



N° d'ordre :.....

## UNIVERSITE DE M'SILA

### FACULTE DES SCIENCES ET DES SCIENCES DE L'INGENIORAT

Département de Génie Civil

#### MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de Magister

Spécialité : Génie Civil

Option : Géotechnique.

Par :

**GUETTOUCHE Ammar**

**SUJET**

# Imperméabilisation des sites de décharges

**Soutenu publiquement le : 26/06/2008 devant le jury composé de :**

<b>Mr. M. KHEMISSA</b>	<b>Maître de Conférences</b>	<b>UNIV. M'SILA</b>	<b>Président</b>
<b>Mr. F. KAOUA</b>	<b>Maître de Conférences</b>	<b>USTHB</b>	<b>Rapporteur</b>
<b>Mr. A. NECHNECH</b>	<b>Maître de Conférences</b>	<b>USTHB</b>	<b>Examineur</b>
<b>Mr. Z.A. RAHMOUNI</b>	<b>Chargé de Cours</b>	<b>UNIV. M'SILA</b>	<b>Examineur</b>

**Promotion : 2007/2008**

تندرج هذه الدراسة في مجال حماية البيئة و بصفة خاصة تنظيم أماكن رمي الفضلات, وهي تركز على دراسة تلوث التربة ومصادر المياه بواسطة التسرب لمادة خطيرة ترمى مع الفضلات المنزلية, بهدف الوصول إلى تسيير و معالجة التلوث بواسطة تقنيات ملائمة و ممكنة اقتصاديا, و الحيلولة دون وقوع ضرر على البيئة و على الإنسان بالخصوص. و لذلك فإن التجارب التي أجريت في هذه الدراسة, تبعا لمعايير عدم نفاذية أماكن رمي الفضلات, وكذا شروط نقاوة المياه, مكنت من تحديد أنجع السبل للقضاء جزئيا أو نهائيا على أخطار هذه المادة. و تبعا لذلك فإن وضع قوانين و تشريعات لكل نشاط يسبب مثل هذا التلوث, و إعلام المواطن و تحسيسه بخطورته, هو أكثر من ضرورة

### **المفاتيح**

التربة, التلوث, الانتشار, التسميم, تجربة, معالجة, تقييم, أخطار, بيئة, معالجة التلوث, تسيير, تسرب.

### **RESUME**

Le sujet de ce mémoire est inscrit dans le cadre de la préservation de l'environnement, plus particulièrement la normalisation des sites de décharges. Il porte sur l'étude de la pollution des sols et des ressources en eau par infiltration.

Il a pour objectif l'identification et l'évaluation du degré de toxicité du polluant sur le sol, pour arriver à une bonne gestion, par des techniques adéquates, économiquement supportables.

Cette thématique a pour but d'évaluer le danger encouru par la population et l'environnement en général et estimer les risques associés à ce fléau. Ceci sera menu à petite échelle avec des tests de laboratoire, suivant les normes d'imperméabilisation des sites de décharges contrôlées, sur un sol pollué.

La comparaison des résultats de laboratoire, après traitement et analyses, aux normes en vigueur permettra de déterminer le traitement adéquat pour réduire ou éliminer les risques de pollution des ressources en eaux. Aussi, une réglementation et une législation de l'activité polluante doivent être mises en place, en insistant sur l'aspect informatif et sensibilisateur.

#### **Mots clés :**

Sols, pollution, dispersion, toxicité, test, traitement, évaluation, risques, environnement, dépollution, gestion, infiltration.

### **SUMMARY**

The subject of this study is setting in the preservation of the environment, particularly the normalization of discharge sites. It is survey of the soil and water resources pollution by infiltration.

It has for objective the determination of the type of pollutants and while valuing the degree of toxicity on soils to arrive to a good management by the adequate techniques, economically tolerable.

This thematic has for goal to value the danger incurred by the population and the environment in general and to appraise associate risks to this curse. It will be slim, with respecting the norms, to laboratory tests on a polluted soil.

After treatment and analyses, the comparison of laboratory results to norms in vigor's, will permit to determine the adequate treatment to reduce to either eliminate risks of water resources pollution. And pollution activity laws and legislation, is necessary, with insisting on the information and perception aspects.

#### **Words Keys:**

Soils, pollution, scattering, toxicity, test, treatment, assessment, risks, environment, dépollution, management, infiltration.

# REMERCIEMENTS

Je remercie, en premier et en dernier « Allah » le tout puissant.

Je remercie profondément mon directeur de recherche, Monsieur Farid KAOUA, Maître de Conférences et Doyen de la Faculté de Génie Civil de l'USTHB, pour avoir dirigé ce travail et pour la confiance qu'il m'a accordée.

Son accueil chaleureux, sa compréhension, son insistance, sa persévérance, sa manière d'aborder les questions, sa vaste culture, son ouverture aux idées nouvelles m'ont bien souvent éclairé et m'ont été précieux chaque fois que j'ai rencontré des difficultés. Que dieu le protège.

J'adresse mes remerciements à Monsieur M. KHEMISSA, Maître de Conférences à l'université de M'sila, qui a bien voulu me faire honneur de présider le jury.

Je remercie également Monsieur A. NECHNECH, Maître de conférences à la Faculté de Génie Civil de l'USTHB ainsi que Monsieur Z.A. RAHMOUNI, chargé de cours à l'université de M'sila, pour avoir accepté d'examiner mon travail.

Je remercie vivement Monsieur M.S. GUETTOUCHE, Maître de Conférences à la Faculté de Science de la Terre de l'USTHB, pour ces aides, son encouragement et ces précieux conseils sans jamais ménager ses efforts.

J'adresse mes sincères remerciements à Madame M. DEBIECHE, enseignante à la Faculté de Génie Civil de l'USTHB, pour m'avoir aidé à terminer cette recherche.

Bien entendu, je n'aurais pu travailler sans moyens. Ils m'ont été fournis par le laboratoire de Géotechnique, Infrastructure, Environnement et Aménagement (GIENA) de la Faculté de Génie Civil de l'USTHB, de façon telle que je ne saurais en faire le compte.

Je tiens aussi à adresser mes sincères remerciements à toute l'équipe de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) à Alger, plus particulièrement Monsieur BOUGHERRA, directeur du département Hydrologie, pour l'aide consentie dans l'élaboration des analyses.

Enfin, à tous ceux qui ont, de près ou de loin, contribué à la finalisation de ce travail, son oublier ma famille et mes amis.

# DEDICACES

A mon père.....

A ma mère.....

A mes frères et mes sœurs.....

A ma femme et mes filles.....

Je dédie se modeste travail

# *Sommaire*

# **SOMMAIRE**

INTRODUCTION GENERALE.....	1
----------------------------	---

## PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

### CHAPITRE 1 : GEOTECHNIQUE ET ENVIRONNEMENT

1. INTRODUCTION.....	4
2. LES DECHETS.....	4
3. TYPES DE DECHETS.....	5
4. TECHNIQUES DE GESTION DES DECHETS.....	8
4.1. Elimination des déchets.....	8
4.2. Traitement des déchets.....	8
5. LES DECHARGES.....	8
5.1. Les décharges sauvages.....	8
5.2. Les décharges contrôlées.....	9
6. PRODUCTION ET GESTION DES DECHETS SOLIDES EN ALGERIE.....	17
7. EXEMPLES DE DECHARGES CONTROLEES.....	20
7.1. Décharge d'Oued Smar.....	20
7.2. Décharge d'Ouled Fayet.....	22

### CHAPITRE 2 : LES DECHETS INDUSTRIELS

1. INTRODUCTION.....	25
2. DEFINITION.....	25
3. PRINCIPALES FAMILLES DE CONTAMINANTS .....	26
3.1. Métaux et métalloïdes lourds.....	26
3.2. Micropolluants organiques.....	27
3.3. Les radioéléments.....	31
4. LES COMPOSES ORGANIQUES VOLATILS (COV).....	34
4.1. Généralités.....	34
4.2. L'impact des COV.....	34
5. LES POLLUANTS ALIPHATIQUES HALOGENES.....	36
5.1. Généralités.....	36
6. LE PERCHLOROETHYLENE OU TETRACHLOROETHYLENE (C <sub>2</sub> -Cl <sub>4</sub> ).....	38

6.1. Origine.....	38
6.2. Caractéristiques physico-chimiques.....	38
6.3. Utilisation.....	39
6.4. Effets sur la santé et l'environnement.....	40
7. MECANISMES DE DEGRADATION DES CHLOROETHENES.....	40
7.1. Dégradations chimiques.....	40
7.2. Mécanismes de biodégradation.....	41
8. MIGRATION DES POLLUANTS ORGANIQUES DANS LES SOLS.....	43

## CHAPITRE 3 : INDUSTRIE DES PRESSINGS ET CONTEXTE REGLEMENTAIRE

1. INTRODUCTION.....	45
2. ORIGINE DE DECHETS TOXIQUES DANS L'ACTIVITE DE NETTOYAGE.....	45
3. GESTION DES DECHETS DU (PCE) AUX ETATS-UNIS (USA).....	45
3.1. Réglementations et pratiques.....	46
3.2. Directives touchant le PCE .....	47
3.3. Perspectives.....	47
4. GESTION DES DECHETS DES PRESSINGS AU CANADA.....	48
4.1. Utilisation du PCE au canada.....	48
4.2. Cadre réglementaire.....	48
4.3. Instruments économique.....	49
4.4. Perspectives de la technologie de nettoyage.....	50
5. GESTION DES DECHETS DES PRESSINGS EN EUROPE.....	51
5.1. Marché des solvants en Europe.....	51
5.2. Cadre réglementaire.....	53
5.3. Gestion des déchets des pressings dans quelques pays européens.....	54
6. GESTION DES DECHETS DES PRESSINGS EN FRANCE .....	55
6.1. Politique des déchets en France.....	55
6.2. Déchets toxiques en quantités dispersées (DTQD).....	55
6.3. Déchets des pressings.....	56
6.4. Exemple des pressings du bassin Loire-Bretagne.....	58
6.5. Opération pressings propres en Languedoc-Roussillon.....	59
7. GESTION DES DECHETS DES PRESSINGS EN ALGERIE.....	61
7.1. Introduction .....	61
7.2. Etats de l'environnement en Algérie.....	61
7.3. Politique Algérienne des déchets .....	62
7.4. Position actuelle des boues des pressing .....	65

## PARTIE EXPERIMENTALE

### ETUDE DE L'INFILTRATION

1. OBJECTIF.....	66
2. IDENTIFICATION DES MATERIAUX.....	66
2.1. Caractéristiques du sable .....	66
2.2. Caractéristiques de la bentonite .....	68
3. TRAVAUX D'IMPERMEABILISATION.....	81
3.1. Compactage des échantillons.....	82
3.2. Essais de perméabilité .....	89
4. ESSAI D'INFILTRATION.....	95
4.1. Préparation de l'échantillon.....	95
4.2. Mise en marche de l'essai. ....	95
4.3. Résultats des analyses .....	96
CONCLUSION GENERALE.....	98
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	99
ANNEXES.....	105

**LISTE DES FIGURES**

Figure. 1.1	Différents types de stockages.....	10
Figure. 1.2	Fond et couverture d'un centre de stockage de déchets de classe 1.....	11
Figure. 1.3	Fond et couverture d'un centre de stockage de déchets de classe 2.....	12
Figure. 1.4	Exemple de carte présentant, la topographie, la distribution des formations géologiques, le réseau hydrographique et les isopièzes de la nappe phréatique contenue dans les calcaires.	14
Figure. 1.5	Schéma d'un système hydrogéologique karstique.....	14
Figure. 1.6	Casier de centre de stockage d'ordures ménagères.....	16
Figure. 1.7	Estimation de l'évolution de la production annuelle des déchets ménagers en Algérie.....	18
Figure. 2.1	Métaux lourds dans la classification périodique.....	26
Figure. 2.2	Schéma de la biodégradation anaérobie des chloroéthènes.....	42
Figure. 2.3	Différentes phases d'une pollution organique dans la zone insaturée d'un sol contaminé d'après Pedersen (1991) .....	44
Figure. 3.1	Importation et utilisation de PCE en 1994 au Canada.....	49
Figure. 3.2	Opérations de collectes et de traitements des polluants en France.....	58
Figure. 3.3	Résultats de l'opération pressings propre.....	60
Figure. 4.1	Courbe granulométrique du sable.....	67
Figure. 4.2	Granulométrie à Laser.....	70
Figure. 4.3	Analyse granulométrique de la bentonite par rayon Laser.....	70
Figure. 4.4	Diagramme de Casagrande.....	72
Figure. 4.5	Diagramme de la composition chimique de la bentonite par le MEB.....	75
Figure. 4.6	Diagramme de diffraction au R.X de la bentonite.....	78
Figure. 4.7	Modalité de compactage selon le type et les moules.....	84
Figure. 4.8	Opération de compactage.....	84
Figure. 4.9	Diagramme des essais Proctor.....	84
Figure. 4.10	Evolution de la perméabilité en fonction des teneurs en eau optimales.....	84
Figure. 4.11	Essais Proctor sur différents matériaux.....	85
Figure. 4.12	Courbe Proctor du mélange (sable + 0% bentonite) .....	87
Figure. 4.13	Courbe Proctor du mélange (sable + 4% bentonite) .....	87
Figure. 4.14	Courbe Proctor du mélange (sable + 6% bentonite) .....	88
Figure. 4.15	Courbe Proctor du mélange (sable + 8% bentonite).....	88
Figure. 4.16	Superposition des courbes Proctor.....	89
Figure. 4.17	Schéma de l'expérience sur laquelle repose la loi de Darcy.....	89
Figure. 4.18	Essais de perméabilité à charge constante et à charge variable.....	92
Figure. 4.19	Evolution de k en fonction de concentration en bentonite.....	94

## **LISTE DES TABLEAUX**

Tab. 1.1	Type de rejets polluants à la surface du sol et dans l'eau superficielle....	6
Tab. 1.2	Evolution de la composition des déchets à Alger (Algérie).....	7
Tab. 1.3	Composition des déchets ménagers en pourcentage.....	7
Tab. 1.4	Données générales sur l'Algérie.....	19
Tab. 1.5	Principaux polluants émis par la décharge d'Oued Smar.....	21
Tab. 1.6	Evolution de la quantité de déchets enfouis sur le site d'Ouled Fayet.....	23
Tab. 1.7	Dispositifs d'étanchéité réglementaires pour les installations de stockage de déchets (ménagers, inertes et spéciaux, etc.).....	24
Tab. 2.1	Typologie simplifiée des principaux agents de contamination des eaux souterraines parmi les micropolluants organiques.....	30
Tab. 2.2	Exemples de valeurs d'équivalent biologique.....	33
Tab. 2.3	Caractéristiques toxicologiques de quelques solvants.....	35
Tab. 2.4	Principales utilisation de quelques solvants chlorés.....	37
Tab. 2.5	Production mondiale, américaine et européenne des principaux OHV en Mégatonnes/ an,.....	37
Tab. 2.6	Principales caractéristiques physico-chimiques du PCE.....	39
Tab. 3.1	Marché des solvants en Europe.....	52
Tab. 3.2	Répartition du marché des solvants selon les applications.....	52
Tab. 3.3	Répartition européenne des machines de nettoyage à sec.....	52
Tab. 3.4	Catégories des déchets prioritaires.....	53
Tab. 3.5	Taxes liées à la réception et l'élimination des déchets (année 2000).....	57
Tab. 4.1	Analyse granulométrique du sable.....	67
Tab. 4.2	Classification des sols en fonction de l'indice de consistance.....	71
Tab. 4.3	Limites de consistance de la bentonite.....	71
Tab. 4.4	Valeurs et intervalles de l'activité pour différents minéraux argileux.....	72
Tab. 4.5	Composition chimique de la bentonite par fluorescence des R.X.....	75
Tab. 4.6	Composition chimique de la bentonite par le MEB.....	76
Tab. 4.7	Essai Proctor normal et modifié.....	83
Tab. 4.8	Dimension des moules Proctor et CBR.....	83
Tab. 4.9	Valeurs du $W_{opt}$ et $\gamma_{dopt}$ .....	86
Tab. 4.10	Valeurs de la viscosité dynamique de l'eau, à la pression atmosphérique.....	90
Tab.4.11	Résultats des essais de perméabilité.....	94
Tab.4.12	Résultats des analyses chimiques de l'eau avant infiltration.....	96
Tab.4.13	Résultats des analyses chimiques de l'eau après infiltration.....	97

