIÈRE ORGANIQUE.....18

    III- 4- LES INHIBITEURS.....21

    III- 5- CARACTERISATION DES LIXIVIATS.....23

    III- 6- EVOLUTION DE LA QUANTITÉ DES LIXIVIATS AU  
         COUR DU TEMPS.....25

    III- 7- POLLUTION ENGENDRÉE PAR LES LIXIVIATS.....28

    III- 8- TRAITEMENT DES LIXIVIATS.....29

## PARTIE EXPERIMENTALE

CHAPITRE IV : PRELEVEMENT DES ECHANTILLONS .....	32
IV- 1 <del>STES</del> DE PRELEVEMENT:	
IV- 2- Mode de prélèvement:	
CHAPITRE V : ETUDE DES LIXIVIATS .....	34
V- 1 Campagnes de prélèvement:	
V- 2- RESULTATS .....	34
V 3- INTERPRETATION DES RESULTATS .....	42
CONCLUSION .....	47
ANNEXE .....	49
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....	60

## INTRODUCTION :

Les décharges constituent le maillon final de toute filière d'élimination des déchets ménagers ou industriels . Elles constituent un réacteur biophysico-chimique , où plusieurs phénomènes se déroulent. Parmi ces phénomènes qui font l'objet d'étude ,il y'a la formation de lixiviats fortement chargés en matière organique, minérale et toxique.

Dans des conditions défavorables ces lixiviats s'infiltrent dans le sous-sol et contaminent les eaux sous-terraines.

La nature et la composition chimique des lixiviats générés lors du contact eau-déchets dépend de la nature des déchets rejetés (déchets inertes, déchets toxiques et solubles etc....) et du mode d'exploitation de la décharge.

Aussi l'étude des risques de la pollution des eaux souterraines par une décharge nécessite la connaissance des sous-sol et une caractérisation du lixiviat.

En Algérie, la décharge de Oued-Smar, une des plus grandes du pays, suscite beaucoup de craintes et de débats car elle est susceptible de contribuer à une forte dégradation du milieu naturel .

C'est dans ce contexte et en continuité des travaux effectués antérieurement [1] que nous nous attachons ici à effectuer une caractérisation du lixiviat issu des interactions des déchets de la décharge de Oued-Smar.

# CHAPITRE I

## GENERALITES SUR LES DECHETS

### I- 1 :Définition :

"On appelle généralement déchets tout résidu d'un processus de production ,de transformation ou d'utilisation, tout matériau produit ou tout bien meuble abandonné , que son détenteur destine à l'abandon".[2]

### I- 2 Classifications des déchets :[3]

On distingue deux grandes catégories de déchets :

- \* Les déchets urbains qui sont rejetés par la population.
- \* Les déchets industriels qui sont rejetés par l'industrie.

On peut aussi classer les déchets suivant leur comportement et leurs effets sur l'environnement lorsqu'ils sont abandonnés à eux même .Dans ce cas ,on distingue trois groupes :

- \* Les déchets inertes.
- \* Les déchets fermentescibles (biodegradables).
- \* Les déchets toxiques, chimiques ou radio-actifs, provenant des usines, des laboratoires, des hôpitaux et aussi des particuliers.

### I- 3 PARAMETRES CARACTERISTIQUES DES DECHETS :

#### I- 3- a- Paramètres physiques :

Ils comprennent les quantités et la densité , ce sont des paramètres importants pour choisir le type de collecte et de traitement.



### I- 3- b- Paramètres physico-chimiques et biologiques :[3]

Ils comprennent :

- \* L'humidité .
- \* Le pouvoir calorifique.
- \* Le rapport C/N.
- \* La teneur en carbone.
- \* La teneur en cendres et matières volatils.
- \* La teneur en phosphore.
- \* La granulométrie.
- \* Autres paramètres.

### I- 4- DEVENIR DES DECHETS :

Une fois que les déchets sont rassemblés et ramassés ,on cherche les moyens de les éliminer ou de les traiter. Le moyen le plus simple consiste à les évacuer dans des sites conçus à cet effet que l'on appelle décharges.

#### I- 4- a- LA MISE EN DECHARGE :

La mise en décharge est le procédé le plus longuement utilisé pour l'élimination des ordures ménagères et même pour certains déchets industriels.

Il existe différents types de décharges qui se différencient selon leur mode d'exploitation:

\* Décharge sauvage :Elle consiste en un dépôt de déchets,sans règles,n'importe où, par n'importe qui et par n'importe quelle manière .

\* Décharge contrôlée :Elle obéit à un certain nombre de règles et toutes les précautions sont prises pour éviter les nuisances.

Il existe aussi selon la perméabilité du terrain différents sites:

\* Site de classe 1 : imperméable pouvant accueillir certains déchets spéciaux .

\* Site de classe 2 : semi-imperméable où il peut y avoir migration lente, cette classe convient aux ordures ménagères.

\* Site de classe 3 : perméable à migration rapide et qui ne convient qu'aux déchets inertes.

#### I- 4- b- INCINÉRATION :

C'est la destruction des déchets par le feu. Les déchets ne sont cependant pas toujours de bons combustibles .

Après la combustion ,les matières volatiles sont dégagées en général sous forme de CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O et autres gaz ,par contre les matières minérales des déchets restent sous forme de mâchefer.

#### I- 4- c- COMPOSTAGE :

On distingue deux types de fermentation ,la fermentation en aérobie et la fermentation en anaérobie .

##### \* La fermentation aérobie :

Ce sont surtout les déchets biodégradables qui dans des conditions d'aérobiose ,évoluent pour donner un produit final stable appelé compost.

##### \* La fermentation anaérobie :

Ce sont aussi les déchets biodégradables ,qui dans des conditions d'anaérobiose ,évoluent pour donner un produit final qui est en générale le méthane.

#### I- 4- d- RECYCLAGE :

Certains déchets peuvent être récupérés pour être recyclés ou réutilisés.

On désigne par recyclage l'utilisation des déchets d'un produit pour fabriquer le même produit ,et on désigne par reutilisation, l'utilisation des déchets d'un produit pour fabriquer un autre produit .

#### I- 5- PROBLÈMES DE DECHETS EN ALGERIE :

Les conséquences de la croissance démographique ,la forte urbanisation ,ainsi que la mauvaise gestion des dechets , s'accroissent de plus en plus .La ville d'Alger qui est la plus peuplée représente un exemple significatif pour l'évolution des quantités des dechets et qui est la suivante [1]:

1960 : 200 tonnes / jour

1962 : 306 tonnes / jour

1984 : 1200 tonnes / jour

1990 : 1600 tonnes / jour

La composition qualitative moyenne de ces déchets et leurs caractéristiques physico-chimiques sont spécifiques au mode de vie et de consommation de la région considérée. Pour les dechets algériens des analyses ont été effectuées en 1983 [3] et qui sont résumées en tableau 1:

Matière organique	75 %
Papier carton	9,5 %
Plastique	2,5 %
Métaux	2,8 %
Chiffons et textiles	9,01 %
Verre	1 %
Cuivre	1,3 %
Pierre	1,5 %
Quantité générée par habitant	0,40 - 0,60 Kg/h/j
Densité en poubelle	0,3 - 0,45 ton/m <sup>3</sup>
Humidité	60 %
Matières sèches	40 %
Matières volatiles	78 %
Cendres	22 %
Carbone	22 %
Azote	0,8 %
C/N	49
Phosphore	0,3 %
Potassium	0,9 %
Sels	1,5 %
Hydrogène total	5,5 %
pH	6,2

Tableau (1) : Caractéristiques des déchets urbains  
en Algérie[3].

Les tableaux (2) et (3) représentent la composition et les caractéristiques physico-chimiques de la ville d'ALGER et BLIDA .

MATIERES	POIDS ( % )	
	ALGER	BLIDA
Matières organiques	79,86	62,00
Matières plastiques	03,61	06,00
Papier carton	12,50	01,50
Textiles	01,25	01,00
Verre	00,83	01,00
Métaux	01,25	06,00
Inertes	00,70	18,00

Tableau (2) :Composition de déchets des villes d'ALGER et BLIDA [4].

Paramètres	ALGER	BLIDA
pH	6,2	6,5
Teneur en eau (%)	66	62
Matières sèches (%)	34	38
Matières volatiles (%)	87,86	78,3
Cendres (%)	12,14	21,7
C (%)	56,85	39,4
N (%)	1,32	0,8
C/N	43	49

Tableau (3) : Caractéristiques physico-chimiques des déchets des villes d'ALGER et BLIDA [4].

En général les déchets algériens renferment une teneur très élevée en matière organique, fermentiscible et une faible teneur en inerte.

Le diagramme ternaire des déchets d'ALGER et BLIDA donné en fig (1), montre que les déchets algériens en général ne sont pas favorables à l'incinération [4].

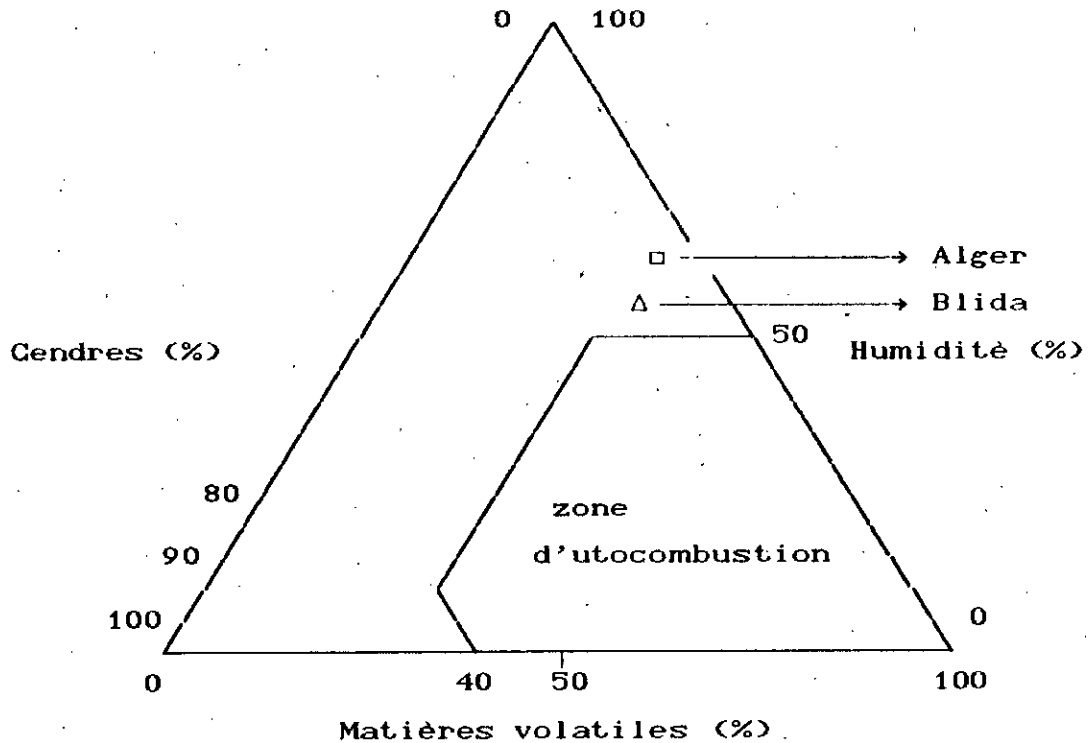


FIGURE (1) : Diagramme ternaire déterminant l'incinérabilité des déchets d'ALGER et BLIDA

Actuellement en Algérie, il n'existe aucune usine d'incinération, par contre le traitement de compostage est envisagé. Il existe une importante usine de compostage à Beni-Mered dans la wilaya de BLIDA et qui possède une capacité du traitement de 100 t/jour d'ordures ménagères produisant ainsi en moyenne 40 t/jour de compost.

## CHAPITRE II

### DECHARGE DE OUED SMAR

#### II- 1- PRÉSENTATION DE LA DECHARGE:

##### II- 1- 1 HISTORIQUE :

En tenant compte seulement du fait que le sol soit argileux, la décharge publique de Oued-Smar a été inaugurée le 13 juin 1978. Depuis cette date, elle reçoit toutes les ordures ménagères et industrielles de la wilaya d'ALGER.

Au départ la décharge a été divisée en deux zones, une pour les ordures ménagères, l'autre pour les ordures industrielles, cependant la première zone étant saturée, tous les déchets sont rejetés dans la seconde zone [5].

##### II- 1- 2 SITUATION GEOGRAPHIQUE :

Le site de la décharge s'étend sur une superficie de 12ha. Il est limité au Nord par Beaulieu, à l'Est à quelques centaines de mètres par la zone industrielle de Oued Smar, à l'Ouest au Sud et au Nord-Ouest par les terres agricoles du domaine Kourifa Rachid et au Sud-Est par le domaine Emir Abdelkader (Figure 2).