**LISTE DES PHOTOS**

Photo. 1.1	Décharge d'Ouled Fayet vue du ciel.....	23
Photo. 4.1	Essai au pycnomètre.....	79
Photo. 4.2	Essai au bleu de méthylène (test de la tache) .....	73
Photo. 4.3	Essai de gonflement libre.....	74
Photo. 4.4	Capacité d'échange cationique (C.E.C.) déterminée par la méthode de percolation à l'acétate d'ammonium.....	77
Photo. 4.5	Microstructure de la bentonite étudiée.....	80
Photo. 4.6	Matériel pour essais Proctor.....	86
Photo. 4.7	Malaxage du mélange Sable-Bentonite.....	86
Photo. 4.8	Support pour Perméamètre et accessoires.....	93
Photo. 4.9	Bâti du Perméamètre.....	93
Photo.4.10	Mise en marche de l'essai d'infiltration.....	95

**ABREVIATIONS**

ADEME	Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie
AFNOR	Association Française de NORmalisation
ANRH	Agence National des Ressources Hydrauliques
APC	Assemblée Populaire Communale
BTEX	Benzène, Toluène, Ethylbenzène, Xylènes
CBR	Classification Bearing Ratio
CET	Centre d'Enfouissement Technique de Déchets
COT	Carbone Organique Total
COV	Composés Organiques Volatils
COVNM	Composés Organiques Volatils Non Méthaniques
CRD	Centre de Recherche et de Développement (Boumerdes, Algérie)
CSD	Centre de Stockage de Déchets
DTQD	Déchets Toxiques en Quantités Dispersées
FEDEP	Fond National de l'Environnement et de Dépollution
HAP	Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques
INSA	Institut National des Sciences Appliquées
LCPC	Laboratoire Centrale des Ponts et Chaussées (France)
MATE	Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement (Algérie)
MEB	Microscope Electronique à Balayage
MO	Matière Organique
OM	Ordures Ménagères
COHV	Composés Organiques Halogénés Volatils
PCB	Polychlorobiphényles
PCE	Perchloroéthylène ou tétrachloroéthylène
PED	Pays en Développement
pH	Potentiel Hydrogène
PLNA	Phase Liquide Non Aqueuse
PME	Petite et Moyenne Entreprise
PNAEDD	Plan National pour l'Environnement et le Développement Durable
POPs	Polluants Organiques Persistants
Pressing	Installation de nettoyage à sec
PROGDEM	Programme de Gestion intégrée des Déchets Ménagers
RNE	Rapport National sur l'état et l'avenir de l'Environnement
SNE	Stratégie National Environnemental
TCE	Trichloréthylène
TGAP	Taxe Général sur les Activités Polluantes
UNEP	United Nations Environment Programme

# *Introduction Générale*

## **INTRODUCTION GENERALE**

La croissance de la population dans les zones urbaines et les centres ruraux notamment, entraîne une production de plus en plus importante de déchets ménagers et industriels. Une des conséquences de ces déchets est son impact sur la qualité des sols et, par la suite, sur la qualité des eaux souterraines ; en cas de contamination par les jus de lixiviats des décharges qui peuvent s'y infiltrer sous l'action des eaux de pluies.

En Algérie, la pollution, la détérioration du cadre de vie et les atteintes aux écosystèmes, sont des réalités tangibles. Les différents types de déchets produits actuellement sont, dans presque leur quasi-totalité, répartis sur quelques 3000 décharges sauvages occupant environ 150 000 hectares. Bien que peu d'études aient été effectuées sur les risques de contamination des eaux, il faut s'attendre à ce qu'il y ait pour la majorité de ces dépôts des infiltrations de lixiviats dans le sous-sol.

Dans le domaine de la gestion des déchets, beaucoup de pays ont développé différents types d'approches pour offrir un ensemble de solutions adaptables à leurs capacités d'investissement et de gestion. La diversification des techniques de traitement des déchets amène à des choix parfois complexes. Chaque mode de traitement présente des avantages et des inconvénients, et il n'existe pas de panacée. Il faut déterminer le mode de traitement le plus adapté au contexte socio-économique local.

La décharge contrôlée, ou encore enfouissement technique, est un procédé géotechnique considéré comme une méthode d'élimination des déchets. Par ces barrières étanches passive et active, dont la perméabilité est inférieure à  $10^{-9}$  m/s, la décharge contrôlée peut limiter les désordres que les circulations d'eau peuvent engendrer, et barrer totalement ses eaux.

Bien qu'ayant, au départ, des propriétés hydrauliques, entrant dans les normes présentes pour un centre de stockage de déchets, le problème posé est celui de l'efficacité de barrières étanches en présence de liquides chargés en éléments contaminants.

C'est dans ce contexte que se situe le travail de recherche présenté dans ce mémoire.

Pour mener à bien ce travail nous l'avons divisé en deux parties :

Une partie bibliographique, constituée des trois premiers chapitres. Le chapitre un, consacré à l'établissement du lien entre la géotechnique et l'environnement, commence d'abord par quelques notions sur les déchets, les décharges, les lixiviats de décharge suivies des critères géotechniques régissant le choix des sites de décharges contrôlées. Ce chapitre se termine par la présentation des différentes classes de décharges contrôlées en citant les exigences réglementaires requises en terme de perméabilité.

Le deuxième chapitre est une fenêtre sur les déchets industriels et les principales familles de contaminants. Il vise à définir le produit toxique en recherchant son origine et ces caractéristiques de toxicité.

Les composées organiques volatiles appelés couramment COV, tel que les solvants chlorés, font l'objet de ce chapitre qui présente le perchloroéthylène, son impact sur l'homme et l'environnement, sa toxicité, ces caractéristiques physico-chimiques et son mécanisme de dégradation.

Le troisième chapitre vise à définir l'origine de déchets toxiques dans l'activité du pressing (nettoyage a sec des vêtements), et à présenter quelques exemples des politiques de gestion des déchets de perchloroéthylène provenant de cette industrie.

Une partie expérimentale, ayant pour objectif d'étudier l'infiltration d'un polluant (boues de pressing), à travers un mélange compacté d'un sable moyen traité à la bentonite.

Dans cette partie et après les essais d'identifications physico-chimiques et minéralogiques des deux matériaux utilisés: sable de Baghlia (Boumerdès) et bentonite de Mostaganem, une étude, de l'évolution de la perméabilité d'un mélange compacté de sable et de bentonite, à différents pourcentages en bentonite, a été réalisée en vue d'optimiser le mélange en terme de perméabilité. Par ailleurs, on s'intéressera à l'analyse de l'eau infiltrée à travers le mélange répondant aux normes d'étanchéité des sites de décharges de classe 1 mais contenant un polluant industriel qu'est la boue de pressing.

Nous achevons notre mémoire par une conclusion générale qui synthétise l'essentiel de notre travail.

# *Partie Bibliographique*

---

# Chapitre 1

---

GEOTECHNIQUE ET ENVIRONNEMENT

## GEOTECHNIQUE ET ENVIRONNEMENT

### 1. INTRODUCTION

Malgré le progrès économique et social que les pays en voie de développement connaissent, un des risques majeurs lié aux activités domestiques et industriels toxiques est la pollution des sols et des ressources en eau potable. Cette véritable rançon payée pour améliorer nos conditions d'existence s'accompagne d'un sérieux danger pour la santé publique, les écosystèmes, le cadre de vie et l'économie.

La recherche de solutions doit s'orienter vers des techniques et systèmes alternatifs, adaptés aux capacités humaines, techniques et financières, et tout particulièrement pour les plus modestes d'entre elles.

### 2. LES DECHETS

Le terme déchet vient du verbe « déchoir » qui traduit la diminution de la valeur d'un bien, d'une matière ou d'un objet jusqu'au point où il devient inutilisable en un lieu et en un moment donné.

Le concept de déchet, lié à l'activité humaine, est largement subjectif. Un objet peut être considéré comme un déchet par une personne et comme une matière première par une autre. C'est par exemple le cas pour le verre : les bouteilles vides (déchets) jetées par les particuliers dans des containers spéciaux fournissent plus de la moitié de la matière première de l'industrie du verre d'emballage. (CNRS, 2003)

D'une façon synthétique, on peut définir le déchet comme le rebut d'une activité, le résidu d'une opération qui a en plus la caractéristique d'être inutilisable, sans valeur. IL ressort de cette définition deux éléments essentiels:

- Le rebut, le résidu.
- L'inutilité, la non-valeur.

Sous l'angle du langage courant, il semble que les contours de la notion de « déchet » soient définis ; toutefois, d'un point de vue juridique, il n'en va pas les même. (Boukerche.A, 2007)

Les textes réglementaires considèrent comme déchets« tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, et plus généralement, toute substance ou produit et, tout bien, meuble dont le propriétaire ou le détenteur se défait, projette de se défaire, ou dont il a l'obligation de se défaire ou de l'éliminer ». (JORADP, 2001)

### 3. TYPES DE DECHETS

Les quantités de déchets et polluants divers produits dans les pays industriels ne cessent de croître. Van Impe et Bouazza (1996) proposent un tableau synthétique des différents types de rejets, leurs sources, leur volume, leur concentration en polluants et le type de facteur affectant leur nature (Tab.1.1).

Ces rejets peuvent comporter des produits dangereux pour l'environnement et la santé publique. La plupart d'entre eux sont listés ci-après; ils constituent la majorité des déchets solides et liquides qui peuvent être rencontrés (d'après Daniel et Koerner, 1995). (Van Impe W.F. & Bouazza A, 1996)

La croissance de la population et la modification de la consommation à Alger par exemple, ont entraîné une évolution de la composition des déchets que nous montrons dans le tableau 1.2. Le tableau 1.3, nous renseigne sur les résultats d'analyse des déchets par matière d'une ville allemande, de Sousse en Tunisie et d'Alger.

Tab.1.1 : Type de rejets polluants à la surface du sol et dans l'eau superficielle (Van Impe W.F. &amp; Bouazza A, 1996)

Source	Volume de rejet	Concentration du Contaminant	Type de facteur affectant Le rejet
Transport * Déversement	* contenance entière ou partielle de conteneur de transport	* élevée (souvent pur)	* accident de la route, de train, mauvais déchargement
Stockage * déversement, débordement  * fuit	* contenance entière ou partielle du réservoir de stockage * taux minimal peut continuer indéfiniment	* élevée (souvent pur)  * élevée (souvent pur)	* rupture de réservoir, erreur de manutention  * fréquence des visites, age du stockage
Traitement * effluent	*variable, souvent élevé	* faible (réglementée)	* mode de traitement et mode de gestion de stockage
Décharge * ruissellement   * infiltration de surface   * migration des lixiviats à travers le fond	* peut être large, dépend de l'intensité de la pluie   * taux minimal, peut continuer indéfiniment   * taux minimal à faible pour les décharges étanchées ; taux modéré à élevé pour les décharges non étanchées ; continue indéfiniment	*faible, typiquement sédiment contaminé, nul si décharge couverte   * moyenne à élevée   * moyenne à élevée	* couverture, pente, capacité de rétention   * caractéristique de la couverture (pente, perméabilité), liquide stocké, évacuation des lixiviats * idem + perméabilité du fond de décharge
Bassin * débordement * fuite	* partiel à total * taux minimal à faible pour les bassins étanchés ; taux modéré à élevé pour les bassins non étanchés.....	* élevé * élevé	* rupture, inondation *perméabilité du fond ; profondeur du liquide

Tab.1.2 : Evolution de la composition des déchets à Alger (Algérie)  
(Zebdji. M, 2000)

composants	UNITES	Années		
		1973	1983	1994
Production Spécifique	g / hab / j	430	600	740
Teneur en eau	%	6	55	49
PCI	Kcal / Kg	900	900 / 1000	1550
Matières plastiques	%	2.3	2	7.3
Textiles	%	2.6	3.6	2.3
Verre	%	1.1	1.1	0.8
Papier-carton	%	17	16	11
Métaux	%	0.1	3.5	1.9
Matières organiques	%	71.7	70	74.7

Tab.1.3 : Composition des déchets ménagers en pourcentage. (GTZ, 2003)

Type de matières	Allemagne 1995	Sousse (Tunisie) 1995	Alger 1983	Alger 1995
Matières organiques	35	65	70	67
Matières minérales	12	4	1	*
Textiles	3	4	4	*
Plastiques	10	8	2	7
Verre	1	2	1	*
Carton /Papier	20	12	16	12
Métaux	3	2	4	1
Autres	5	3	2	13
Total	100	100	100	100

## 4. TECHNIQUES DE GESTION DES DECHETS

Selon leur nature et leur degré de toxicité, les déchets sont traités de deux manières ; soit par élimination soit par traitement.

### 4.1. Élimination des déchets

Les déchets sont éliminés avec valorisation ou sans valorisation :

a)- avec valorisation : la valorisation des déchets, définie comme un mode de traitement, lorsqu'elle est possible, permet d'en retirer des produits utiles ou de l'énergie. Les grands types de valorisation sont la valorisation biologique (production d'engrais et de compost), la valorisation énergétique (production de chaleur et d'électricité), le tri des déchets (répartition dans des contenants distincts en vue de valoriser, traiter,...ext.), et le recyclage (utiliser des matériaux provenant de déchets à la place de la matière première vierge).

b)- sans valorisation : soit par incinération dans des incinérateurs spécialisées ou dans les cimenteries, dont le réemploi est interdit, soit par la mise en décharge (appelée aussi stockage), revient le plus souvent à laisser se poursuivre le cycle de dégradation sans rien en retirer.

### 4.2. Traitement des déchets

Le traitement, réalisé essentiellement, dans des installations spécialisées, est :

a)- physico-chimique : pour les solutions minérales, surtout, par utilisation d'un liquide ou d'un gaz sous pression susceptible de dissoudre le, ou les polluants.

b)- biologique : basés sur la capacité de certains êtres vivants (bactéries, plantes,...ext.), à filtrer et accumuler les éléments toxiques dans leur organisme ou à s'en servir comme aliment.

## 5. LES DECHARGES

### 5.1. Les décharges sauvages

Les décharges sauvages sont des sites de stockage non contrôlés, situés généralement à proximité des habitations, ce stockage aléatoire est la source de nuisances telles que les odeurs, la présence d'insectes, les incendies et la

contamination des eaux de surface et des nappes souterraines voisines, ce qui met en danger toutes les personnes vivant à proximité. (Gaidi. L, 2002).

En plus, les décharges non contrôlées présentent également d'autres inconvénients :

- baisse de rendement dans les champs agricoles environnants ;
- mauvaise visibilité provoquée par la propagation de fumées ;
- gêne à l'odeur ;
- destruction du paysage.

Il convient de souligner que ces nuisances ne sont pas dues à la présence de décharges, mais plutôt :

- au fait que des décharges ne sont pas de type d'exploitation contrôlée ;
- à l'utilisation d'équipements souvent défectueux ;
- à l'absence d'infrastructures de valorisation et de récupération. (Debieche.M, 2007).

## 5.2. Les décharges contrôlées

a)- rôles des décharges contrôlées : la décharge contrôlée, ou encore Centre d'Enfouissement Technique (CET), est établi en réponse à certaines préoccupations liées à l'expérience du passé sur les décharges sauvages ou non contrôlées, elle a pour but :

- la récupération des effluents gazeux et aqueux,
- la sélection des déchets admis,
- le contrôle et la surveillance des exploitations,
- le bon choix des sites de confinement, qui doit assurer la pérennité du système pendant plusieurs dizaines d'années correspondant à la lente évolution de déchets.

b)- différentes classes de décharges contrôlées : en vue d'une protection de l'environnement, les décharges contrôlées ont connu une réglementation pour mieux stocker les déchets selon l'épaisseur des barrières, le degré de perméabilité minimale et la nature des déchets enfouis. A ce jour, il existe 3 classes de décharges contrôlées (Fig.1.1) :

- Les décharges de classe 1 : réservées aux déchets industriels spéciaux (DIS). La réglementation exige, pour le fond de l'ouvrage, la création d'une barrière horizontale passive d'une épaisseur de 5 m avec  $k < 10^{-9}$  m/s (Fig.1.2).
- Les décharges de classe 2 : admettent les déchets ménagers et les déchets industriels banals (DIB). La réglementation exige, pour le fond de l'ouvrage, la création d'une barrière horizontale passive d'une épaisseur de 5 m avec  $k < 10^{-6}$  m/s, associée à une couche de 1m avec  $k < 10^{-9}$  m/s (Fig.1.3).
- Les décharges de classe 3 : qui n'admettent que les déchets inertes, de type déblais ou gravats qui n'évoluent pas sur le plan biologique, physique ou chimique et pour lesquelles il n'existe pas d'exigence particulière sur la perméabilité des fonds. (MATE, 2005).

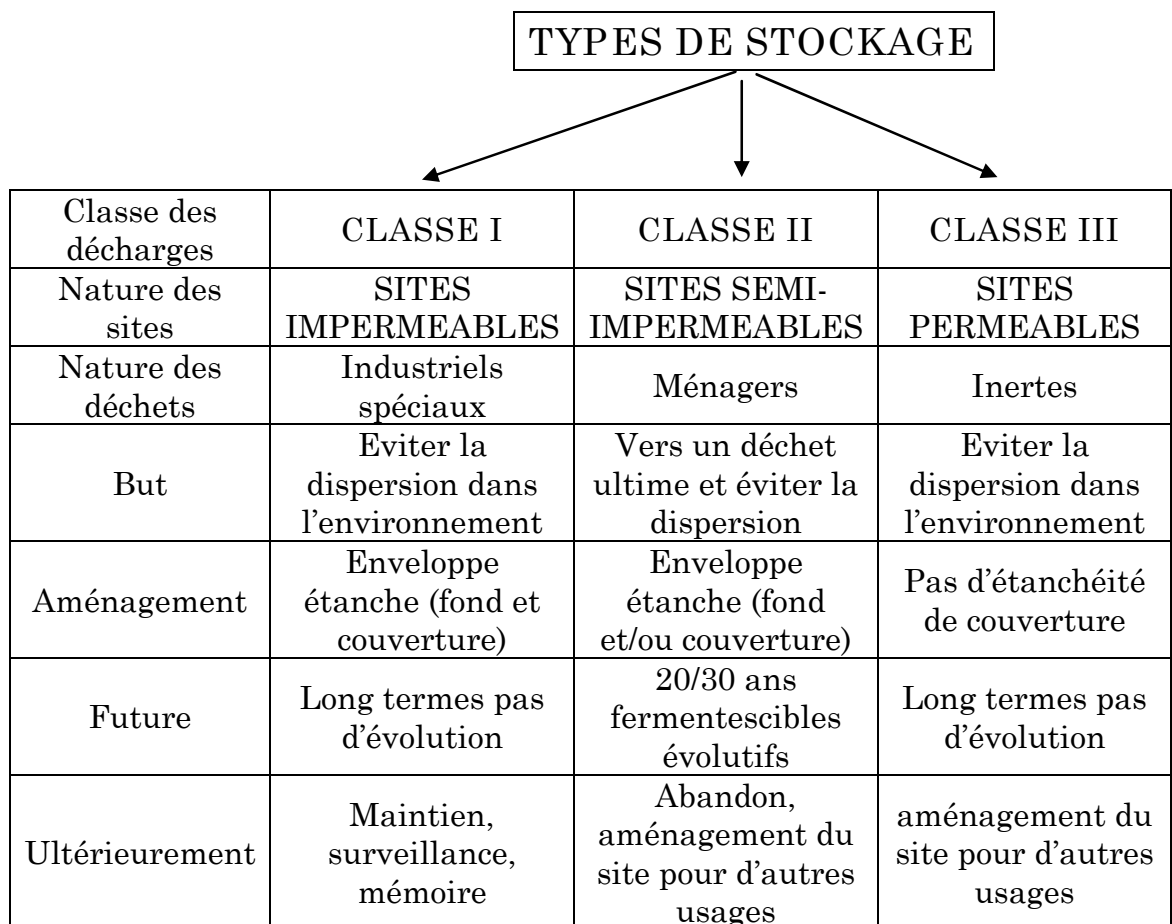


Fig.1.1 : Différents types de stockages. (Gaidi. L, 2002).

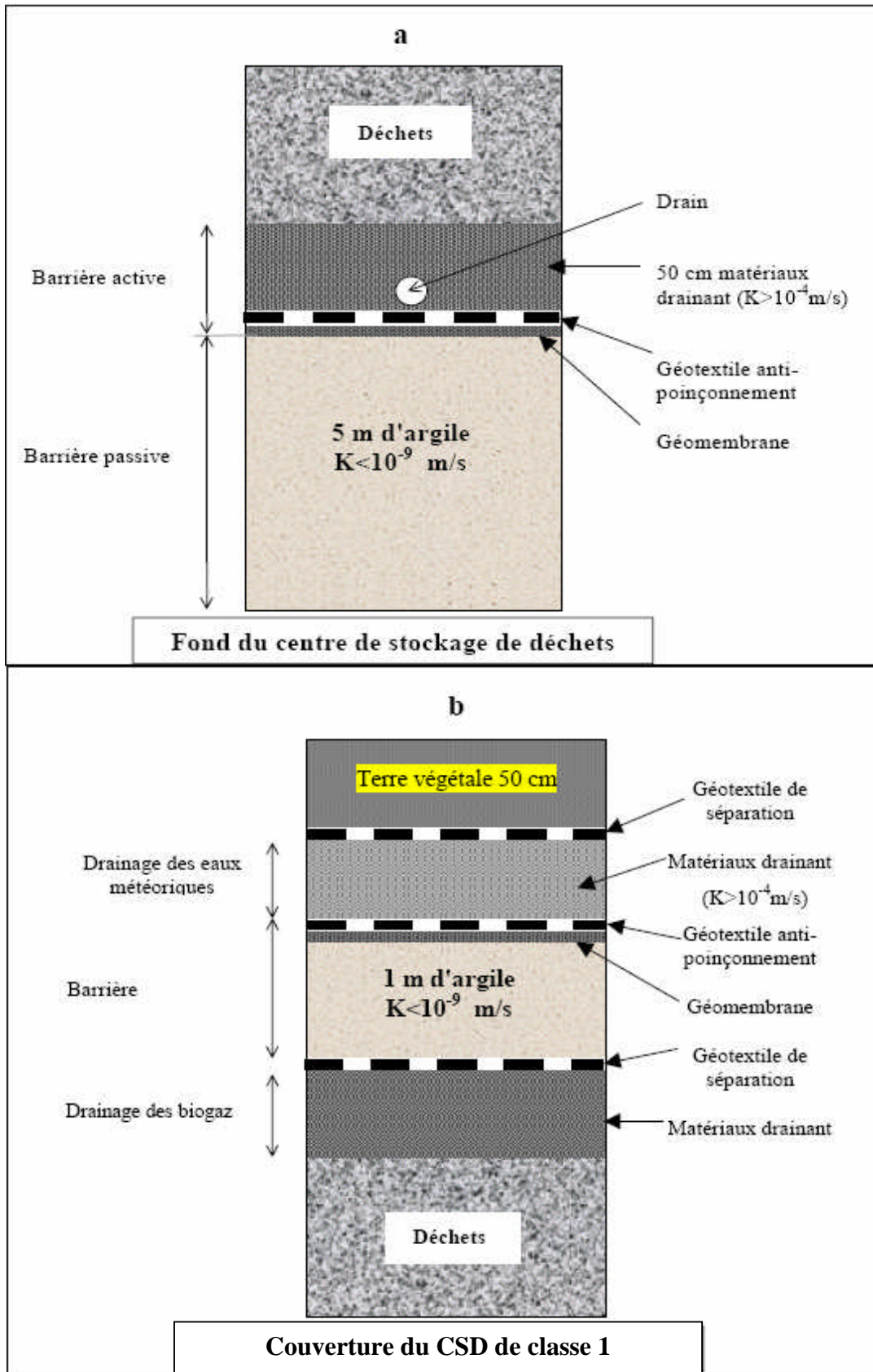


Fig. 1.2 : Fond et couverture d'un Centre de Stockage de Déchets de classe 1. (Gaidi. L, 2002)

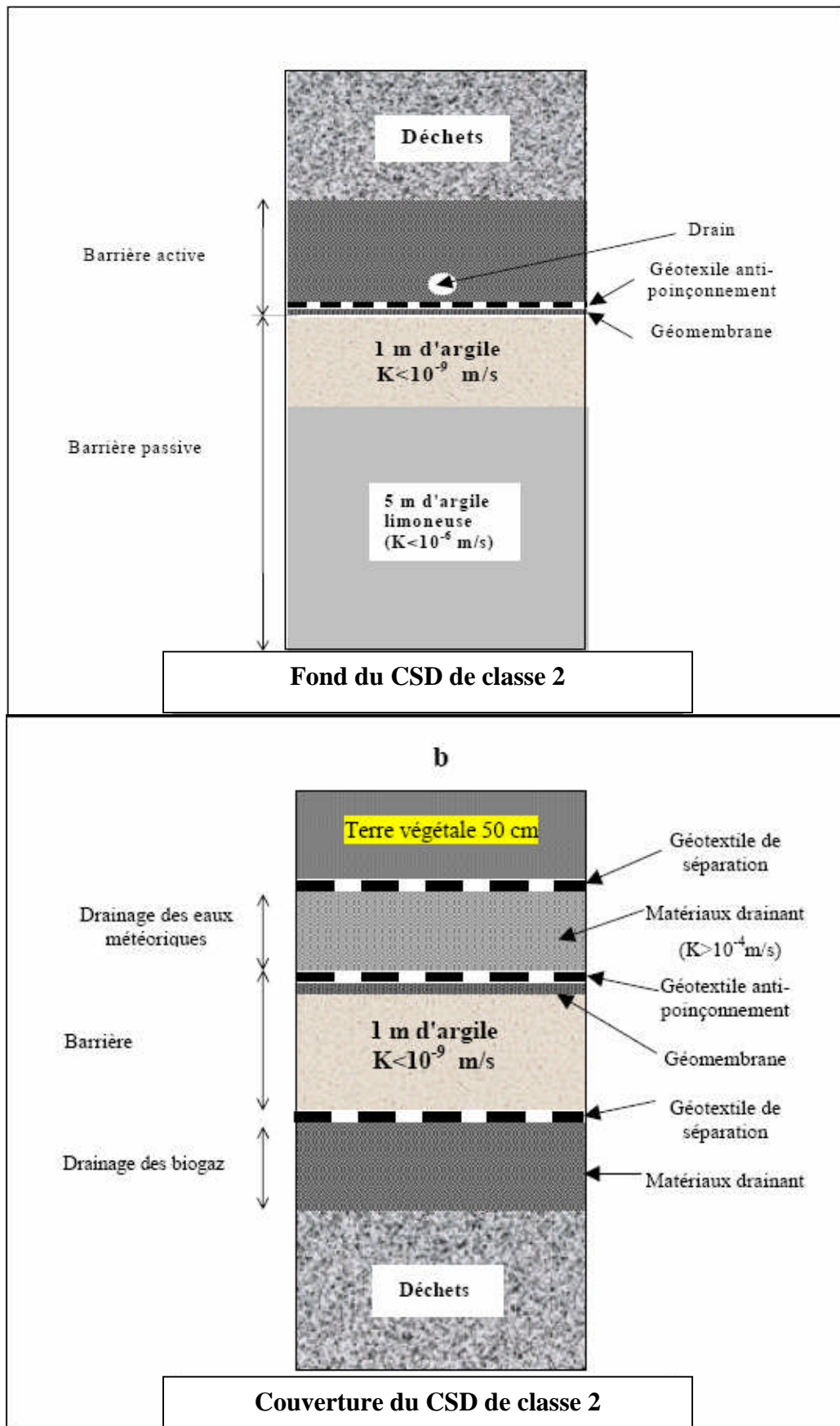


Fig. 1.3 : Fond et couverture d'un Centre de Stockage de Déchets de classe 2. (Gaidi. L, 2002).

c)- choix et localisation des sites de décharges contrôlées : afin d'être conforme à la loi (étude d'impact, enquête publique, autorisation de Wali,.....etc.), la décharge doit être implantée dans un contexte topographique, géologique, géotechnique et hydrographique favorable (Fig.1.4)

Si l'on considère que l'eau constitue le vecteur essentiel de l'exportation de la pollution, toute documentation illustrée permettant de comprendre aux mieux le fonctionnement hydrologique du site est indispensable et les rapports cartographiques devront être précis.

Si les terrains ne présentent pas des caractéristiques d'imperméabilité suffisantes (Fig.1.5), leur niveau de protection est renforcé. Ceci peut être obtenu par ajout de bentonite, des argiles rapportées ou des géosynthétiques bentonitiques, etc..... (Site Web, [4]).

D'autre part, on constate trop souvent que le site choisi ne remplit pas les normes imposées par la loi. Par exemple, la décharge est installée dans une zone marécageuse avec une nappe d'eau située à quelques mètres de profondeur, ou bien le sous-sol de site retenu n'est pas argileux, mais sableux, et donc très perméable,....etc. la méconnaissance des élus, le manque d'études indépendantes, des intérêts politico-financiers favorisent l'installation de décharge sur des sites particulièrement inadéquats et dangereux pour la santé. (CNIID, 2001).

En plus la détermination du site d'une décharge contrôlée doit tenir compte des exigences concernant :

- la possibilité d'exploitation du (CET) sur une période de quinze (15) années minimum,
- les sites urbains,
- distance au lieu principal de production de déchets,
- protection de la nature et du paysage,
- les cours et plans d'eau,
- la géologie et l'hydrogéologie,
- position dans le relief géologique (situation morphologique),
- les risques d'inondations, d'affaissements, de glissements de terrain ou d'avalanches sur le site,
- météorologie,
- zone disponible pour extension,
- réseaux de transport,
- nuisances préalables. (MATE, 2005).

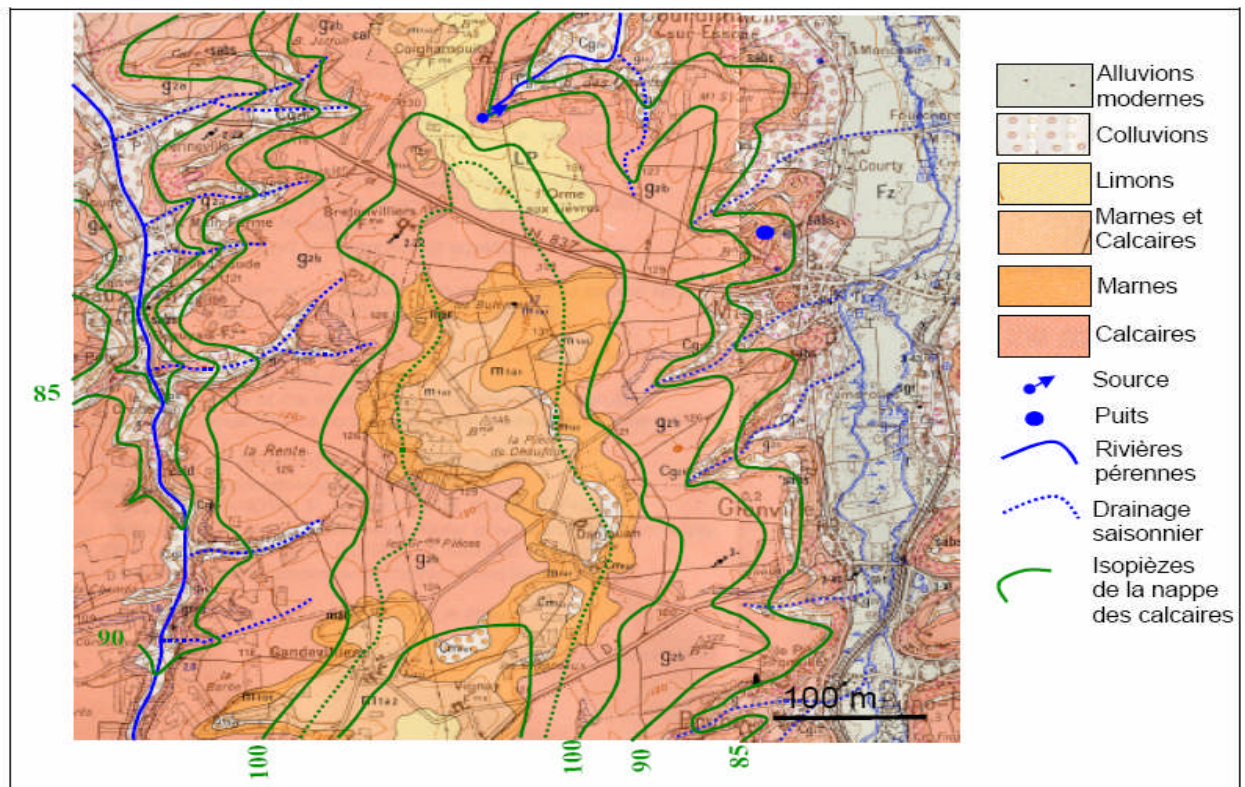


Fig. 1.4 : Exemple de carte présentant, la topographie, la distribution des formations géologiques, le réseau hydrographique et les isopièzes de la nappe phréatique contenue dans les calcaires. NB : cette carte donnée à titre d'exemple ne respecte pas les échelles relatives de tous les objets reportés. (BRGM. N°53373, 2004).