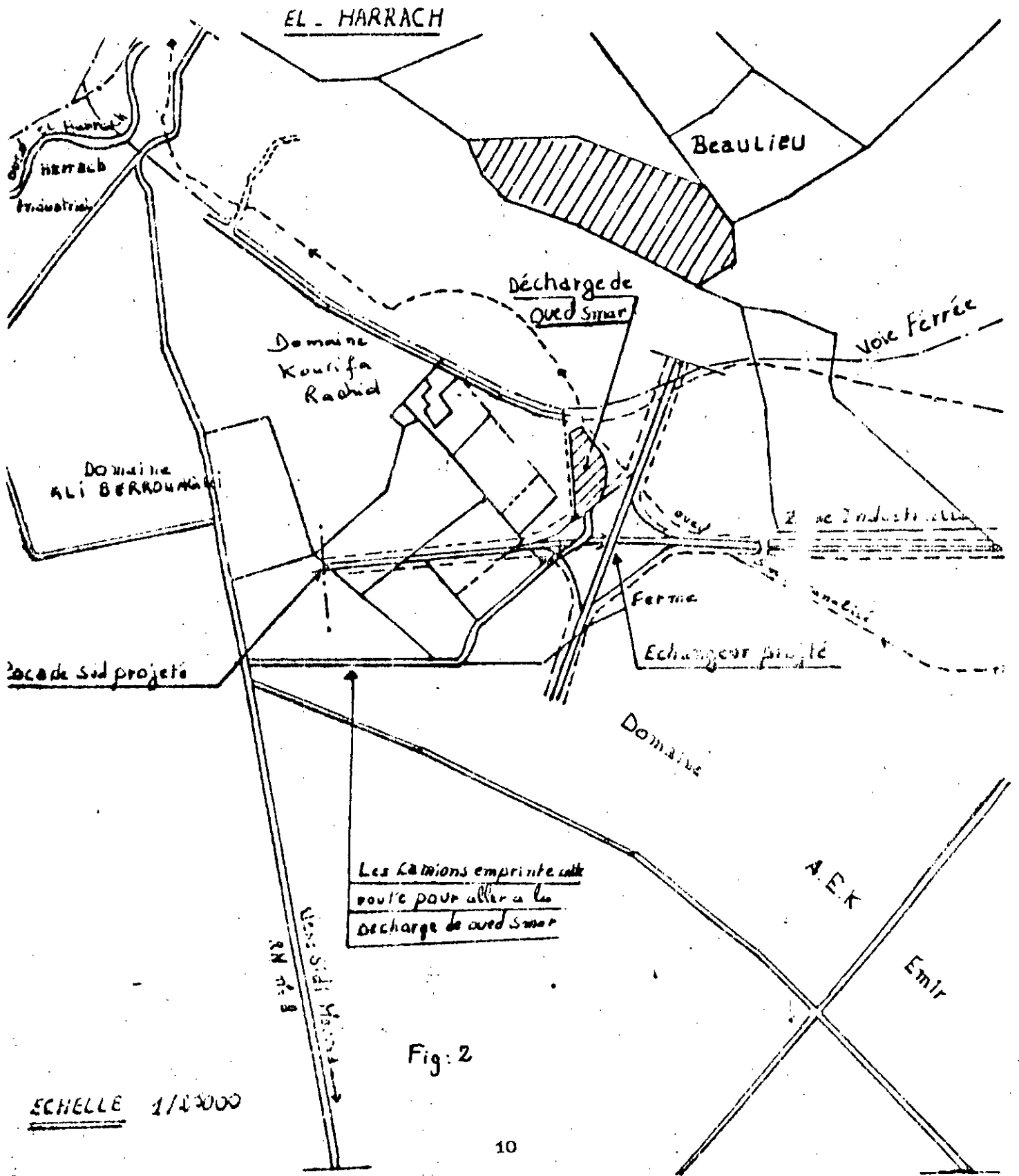
#### II- 2- IMPACT DE LA DECHARGE SUR L'ENVIRONNEMENT :

Les nuisances visibles et dangereuses engendrées par cette décharge se caractérisent par des dégagements de fumées, des odeurs nauséabondes, la prolifération des rongeurs et d'insectes, ainsi que de très fréquents incendies causés en outre par l'émanation de méthane ( $CH_4$ ).

Les fumées sont entraînées dans toutes les régions avoisinantes où elles se stabilisent par le phénomène d'inversion thermique.

L'autre nuisance qui est par contre invisible consiste en une éventuelle contamination des eaux de la nappe par les lixiviats produits par la décharge.

# PLAN DE SITUATION





## II- 3- NATURE ET ORIGINE DES DECHETS REJETÉS DANS LA DECHARGE :

Actuellement la ville d'ALGER compte environ 2 millions 600 milles habitants qui produisent 584000 tonnes d'ordures ménagères par an soit 224,6 kg/hab/an[1].

La décharge de Oued Smar reçoit ainsi 1600 tonnes/jour d'ordures ménagères provenant des wilayate d'ALGER ,BOUMERDES,BLIDA et TIPAZA. Cette décharge reçoit aussi des déchets des unités industrielles de la region qui déversent chaque jour 1500 à 2000 tonnes de dechets non controlés contenant par fois des produits extremement toxiques :Cyanure ,acides,amiante,phosphore,...[4].

Le tableau (4) illustre l'origine et la nature des produits et déchets industriels qui sont évacués sur la décharge de Oued Smar [6].

ORGANISATION ET SOCIETES	NATURE DES PRODUITS /DECHETS DEVERSES
<p>SNTA, 20 RUE MD TAZIELTE (B. E. O)</p> <p>STI, BP 436 BADJARA (H. DEY)</p> <p>SNIC, OUED-SMAR (EL HARRACH)</p> <p>ASMIDAL, (DAR EL BEIDA)</p> <p>SONATRACH, BP185 SIDI R' CINE (EH)</p> <p>ONCV U. DE MOHAMADIA (EL HARRACH)</p> <p>PACO, 15 RUE T. BELKACEM (E. H.)</p> <p>TISS-AFRIC, RUE H. EL BEY (E. H.)</p> <p>ALFREIX (OUED SMAR)</p> <p>EDGA, DEPOT COTE ROUGE (H. DEY)</p> <p>UN. DE TRANSF. DE PLASTIQUES 31 RUE MOHAMED KOUIDRI (EL BIAR)</p> <p>UNITE DE PAPIER, 4 RUE A. BENBOUZID, ALGER</p> <p>UNITE DE BOIS OUED SMAR (E. H.) IIP DISTRICT CENTRE SONACOME, UNITE DE ROUIBA TT. WILAYA D'ALGER</p> <p>ORLAC, UN. DE PROD. LAITERIE UPL 101 LES VERGERS (BIRKHADEM)</p> <p>ENPC BP 336 ALGER</p> <p>SONATRACH DIVERSES UNITES</p> <p>SNS 3 RUE DE TRIPOLI (H. DEY)</p> <p>ENP, UNITE DE OUED SMAR</p> <p>EDIPAL, 41 RUE F. HAMADI (H. DEY)</p> <p>DP RAFFINERIE D'ALGER SIDI RZINE</p> <p>SOCIETE ALGERINNE DE MEUBLES, 48 AVENUE AHCENE ASKRI (ALGER)</p> <p>SNEMA (EAUX MINERALES) REGHAIA ENTREPRISES DES PORTS</p> <p>E. T. INDUSTRIELS</p> <p>ENT. D'HABILLEMENT ET CHAUSSURES DE L'ANP 148 AV. DE L'ALN (H. DEY)</p> <p>S. A PEINTURE ET VITRES RUE A. KAMEL HUSSEIN DEY (ALGER)</p> <p>ENTR. NATIONALE DE FONDERIES UNITE D'EL HARRACH</p>	<p>JET D'ALLUMETTES ET DECHETS DE POUDRE DE TABAC</p> <p>DECHETS DE CAOUTCHOUC</p> <p>TOUS PRODUITS CHIMIQUES</p> <p>TOUS PRODUITS INDUSTRIELS</p> <p>PRODUITS CHIMIQUES</p> <p>DECHETS DE VERRE</p> <p>DECHETS DE PAPIER</p> <p>DECHETS DE FER</p> <p>DECHETS DE CAOUT. ET PLAST.</p> <p>CONSERVES ALIMENTAIRES, PAPIERS, CARTONS</p> <p>TOUS DECHETS DE PLASTIQUES</p> <p>DECHETS DE PAPIER, CARTONS, ETC...</p> <p>DECHETS DE BOIS, COPEAUX</p> <p>DECHETS PETROCHIMIQUES</p> <p>TOUTE SORTE DE DECHETS</p> <p>DECHETS DE PAPIER ET CARTON</p> <p>DECHETS DE PLASTIQUES</p> <p>DECHETS DE PLAST. ET CAOUT.</p> <p>TOUTES SORTES DE DECHETS</p> <p>FERRAILLES ET DECOMBRES</p> <p>DECHETS DE PRODUITS CHIMI.</p> <p>TOUS PROD. PHARMACEUTIQUES</p> <p>DECHETS DE PRODUITS CHIM.</p> <p>DECHETS DE COPEAUX DE BOIS</p> <p>DECHETS DE VERRE</p> <p>TOUTES SORTES DE DECHETS</p> <p>DECHETS DE COPEAUX EN ACIER ET DE VERRE</p> <p>DECHETS DE CUIR ET TISSU</p> <p>DECHETS DE VERRE ET PEINTURE</p> <p>DECHETS DE FONDERIE ET INDUSTRIELS</p>

Tableau (4) : Etat des organismes et sociétés déversant leurs produits et déchets industriels à la décharge de Oued-Smar [6].

## CHAPITRE III

### LIXIVIATS DE DECHARGES

#### III- 1 Définition :

"Par lixiviat appelé aussi lessivat ou percolat ou familièrement jus de décharge , on désigne l'eau qui a percolé à travers les déchets en se chargeant bactériologiquement et surtout chimiquement en substances tant minérales qu'organiques. Sa composition et son volume sont difficiles à déterminer à priori, car les décharges constituent un réacteur complexe évoluant spontanément"[7].

#### III- 2 MECANISME DE FORMATION :

La formation des lixiviats met en jeu une grande variété de phénomènes .

- \* L'évolution du pH ,du pouvoir tampon ,de la salinité et du potentiel d'oxydo-réduction de la solution percolante à travers les déchets.

Il en va de même de l'influence de la porosité de la partie solide et de son état de surface ,sur la cinétique globale du phénomène .

- \* Au niveau biologique ,des processus aérobie et anaérobie se superposent .

Les métabolites produits (acides aminés,acides gras volatils , aldehydes, carbonates, bicarbonates, nitrates, ammoniums, sulfures.....),réagissent avec les autres déchets pour induire des phénomènes de :

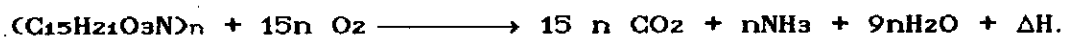
- Dissolution de minéraux en milieu acide.
- Stabilisation d'ions minéraux à l'état dissous par effet de complexation .
- Précipitation de sulfures et carbonates .....

### III- 2- 1 ASPECT BIOLOGIQUE :

L'évolution de la partie organique des déchets mis en décharge est le résultat d'une évolution biologique . En général , la décomposition de la matière organique des déchets passe par trois phases de dégradation .

#### III- 2- 1- a LA FERMENTATION AEROBIE :

Les microorganismes aérobies présents dans les déchets amorcent la dégradation aérobie suivant la réaction :



où  $(C_{15}H_{21}O_3N)_n$  représente la formule globale de la matière putrescible des décharges[8].

La production d'eau métabolique après oxydation totale par voie aérobie atteint environ 330 litres par tonne de matière sèche. Mais cette quantité d'eau est facilement éliminée par évaporation dans la mesure où la température d'équilibre est de 40 à 60°C et peut atteindre 70° C.

Cette phase est souvent appelée thermophase pendant laquelle l'eau, riche en CO<sub>2</sub>, dissout les sels solubles tels que NaCl, qui sont présent dans les ordures.

#### III- 2- 1- b LA PHASE TRANSITOIRE :

Cette phase se caractérise par la faible présence d'oxygène et on assiste au premier stade de décomposition anaérobie .

En effet les microorganismes anaérobies facultatifs décomposent la matière organique. On assiste aussi à une énorme production de CO<sub>2</sub> et d'acides organiques (acides gras volatils).

Donc il y a abaissement du pH et augmentation de la demande chimique en oxygène (D.C.O).

### III- 2- 1- c LA FERMENTATION ANAÉROBIE :

A ce stade la température diminue et la teneur en gaz carbonique en augmentant , favorise l'apparition de bactéries anaérobies strictes.

Cette phase présente l'avantage de produire du méthane (biogaz). La teneur en  $\text{CH}_4$  dans le gaz peut varier entre 40 et 60% en volume .La production du méthane peut durer plus d'une dizaine d'années.

En fonction des transformations effectuées par les différentes populations bactériennes anaérobies on peut considérer quatre étapes :

- \* L'hydrolyse de la matière organique
- \* L'acidogénèse
- \* L'acétogénèse
- \* La méthanogénèse

La figure (3) illustre les divers étapes de la dégradation anaérobie.

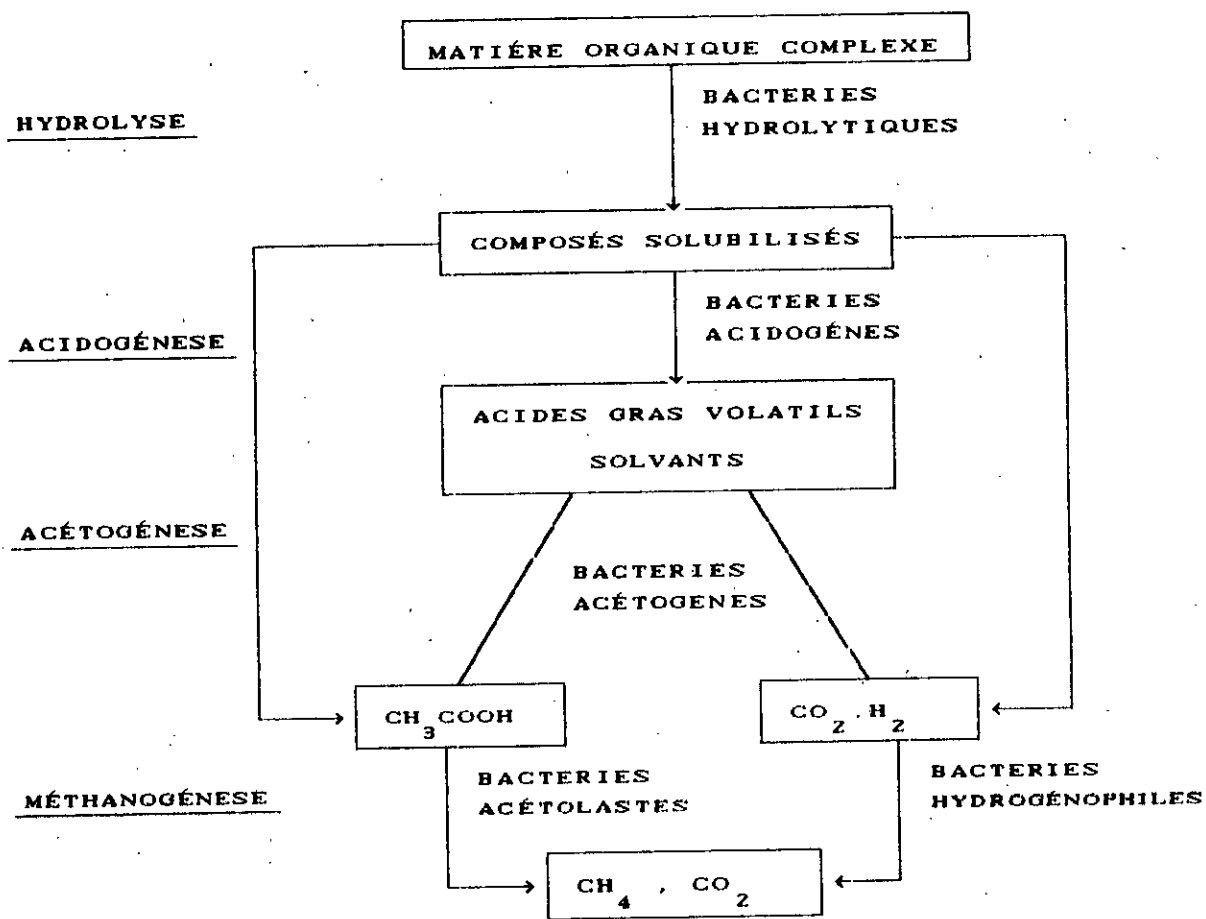


FIG (3) : Etapes biochimiques de la dégradation anaérobie de la matière organique[7].

### III- 2- 1- c- 1 PHASE D'HYDROLYSE :

Au cours de cette phase les longues chaînes des matières organiques sont attaquées , notamment par divers enzymes produits par les bactéries elles mêmes . Le stade final sera un mélange de sucres simples,d'acides aminés ou gras solubilisés . Cette phase se déroule en anaérobiose partielle .

### III- 2- 1- c- 2 PHASE D'ACIDOGÉNÈSE :

D'autres bactéries transforment les produits finaux de l'hydrolyse :

- \* Soit directement en acide acétique et acétates avec formation de gaz carbonique et d'hydrogène .
- \* Soit en alcools et acides simples de la série grasse, acides gras volatils (butyrique, propionique, formique ).

### III- 2- 1- c- 3 PHASE D'ACÉTOGÉNÈSE :

Cette phase est le fait d'organismes anaérobies. Les acides gras et alcools formés au stade précédent sont transformés en acétates, gaz carbonique et hydrogène.

### III 2- 1- c- 4 PHASE METHANOGENÈSE :

Elle est strictement anaérobie . Au cours de laquelle l'acide acétique et le méthanol sont transformés en gaz carbonique et en méthane .Le biogaz ainsi formé ,comprend entre 45% et 60% de méthane,entre 35% et 50% de gaz carbonique ,le reste étant constitué d'azote ,de gaz sulfhydriques et de divers acides plus ou moins volatiles et plus ou moins soufrés.

Dans une décharge cela se traduit par cinq étapes successives :

- \* Phase 1 : Mise en place des déchets ,remplissage des alvéoles.
- \* Phase 2 : Passage progressif en anaérobiose ,chute du potentiel rédox, augmentation progressive de la charge organique.
- \* Phase 3 : Acidogénèse,chute du pH ,compléxation des espèces métalliques,charges organique très élevées.
- \* Phase 4 : Méthanogénèse,remontée progressive du pH, diminution de la charge organique,production importante de gaz .
- \* Phase 5 : Maturation finale ,stabilisation du gaz.

### III- 2- 2 ASPECT PHYSICO CHIMIQUE :

Les lixiviats comprennent outre les résidus de l'activité bactérienne, un ensemble de substances qui peuvent réagir les uns avec les autres ,l'étude de ces phénomènes dépend de :

- \* La nature de déchets mis en décharge (difficile à connaître avec précision).
- \* pH.
- \* L'état de division des déchets.
- \* L'état de surface des déchets.
- \* La vitesse de percolation des eaux.

### III- 3 CONDITIONS INFLUENÇANT LA BIODEGRADATION DE LA MATIÈRE ORGANIQUE :

#### III- 3- 1 LES NUTRIMENTS :

Les proportions réactives en carbone ,azote et phosphore du milieu influent directement sur les processus de dégradation aérobie et anaérobie et donc sur la production du gaz.

Ainsi ,si le rapport C/N est trop grand ( $C/N > 35$ ),la décomposition est lente par déficience en azote ,par contre ,si le rapport C/N est faible ( $C/N < 5$ ) l'azote est libéré sous forme d'ammoniac .Le pourcentage de méthane est élevé et la production de gaz est maximale si C/N est égal à environ 30 [8].

Une déficience du phosphore empêche le développement des bactéries et inhibe la fermentation [9].Très peu de phosphore est retrouvé dans les lixiviats car il précipite facilement avec les ions métalliques multivalents,en formant des précipités stables et insolubles.

#### III- 3- 2 Le pH :

Le pH a un rôle important dans le développement des micro-organismes et par conséquent,la production du biogaz.Ainsi une acidification poussée du milieu , peut inhiber complètement la phase acétogène,ce qui implique une grande activité des micro-organismes intervenant dans la phase acidogène [10].



La tendance à l'acidification du milieu est due à la formation et l'accumulation en quantité importante d'acides gras volatils, lors de la phase acidogène. La figure (3) montre l'influence de la concentration en acides gras volatils sur la variation du pH(11).

### III- 3- 3 POTENTIEL REDOX :

Dans la décharge, l'accès de l'oxygène atmosphérique, diminue en fonction de la hauteur des déchets, donc il y a passage progressive d'un milieu aérobie et oxydant à un milieu anoxique, puis au milieu strictement anaérobie et réducteur.

Les lixiviats de décharge représentent en général un milieu réducteur.

CONCENTRATION "AGV" (g/l)

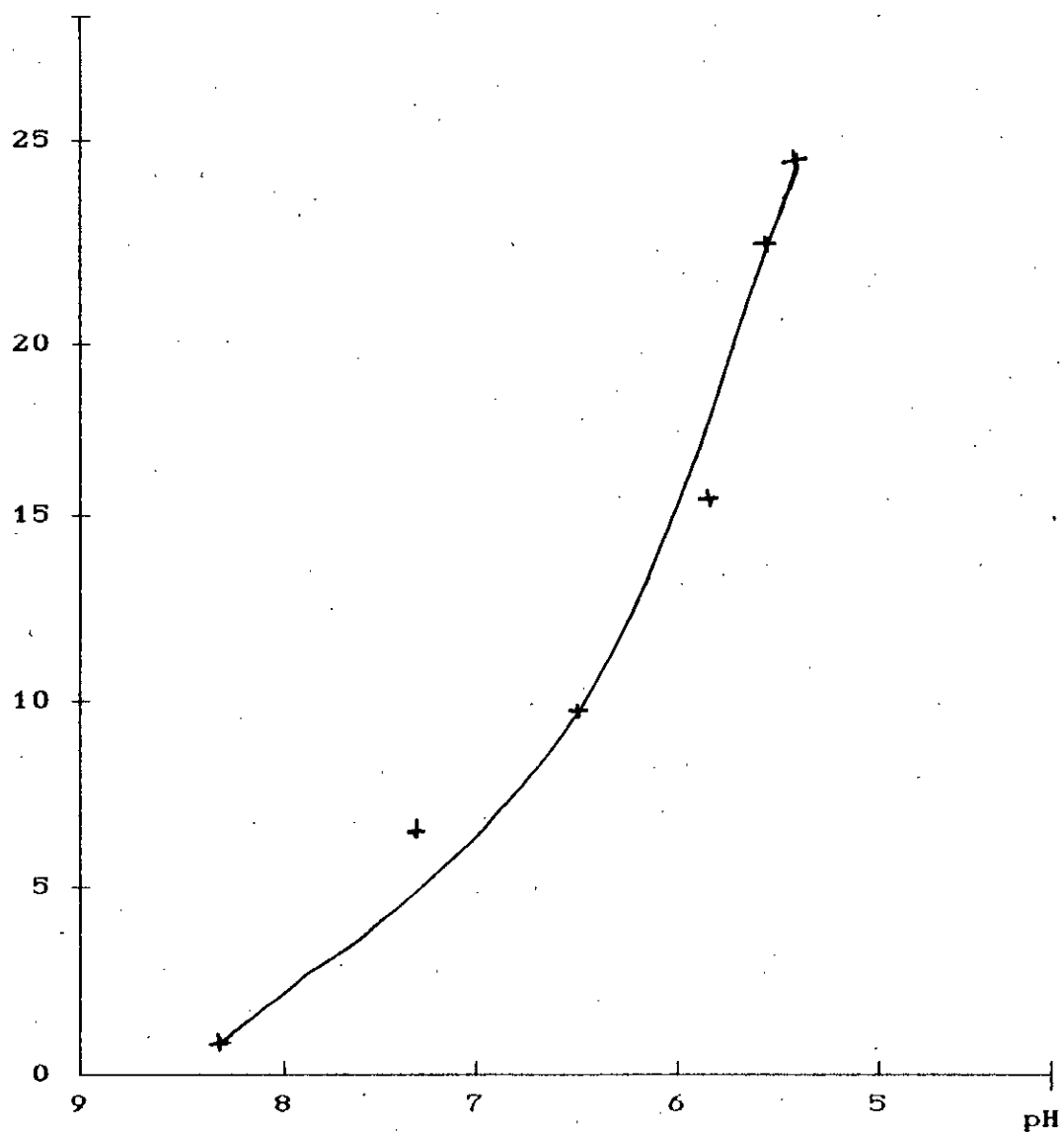


Fig (4) :Concentrations en acides gras volatils (A.G.V) en fonction du pH [11].

### III- 3- 4 LA TEMPERATURE :

L'activité enzymatique des bactéries dépend étroitement de la température. Ainsi au dessous de 5° C, il y a presque un arrêt total de l'activité bactérienne, et au dessus de 65°C les enzymes sont détruits par la chaleur [12].

En climat froid, l'activité biologique sera plus lente qu'en climat chaud.

### III- 3- 5 L'HUMIDITÉ :

Un taux d'humidité trop important conduit à une hydrolyse excessive des déchets, se traduisant par une accumulation trop importante d'acides gras volatils qui font baisser le pH et inhibent la méthanogénèse. Ces acides gras volatils restent alors dans le lixiviat et leur taux élevé peut atteindre une charge encore plus importante lorsque le contact entre l'eau et les déchets est intime et le temps de contact est long.

### III- 4 LES INHIBITEURS :

Ils entrent en action surtout dans la digestion anaérobie, leurs effets varient avec leurs concentrations, les principaux inhibiteurs sont :

#### III- 4- 1 Les alcalins et les alcalino-terreux :

Ils sont souvent rencontrés au sein d'une décharge.

Le tableau (5) ci-dessous montre l'échelle de toxicité de certains éléments

Ions (mg/l)	Stimulateur	légèrement inhibiteur	toxique
Na <sup>+</sup>	100 - 200	3500 - 5500	8000
K <sup>+</sup>	200 - 400	2500 - 4500	12000
Ca <sup>++</sup>	100 - 200	2500 - 4500	8000
Mg <sup>++</sup>	75 - 150	1000 - 1500	3000

Tableau (5) : Echelle de toxicité de certains éléments[6].