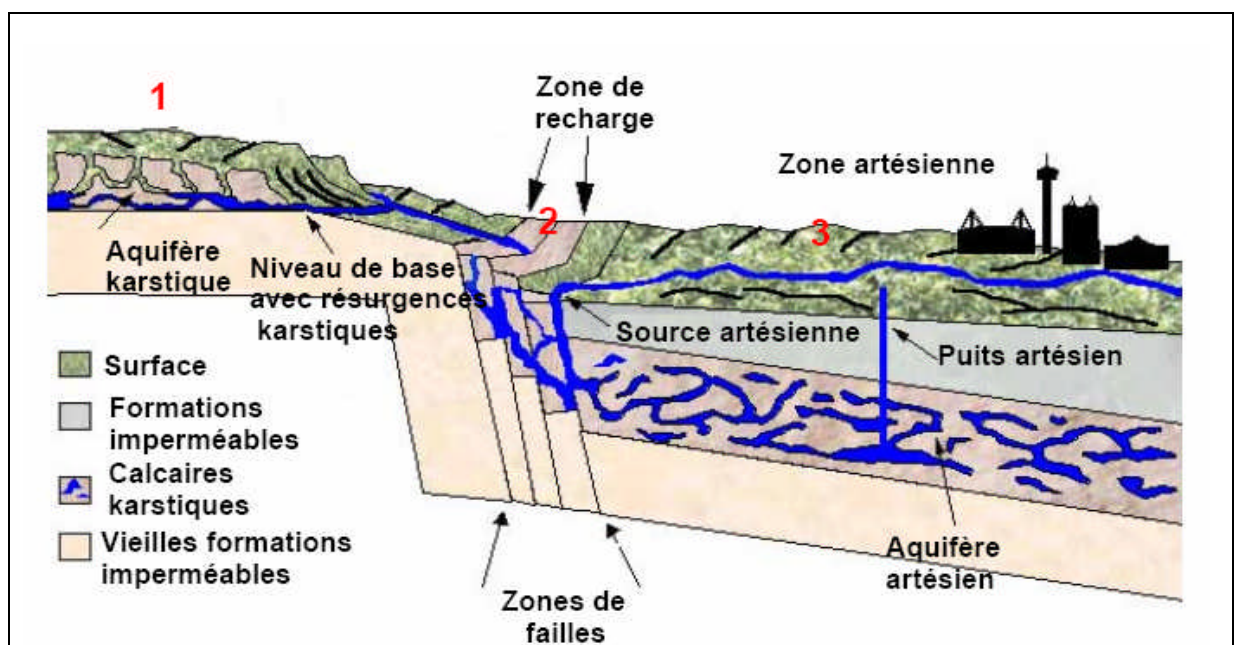


Fig.1.5 : Schéma d'un système hydrogéologique karstique : les situations 1 et 2 sont, à cause de l'hydrologie, des points plus sensibles avec risques de pollution de la ressource en eau, que 3 où cette dernière est protégée par son caractère artésien. (BRGM. N°53373, 2004).

d)- structure des barrières étanches : le petit Larousse définit l'étanchéité comme la propriété de bien retenir les fluides, de ne pas les laisser pénétrer ni s'écouler. On confère ce caractère étanche aux géomembranes et aux argiles, matériaux peu perméables utilisés en génie civil. Cependant, ces matériaux ne sont pas réellement étanches : en effet, les fluides et principalement l'eau peuvent les traverser et s'y écouler. (Gaidi. L, 2002).

Une barrière étanche est un moyen de minimiser le transport massique d'un constituant indésirable, d'un site de stockage vers un environnement sensible.

Le sous-sol de la zone à exploiter doit constituer une barrière de sécurité passive dont le rôle est la lutte contre les lixiviats « jus de décharge », il doit présenter de haut en bas, une perméabilité ( $k$ ) inférieure à  $10^{-9}$  m/s sur au moins 1m et inférieure à  $10^{-6}$  m/s sur au moins 5m. (CNIID, 2001).

Cette barrière passive est complétée par un niveau de sécurité active. Ce système actif doit assurer la collecte, le drainage, l'évacuation des lixiviats et l'étanchéité en fond de site (Fig.1.6).

Le calcul du flux de contaminant dépend de la structure de l'ouvrage. On peut trouver les structures suivantes :

- géomembrane seule.
- argile seule.
- barrière étanche composite (géomembrane + argile). (Gaidi. L, 2002).

Les réglementations européennes et américaines intègrent également des seuils de perméabilité pour les installations de stockage des déchets ISD et la réhabilitation d'anciennes décharges.

Le tableau.1.7 (voir ANNEX), présente les grandes lignes de ces réglementations et montre la diversité qui existe entre les différents pays occidentaux en ce qui concerne la perméabilité de la couche étanche matérialisant le fond du casier. (Van Impe W.F. & Bouazza A, 1996)

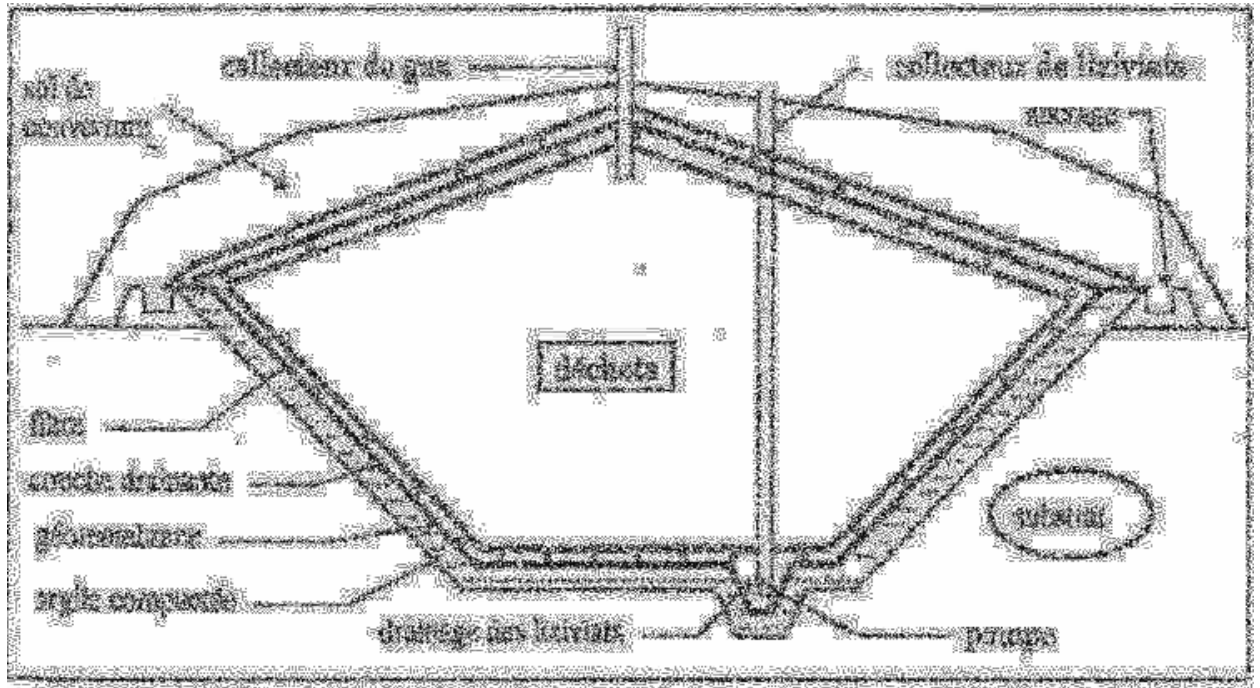


Fig.1.6 : Casier de centre de stockage d'ordures ménagères.

(Gaidi. L, 2002).

e)- les lixiviats : les lixiviats sont le résultat de la percolation, à travers les déchets, d'eau qui se charge bactériologiquement et chimiquement. Les lixiviats contiennent de la matière organique, des hydrocarbures, des composés minéraux, des métaux lourds...ext. Leur production varie en fonction de l'existence et de la qualité de recouvrement des déchets qui permet de réduire les infiltrations d'eaux pluviales. Ils s'écoulent en fond de décharge et doivent être recueillis grâce au système drainant. A ce niveau, ils sont pompés puis stockés dans des bassins avant d'être traités.

Au contact des lixiviats, les eaux de surface et les eaux souterraines se dégradent chimiquement et biologiquement. La pollution des eaux souterraines est le résultat de l'infiltration et de la diffusion de lixiviats en sous-sol perméable ou fissuré. Quant à la pollution des eaux de surface, elle peut résulter du débordement et de l'écoulement des bassins de stockage des lixiviats dans le réseau hydrographique. (CNIID, 2001).

f)- le biogaz : le biogaz est un mélange gazeux hétérogène et évolutif qui résulte de la dégradation de la matière organique. Sa composition chimique dépend de nombreux paramètres comme la nature des déchets, le taux de compactage, l'humidité, la température,...ext. En condition anaérobie, il est

constitué de 40 à 60% de méthane, de 35 à 50% de dioxyde de carbone, d'hydrogène sulfuré et de nombreux autres éléments à l'état de traces. La production de biogaz s'étend sur une très longue durée, pouvant atteindre 50 ans. La réglementation impose le captage et le traitement du biogaz :

- d'une part, pour réduire les nuisances olfactives et limiter l'effet de serre.
- D'autre part, pour limiter les risques d'incendie et d'explosion.
- Enfin, pour réduire les coûts d'exploitation en utilisant le biogaz. (CNIID, 2001).

## 6. PRODUCTION ET GESTION DES DECHETS SOLIDES EN ALGERIE

En plus des 8,5 Millions de tonnes de déchets municipaux produits annuellement, l'Algérie produit 700 000 T/an de déchets industriels banals et 300 000 T/an de déchets dangereux. Les activités de soins sont à l'origine de 125 000 T/an.

Sous le triple effet de la croissance démographique, économique et du niveau de vie, la production des déchets ménagers est en constante augmentation. Le taux de génération actuelle des déchets ménagers varie de 0,5 à 1 Kg/Hab./J, soit en moyenne 0,85 Kg/Hab./J. Avec un taux de croissance estimé à 2%, la production atteindra au-delà de 2010 une moyenne de 1 Kg/Hab./J.

En l'absence de données statistiques fiables, l'évolution future de la quantité globale des déchets générés par les ménages ne peut être qu'estimée. Elle suit en principe l'évolution démographique. Comme illustrée en figure.1.7, la production annuelle des déchets ménagers atteindra en 2010 environ 9,9 MT et 12,5MT en 2025 (Fig.1.7).

En 2015, si on atteint un taux de recyclage/récupération/valorisation de 10 %, la quantité à mettre en décharge s'élèvera à environ 9,8 MT. (METAP, 2004).

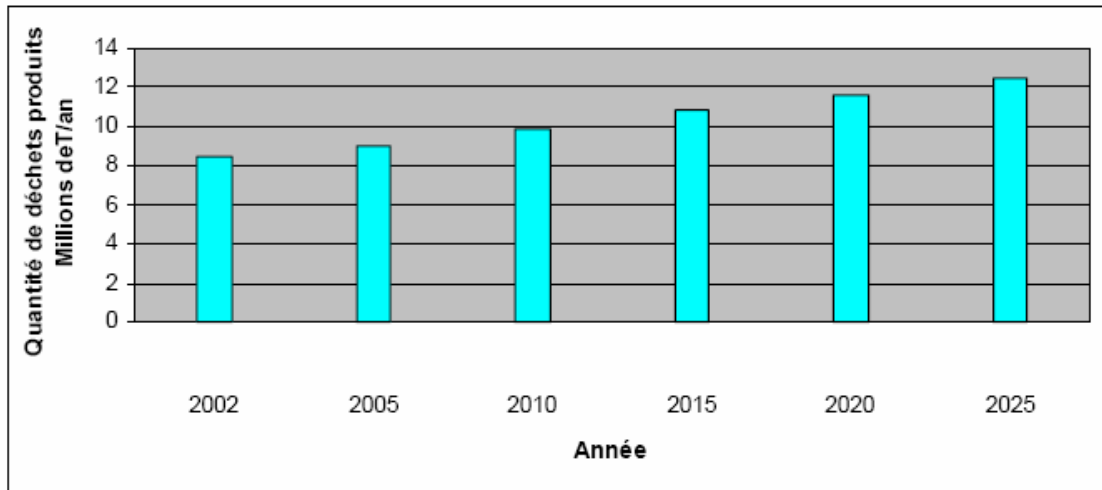


Fig.1.7 : Estimation de l'évolution de la production annuelle des déchets ménagers en Algérie. (METAP, 2004).

L'Algérie élimine ses déchets par le moyen le plus classique, à savoir la mise en décharge. En effet l'exploitation de ses décharges n'obéit à aucune règle d'hygiène et de protection de l'environnement. L'absence d'infrastructure de valorisation et de récupération des déchets a donné une dimension supplémentaire au problème. La situation des décharges en Algérie est dramatique. En effet, l'enquête réalisée par les services du ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement a fait ressortir 3000 décharges sauvages implantées sur le territoire national occupant une superficie de 150.000 hectares.

Actuellement, il n'existe qu'une seule décharge contrôlée à Alger qui est gérée par une entreprise publique à caractère industriel et commercial. Cette même entreprise gère la collecte et le transport de plusieurs communes d'Alger. Dans 22 autres grandes villes les travaux d'aménagement de décharges contrôlées sont en cours. Ces décharges seront équipées de matériels fixes et roulant adaptés pour une exploitation optimale. En attendant que ces CET deviennent opérationnels, les déchets produits à ce jour continuent d'être déversés dans les décharges publiques et traditionnelles sans précautions particulières.

On note par ailleurs qu'il y a aussi une évolution dans la composition des déchets ménagers, en ce sens que la fraction emballage (papier, carton, plastiques, etc.) est de plus en plus importante dans les déchets générés. Cette tendance constitue un atout supplémentaire pour la mise en place et l'encouragement des activités de récupération/valorisation (Tab.1.4). (METAP, 2004).

Tab.1.4 : Données générales sur l'Algérie. (METAP, 2004).