### III- 4- 2 LES METAUX:

En général les métaux lourds se trouvent ,dans les décharges sous forme de composés insolubles ou peu solubles (hydroxydes, carbonates, sulfures, phosphates).Ainsi par exemple dans la zone où il y' a réduction du Fe(III), on observe une diminution de réduction des sulfates de 86 à 100% qui s'accompagne aussi par la production du méthane ;chose qui s'explique par une limitation du substrat,car le potentiel de réduction des sulfates et production du méthane se trouve enmagaziné dans un excès d'hydrogène et d'acétates qui en présence de Fe' (III),deviennent principales donneurs d'électrons pour sa réduction [13].

A l'échelle du laboratoire sur un digesteur anaérobie,on a obtenu une inhibition de 20% de la méthanogénèse , pour les teneurs suivantes [14] :

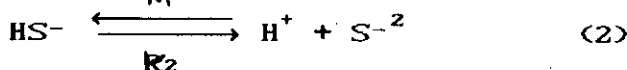
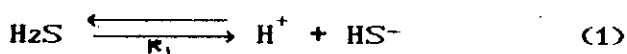
Ni <sup>2+</sup>	200 mg / kg de matière sèche.
Cd <sup>2+</sup>	2200 mg / kg de matière sèche.
Cu <sup>2+</sup>	2700 mg / kg de matière sèche.
Zn <sup>2+</sup>	3400 mg / kg de matière sèche.

### III- 4- 3 SULFURES:

Le sulfures résultent de la réduction des sulfates.

L'équilibre entre H<sub>2</sub>S dans la phase gazeuse et H<sub>2</sub>S libre en solution dépend de la loi de Henry [15] :

H<sub>2</sub>S en solution se comporte comme un acide faible et se dissocie comme suit :



à pH de neutralité et dans les conditions d'anaérobie, seulement la dissociation  $\text{H}_2\text{S}$  est importante[15].

En présence de fortes concentrations en sulfate ( $>5 \text{ g/L}$ ), il y a inhibition de la méthanogénèse à cause de leur toxicité (en forme de sels)[16].

#### III- 4- 4 L'AMMONIAC:

La teneur en azote total (Azote ammoniacal et organique) doit être suffisamment importante pour assurer le métabolisme bactérien (C/N varie de 20 à 30). Le  $\text{NH}_3$  produit lors de la dégradation de la matière organique en anaérobie se trouve sous forme de  $\text{NH}_4^+$  qui en très fortes concentrations devient un facteur limitant de la croissance bactérienne :

50 - 200 mg/L : effet bénéfique pour le développement.

200 - 1000 mg/L : effet indifférent .

1500 - 3000 mg/L : effet inhibiteur.

> 3000 mg/L : effet toxique .

#### III- 4- 5 LES HYDROCARBURES CHLORÉS:

Le chloroforme est celui par lequel des faibles concentrations, arrivent à inhiber jusqu'à 20% la production du gaz.

#### III- 5 CARACTÉRISATION DES LIXIVIATS:

La difficulté d'avoir un échantillon représentatif des déchets , de la charge minérale et organique de ces solutions , font en sorte que l'on obtient plutôt des ordres de grandeurs que des valeurs strictes.

Nous résumons en Tableau 6 les valeurs moyennes de certains paramètres physico-chimiques d'un lixiviat de décharge [7].

PH	6,1	
D C O D B O 5 C O T	5000 mg/l 2500 mg/l 1700 mg/l	pollution organique
Na <sup>+</sup> , K <sup>+</sup> Ca <sup>++</sup> , Mg <sup>++</sup> Cl <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>--</sup> P TOTAL	3000 mg/l 2000 mg/l 5000 mg/l 700 mg/l	pollution saline
Fe <sup>++</sup> Mn <sup>++</sup> Zn <sup>++</sup> Autres métaux CO , Ni , cu , cr pb , As , Hg	900 mg/l 25 mg/l 10 mg/l    <p style="text-align: center;">&lt; 10 mg/l</p>	pollution due aux métaux lourds
MES totales couleurs odeurs	500 mg/l Noir Fetide	pollution environnementale

Tableau 6 : Caractéristiques physico-chimiques moyennes d'un lixiviat moyen [7].

### III- 6 EVOLUTION DE LA QUALITÉ DES LIXIVIATS AU COURS DE TEMPS:

Normalement, les lixiviats au cours du temps ,vont refléter l'évolution de la charge, cependant d'autres déchets sont ajoutés au fur et à mesure.

Les courbes ci dessous fig (5) donnent une bonne idée de l'allure générale de ces phénomènes.

Deux élément sont à noter :

- Le rapport  $DBO_5/DCO$  ,qui caractérise le caractère organique d'un milieu est supérieur à 0,5 pour les jeunes décharges et décroît jusqu'à 0,05 pour les anciennes[7].
- Si à la longue ,la  $DBO_5$  peut atteindre des valeurs presque nulles,il n'en est pas de même,de la  $DCO$  qui reste notable ,de l'ordre de gramme par litre.

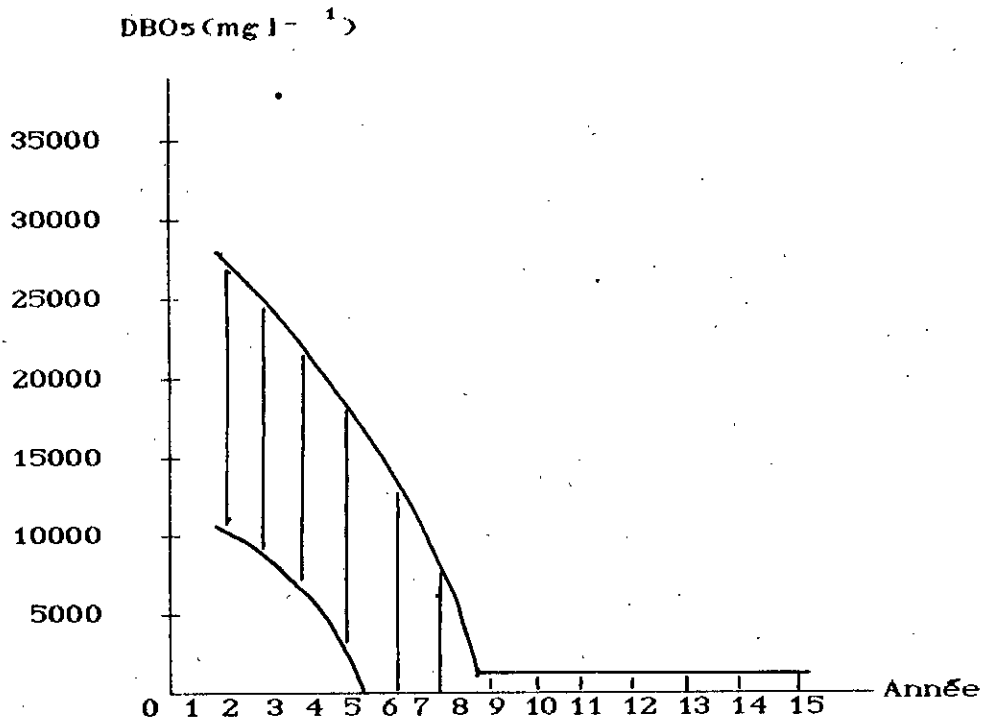
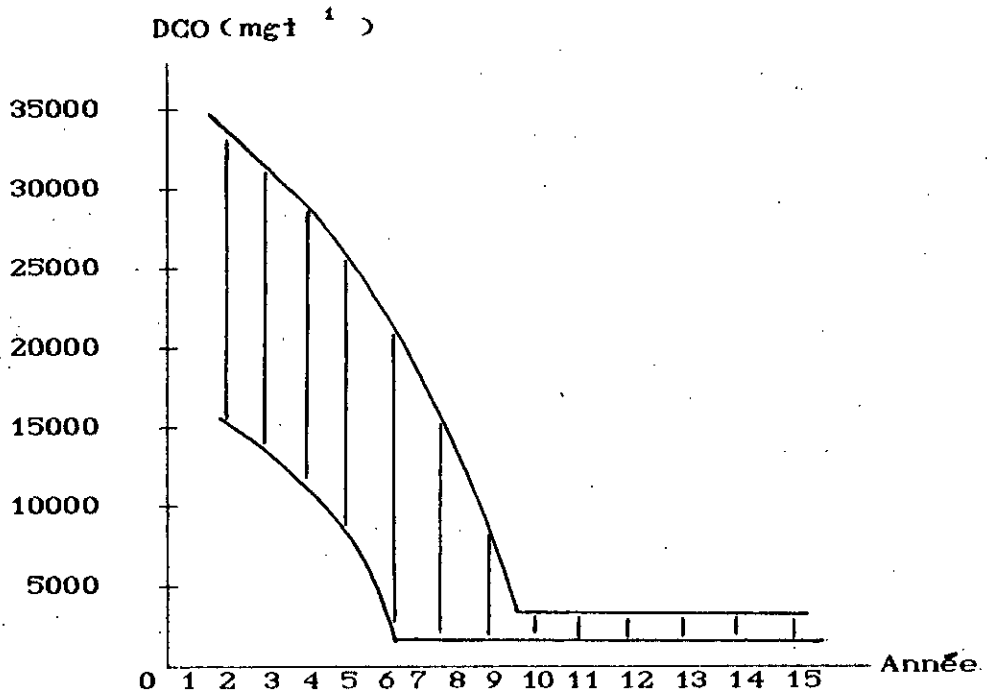


Fig (5) : Evolution de la qualité des lixiviats en fonction du temps [7].



D'autres études ont montré une dépendance assez étroite entre la DCO et la teneur en acides gras volatils (A.G.V), du moins lors des phases d'acidogénèse et d'acétogénèse.

D'après MILLOT.N ,on peut classer les lixiviats en trois grandes familles[7].

1) Les lixiviats jeunes: Qui présentent :

- \* Une charge organique élevée (DCO > 20g/l).
- \* Une biodégradabilité moyenne (DBO<sub>5</sub>/DCO >0,3).
- \* pH de l'ordre 6,5.
- \* Une concentration en acides carboxyliques importante qui représente plus de 80% de la charge organique .
- \* Une teneur en métaux élevée (jusqu'à 2g/l).
- \* Un rapport COT/DCO voisin de 0,3.
- \* Forte concentration en A.G.V dans les charges organiques et relativement faible des composés de haut poids moléculaire.

2) Les lixiviats stabilisés: Qui présentent :

- \* Une charge organique assez faible (DCO <2g/l).
- \* Une biodégradabilité très faible (DBO<sub>5</sub>/DCO <0,1).
- \* Une absence d'acide carboxyliques.
- \* Un pH légèrement >7,5.
- \* Une teneur en métaux faible.
- \* Un rapport COT/DCO de l'ordre de 0,4 qui indique la présence de composés difficilement oxydables.
- \* Forte concentration en composés de poids moléculaire élevé.

3) Les lixiviats intermédiaires:

Puisqu'au cours du temps la composition des pércolats évolue de celle typique des lixiviats jeunes vers celle des lixiviats stabilisés. Il présentent notamment :

- \* Une charge organique avec DCO comprise entre 3 et 15 g/l.
- \* Une biodégradabilité assez faible (DBO<sub>5</sub>/DCO  $\cong$  0,2).
- \* Un pH voisin de la neutralité.
- \* Une concentration en acide carboxyliques ,representant 20 à 30% de la charge organique .

### III- 7- POLLUTION ENGENDRÉE PAR LES LIXIVIATS:

La formation des lixiviats au sein des décharges sont à l'origine de deux types de pollution en plus des mauvaises odeurs dégagées:

- La pollution atmosphérique.
- La pollution hydrique (eaux superficielles ,eaux souterraines).

#### III- 7- 1 POLLUTION ATMOSPHERIQUE:

La fermentation entraine la production en faible quantité de gaz malodorants,tels que l'hydrogène sulfuré ( $H_2S$ ),les mercaptans , les vinyles et les amines organiques.Ces gaz généralement beaucoup plus denses que l'air ,sont véhiculées hors de la décharge par le méthane gaz plus léger et peuvent être transportés sur de longues distances .

Des risques d'explosions existent essentiellement à la surface du dépôt ,car le mélange air-méthane peut s'avérer dangereux quand le méthane atteint des proportions de l'ordre de 5 à 15%.

#### III- 7- 2 LA POLLUTION HYDRIQUE:

La contamination des eaux affectera aussi bien les eaux souterraines que les eaux de surface.

En ce qui concerne les eaux superficielles ,la contamination peut avoir lieu soit lors du lessivage du dépôt par ruissellement des eaux de pluie ,soit par resurgence en pied de dépôt .

La pollution des eaux souterraines est due aux interactions des lixiviats avec le sous-sol. Ces interactions dépendent des particules effectivement retenues par les minéraux argileux plus ou moins hydratés et des propriétés physico-chimiques des argiles et de leur comportement au cours du temps.Elles dépendent aussi du comportement des produits organiques et leurs interférences avec les matières argileuses et en fin du comportement des métaux lourds.

### III- 8 TRAITEMENT DES LIXIVIATS:

Plusieurs filières de traitement des lixiviats des décharges contrôlées existent cependant on cite deux:

#### III- 8- 1 TRAITEMENT PAR ADSORPTION SUR TAS DE MACHEFER:[17]

L'expérience de traitement de lixiviats de décharge par percolation à travers un tas de machefers d'incinération d'ordures ménagères, réalisé au centre d'enfouissement technique de SERAF-FRANCE-DÉCHETS[17], a montré qu'en introduisant, en neuf mois un volume de 2000 m<sup>3</sup> de lixiviat sur un tas de 4100 m<sup>3</sup> de machefer, on recueille en sortie des tas de percolats (1300 m<sup>3</sup>) présentant une DCO résiduelle moyenne (200 mg/l), abattu d'environ 96%.

#### III- 8- 2 TRAITEMENT BIOLOGIQUE DE LIXIVIATS:[18]

Ce type de traitement est choisi pour les lixiviats fortement chargés en métaux ou en anions solubles (chlorures, sulfates...).

##### III- 8- 2- 1 MISE EN OEUVRE DU TRAITEMENT BIOLOGIQUE:

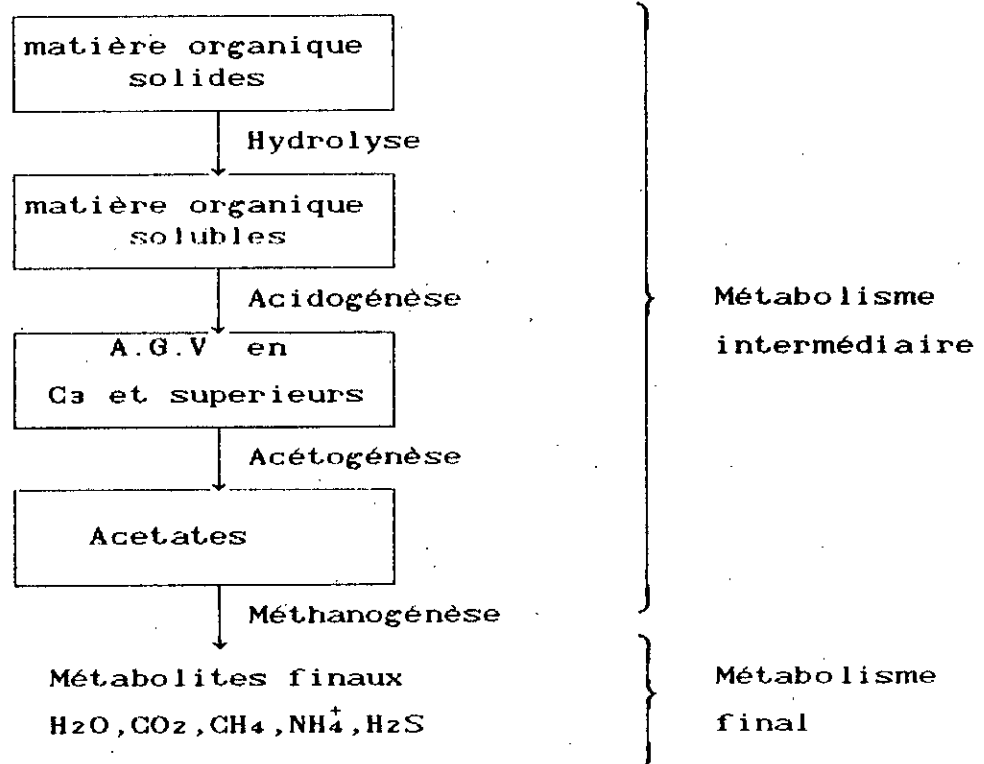
###### 1)- Condition de fonctionnement:

- \* Carence en phosphore: Les lixiviats présentent systématiquement une carence en phosphore assimilable par les bactéries, il est donc primordial d'assurer un ajout de phosphore (sous forme d'acide phosphorique par exemple).
- \* Présence de microorganismes : les lixiviats contiennent naturellement les microorganismes capables d'assurer la dégradation des éléments organiques, l'ajout des boues activées de stations d'épurations urbaines, accélère la cinétique de l'épuration.
- \* Température : Les microorganismes sont opérationnels dans une large gamme de températures. Au dessous de 15°C l'activité des bactéries est fortement diminuée, alors qu'au dessous de 5°C, elle est presque totalement arrêtée. Le traitement s'effectue avec un meilleur rendement en été qu'en hiver.

2)- Le mécanisme de dégradation et ses conséquences:

Les déchets contiennent une fraction organique susceptible de se dégrader à plusieurs stades de l'enfouissement :

- \* De façon aérobie au cours de la phase précédent l'enfouissement (transport).
- \* De façon anaérobie ensuite au seins des déchets, divers éléments étant entraînés par les eaux de percolation ,la nature des lixiviats se révèle liée au différentes étapes de la méthanogénèse,la quelle est globalement schématisée comme suit :



- \* De façon aérobie de nouveau, cette fois au cours du traitement aérobie réalisé dans la station d'épuration (apport d'oxygène par turbines).

3D- Mise en oeuvre du traitement biologique:

Trois types de procédés sont envisagés, pour le traitement biologique des lixiviats:

- \* Le traitement en discontinu.
- \* Le traitement en continu.
- \* Le traitement sur lits bactériens.

## CHAPITRE IV

### PRELEVEMENT DES ECHANTILLONS

#### IV- 1 SITES DE PRÉLEVEMENT:

Comme la décharge de Oeud-Smar ne possède pas un système de drainage pour la collecte des lixiviats, les échantillons ont été prélevés au niveau de fosses déjà existantes et dont la surface peut atteindre jusqu'à  $30 \text{ m}^2$  et la profondeur jusqu'à 2m. Ces fosses sont disposées comme le montre la figure(6).

L'écoulement des percolats dans la décharge, suit des chemins préférentiels et aboutit en grande partie dans ces fosses.

Les trois sites de prélèvement L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub> et L<sub>3</sub> ainsi choisis ceinturent plus ou moins la décharge et devraient être assez représentatifs du jus de cette décharge.

#### IV- 2- Mode de prélèvement:

Les prélèvements sont effectués de manière manuelle. Des volumes de 3 à 4 litres de lixiviats sont transvasés dans des récipients propres en P.V.C. Ils sont ensuite transportés au laboratoire où ils sont conservés jusqu'à l'analyse à 4°C.

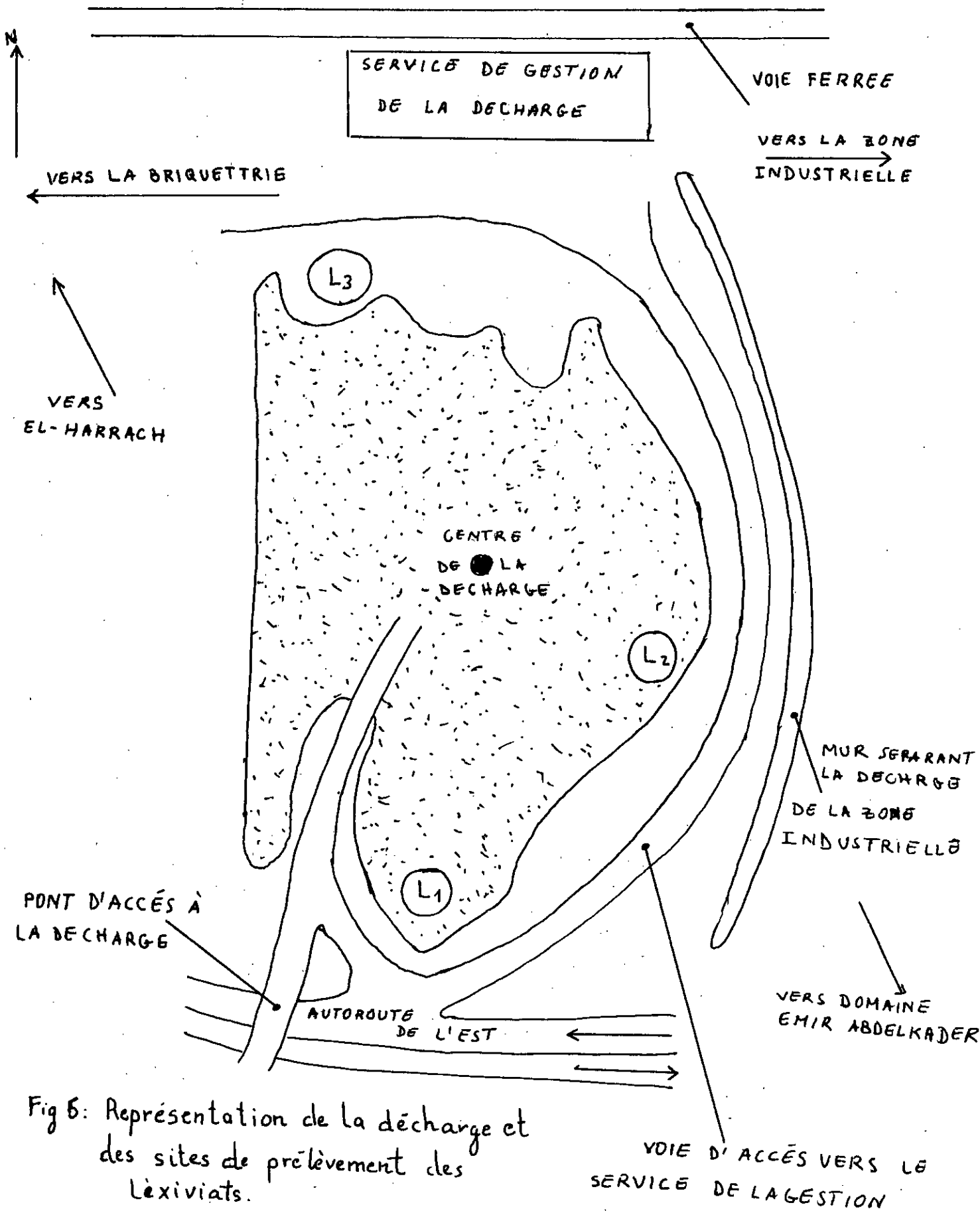


Fig 5: Représentation de la décharge et des sites de prélèvement des lixiviats.

## CHAPITRE V

### ETUDES DES LIXIVIATS

#### V- 1 Campagnes de prélèvement:

La caractérisation des lixiviats de la décharge de Oued-Smar a porté sur 6 campagnes de prélèvements effectués entre le début du mois de Mai et la fin du mois de Juin .

En cette période de l'année la pluviométrie était faible et on ne s'attend pas à une dilution importante par les eaux de pluie ni à un lessivage plus fort qui augmenterait les teneurs des éléments facilement mobilisables .

#### V- 2- Résultats obtenus:

Les paramètres étudiés ont été axés sur l'évaluation de la charge organique, sur la biodégradabilité et la salinité .

Les résultats obtenus sont résumés pour les différentes campagnes de prélèvement dans les tableaux 7 à 12.

Dans le tableau 13 nous présentons les valeurs moyennes et les fourchettes de variations.



Parametres \ sites	L1	L2	L3
pH	7,4	6,3	7,9
matière totale dissoute (mg/l)	13363	28530	15110
fraction minérale dissoute (mg/l)	7521	19494	10410
fraction organique dissoute (mg/l)	5842	9036	4700
Cl <sup>-</sup> (mg/l)	4306	3962	5110
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	160	503	541
Na <sup>+</sup> (mg/l)	2670	2474	2953
K <sup>+</sup> (mg/l)	840	560	722
Ca <sup>++</sup> (mg/l)	—	—	—
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)	117	270	163
NTK (mg/l)	150	384	205
Azote organique (mg/l)	33	114	42
DCO (mg/l)	8000	14560	9888
DBO <sub>5</sub> (mg/l)	1520	7207	2016
DBO <sub>5</sub> /DCO	0,19	0,494	0,204

Tableau(7) : Résultats des analyses effectués sur les prélèvements

du :03 - 05 - 93

Paramètres \ sites	L1	L2	L3
pH	7,65	6,5	7,85
matière totale dissoute (mg/l)	11896	20980	13254
fraction minérale dissoute (mg/l)	7138	12662	8756
fraction organique dissoute (mg/l)	4758	8318	4498
Cl <sup>-</sup> (mg/l)	4170	3930	5080
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	188	477	436
Na <sup>+</sup> (mg/l)	2484	2684	2906
K <sup>+</sup> (mg/l)	798	732	694
Ca <sup>++</sup> (mg/l)	1025	312	1125
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)	144	223	156
NTK (mg/l)	198	355	188
Azote organique (mg/l)	54	132	32
DCO (mg/l)	7840	12320	8300
DBO <sub>5</sub> (mg/l)	1085	5926	1460
DBO <sub>5</sub> /DCO	0,138	0,481	0,176

Tableau (8) : Résultats des analyses effectués sur les prélèvements

du : 18 - 05 - 93

Parametres \ sites	L1	L2	L3
pH	7,6	6,5	7,9
matière totale dissoute (mg/l)	10755	17964	11488
fraction minérale dissoute (mg/l)	6954	11563	7755
fraction organique dissoute (mg/l)	3801	6401	3733
Cl <sup>-</sup> (mg/l)	3960	3652	4812
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	156	420	394
Na <sup>+</sup> (mg/l)	2353	2054	2743
K <sup>+</sup> (mg/l)	684	484	841
Ca <sup>++</sup> (mg/l)	1244	944	1061
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)	112	306	211
NTK (mg/l)	174	436	337
Azote organique (mg/l)	62	130	126
DCO (mg/l)	7720	11960	7200
DBO <sub>5</sub> (mg/l)	1025	5681	1212
DBO <sub>5</sub> /DCO	0,133	0,475	0,168