Population	31,5 Millions (1 janv.2003), Croissance/an : 1,43% Urbain: 61%, Rural: 39% Densité au Nord: 300 habitant/Km2 Densité territoire national: 13 habitant/Km2
PIB/Hab.	PIB/hab.: \$ US 1760 (année 2002)
Déchets municipaux	8,5 Millions de tonnes (année2002)
Composition des déchets	Organique 67 – 73 % Papier 7 – 12 % Plastic 2,5 – 7 % Glass 1 % Métal 2 % Reste 11 – 13 % - Composition variable selon les régions et les études faites. - La part en papier/carton serait actuellement de plus de 12 %
Quantités et Types de déchets produits	En plus des 8,5 millions de tonnes de déchets municipaux, environ: - Déchets industriels banals : 700000 Tonnes/an DIB - Déchets industriels spéciaux: 300.000 Tonnes/an, - Déchets d'activités de soins:125000 Tonnes/an
Taux de génération	Rural : 0,6 Kg/jour Urbain : 0,9 Kg/jour (Alger: 1 kg/jour)
Taux de collecte (%)	Rural 65 % Urbain 92 %
Gestion des déchets (%)	Compostage 1 % Recyclage 2% Décharge contrôlée 0,2% N.B. 22 décharges contrôlées est en cours de réalisation; Une décharge déjà opérationnelle Décharge publique ou communale non contrôlée : 40 % (avec clôture, gardiennage et dans quelques cas recouvrement par la terre) Décharge sauvage: 58%
Taux de croissance /an	2 %

## 7. EXEMPLES DE DECHARGES CONTROLEES

### 7.1. Décharge d'Oued Smar

Ouverture en 1978, sans aucune étude d'impact, la décharge d'Oued Smar située à 13 km d'Alger, s'étend sur 37,5 ha, reçoit jusqu'à 1600 t/j d'ordures ménagères et près de 2400 t/j, de déchets industriels. Elle constitue une importante source de pollution atmosphérique qui affecte toute la région environnante. La combustion des déchets à l'air libre ainsi que leur dégradation donnent lieu à l'émission d'une multitude de gaz et de particules qui se dispersent sous l'effet du vent les différents secteurs.

Quand les conditions météorologiques sont défavorables (faible vitesse de vent et présence d'inversion thermique), le nuage de pollution qui enveloppe la région est souvent visible à l'œil nu particulièrement durant la nuit et tôt le matin. Ces situations qui sont très fréquentes, présentent selon les résidents et travailleurs de la région, un gêne considérable qui se traduit par des difficultés respiratoires, des picotements de la gorge et des yeux, et autres irritations diverses. Ces types de symptômes sont généralement constatés durant les épisodes de pollution où les concentrations sont suffisamment élevées pour provoquer les effets sur la santé, particulièrement chez les sujets sensibles (enfants, personnes âgées ou malades).

Les polluants émis sont soit de nature gazeuse (matières organiques volatils, SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, CO, NH<sub>3</sub>,...ext.), soit de nature solide (poussières, cendres, suie,...ext.).

Les nombreux éléments présents dans les déchets ainsi que l'absence d'incinérateur pour une combustion contrôlée entraîne une pollution atmosphérique probablement plus importante et des combustions incomplètes avec formation d'oxydes de carbone, d'hydrocarbures de composés partiellement oxydés, et de l'anhydride sulfureux ou sulfurique (SO<sub>2</sub> et SO<sub>3</sub>).

Le tableau ci-après présente quelques uns des principaux polluants émis par la décharge et dont la dispersion sous l'effet du vent peut affecter le voisinage sur un rayon de plusieurs kilomètres. (Boukerche.A, 2007).

Tab.1.5 : Principaux polluants émis par la décharge d'Oued Smar.  
(Boukerche.A, 2007)

Polluants	Taux d'émission estimés (mg/m <sup>3</sup> )	Concentration à 1 km (mg/m <sup>3</sup> )	Concentration à 10 km (mg/m <sup>3</sup> )	VLE (mg/m <sup>3</sup> )
Oxyde de carbone (CO)	500 à 1200	457	81	55
Méthane (CH <sub>4</sub> )	9 à 660	3,024	0,558	/
Oxyde de soufre (SO <sub>2</sub> ) et (SO <sub>3</sub> )	300 à 1000	158	28	10
Oxyde d'azote (NO+NO <sub>2</sub> )	100 à 400	38,6	7	6
Chlore (HCl)	340 à 2000	158	28	7
Fluor (HF)	0,5 à 2	0,151	0,028	2,5
Poussières	0,002 à 0,015	788	139,5	15
Ammoniac	20	/	/	/
Aluminium	400	158	28	10
Zinc	60	23,5	4,185	5
Plomb	9	3,02	0,558	1,05
Cuivre	4	1,51	0,279	1
Chrome	3	0,75	0,223	1
Cadmium	1	0,34	0,056	0,05

VLE : Valeur Limite d'Exposition (facteur donné pour l'hygiène du travail, exposition 8h/jour, 40h/semaine).

En prenant une base de travail de cinq jours par semaine, il y a donc stockage de 20000 tonnes par semaine, soit approximativement un million de tonnes par an. Les déchets sont incinérés sur sites à l'air libre par des feux couvants. La partie combustible pour le cas de l'Algérie est estimée à 15% compte tenu de la teneur en eau de ces déchets qui représente près de 60% de la masse totale. Par ailleurs, le volume des gaz de combustion est estimé à 1000 m<sup>3</sup> par tonne de déchets brûlés, soit 1m<sup>3</sup> /kg. Ainsi, annuellement, le volume total des gaz de combustion générés est approximativement de 150000000 m<sup>3</sup>. Les concentrations de méthane sont dues à une combustion incomplète.

Pour le cas des composées organiques volatils (COV), en plus de leur dispersion par voie atmosphérique, ils peuvent également être transportés par diffusion à travers le sol et contaminer des zones qui sont loin de décharge.

Durant les conditions météorologiques stables, la situation en matière de pollution dans la zone d'Oued Smar est encore plus critique à cause d'une mauvaise dilution des polluants. A titre d'exemple, pour les polluants dont on dispose d'une estimation, les taux d'émission des concentrations calculées à 1 km et à 10 km de la décharge dans les directions les plus affectées, restent encore pour la plupart de ces polluants potentiels très élevées par rapport aux limites d'exposition. (Boukerche.A, 2007).

## 7.2. Décharge d'Ouled Fayet

La quantité de déchets enfouis sur le site d'Ouled Fayet est en pleine croissance. Le nombre de communes desservies augmente chaque année. La quantité de déchets enfouis est passée de 13 026 T, soit environ 72 T/j, en 2001 à 315 338 T, soit une moyenne de 864 T/j, en 2005. A noter que l'enfouissement dans le premier casier a réellement démarré le deuxième semestre de 2001. Le nombre de communes desservies est passé de 6 à 34.

Cette unité d'enfouissement de déchets est rattachée à l'EPIC Net-Com, qui est chargé de sa gestion et de son exploitation. Le CET d'Ouled Fayet était dans un passé proche, une décharge sauvage qui causait des nuisances aux riverains et posait des problèmes sur l'environnement de la région. Cette décharge a été réhabilitée en 2000 et la cellule qui a servi de dépotoir sauvage a été fermée.

Seuls les déchets ménagers sont autorisés sur le site d'Ouled Fayet. Tous les autres déchets sont interdits. Deux casiers ont été exploités (1 et 2) et un troisième casier est en cours d'exploitation. Le tableau ci-dessous présente l'évolution de la quantité de déchets enfouis depuis le 22 octobre 2002.

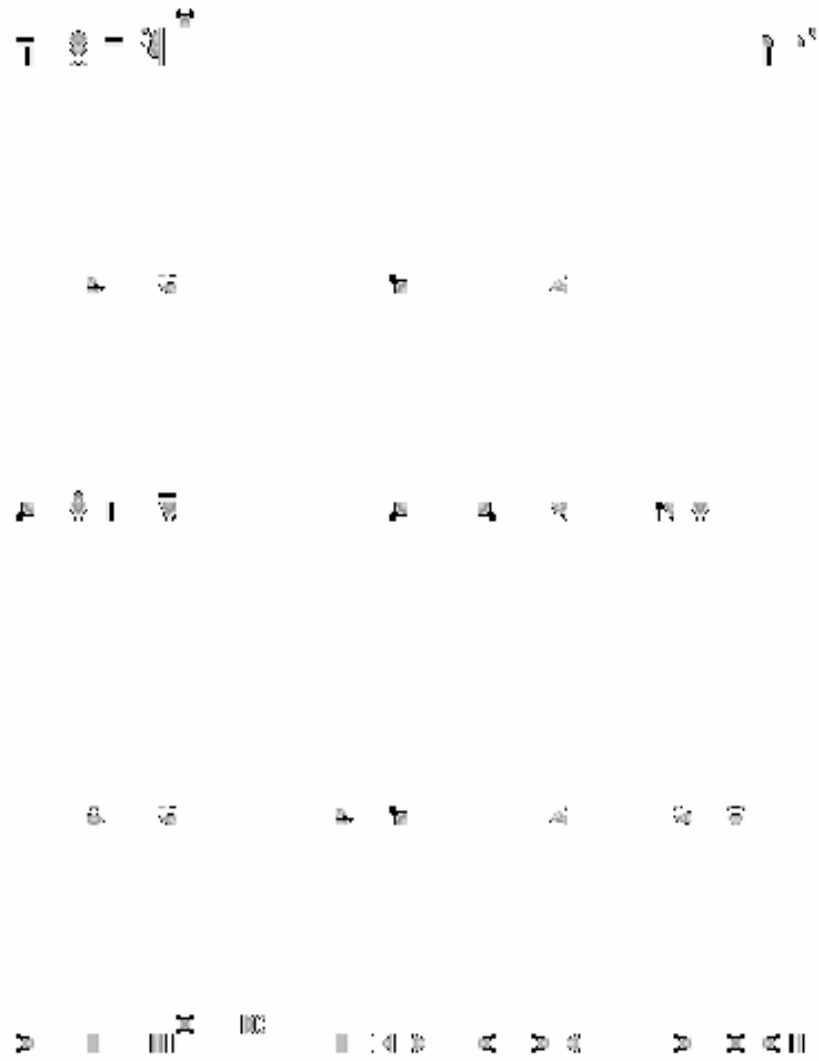
Les difficultés rencontrées actuellement par l'exploitation sont liées à la remontée du lixiviat en surface. Les puits de captage du biogaz sont remplis de lixiviat, de même les lixiviats collectés ne sont pas traités mais rejetés directement. (AINA. M.P, 2006).

Tab.1.6 : Evolution de la quantité de déchets enfouis sur le site d'Ouled Fayet. (AINA. M P, 2006).

Casier	Période d'exploitation	Nombre de Voyage			Tonnage (T)			Volume (m <sup>3</sup> )
		Ordures Ménagères	Terre de couverture	Total	Ordures Ménagères	Terre de couverture	Total	
N° 1	Du 22/10/2002 au 18/07/2003	19 588	1 417	21 005	86 780	9 919	96 699	193 398
	Du 01/01/2004 au 31/03/2004	9 542	1 326	10 868	46 011	9 249	55 260	110 520
Sous Total 1		29 130	2 743	31 873	132 791	19 168	151 959	303 918
N° 2	Du 19/07/2003 au 31/12/2003	14 034	338	14 372	54 433	2 366	56 799	113 598
	Du 01/04/2004 au 05/06/2004	5 056	330	5 386	24 937	2 310	27 297	54 594
Sous Total 2		19 090	668	19 758	79 420	4 676	84 096	168 192
N° 3	Du 06/05/2004 au 31/05/2006	115 086	6 350	121 436	583 014	49 444	632 458	1 264 916



Photo. 1.1 : Décharge d'Ouled Fayet vue du ciel.



# Chapitre2

---

LES DECHETS INDUSTRIELS

## LES DECHETS INDUSTRIELS

### 1. INTRODUCTION

Les activités humaines passées ou présentes, et en particulier les activités industrielles, mais aussi agricoles ou domestiques, libèrent dans l'environnement une grande variété de substances potentiellement dangereuses, appelées globalement contaminants ou polluants.

Le critère communément retenu aujourd'hui pour caractériser un problème de pollution de sols et ressources en eaux, est l'impact sur l'environnement que le site est susceptible d'entraîner, en présentant par exemple des risques pour la santé humaine ou préservation des ressources en eau.

Des lors, il peut être admis que la problématique des décharges repose en réalité, non pas tant sur la présence de contaminants, que sur le fait que ces derniers puissent être mobilisables et risquer ainsi d'affecter une population, au gré des transferts possibles dans les différents milieux.

### 2. DEFINITION

Un produit toxique est un composé chimique ordinaire qui peut nuire à la santé ou à l'environnement. Sa toxicité n'apparaît le plus souvent qu'à partir d'une certaine concentration. Les toxiques sont classés selon :

- Le temps nécessaire au déclenchement des effets et leur évolution (toxicité aiguë, subaiguë ou chronique).
  - La capacité de s'accumuler dans les êtres vivants jusqu'à atteindre une concentration toxique (c'est le cas des intoxications aux métaux lourds).
  - La nature du risque, selon qu'il touche la santé ou l'environnement.
- (CNRS, 2003)

### 3. PRINCIPALES FAMILLES DE CONTAMINANTS

Ce paragraphe n'a pas pour vocation d'être exhaustif, mais de donner quelques repères sur les grandes familles de toxiques et leurs caractéristiques.

#### 3.1. Métaux et métalloïdes lourds (micropolluants minéraux)

L'expression « métal lourd » désigne pour les chimistes des métaux de numéro atomique élevé, de densité supérieure à 5 g/cm<sup>3</sup> et qui forment des sulfures insolubles. Le cadmium (Cd), le manganèse (Mn), le cobalt (Co), le chrome (Cr), le cuivre (Cu), le plomb (Pb), le mercure (Hg), le nickel (Ni) et le zinc (Zn) sont les métaux lourds les plus souvent rencontrés.

Dans le domaine de l'environnement, on associe fréquemment aux métaux lourds l'arsenic (As), qui est un métalloïde lourd (Fig.2.1).

Elément																	
H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	
			Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	

Métaux lourds  
Non-métaux et métalloïdes associés

Fig.2.1 : Métaux lourds dans la classification périodique.

(BRGM. N°298, 2001).

Il est important de rappeler que les métaux et métalloïdes lourds proviennent, de façon naturel en grande partie, de l'altération de la roche mère du sous-sol. La plupart des sources de métaux lourds sont aussi liées à l'activité humaine :

- stockage de déchets industriels et urbains (mines et fonderies de métaux non ferreux, décharges publiques) ;
- pratiques agricoles (pratique de la fertilisation à l'aide de compost urbain, de déjections animales ou de boues de station d'épuration) ;

- pollutions dues à des retombées atmosphériques (utilisation de combustibles fossiles, essence au plomb, poussières des industries métallurgiques, incinération des ordures ménagères...).

Pour évaluer la toxicité de ces substances, les laboratoires doivent déterminer, de plus en plus, non seulement la teneur totale de chaque élément, mais aussi la forme chimique de chaque élément. L'analyse de spéciation a pour objet d'identifier et de quantifier la ou les formes chimiques d'un élément contenu dans un échantillon. Par exemple, l'élément chrome est présent dans la nature sous différents états de valence (CrIII-CrVI) dont les propriétés physico-chimiques, biochimiques et donc toxicologiques diffèrent fortement.

Le terme « forme chimique » désigne un élément qui présente une structure moléculaire, électronique ou nucléaire spécifique et unique. Les formes organométalliques d'un élément, par exemple, représentent le plus souvent une faible fraction de l'élément total mais ces formes peuvent être beaucoup plus toxiques que les formes inorganiques de l'élément (cas de certaines formes organométalliques du mercure ou de l'étain, ou inversement de l'arsenic moins toxique sous la forme organométallique). (BRGM. N°298, 2001).

### 3.2. Micropolluants organiques

Ce sont en grande majorité des produits de synthèse issus de l'activité anthropique. Ce paragraphe a pour donner quelques repères sur les micropolluants organiques les plus fréquemment rencontrés et leurs origines (Tab.2.1).

a)- PCB (polychlorobiphényles) : Ce sont des substances chlorées très stables (résistantes au feu et non biodégradables). Ils étaient utilisés dans les transformateurs électriques comme isolants (les anciennes installations encore en fonctionnement en contiennent donc toujours). Ils entraient également dans la composition de vernis, encres, peintures solvants... Leur combustion peut générer des dioxines et furanes, substances cancérigènes et mutagènes.

Ils ont une très faible solubilité dans l'eau, et une forte affinité pour les matières en suspension et les lipides. Ils s'accumulent donc dans le milieu naturel et se bioaccumulent fortement dans la chaîne alimentaire (par exemple dans la graisse des poissons).