Tableau(9) : Résultats des analyses effectués sur les prélèvements

du : 05 - 06 - 93

Parametres \ sites	L1	L2	L3
pH	7,7	6,7	8
matière totale dissoute (mg/l)	8856	14764	9723
fraction minérale dissoute (mg/l)	5843	9456	6977
fraction organique dissoute (mg/l)	3013	5308	2746
Cl <sup>-</sup> (mg/l)	3620	3376	4134
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	137	373	274
Na <sup>+</sup> (mg/l)	2151	1871	2353
K <sup>+</sup> (mg/l)	574	388	689
Ca <sup>++</sup> (mg/l)	807	755	913
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)	137	284	174
NTK (mg/l)	207	346	259
Azote organique (mg/l)	70	62	85
DCO (mg/l)	7500	11800	5200
DBO <sub>5</sub> (mg/l)	912,5	4991,5	725
DBO <sub>5</sub> /DCO	0,121	0,423	0,14

Tableau(10) : Résultats des analyses effectués sur les prélèvements

du 15 - 06 - 93

Parametres \ sites	L1.	L2	La
pH	7,8	6,6	7,9
matière totale dissoute (mg/l)	8054	13768	8054
fraction minérale dissoute (mg/l)	5359	8294	6045
fraction organique dissoute (mg/l)	2695	5474	2009
Cl <sup>-</sup> (mg/l)	3445	3238	3790
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	109	358	212
Na <sup>+</sup> (mg/l)	1987	1960	2052
K <sup>+</sup> (mg/l)	588	442	541
Ca <sup>++</sup> (mg/l)	744	863	773
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)	110	256	108
NTK (mg/l)	181	355	159
Azote organique (mg/l)	71	99	51
DCO (mg/l)	7400	11600	5100
DBO <sub>5</sub> (mg/l)	862,5	4477,6	612,5
DBO <sub>5</sub> /DCO	0,116	0,386	0,120

Tableau(11) : Résultats des analyses effectués sur les prélèvements

du 23 - 06 - 93

Paramètres \ sites	L1	L2	L3
pH	7,9	6,7	8
matière totale dissoute (mg/l)	7254	13041	7267
fraction minérale dissoute (mg/l)	4896	7665	5886
fraction organique dissoute (mg/l)	2358	5376	1381
Cl <sup>-</sup> (mg/l)	3273	3307	3445
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	88	312	194
Na <sup>+</sup> (mg/l)	1947	2077	1855
K <sup>+</sup> (mg/l)	466	682	466
Ca <sup>++</sup> (mg/l)	705	914	808
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)	116	222	154
NTK (mg/l)	208	346	236
Azote organique (mg/l)	92	124	82
DCO (mg/l)	7000	11200	4800
DBO <sub>5</sub> (mg/l)	787,5	3976	537,5
DBO <sub>5</sub> /DCO	0,112	0,355	0,112

Tableau(12):Résultats des analyses effectués sur les prélèvement

du :28 - 06 - 93

Parametres \ sites	L1	L2	L3	Fourchettes de variation
pH	7,7	6,55	7,925	6,3 - 8,0
matière totale dissoute (mg/l)	10029,7	18174,5	10816	28530 - 7254
fraction minérale dissoute (mg/l)	6285,2	11522,3	638,2	19494 - 4896
fraction organique dissoute (mg/l)	3744,5	6632,2	177,8	9036 - 1381
Cl <sup>-</sup> (mg/l)	3795,7	3577,5	395,2	5100 - 3293
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	139,7	407,2	341,8	541 - 88
Na <sup>+</sup> (mg/l)	2265,3	2186,7	2477	2953 - 1855
K <sup>+</sup> (mg/l)	697,2	548	658,8	1125 - 388
Ca <sup>++</sup> (mg/l)	905	897,6	936	1244 - 312
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)	122,5	260,2	161	270 - 110
NTK (mg/l)	186,3	370,3	230,7	436 - 150
Azote organique (mg/l)	63,6	110,1	69,7	132 - 32
DCO (mg/l)	7576,7	12230	6748	14560 - 4800
DBO <sub>5</sub> (mg/l)	1032,1	5376,5	1093,8	7207 - 537,5
DBO <sub>5</sub> /DCO	0,135	0,435	0,153	0,494 - 0,112

Tableau (13) : Teneurs moyennes des différents paramètres caractérisant les lixiviats des trois sites.

### V- 3- INTERPRETATION DES RESULTATS:

Etant donné que la décharge de Oued-Smar est sauvage et incontrôlée, elle génère des lixiviats fort complexes, dont les caractéristiques varient dans le temps et dans l'espace. En effet l'enfouissement des déchets étant désordonné et ne suivant aucun schéma précis, il en résulte une perturbation constante des phénomènes physico-chimiques et biologiques qui régissent le comportement de la lixiviation.

Les résultats obtenus, durant les six campagnes de prélèvement, nous permettent de constater qu'on est en présence d'une forte charge organique oxydable. En effet la DCO moyenne des différents sites est souvent supérieure à 5000 mg/l et atteint la valeur de 14500 mg/l. Cette forte DCO rencontrée dans les lixiviats est due à la fraction organique constituée d'acides gras volatils dégradables, aux métabolites non biodégradables et à l'importante fraction minérale que représentent les chlorures et autres espèces chimiquement oxydables.

La DBO<sub>5</sub> qui exprime la fraction organique biodégradable est elle aussi considérable, surtout pour le site n°2. Comme le montre les divers tableaux l'évolution de la DBO<sub>5</sub> suit généralement celle de la DCO. Cette importante charge organique est typique pour les lixiviats de décharge, qui peuvent atteindre 90000 mg/l pour la DCO et 28000 mg/l pour la DBO<sub>5</sub> [1].

La comparaison entre les sites montre que les lixiviats du site L<sub>2</sub> véhiculent la pollution oxydable la plus élevée. En ce site la DBO<sub>5</sub> est en moyenne 5 fois plus élevée que dans les autres sites (tableau 13). Ce résultat signifie que le percolat du site L<sub>2</sub> est encore en pleine évolution.

Le domaine de variation des paramètres régissant la pollution organique dépend aussi bien de la nature de la décharge et son mode de gestion que de l'étape de fermentation que traverse la décharge.



Aussi il est important de s'intéresser au rapport DBO<sub>5</sub>/DCO qui en évoluant dans le temps indique le caractère organique d'un milieu et son degré de biodégradabilité. IL donne en outre, des informations sur la situation actuelle de la décharge. Pour les décharges jeunes le rapport atteint la valeur 0,83, il descend jusqu'à 0,05 pour les vieilles décharges où on est dans le stade de méthanogénèse [1].

Dans le cas de la décharge de Oued-Smar, les rapports moyens obtenus dans cet étude s'élevaient à 0,43 (site n°2) et oscillent entre 0,13 et 0,15 pour les sites L<sub>1</sub> et L<sub>3</sub> en ces derniers sites la phase méthanique est assez avancée, par contre au site L<sub>2</sub> elle est encore en son début.

Si on examine de plus près chaque site en suivant

l'évolution du rapport DBO<sub>5</sub>/DCO et du pH dans le temps (figure 7 et 8), on voit bien que les sites L<sub>1</sub> et L<sub>3</sub> ont un comportement identique. En ce sens qu'aux faibles rapports DBO<sub>5</sub>/DCO correspondent les pH les plus élevés. Au lixiviat du site L<sub>2</sub> c'est l'inverse qui se produit. Le pH est plus acide, attestant la présence d'acides gras volatiles qui continuent de subir la dégradation et qui au fil du temps modifient légèrement le rapport DBO<sub>5</sub>/DCO.

On note ainsi dans cette décharge la présence de lixiviats qui ont atteint l'étape ultime de la dégradation anaérobie (site L<sub>1</sub> et L<sub>2</sub>) et des lixiviats caractéristiques d'un âge intermédiaire et qui sont issus de déchets qu'on peut qualifier de déchets assez jeunes.

L'évolution actuelle de la décharge de Oued-Smar peut être illustrée comme le montre la fig(9), et ce en s'appuyant sur les résultats obtenus dans cet étude et ceux obtenus par M.Belkacemi en 1989 - 1992 [1].

En ce qui concerne la pollution azotée ,les résultats montrent que tous les lixiviats sont riches en azote et que l'azote préponderant se trouve sous forme reduite (Azote ammonical et organique ), parceque la fermentation anaérobie confère au lixiviats un caractère réducteur.

Pour la pollution minérale,on enregistre des valeurs très élevées aussi pour les chlorures la valeur de 5100mg/l a été enregistrée au site L2.

Ces fortes teneurs en chlorures sont plus ou moins caractéristiques de lixiviats de décharge d'ordures ménagères et se trouvent en bonne corrélation avec les teneurs en  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$  mesurées dans ces pércolats.