Du fait de leur importante persistance dans le milieu et de leur forte aptitude à la bioaccumulation, ils font l'objet de restrictions d'usage importantes

(utilisations limitées et interdiction de la mise sur le marché des appareils contenant des PCB par les règlements).

b)- HAP ( Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques) : Ce sont des composés issus de la combustion incomplète des produits pétroliers : activités urbaines (chauffage), industrielles et de transports (pots d'échappement des véhicules). Leur origine est donc généralement diffuse. Dans les eaux de ruissellement, les concentrations moyennes en HAP sont de 0,2 à 1,5 µg/l dans les zones urbaines et peuvent atteindre 7 µg/l aux abords des routes et autoroutes. Ce sont des composés peu solubles dans l'eau, ils s'adsorbent sur les matières en suspension et les sédiments et de ce fait se concentrent beaucoup dans le milieu naturel. Ils se bioaccumulent dans les graisses, notamment des poissons et des mollusques. Nombre d'entre eux (notamment le benzo(a)pyrène) sont reconnus cancérigènes.

Quelques exemples de molécules : benzopyrène, naphtalène...

Les HAP sont classés comme substances «dangereuses prioritaires» par la Directive Européenne 2000/60/CE. (Bassin Rhone-Méditerranée-Corse, 2002)

c)- Solvants chlorés : les solvants chlorés sont essentiellement utilisés pour le dégraissage des pièces en mécaniques, le décapage de peintures et le nettoyage à sec (pressings). Ils entrent également dans la formulation de différents solvants utilisés par le grand public. Certains dérivés servent à la fabrication de pesticides (hexachlorobutadiène, dichloropropène...).

Les classifications réglementaires des substances et préparations dangereuses, identifient le chlore comme une substance «très toxique pour les organismes aquatiques, et dangereux pour l'environnement».

Les propriétés de ces composés très volatils, de faible viscosité et de masse volumique élevée font qu'ils migrent rapidement au travers de la zone non saturée vers les nappes (lorsqu'ils sont déversés en volume suffisant pour être en phase). En revanche, ils subsistent peu de temps dans les eaux superficielles.

Quelques exemples de molécules : chloroforme ou trichlorométhane, dichlorométhane, 1-2 dichloroéthane : substances classées prioritaires par la directive européenne 2000/60/CE.

d)- Dérivés du Benzène : cette famille de composés regroupe des molécules très diverses utilisées presque exclusivement dans l'industrie comme solvant d'extraction (en particulier dans l'industrie des parfums) et intermédiaires de fabrication.

Le benzène est un composé toxique qui est classé comme substance prioritaire par la Directive Européenne 2000/60/CE. (Bassin Rhone-Méditerranée-Corse, 2002)

Quelques exemples de dérivés du benzène : toluène (solvant pour peintures, vernis, colles, encres - nocif), xylènes (solvants pour peintures, vernis, colles, encres, utilisés pour préparation d'insecticides, de colorants et de produits pharmaceutiques - nocifs), chlorobenzènes (1-2, 1-3 et 1-4 dichlorobenzène : fabrication d'insecticides anti-mites), pentachlorobenzène (substance classée dangereuse prioritaire par la Directive Européenne 2000/60/CE), nitrobenzènes...

e)- Phénols et dérivés : les phénols sont utilisés dans l'industrie des matières plastiques, des fibres synthétiques, dans l'industrie pharmaceutique. Ils servent également pour la fabrication de détergents, de colorants, de pesticides (notamment les chlorophénols).

Quelques exemples de molécules : chlorophénols (substances toxiques pour les organismes aquatiques), dichlorophénols (2,4 dichlorophénol : toxique pour les organismes aquatiques), méthylphénols, nonylphénols sont classés substances dangereuses prioritaires par la directive européenne 2000/60/CE.

f)- Aniline et dérivés : l'aniline est utilisée en synthèse organique pour la fabrication industrielle de nombreux produits, dans l'industrie des polymères, du caoutchouc, des matières colorantes, ainsi que des pesticides et des produits pharmaceutiques.

Les réglementations identifient l'aniline comme «très toxique pour les organismes aquatiques, et dangereuse pour l'environnement».

Quelques exemples de molécules : chloroanilines, dichloroanilines, trichloroanilines... (Bassin Rhone-Méditerranée-Corse, 2002)

Tab.2.1 : Typologie simplifiée des principaux agents de contamination des eaux souterraines parmi les micropolluants organiques.

(Bassin Rhone-Méditerranée-Corce, 2002)

Familles de polluants	Principales propriétés communes	Exemples	Activités génératrices
Hydrocarbures Pétroliers courants	Plus légers que l'eau Biodégradables Globalement peu solubles mais fraction soluble possible Volatils ou comportant une fraction volatile Viscosité variable Adsorption variable	Essences Gazole Fuel-Oil domestique Carburants aviation Pétrole brut Naphta	Stations-service Dépôts de stockage Installations de transports (ports, pipes) Raffineries Transport (Fer, route)
Hydrocarbures lourds	Densité variable Peu biodégradables Peu solubles Peu volatils Visqueux Adsorption en générale forte	Fuels lourds Goudrons de houille Goudrons de pétrole Créosotes	Chaudières, centrales thermiques Usines à gaz Raffineries Traitement de bois
Hydrocarbures halogénés aliphatiques	Denses Peu biodégradables Relativement solubles Volatils Fluides Adsorption en général forte	Nombreuses formules les plus courantes : TCE, TCA, PCE, bromoforme chloroforme	Traitement de surface mécanique Industrie chimique Nettoyage à sec Très courants dans de nombreuses industries
Autres organiques Hydrocarbures oxygénés  Halogénés cycliques	Fortement solubles Biodégradables Autres propriétés variables Peu volatils Nombreux pesticides Très peu à pas biodégradables	Glycols, alcools, cétones, phénols, furane, additifs des carburants modernes (MTBE, TAME) PCB Pentachlorophénol	Variables
Produits minéraux	Très variables en fonction des sels incriminés et des propriétés physiques et chimiques des sols	Sels de Chrome Sels d'Arsenic Autres métaux lourds Nitrates Cyanures Chlorures, Sulfates	Traitement de surface Traitement de bois Minéralurgie métallurgie Explosifs Usines à gaz Electrolyse du sel, dépôts et exploitation minière, décharges d'ordures ménagères

g)- Pesticides : les pesticides, appelés également «phytosanitaires», sont des substances chimiques minérales ou organiques de synthèse utilisées à vaste échelle contre les ravageurs des cultures, les animaux nuisibles et les vecteurs d'affections parasitaires ou microbiologiques de l'homme et des animaux domestiques (extrait du dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement, 1993).

On distingue notamment des insecticides utilisés contre les insectes nuisibles, des fongicides utilisés contre les champignons phytopathogènes, des herbicides qui détruisent les plantes adventices des cultures et, de façon plus générale, toute végétation jugée indésirable.

Les substances chimiques sont très diverses comme des composés minéraux (soufre, sulfate de cuivre), des molécules organiques de synthèse (carbamates, urées substituées, triazines, organophosphorés,...) mais aussi des molécules organiques naturelles (nicotine, pyrèthrine).

On dénombre 8800 spécialités commerciales dans la composition desquelles entrent plus de 900 matières actives.

Citons quelques exemples de pesticides fréquemment retrouvés : Atrazine, Simazine, Diuron, ces 3 substances étant classées prioritaires en examen par la Directive Cadre Européenne 2000/60/CE, lindane....

D'une manière générale, les pesticides contaminant fréquemment les milieux aquatiques (rivières ou eaux souterraines) sont soumis à des restrictions d'usage par décision du Ministère de l'Agriculture afin de limiter leur impact, notamment sur la santé humaine via la consommation d'eau potable. (Bassin Rhone-Méditerranée-Corce, 2002).

### 3.3. Les radioéléments

Les radioéléments sont une forme particulière de contaminants toxiques. La radioactivité est une transformation spontanée d'un noyau atomique qui permet l'émission d'un ou plusieurs rayonnements ou particules.

Les radioéléments (appelé aussi radionucléides ou isotopes radioactifs) sont des isotopes instables de certains éléments.

a)- Les différents rayonnements et particules émis : les rayonnements sont très pénétrants et de parcours infini. Deux types de rayonnement existent :

- rayonnement gamma ( $\gamma$ ).
- rayonnement X.

Une radioprotection est nécessaire à chaque manipulation.

Pour les particules il existe :

- Particules alpha ( $\alpha$ ) : ces particules sont arrêtées par quelques centimètres d'air ou quelques micromètres de tissu. Cependant, elles entraînent de très fortes ionisations lorsqu'il n'y a pas de protection (exemple : ionisation des poumons en cas d'inhalation).
- Particules bêta ( $\beta$ ) : lors de manipulation, la protection doit se faire par du plomb ou du plexiglas.

b)- Notion d'activité spécifique : l'activité spécifique d'un radioélément est le nombre de désintégrations de cet élément par seconde, c'est à dire le nombre de rayonnements ou de particules émis par seconde. Elle est exprimée en Becquerel (Bq). L'activité spécifique d'un radioélément diminue dans le temps, c'est le phénomène de décroissance radioactive. Cette décroissance est d'autant plus rapide que la période radioactive de l'élément est courte (exemple : Iode 131 ( $^{131}\text{I}$ ) période radioactive = 8,1 jours ; Uranium 238 ( $^{238}\text{U}$ ) période radioactive =  $4,5 \cdot 10^9$  ans). La période radioactive est la durée au bout de laquelle la moitié de la quantité donnée d'un nucléide s'est désintégrée. (Bassin Rhone-Méditerranée-Corse, 2002)

c)- Quelques points de repère : deux notions sont utilisées pour exprimer la toxicité des radioéléments :

- la dose absorbée qui est la quantité d'énergie reçue par unité de masse. La dose absorbée est exprimée en gray (Gy),
- l'équivalent biologique de dose qui est la dose absorbée pondérée par un facteur de qualité qui dépend du radioélément (Tab.2.2). L'équivalent biologique de dose est exprimé en sievert (Sv).

Tab.2.2 : Exemples de valeurs d'équivalent biologique.  
(Bassin Rhone-Méditerranée-Corce, 2002)

	Équivalent biologique de dose (mSv)
Mort en quelques heures	20 000
Atteinte irréversible du système nerveux	10 000
Atteinte du poumon	6 000
Perte des cheveux et poils	3 000
Premiers signes (nausées-bronzage)	1 000
Seuil séparant les fortes des faibles dose	200
Scanner du corps entier	50
Limite de dose annuelle pour les travailleurs	50
Radioactivité naturelle à Kérala (Inde)	10 à 30
Radioactivité naturelle moyenne	2,4
Limite de dose annuelle pour le grand public	1
Un mois de ski à 2000 mètres d'altitude	0,8

d)- Mesure de la concentration des radioéléments : la concentration d'un radioélément est l'activité spécifique qu'il présente dans l'échantillon. Cette concentration est exprimée en Bq/kg ou en Bq/l. Les mesures de radioactivité se font de manière globale (on mesure un rayonnement global) (exemple : activité gamma totale ou individuelle - on mesure chacun des radioéléments).

Dans le milieu, les radioéléments peuvent se mesurer sur tous les supports, mais les bryophytes (mousses aquatiques) et les sédiments restent les supports privilégiés.

Les bryophytes sont de bons bioindicateurs. Ils fixent et accumulent les iodes.

Les sédiments ont une forte capacité à fixer les radioéléments. Ils sont représentatifs d'une pollution radioactive historique.

e)- Origine des radioéléments : dans l'environnement, les radioéléments que l'on retrouve sont artificiels et naturels. Ils ont plusieurs origines :

- tellurique (rayons cosmiques, radioéléments de l'écorce terrestre...),
- retombées des explosions nucléaires aériennes,
- retombées de l'accident de Tchernobyl,
- effluents des installations nucléaires,
- hôpitaux, cliniques, laboratoires, industries.... (Bassin Rhone-Méditerranée-Corce, 2002)

## 4. LES COMPOSÉS ORGANIQUES VOLATILS (COV)

Les polluants organiques présentent une volatilité importante : ces polluants sont classés dans la famille des composés organiques volatils (COV). Parmi les COV, il y a le perchloroéthylène.

Les paragraphes suivants présentent les COV et leurs impacts sur l'homme et l'environnement, les solvants chlorés, leurs toxicités, leurs caractéristiques physico-chimiques et leurs mécanismes de dégradation.

### 4.1. Généralités

La définition des composés organiques volatils (COV) repose sur des critères physiques et chimiques. Ils sont des molécules dont la tension de vapeur à la température ambiante est suffisamment élevée pour estimer justifiée l'affirmation selon laquelle ces composés sont presque totalement à l'état de vapeur. La définition de la tension de vapeur seuil, à partir de laquelle un composé organique est considéré être volatil, est purement arbitraire et varie selon les états : les Etats-Unis proposent une valeur seuil de 0,13 Pa (à 273 K) tandis que l'Union Européenne fixe ce seuil à 10 Pa (à 293 K).

Ces composés peuvent contenir, non seulement des atomes d'hydrogène et de carbone, mais aussi d'autres éléments tels que l'oxygène, l'azote, le chlore, le fluor, le phosphore ou le soufre. Depuis quelques années, le méthane n'est pas inclus dans la catégorie des COV, du fait de ses propriétés particulières et de son abondance, il est comptabilisé séparément des COV. On parlera alors des Composés Organiques Volatils Non Méthaniques (COVNM). (Dutheil .C, 2003).

### 4.2. L'impact des COV

La pollution due aux émissions de COV peut être approchée de manière globale suivant ses effets directs ou indirects (par suite de leur photo-oxydation) sur l'homme et sur le milieu récepteur environnant.

Les COV ont un impact direct et important sur l'homme. L'un des premiers faits reconnus a été une relation entre l'exposition à des vapeurs de benzène et la leucémie. De même les effets cancérigènes du 1,3-butadiène, de l'acrylonitrile ou

du chlorure de vinyle ont été révélés. Le tableau 2.3, présente quelques données toxicologiques de ces composés.

Tab.2.3 : Caractéristiques toxicologiques de quelques solvants (Dutheil .C, 2003).

Composé	Volatilité	Pénétration cutanée	Pouvoir irritant	Pouvoir 'ébriété narcotique	Toxicité spécifique	VME <sup>(1)</sup> VLE <sup>(2)</sup> (ppm)
Acétal d'éthyle	+++	+	++	+		400 -
Acétone	+++	+	+	++		750 -
Benzène	+++	++	+	++	Moelle osseuse Cancérogène	5 25
Dichlorométhane	+++	+	+++	++	Intoxication par le CO	50 100
Ethers de glycol	+	++	+	+	Moelle osseuse Testicule Térogène	5 5
Ethylène glycol	+	0	++	+	Rein (en aigu)	- 50
n Hexane	++	++	+	++	Nerfs périphériques	50 -
Méthanol	++	++	+	+	Nerf optique (en aigu)	200 1000
Méthyl butyl cétone (MBK)	+	+	+	++	Nerfs périphériques	5 8
Méthyl éthyl cétone	+++	+	+	++		200 -
Méthyl isobutyl cétone	+	+	+	++		50 -
Perchloréthylène	++	+	++	+		50 -
Styrène	+++	++	++	++	Moelle osseuse Foie Cancérogène ?	
Tétrahydrofurane	+++	++	+++	+	Foie, nerfs	200 -
Toluène	++	+	+	++	Térogène ?	100 150
Trichloréthylène	++	++	++	++	Cœur Cancérogène	75 200
Xylène	+	++	+	++		100 150

(1)VME : Valeur Moyenne d'Exposition.

(2) VLE : Valeur Limite d'Exposition

Les VME et VLE sont des facteurs donnés pour l'hygiène du travail (exposition 8h/jour 40h/semaine)

En gras apparaissent les données relatives au trichloréthylène et au tétrachloréthylène, ce sont les COV les plus utilisés dans le nettoyage à sec.

Les COV participent à des réactions chimiques complexes dans l'atmosphère. Si l'on simplifie à outrance, on peut dire que les COV favorisent l'augmentation de la teneur en ozone dans la base atmosphère. Cette production d'ozone a un impact connu sur les voies respiratoires chez l'homme. Sur le milieu naturel, on peut citer les dommages engendrés par l'ozone sur les feuillages ainsi que son action en tant que gaz à effet de serre (l'ozone a un coefficient d'absorption des rayonnements infrarouges 2000 fois plus important que le gaz carbonique). (Dutheil .C, 2003).

## 5. LES POLLUANTS ALIPHATIQUES HALOGENES

### 5.1. Généralités

Les hydrocarbures aliphatiques halogénés rencontrés comme polluants sont des molécules organiques qui comprennent un ou deux atomes de carbone et de un à quatre atomes d'halogène.