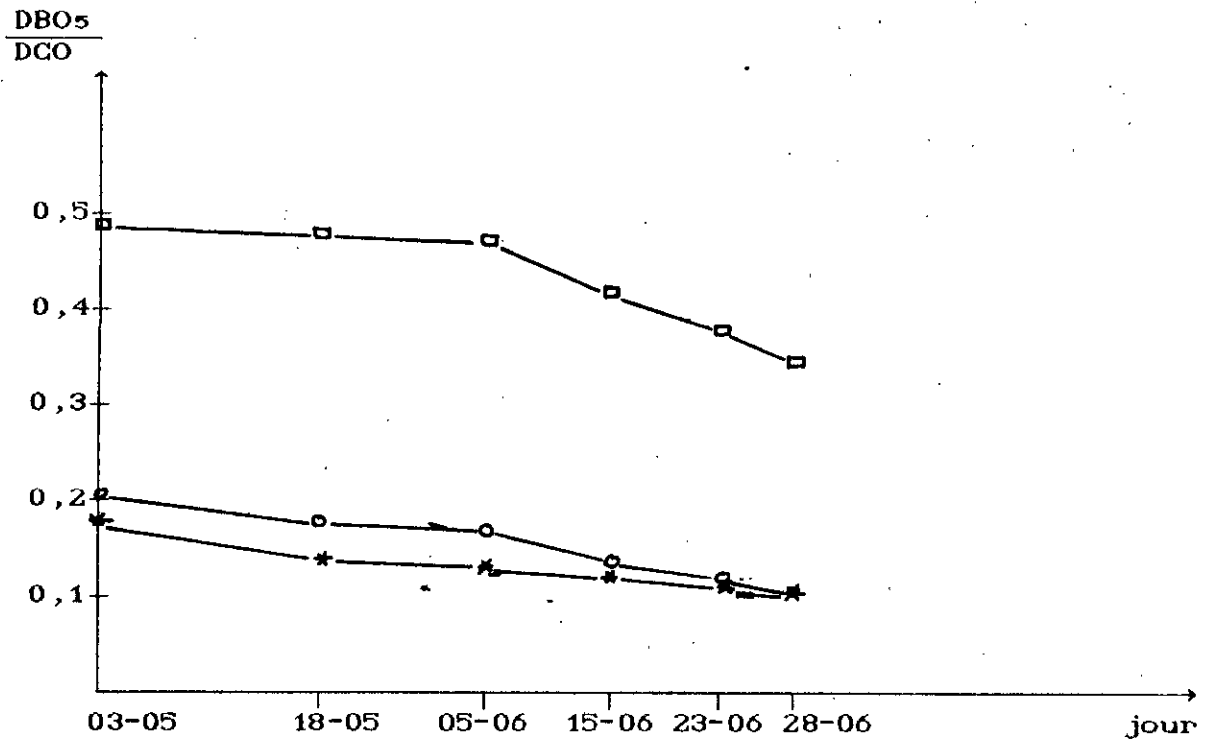


fig (7) :Evolution dans le temps du rapport DBO5/DCO

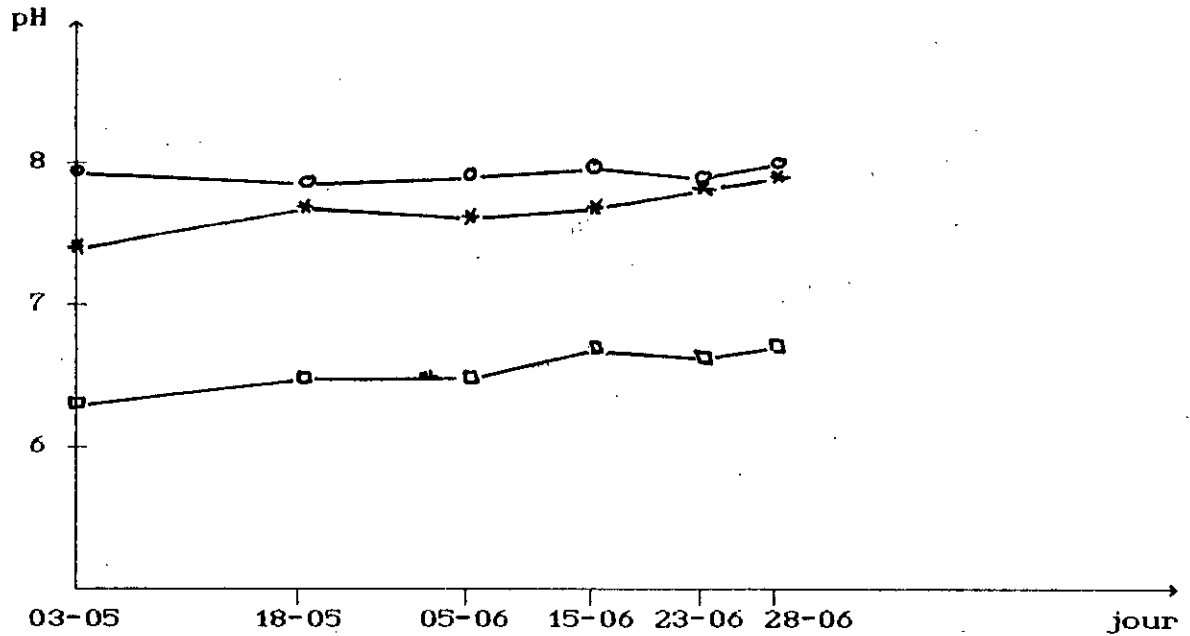
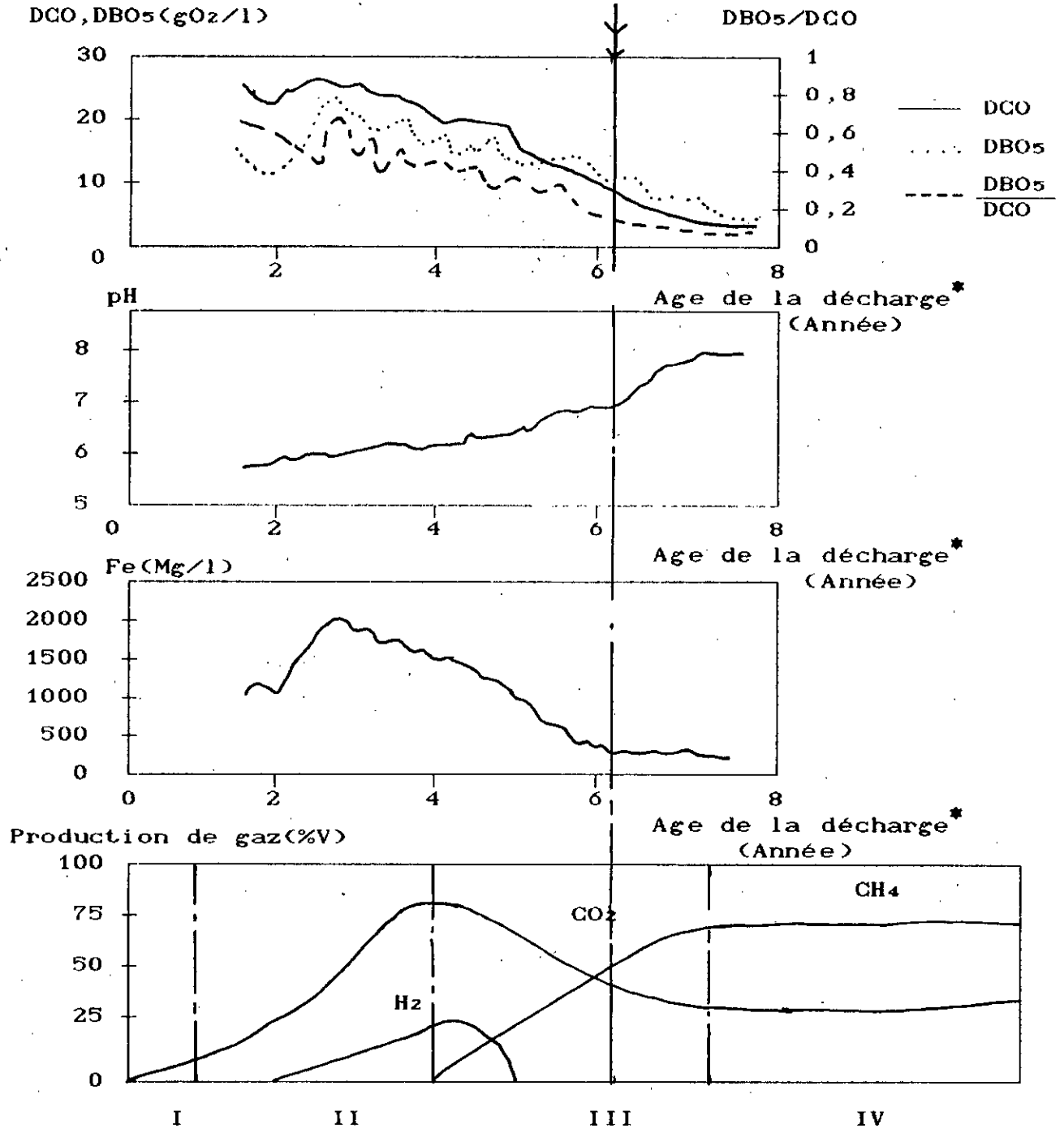


fig (8):Evolution dans le temps du pH.

- \*:Site 1
- :Site 2
- :Site 3

Etape de fermentation actuelle qui règne  
à la décharge de Oued - Smar.



fig(9): Situation actuelle de la décharge de Oued-Smar par rapport à l'évolution générale des lixivats en fonction de l'âge [1].

\* L'échelle de l'âge est donné seulement à titre illustratif.

## C O N C L U S I O N

La caractérisation des lixiviats d'une décharge nous renseigne sur la nature et l'ampleur de la charge polluante que génèrent les déchets à la suite de leurs interactions avec le milieu et en particulier avec l'eau .

C'est en continuité des travaux effectués par le passé dans le même laboratoire que nous avons poursuivi cette étude .

Comme le lixiviat qui résulte des interactions physico-chimiques et biologiques du milieu , n'est pas un élément constant, il est nécessaire d'effectuer de telles caractérisations sur une longue période .

L'étude a ainsi montré que les lixiviats de la décharge non contrôlée de Oued-Smar se caractérisent par des variations temporelles et spatiales assez prononcées .

La pollution oxydable que véhiculent ces lixiviats est très élevée .

Le lixiviat globale n'est pas homogène et son évolution biologique dépend des sites étudiés .C'est ainsi que certains lixiviats sont issue d'une décharge qui a atteint son étape ultime de dégradation anaérobie alors que d'autres correspondent à une décharge d'âge intermédiaire où la phase méthanogénèse n'est pas entièrement amorcée.

Bien que recevant plusieurs déchets industriels , la décharge de Oued-Smar engendre un lixiviat dont les caractéristiques sont typiques d'une décharge d'ordures ménagères:

Etant sursaturée est traversant l'étape de production méthanique qui va en s'emplifiant cette décharge continuera , même en cas de fermeture , à produire du lixiviat sur de longues années .

Le problème de l'infiltration de ce lixiviat dans la nappe phréatique de la région , étant largement traité par M.Belkacemi [1] , nous rappellerons ici juste le fait qu'un sous sol même imperméable , s'altère avec le temps et facilite la contamination des eaux souterraines , ceci est d'autant plus important que le lixiviat de la décharge de Oued-Smar n'est pas drainé .

Aussi, en raison de ces risques et compte tenu de la pollution atmosphérique qu'affecte toute l'agglomération avoisinante nous préconisons la fermeture de cette décharge et son réaménagement. Si toute fois et pour diverses raisons, cette solution n'est absolument pas envisageable, il faudrait au moins prendre quelques mesures limitant la pollution et les nuisances.

Nous citerons à titre d'exemple les points suivants:

- \* Mise en place d'une collecte sélective des produits recyclables au niveau des ménages, des administrations et des industries. Cette mesure permettra de réduire le volume des déchets mis en décharge.
- \* Procéder à une couverture finale de la partie exploitée de la décharge.
- \* Aération prolongée des lixiviats en fosse et leur évacuation de la décharge de Oued-Smar vers la station d'épuration de Baraki.

## A N N E X E

### I- DETERMINATION DE LA DEMANDE CHIMIQUES EN OXYGÈNE (DCO):[19]

La demande chimique en oxygène est la quantité d'oxygène consommée par les matières existantes dans l'eau et oxydables dans les conditions opératoires définies.

#### I- 1- Principe:

Dans les conditions définies, certaines matières contenues dans l'eau sont oxydées par un excès de dichromate de potassum en milieu acide et en présence de sulfate d'argent et de sulfate de mercure. L'excès de dichromate de potassum est dosé par le sulfate de fer et d'ammonium.

#### I- 2- Réactifs:

- \* Eau distillé fraîchement préparée.
- \* Sulfate de mercure cristallisé.
- \* Solution de sulfate d'argent :
  - Sulfate d'argent cristallisé.....6,6 g
  - Acide sulfurique (d = 1,84.....q.s.p 1000 ml).
- \* Solution de sulfate de fer et d'ammonium ..0,25 N.
  - Sulfate de fer et d'ammonium.....98 g.
  - Acide sulfurique ( d = 1,84.....20 ml).
  - Eau distillée.....q.s.p 1000 ml).

Le titre de la solution doit être verifié tous les jours.

- \* Solution de dichromate de potassum.....0,25 N.
  - Dichromate de potassum (sèche 2 heures à 105°C)..12,2588 g.
  - Eau distillée.....q.s.p 1000 ml.
- \* Solution de ferroïne.

I- 3- Verification du titre de la solution de sulfate de fer et d'ammonium:

Dans un bécher mettre 25 ml de solution de dichromate de potassium 0,25 N et compléter à 250 ml par de l'eau distillée. Ajouter 75 ml d'acide sulfurique ( $d = 1,84$ ). Laisser refroidir, ajouter quelques gouttes de solution de ferroïne et déterminer la quantité nécessaire de sulfate de fer et d'ammonium pour obtenir le virage au rouge violacé.

$$T = \frac{\text{ml } K_2Cr_2O_7 \times 0,25}{\text{ml de } Fe(NH_4)_2 (SO_4)_2}$$

I- 4- Mode opératoire:

Introduire 50 ml d'eau à analyser dans un ballon de 500 ml ou éventuellement, une même quantité de dilution. Ajouter 1 g de sulfate de mercure cristallisé et 5 ml de solution sulfurique de sulfate d'argent, chauffer si nécessaire jusqu'à parfaite dissolution. Ajouter 25 ml de solution de dichromate de potassium 0,25 N puis 70 ml de solution sulfurique de sulfate d'argent. Porter à ébullition pendant 2 heures sous réfrigérant à reflux adopté au ballon. Laisser refroidir, diluer à 350 ml avec l'eau distillée, déterminer la quantité nécessaire de solution de sulfate de fer et d'ammonium pour obtenir le virage au rouge violacé.

Pour l'essai à blanc, procéder aux mêmes opérations sur 50 ml d'eau distillée.

I- 5- Expression des résultats:

La demande chimique en oxygène DCO exprimée en milligrammes d'oxygène par litre est égale à :

$$DCO \text{ (mg/l)} = \frac{8000 (V_1 - V_0) T}{V}, \text{ où :}$$



$V_i$  :Volume de sulfate de fer et d'ammonium nécessaire au dosage (ml).

$V_0$  :Volume de sulfate de fer et d'ammonium nécessaire à l'essai à blanc (ml).

T :Titre de la solution de sulfate de fer et d'ammonium.

V :Volume de la prise d'essai.

## II- Détermination de la demande biologique en oxygène :

La demande biologique en oxygène (est définie comme la quantité d'oxygène consommée dans les conditions de l'essai , c'est à dire après incubation durant 5 jours , à 20°C et dans l'obscurité , par certaines matières présentes dans l'eau , principalement pour assurer leur dégradation par voie biologique.

La mesure de quantité d'oxygène consommée est suivie dans une solutionensemencée.

### II- 1 Principe :

Dans un appareil manométrique ,on place des flacons contenant l'eau à analyser et on fait passer un courant d'oxygène .on fait mesurer l'évolution de la pression pour chaque flacon ,et qui correspond à une quantité d'oxygène bien déterminée.

### II- 2 Reactifs :

Eau d'ensemencement constituée par une eau résiduaire urbaine , filtré en papier plissé, prélevée dans un collecteur d'une zone résidentielle sans contamination industrielle significative.

### II- 3 Appareil manométrique:

Volume d'échantillon	Facteur de correction (multiplier la lecture à l'échelle par)	Intervalle de DBO (mg Oz/l)
Flacon 428 ml	0,1	0 -- 35
Flacon 360 ml	0,2	0 -- 70
Flacon 244 ml	0,5	0 -- 175
Flacon 157 ml	1	0 -- 350

### II- 4- Mode opératoire:

Mettre un volume connu d'eau à analyser dans une fiole jaugée , compléter avec l'eau d'ensemencement . Homogénéiser .Verifier que le pH est compris entre 6 et 8 .Dans le cas contraire ,préparer une nouvelle dilution en amenant le pH à une valeur voisine de 7 par addition d'acide sulfurique ou d'hydroxyde de sodium puis compléter au volume nécessaire . Remplir les flacons avec cette solution jusqu'au volume nécessaire . Placer les falcons avec les noyaux magnétiques sur l'appariel . Visser bien les capsules des flacons n'est pas à fond (ne pas oublier auparavant de mettre KOH dans les capsules . Mettre en marche l'agitation .Après un demi heure , ajuster l'échelle des manomètres à zero et serrer bien les capsules des manomètres .