Les plus fréquemment cités sont le tétrachloréthylène (PCE), le trichloréthylène (TCE), les 1,2-dichloréthylène (1,2-DCE), le 1,1,1-trichloréthane (1,1,1-TCA), le 1,1-dichloréthane (1,1-DCA), le chloroforme (CF), et le bromoforme (BF). Leurs origines sont variées : effluents industriels (chimie, pétrole, charbon, textile, peinture, papier...), domestiques ou usines de potabilisation de l'eau (la chloration produit du chloroforme et des trihalométhanes).

Les composés organiques halogénés volatils (OHV) rencontrés dans l'environnement sont soit utilisés industriellement, soit produits par la dégradation d'autres solvants. Les plus utilisés industriellement sont répertoriés dans le tableau.2.4.

Le tableau.2.5, présente les productions mondiales, américaines et européennes de ces mêmes solvants chlorés. Toutes les productions sont données en Mégatonnes par an et elles sont issues d'une étude multi-clients accessible sur abonnement ou sur base de données en ligne publiée sous l'égide de ces composés donne lieu à des émissions importantes dans l'environnement. On les retrouve notamment dans les sols et les eaux souterraines. (Dutheil .C, 2003).

Tab.2.4 : Principales utilisation de quelques solvants chlorés (Dutheil .C, 2003).

Groupe	Nom	Utilisation
Chlorométhane	Chlorométhane (CM)	Fabrication silicones, methylcelluloses, herbicides, propulseur
	Dichlorométhane (DCM)	Décapant peintures, aérosols, dégraissage des métaux, mousses de polyuréthane, extraction de l'argent
	Tétrachlorométhane (TeCM)	Caoutchouc synthétique, réfrigérant
Chloroéthanes	1,1,1-Trichloroéthane (1,1,1-DCE)	Nettoyage à sec, dégraissage des métaux, solvant, adhésifs
Chloroéthènes	Chlorure de Vinyle (VC)	Fabrication Polychlorure de vinyle (PVC)
	1,1-dichloréthylène (1,1-DCE)	Adhésifs, composants de fibres synthétiques
	Trichloréthylène (TCE)	Dégraissage, solvant d'extraction, fabrication élastomères et caoutchoucs
	Perchloréthylène (PCE)	Nettoyage à sec, dégraissage, intermédiaire pour la fabrication de l'acide trichloroacétique et des CFC

Tab.2.5 : Production mondiales en Mégatonnes/an, américaines et européennes des principaux OHV (Dutheil .C, 2003).

	CM	VC	DCM	1,1,-DCE	TeCM	TCE	1,1,1-CA	PCE
Etats-Unis 1991			0,275		0,279	0,145	0,477	0,246
Etats-Unis 1997	0,508		0,145	14,0	0,049	0,122	0,104	0,153
Europe Ouest 1990			0,364		0,477	0,294		0,472
Europe Ouest 1997	0,408		0,237	10,0	0,090	0,121	0,440	0,180
Monde 1995		24,0		39,3				
Monde 1997				38,0				

La présence et la persistance des COV, dans les sols et les eaux souterraines, est une préoccupation majeure du fait de leurs effets sur la santé humaine notamment. Du fait de leur volatilité les COV peuvent gagner la surface du sol et engendrer des émissions dans l'atmosphère, l'exposition humaine à ces composés est alors possible. Ces émissions ont lieu sur les sites industriels, les sites de traitement des déchets, au-dessus des écoulements d'eau souterraine peu profonde et partout où il y a eu une propagation des polluants du fait de leur transport dans les sols ou de leur migration dans les eaux souterraines. Les

émissions de COV sont très largement influencées par leur transport dans la zone insaturée des sols et particulièrement par diffusion gazeuse à la surface du sol. (Dutheil .C, 2003).

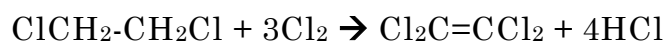
## 6. LE PERCHLOROETHYLENE OU TETRACHLOROETHYLENE (C<sub>2</sub>-Cl<sub>4</sub>)

### 6.1. Origine

Le perchloréthylène est un solvant chloré, essentiellement employé comme dégraissant dans le lavage à sec des métaux, des peaux en tannerie, des textiles et des composants électroniques. Il est également utilisé comme fluide de transfert de chaleur, insecticides, raticide, vermifuge et pour le nettoyage de fosses septiques.

Le perchloréthylène a été synthétisé pour la première fois en 1821 par Michael Faraday. Il a chauffé de l'hexachloroéthane jusqu'à ce qu'il se décompose en perchloréthylène et en chlore.

La plupart du perchloréthylène est produit à partir de l'éthylène en passant par le 1,2-dichloroéthane. Quand du 1,2-dichloroéthane (ClCH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>Cl) est chauffé à 400°C avec du chlore (Cl<sub>2</sub>), du perchloréthylène est obtenu selon la réaction suivante :



Cette réaction peut être catalysée par un mélange de chlorure de potassium et de chlorure d'aluminium, ou par du charbon actif. Le trichloréthylène est le principal sous-produit de cette réaction. Le perchloréthylène et le trichloréthylène, qui est également un solvant commercialisé, sont collectés ensemble puis séparés par distillation (Site Web, [2]).

### 6.2. Caractéristiques physico-chimiques

a)- Les principales propriétés physiques :

- liquide, incolore,
- odeur caractéristique,
- volatil,
- dissout les graisses,
- non miscible à l'eau,

- point d'ébullition : 121°C,
- densité : 1,62.

b)- Les principales propriétés chimiques :

- le perchloréthylène commercial est stabilisé par addition d'anti-oxydants pour éviter sa dégradation en présence d'air, d'humidité et de lumière jusqu'à environ 140 °C,
- il est sans action sur les métaux jusqu'à 140 °C,
- ininflammable,
- inexplosif.

Tab.2.6 : principales caractéristiques physico-chimiques du PCE (Dutheil .C, 2003).

Masse molaire (g.mol <sup>-1</sup> )	165,8
Solubilité dans l'eau à 25°C (mg.L <sup>-1</sup> )	150
Densité	1,62
Coefficient de partage octanol/eau : Log Kow	3,4
Température d'ébullition (°C)	121
Constante de Henry à 25°C (atm.Fraction molaire <sup>-1</sup> )	1497
Pression de vapeur saturante (mm Hg) à 25°C	18,54
Pression de vapeur saturante (mm Hg) à 10°C	7,98

### 6.3. Utilisation

En général, le perchloroéthylène est utilisé comme solvant. La plupart des composés organiques se dissolvent dans le perchloroéthylène. Il est le solvant le plus couramment utilisé pour le nettoyage à sec. Il sert aussi à dégraisser les pièces métalliques dans les industries automobile et métallurgique. On le trouve également dans quelques produits de consommation comme des solvants pour la peinture ou pour enlever les taches. Avant son interdiction, le perchloroéthylène, servait à la fabrication de réfrigérants au fréon. (ORICA, 1999)

### 6.4. Effets sur la santé et l'environnement

a)-Effet sur la santé : le perchloroéthylène est absorbé par inhalation, par voie orale et par la peau (quand il est sous forme liquide). Il est toxique pour le système nerveux et le rein. L'exposition au tétrachloréthylène peut causer une irritation des voies respiratoires et des yeux, des vertiges, nausées, maux de tête et pertes de mémoire, une somnolence et cela peut aller jusqu'à la perte de

connaissance et la mort. Le perchloroéthylène est probablement cancérigène pour l'homme.

Lors de l'ouverture du hublot d'une machine de nettoyage à sec, les vapeurs de (perchlo) s'échappent de la machine. Les personnes travaillant ou habitant au dessus d'un pressing sont exposées à ces vapeurs.

Il est recommandé de bien aérer les textiles qui ont été nettoyés à sec. En cas du contact du (perchlo) avec la peau ou les yeux, rincer à grande eau et consulter un médecin. (Site Web, [2]).

b)-Effet sur l'environnement : le perchloréthylène est dangereux pour l'environnement. Rejeté dans l'eau ou l'air, il se dégrade très lentement. Les machines de nettoyage à sec laissent échapper des vapeurs de (perchlo) dans l'air et produisent des boues chargées de PCE qui peuvent être recyclées mais partent souvent dans les égouts. Rejeté dans l'eau, le PCE perturbe le fonctionnement des stations d'épuration et est toxique pour les organismes aquatiques. (Site Web, [2]).

## 7. MECANISMES DE DEGRADATION DES CHLOROETHENES

### 7.1. Dégradations chimiques

Des expériences de laboratoire ont permis de mettre en évidence la dégradation des composés organiques halogénés volatils. Dans l'atmosphère les composés organo-halogénés sont décomposés par photochimie, c'est-à-dire sous l'effet du rayonnement ultraviolet solaire.

Les temps de demi-vie du tétrachlorure de carbone, du 1,1,1-trichloroéthène, du trichloréthylène et du tétrachloréthylène sont respectivement de 50 ans, 5 ans, 2 semaines et 2 jours.

Dans les eaux de surface, ces composés peuvent aussi être dégradés par photochimie. Dans l'eau on observe également des mécanismes d'oxydation et d'hydrolyse. Cependant la réactivité de la plupart de ces composés avec l'eau est très faible, les réactions ne sont alors pas possibles dans les conditions naturelles de température.

Dans le sol, hormis dans la partie superficielle, il n'y a pas de lumière et les teneurs en oxygène sont faibles voire nulles dans certains cas. Ce sont alors les mécanismes de biodégradation anaérobie qui sont prépondérants. (Dutheil .C, 2003).

## 7.2. Mécanismes de biodégradation

a)-En conditions aérobies : dans les zones aérobies d'un aquifère ou d'un sol permettant le transfert d'oxygène, certains composés organiques halogénés volatils (OHV), peuvent être oxydés en CO<sub>2</sub>, en eau et en chlorures selon deux métabolismes distincts : l'oxydation directe et l'oxydation par cométabolismes. Pour l'oxydation directe, parmi les haloéthènes, seul le chlorure de vinyle est connu pour être utilisé en tant que source de carbone par les microorganismes. Le processus d'oxydation par cométabolismes aérobie est quant à lui totalement inefficace pour les solvants chlorés les plus substitués, à savoir le tétrachloréthylène et le tétrachloréthane.

b)-En condition anaérobies : les processus de dégradation en milieu anaérobie sont impliqués dans les mécanismes d'atténuation naturelle, mécanismes parmi lesquels la déshalogénéation réductrice est le principal. La déshalogénéation réductrice va désigner tous les processus biologiques de dégradation qui vont permettre la dégradation du composé halogéné par réduction. Il est indiscutable qu'il s'agit du procédé de biodégradation le plus impliqué dans l'atténuation naturelle ou dans une atténuation naturelle activée et il est le seul à permettre la dégradation des solvants chlorés les plus substitués, Perchloréthylène (PCE) et Tétrachlorométhane (TeCM). Différents exemples peuvent être donnés, mais l'exemple "type" de cette réaction est bien la dégradation anaérobie des deux solvants les plus usuels et les plus courants dans les cas de pollution, les PCE et TCE et dont le schéma est illustré à la figure.2.2. Le fait de savoir si cette dégradation était totale ou non a été longtemps discuté. En général, cette déshalogénéation réductrice est de type séquentiel (Fig.2.2), mais elle peut être interrompue ou modifiée par d'autres conditions environnementales.

Il semble possible que les trois isomères de DCE puissent être produits, mais globalement c'est toujours le cis-1,2-DCE qui est le métabolite majoritaire.

De tous les chloroéthènes, le PCE est le plus sensible à la déchloration réductrice car il est le plus oxydé. Inversement, le même phénomène est beaucoup moins efficace pour la réduction de cis-1,2-DCE et du CV. Le cis-1,2-DCE est même parfois considéré comme un goulot d'étranglement ("bottle neck"). Il n'est donc pas rare d'observer une accumulation problématique de ces deux intermédiaires métaboliques. Des études ont montré que la réduction pouvait être opérée dans

toutes les conditions anaérobies, il n'en demeure pas moins que c'est dans des conditions méthanogéniques et sulfato-réductrices que la réduction est la plus complète et la plus rapide, voire totale. (Dutheil .C, 2003).

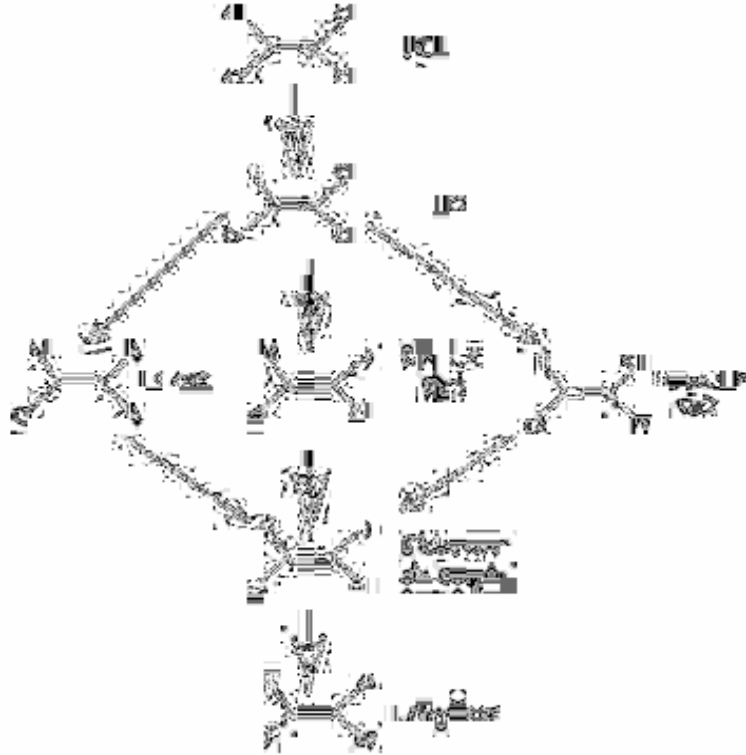


Fig.2.2 : Schéma de la biodégradation anaérobie des chloroéthènes.  
(Dutheil .C, 2003).

## 8. MIGRATION DES POLLUANTS ORGANIQUES DANS LES SOLS

La fabrication, le transport, l'utilisation, la dispersion ou les fuites accidentelles de produits organiques ont pour conséquence le relargage de quantités significatives de composés organiques dans les sols. Ils subissent alors une migration sous l'action des forces de gravité et de capillarité.

Les liquides organiques migrent jusqu'à ce qu'ils rencontrent une formation faiblement perméable ou jusqu'à ce que les liquides se soient totalement distribués à la saturation résiduelle, captés par les forces capillaires. Cette

fraction du liquide organique retenue sous forme de gouttelettes de Phase Liquide Non Aqueuse (PLNA) dispersées au sein des pores peut occuper de 3 à 5 L.m<sup>-3</sup> de sol dans les milieux perméables et 30 à 50 L.m<sup>-3</sup> dans un milieu imperméable.

Ces gouttelettes peuvent se solubiliser en partie, sous l'effet de l'humidité du sol ou du passage de l'eau (par percolation ou à cause du battement des eaux souterraines).

La concentration de la phase aqueuse du sol en polluants organiques dépend notamment de la solubilité propre des polluants organiques.

Certains polluants dissous peuvent interagir avec les fractions solides rencontrées dans le sol, il s'agit de l'adsorption. Dans certains cas, en zone non saturée l'hétérogénéité du milieu peut engendrer la formation de poches de phase liquide organique emprisonnée, qui modifient alors considérablement les écoulements dans le sol.

Enfin le sol contient une atmosphère gazeuse dans laquelle peuvent se retrouver les polluants organiques en fonction de leur volatilité.

Dans la zone non saturée, une pollution organique se partage donc entre quatre phases :

- la phase liquide non aqueuse (PLNA) sous forme de gouttelettes, de films ou de poches,
- la phase liquide aqueuse (composés organiques dissous),
- la phase solide, c'est-à-dire adsorbée sur les particules de sol,
- la phase gazeuse (air et vapeurs organiques). (Dutheil .C, 2003).

La figure 2.3, présente les différentes phases dans la zone non saturée.

Une fois dans les sols, les polluants organiques peuvent subir une biodégradation partielle ou totale selon les composés.