Après 5 jours , faire la lecture sur l'échelle des manomètres .

### Remarque:

Ne pas oublier de mettre un flacon pour l'eau d'ensemencement.

## II- 5- Expression des resultats:

$$\text{DBO}_5 \text{ de l'échantillon} = \frac{(\text{DBO}_5 \text{ obsercée}) - (\text{Fraction d'ensemencement} \times \text{DBO}_5)}{\text{Fraction du l'échantillon}}$$

### Exp :

Si 10% (en volume) de solution d'ensemencement ont été ajoutés à un échantillon et si la DBO<sub>5</sub> observée est de 285 mg/l et la DBO<sub>5</sub> de la solution d'ensemencement pur est de 150 mg/l, on a :

$$\text{DBO}_5 = \frac{285 \text{ mg/l} - (0,1 \times 150) \text{ mg/l}}{0,9} = 300 \text{ mg/l.}$$

### Remarque:

\* Le pourcentage d'ensemencement est en général entre 10 et 20% .

## III- Dosage de l'azote amoniacal:

L'azote ammoniacal est l'azote qui se trouve sous forme d'ions  $\text{NH}_4^+$  dans la solution.

### III- 1- Principe:

Après distillation de l'azote amoniacal et sa recuperation dans un tampon borique 0,1 N, on le titre avec  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,2 N.

### III- 2 Réactifs:

- \* Acide sulfurique (d = 1,14) 0,2 N.
- \* Carbonate de sodum.
- \* Tampon borique (0,1 N)
- \* Rouge ou orange de methyle.

### III- 3- Mode opératoire:

Dans un ballon on introduit 50 ml d'échantillon auxquelles on ajoute 20 ml de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . on chauffe pendant 2 heures. Le distillat est récupéré dans un bécher contenant 25 ml de tampon borique. ou titre en suite avec  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,2 N.

### III- 4- Expression des résultats:

1 ml 0,2 N  $\text{H}_2\text{SO}_4 \hat{=} 3,608 \text{ mg de NH}_4^+$ .

### IV- Azote KJELDAHL: (NTK)

#### IV- 1- Reactifs :

- \* Acide sulfurique (d = 1,83).
- \* Catalyseur de minéralisation:
  - Sulfate de potassum.....99,5 g.
  - Selenium en poudre.....0,5 g.

#### IV- 2- Mode opératoire:

Dans un matras de 500 ml contenant quelques billes de verre , introduire une prise d'échantillon contenant de 0,2 à 20 mg d'ammonium puis 10 ml d'acide sulfurique concentré. Ajouter alors 1 g de catalyseur de minéralisation, chauffer fortement. Dès l'apparition de fumées blanches, obturer le matras par une boule de verre à pointe effilée.

Poursuivre l'attaque jusqu'à l'opacité absolue de la solution. Laisser refroidir, rincer le col et la boule de fermeture avec de l'eau distillée ajouter quelques gouttes d'antimousse. adapter le matras sur l'appareil d'entraînement à la vapeur d'eau grâce à un bouchon traversé de trois tubulures: L'une en communication avec le ballon chaudière plongé au fond du matras, la seconde met le matras en communication avec une ampoule à décanter en forme de poire par l'intermédiaire d'un robinet. La troisième permet le départ de l'ammoniac entraîné par la vapeur d'eau et reliée à un réfrigérant vertical dont l'extrémité plonge dans un bécher contenant 25 ml de tampon borique. L'agitation du tampon est

assurée par un agitateur magnétique. L'appareil à entraînement est monté avec des raccords de caoutchouc silicone, ce qui confère une certaine souplesse.

Le matras étant monté sur l'appareil, introduire lentement dans l'ampoule 50 ml de solution d'hydroxyde de sodium, tout en agitant doucement le matras et en vérifiant l'alcalinité avec la phénolphthaleine qui a été mélangée à la solution d'hydroxyde de sodium. Commencer l'entraînement après avoir fermé le robinet de l'ampoule, et poursuivre comme pour la détermination de l'ammonium. Effectuer ensuite le dosage de l'ammonium.

#### V- Dosage des sulfates:

Méthode gravimétrique.

##### V- 1- Principe:

Les ions  $SO_4$  sont précipités à l'état de sulfate de baryum et évalués gravimétriquement.

##### V- 2 Reactifs:

- \* Solution d'acide chlorhydrique à 10% .
- \* Solution de chlorure de baryum à 10% .
- \* Solution de nitrate d'argent à 10% .
- \* Acide nitrique pur.
- \* Alcool éthylique pur.
- \* Ether.

##### V- 3 Mode opératoire:

Introduire 100 ml d'eau à analyser dans un bécher, Ajouter 5 ml d'acide chlorhydrique à 10% . Chauffer jusqu'à ébullition tumultueuse en agitant constamment pour éviter les projections. Faire tomber goutte à goutte 20 ml de chlorure de baryum à 10% . Prolonger l'ébullition pendant 10 minutes sans interrompre l'agitation. Laisser reposer, s'assurer que la précipitation est complète par l'addition d'une petite quantité de chlorure de baryum. Décanter le liquide surnageant encore chaud en le laissant.

écouler le long d'un agitateur au dessus du filtre sans cendres lisse, placé sur un entonnoir de joulie. Entrainer le moins possible de précipité au cours de cette opération laver le précipité resté dans le bécher avec de l'eau bouillante, agiter laisser reposer 5 minutes. Décarter à nouveau sur le filtre. Pour finir, entrainer le précipité sur le filtre, en detachant avec un agitateur muni d'un bout de caoutchouc, les parcelles de sulfate adhérant aux parois du becher, laver le précipité à l'eau distillée bouillante jusqu'à ce que les eaux de lavage ne précipitent plus par le nitrate d'argent (élimination de l'excès de chlorure de baryum). Laver une dernière fois à l'alcool puis à l'ether, porter le filtre et l'entonnoir à l'etuve à 110°C jusqu'à dissiccation complète.

Renverser délicatement le filtre au dessus d'une capsule de platine préalablement tarée après avoir été portée au rouge et refroidie dans un dessiccateur. Tapoter légèrement le filtre pour faire tomber les particules adhérantes au filtre. Saisir la pointe du filtre entre les mois d'une pince métallique et calciner au dessus de la capsule en laissant tomber la pointe avant que la flamme ne l'atteigne. Laisser reroidir, ajouter 2 à 3 gouttes d'acide nitrique. Evaporer doucement en évitant les projections, de préférence au bain-marie. Calciner, laisser refroidir dans un dessiccateur et peser.

Soit P le poids de sulfate de baryum trouver.

#### V- 4 Expression de resultat:

Pour une prise de 100 ml le poid des sulfates en mg est:

$$P \times 10 \times 0,41155.$$

VI- Dosage de ( $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{++}$ ) par photométrie de flamme:

VI- 1- Reactifs:

- \* Solution mère de NaCl.....1 g/l.
- \* Solution Mère de KCl.....0,5 g/l.
- \* Solution mère de CaCl<sub>2</sub>.....1 g/l.

VI- 2- Mode opératoire:

On introduit dans l'appareil de photométrie de flamme l'échantillon à analyser. L'intensité mesurée correspond à une certaine concentration, qu'on déduit à partir de la courbe d'étalonnage.

VI- 3 Courbes étalonnages:

courbes d'étalonnage de  $Na^+$

Eau distillée	10	9	8	7	6	4	2	0
Solution mère de $Na^+$ 1g/l	0	1	2	3	4	6	8	10
Intensité (%)	0	30	46	56	63	78	93	100

Courbe d'étalonnage de  $K^+$

Eau distillée	0	2	4	6	7	8	9	10
Solution mère de $K^+$ 0,5 g/l	10	8	6	4	3	2	1	0
Intensité (%)	100	89	79	72	57	36,5	14	0

### Courbe d'étalonnage de $\text{Ca}^{++}$

Eau distillée	0	2	4	6	7	8	9	10
Solution mère de $\text{Ca}^{++}$ , 1g/l	10	8	6	4	3	2	1	0
Intensité (%)	100	93	87	80	59	40	18	0

#### VII- Dosage des chlorure:

Les chlorures sont dosés en milieu neutre par une solution titrée de nitrate d'argent en présence de chromate de potassium comme indicateur coloré.

#### VII- 1- Reactifs:

- \* Acide nitrique pur.
- \* Carbonate de calcium cristallisé.
- \* Solution de chromate de potassium (10%).
- \* Solution de nitrate d'argent (0,1 N).

#### VII- 2- Mode opératoire:

Introduire 100 ml d'eau à analyser, préalablement filtrée, dans un érlenmeyer de 250 ml. Ajouter 2 à 3 gouttes d'acide nitrique pur et pincée de carbonate de calcium, le pH de l'eau ainsi obtenue doit être aux environs de 5. Ajouter 3 gouttes de chromate de potassium. Titrer à l'aide d'une solution de nitrate d'argent 0,1 N jusqu'à apparition d'une teinte rougeâtre, qui persistera quelques minutes. Soit V le volume nécessaire pour le titrage.



### VII- 3- Expression de resultat:

La teneur en chlorures exprimée en mg de  $\text{Cl}^-/l$  est donnée par la relation suivante:

$$\text{Cl}^- (\text{mg}/l) = V \times 10 \times 3,55.$$

### VIII- Determination des matières totales:

Ce sont les matières déterminées par évaporation de l'eau brute tamisée.

Elles peuvent aussi être calculées en faisant la somme des matières en suspension et des matières en solution.

Evaporer au bain-marie 100 ml d'eau brute tamisée, Porter le résidu à l'étuve  $10^\circ\text{C}$  pendant 2 heures. Laisser refroidir au dessiccateur, peser.

Soit Y le poids de l'extrait sec à  $105^\circ\text{C}$ , calciner ensuite dans un four à  $525 \pm 25^\circ\text{C}$  pendant 2 heures. Laisser refroidir au dessiccateur.

Soit Y' le poids du résidu calciné.

Y = Poids de matières totales dans la prise d'essai.

Y' = Poids de la fraction minérale.

Y - Y' = Matière organique.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 1- M.BELKACEMI ; Contribution à l'étude des interactions dans le système déchets - sol - eau (cas de la décharge de Oued-Smar); Thèse de magistère ; E.N.P - Alger ; 1993.
- 2- R.GASTON ; La lutte contre la pollution industrielle ; eau ; industrie et nuisance ; N° 108 ; 1987;Page 41.
- 3- M<sup>me</sup> KELLOU ; Cours de déchets solide ; E.N.P - Alger ; 1993.
- 4- D.ABDESSEMAD et Y.BOUDISSA ; P.F.E ; caractéristiques,collecte et perspectives de traitement des déchets de la ville d'Alger; E.N.P ; 1989.
- 5- REVADE 90 ; Collque international sur la récupération et la valorisation des déchets tome II ; 1990.
- 6- F.ATTOU ; P.F.E ;Caractérisation du lixiviat de la décharge de Oued Smar et estimation de son impact sur la nappe souterraine ; E.N.P ; 1990.
- 7- M.M.BARRES et ALL ; Les lixiviats de décharge ;le point de connaissance en 1990 ; T.S.M/AG.HTM ; N° 6 ; 1990.
- 8- G.TCHOBANOGLIOUS ; Solid wastes ; Mc graw-hill ; tokyo ; 1977.
- 9- M<sup>me</sup> ABDI ; Cours de reacteurs biologique ; E.N.P ; 1993.
- 10- MARAE.J and DOUGLAS.G ; Ammonium production in sediments inhibited ; Appland env.MIC.n° 1 ; 1987.
- 11- Etude bibliographique sur les lixiviats produits par la mise en décharge de déchets industriels ; commission européenne ; n° 314 ;1986.
- 12- Melamby.K ; Biologie de la pollution ; Paris ; 1983.

- 13- DEREK Rand ELIZABETH.J.P ; competitive mechanisms for inhibition of sulfate reduction and methane production in the zone of ferrous iron reduction in sediments ; Appl-and env. Microb ; n° 8 ; 1987.
- 14- M.D BERNARD ; Evolution de la fiabilité des procédés de fixation de boues utilisées en France ; Indus et nuisance ; N° 4 ; 1986.
- 15- LAWRENCE-A-W and P.L Mc carty ; The effects on anaerobic treatment ; Air water poll. Int ; n° 10 ; 1984.
- 16- TAID ISA and WILLY.V ; Sulfate reduction relative to methane production in high rate anaerobic digestion ,Appl.and env.mic n° 3 ; 1986.
- 17- J.VERON et ALL ; les mâchefers d'incinération d'ordures ménagères ; T.S.M/A.G.H.T.M ; n° 3 ; 1989.
- 18- J.M.LAURET et PH.SALMON ; Recherche sur le traitement biologique des lixiviats ; T.S.M/A.G.H.T.M ; n° 3 ; 1989.
- 19- J.RODIE ; L'analyse chimique et physico-chimique de l'eau ; Dunod ; Paris ; 1980.