La prévision de la propagation et du comportement de ces composés dans les sols est très complexe parce que les mécanismes de transfert sont nombreux et simultanés, qu'ils interagissent entre eux et qu'ils peuvent avoir une influence sur les propriétés du sol lui-même. (Dutheil .C, 2003).

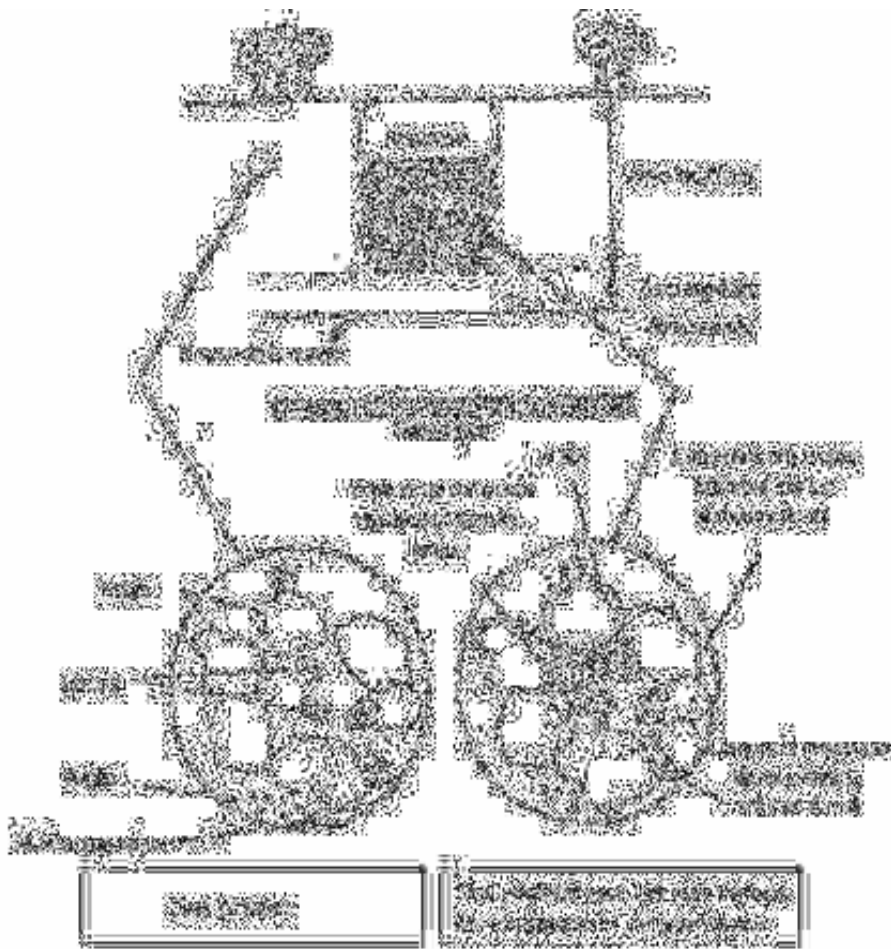


Fig.2.3 : Différentes phases d'une pollution organique dans la zone insaturée d'un sol contaminé d'après Pedersen (1991). (Dutheil .C, 2003).

# Chapitre 3

---

INDUSTRIE DES PRESSINGS ET CONTEXTE  
REGLEMENTAIRE

## **INDUSTRIE DES PRESSINGS ET CONTEXTE REGLEMENTAIRE**

### **1. INTRODUCTION**

La production de déchets varie d'un pays à l'autre, selon l'importance des divers secteurs d'activité et en fonction de la politique de gestion développée au niveau national.

Les orientations réglementaires de ces pays visent à réduire ou à éliminer la menace posée par les substances toxiques (comme le PCE). Ils soulignent la nécessité d'appliquer les principes de la prévention de la pollution et de répondre aux pressions croissantes du public.

Ce chapitre présente, quelques exemples de ces politiques y compris la politique de gestion des déchets toxiques en Algérie.

### **2. ORIGINE DE DECHETS TOXIQUES DANS L'ACTIVITE DE NETTOYAGE**

Le nettoyage des vêtements se fait avec des machines en circuit fermé conformément à la norme NFG 45-011. Lors de la dernière phase de séchage, l'aire chargée en solvant n'est plus évoluée vers l'extérieure mais il est récupéré en traversant du charbon actif.

Malgré les bonnes conditions de recyclage et le système de séchage performant des résidus de distillation, une proportion non négligeable de perchloroéthylène reste dans ces résidus contenant les peluches et salissures des vêtements ; c'est ce que l'on appelle les boues.

### **3. GESTION DES DECHETS DU (PCE) AUX ETATS-UNIS (USA)**

Les Etats-Unis sont bien avancés dans l'utilisation commerciale du nettoyage au mouillé et celle des hydrocarbures mêmes si le perchloroéthylène

(PCE) reste le premier solvant utilisé dans le nettoyage à sec. En 1991, l'USA produit plus de 0,246 mégatonnes de déchets de PCE par an. Cette quantité est diminuée à 0,153 mégatonnes/an pendant l'année 1997.

En 1998, environ 15% des pressings commerciaux américains utilisaient des solvants à base d'hydrocarbures traditionnels et les installations utilisant le nettoyage « au mouillé » le faisaient, la plupart du temps, en combinaison avec d'autres méthodes de nettoyage. (Site Web, [5]).

### 3.1. Réglementations et pratiques

Les propriétaires des installations de nettoyage de vêtements, utilisant le PCE ou des hydrocarbures, sont soumis à de nombreuses exigences réglementaires :

- Clean Air Act (CAA),
- Clean Water Act (CWA),
- Resource Conservation and Recovery Act (RCRA),
- Comprehensive Environmental Response Compensation and Liability Act (CERCLA),
- Occupational Safety and Health Act (OSHA),
- Care Labelling Rule (CLR) ((imposant un étiquetage des vêtements pour informer le client sur la méthode de nettoyage utilisée)),

Les utilisateurs de la technologie « au mouillé » n'ont besoin que de se conformer au CWA et au Care Labelling Rule.

Certains Etats américains ont pris des mesures locales :

\*le 6 décembre 2002 le South Coast Air Quality Management District de la Californie du sud a adopté un règlement pour interdire l'utilisation du PCE d'ici 2020. Les installations existantes sont autorisées à utiliser des machines fonctionnant au PCE indéfiniment si elles s'équipent de matériel de contrôle des émissions secondaires. Ce règlement exige que toutes les nouvelles installations utilisent des procédés alternatifs au PCE, et que tous les établissements de nettoyage professionnels achètent seulement du matériel non-perc.

\*au Massachusetts, un projet de loi a été récemment proposé pour réduire les impacts sanitaires de 10 substances chimiques toxiques dont le PCE et pour utiliser des produits de substitution plus sains. (INERIS, 2005).

\*au Colorado, le département de la santé publique et de l'environnement recommande d'utiliser le plus possible le nettoyage « au mouillé ». (Site Web, [5]).

\*en mars 2003, le département de protection de l'environnement du Connecticut a proposé de réviser les valeurs guides dans l'aire de l'Etat. Il propose, en particulier, une concentration dans l'air intérieur de  $5\mu\text{g}/\text{m}^3$  pour le PCE chez les riverains potentiellement impactés par des installations.

\*des agences fédérales de protection de l'environnement, comme celle de l'Ohio ou du Missouri, éditent des guides à l'attention des propriétaires de nettoyage à sec pour rappeler la réglementation et proposer des mesures de contrôle des pollutions. (Site Web, [6]).

### 3.2. Directives touchant le PCE

. Rejet sous forme des résidus solides : le PCE fait partie de la liste des composés dangereux touchés par la (RCRA) des USA. Cette loi exige que quiconque génère, transporte, traite, stocke ou élimine ces substances, doit avertir l'Environment Protection Agency (EPA) dans les 90 jours qui suivent.

Le PCE fait partie aussi d'une liste de produits chimiques persistants, bioaccumulables et toxiques, établies afin de promouvoir la réduction volontaire des déchets dans le cadre de la (RCRA).

. Rejet dans l'eau : le PCE est mentionnés comme produit toxique dans la (CWA). Il existe des recommandations de critères nationaux pour la qualité de l'eau destinée à la consommation et de l'eau comme habitat des organismes aquatiques.

. Contrôle des substances toxiques : la CERCLA exige qu'on informe le National Response Centre des rejets de PCE.

La « Toxique Substances Control Act » exige, des fabricants et des importateurs, la soumission d'une évaluation préliminaire comprenant des informations sur la production générale, l'utilisation et l'exposition ; ainsi que des études d'impact du PCE sur la santé et l'environnement. (Site Web, [7]).

. Transports des matières dangereuses : la Hazardous Materials Transportation Act, classe le PCE parmi les matières dangereuses, ce solvant chloré est donc soumis à des règlements spéciaux d'identification et d'emballages.

### 3.3. Perspectives

Les Etats-Unis sont tournés vers des produits Greenearth à base de silicone. Cette technique est totalement écologique mais représente un coût d'achat plus important et les produits à utiliser sont uniquement proposés par Greenearth. (Site Web, [7]).

## 4. GESTION DES DECHETS DES PRESSINGS AU CANADA

### 4.1. Utilisation du PCE au Canada

Le perchloréthylène, appelé souvent Perc ou PCE, n'est plus produit au Canada et ce depuis 1992, mais il est sans cesse importé pour être utilisé dans l'industrie canadienne. Les rejets du PCE dans l'environnement viennent principalement de l'industrie de nettoyage à sec qui est la plus importante utilisatrice de ce solvant.

Au Canada, près de 3484 établissements de nettoyage à sec emploient ensemble quelques 5500 tonnes du PCE, représentant ainsi environ la moitié du Perc importé.

En 1994 les deux industries, de nettoyage à sec et de dégraissage par solvants, utilisaient à peu près 62% du Perc au Canada, les 38% restants étaient utilisées en général par les industries chimiques et pétrolières.

La figure.3.1, montre les mouvements principaux dans le commerce du Perc au Canada. En effet, les 11600 tonnes du PCE importées au Canada en 1994, venaient des Etats-Unis ou de Royaume-Uni, parmi 3484 installations de nettoyage à sec, il y a 164 qui utilisent des solvants hydrocarbonés et 16 qui utilisent CFC et 1,1,1-trichloréthane. En plus de ces établissements il y a quelques 1782 magasins de dépôt et de ramassage. (Environnement Canada, 1996).

### 4.2. Cadre réglementaire

La loi canadienne sur la protection de l'environnement [LCPE 1999], vise à prévenir la pollution et à protéger l'environnement et la santé humaine afin de contribuer au développement durable.

La LCPE donne au gouvernement canadien des outils pour protéger l'environnement et la santé humaine. Il établit, entre autre, des échéanciers serrés pour la gestion des substances jugées toxiques, bioaccumulables et persistantes. Cette loi considère le PCE comme une substance chimique

persistante, bioaccumulative et toxique pour l'environnement. (Gouvernement du Canada, 1999).

Le PCE a donc été ajouté à la liste des substances toxiques de la LCPE (1999) le 29 mars 2000. Le règlement final sur le Perc utilisé pour le nettoyage à sec [DORS/2003-79], a été enregistré le 27 février 2003, il a pour but de réduire les rejets du PCE. Il sera possible d'obtenir ces réductions en exigeant l'emploi de machines plus récentes et efficaces, en limitant le versement du PCE et en gérant la collecte et l'élimination des résidus et des eaux résiduaires. Dans le règlement, les dispositions relatives à la soumission de rapport, s'appliquent aux importateurs, aux recycleurs et aux vendeurs du Perc, ainsi qu'aux entreprises de nettoyage à sec. (Site Web, [9]).

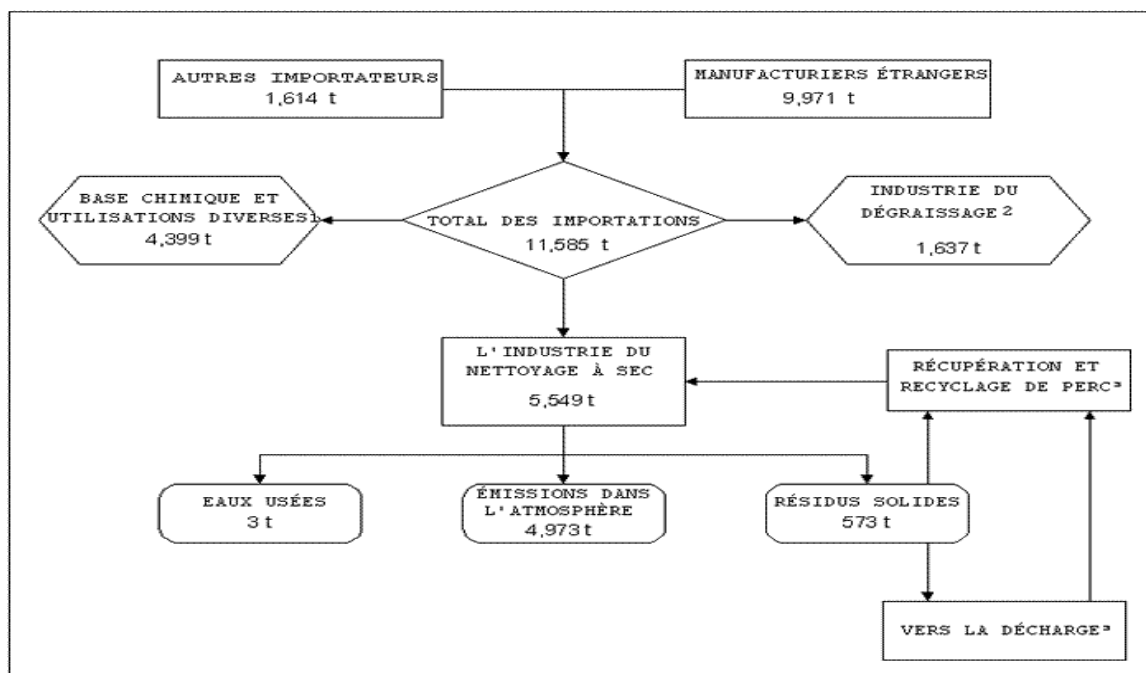


Fig.3.1 : Importation et utilisation de PCE en 1994 au Canada.

(Environnement Canada, 1996)

#### 4.3. Instruments économique

L'analyse économique indique que la baisse projetée de la consommation du PCE jusqu'à 1600 tonnes peut être atteinte seulement soit par l'option de quotas sur l'importation, soit par la combinaison de technologie/formation et une taxe sur le Perc.

Etant donné que le conseil juridique reçu par "Environnement Canada" indique que les quotas intérieurs seraient en désaccord avec les accords internationaux

sur le commerce, la réduction du PCE ne peut être réalisé que par la mise en œuvre obligatoire de la combinaison entre les options technologie/formation et taxe/subvention, sur le Perc. Bien que les résultats de l'analyse économique supportent cette opinion majoritaire, il faut noter que la mise en œuvre des recommandations aura des effets sur certains secteurs de la main d'œuvre de nettoyage à sec. (Site Web, [9]).

Les petites installations de nettoyage à sec, avec des marges de profit basses et avec des vieilles machines, seront les plus affectées par les mesures proposées.

a)- option taxe/subvention : cet instrument économique, d'une part, met en pratique le principe de faire payer celui qui cause la contamination et, d'autre part, encourage les meilleures initiatives de réduction de la pollution. En effet, dans cette option, les taxes subventionneraient les coûts de la formation des opérateurs et la disposition des déchets, et rembourseraient 20% du prix d'achat d'équipements neuf. Les résultats indiquent qu'une taxe de 2,06 \$/kilo augmenterait le prix de 2,05\$ à 4,11\$ par kilo.

Par cette option, l'état canadien projette une réduction de la consommation du Perc de 56% (environ 2400 tonnes/an).

b)- option technologie/formation : dans cette option, les coûts augmentent en fonction de la réductions du Perc. En effet, en interdisant l'utilisation des anciennes machines, en exigeant des machines plus modernes et en obligeant la formation des opérateurs, cette option produira des réductions de Perc de 49%.

#### 4.4. Perspectives de la technologie de nettoyage

Le gouvernement Canadien recommande l'utilisation du nettoyage au mouillé (Green Clean Project) qui, en 1995, a fait l'objet d'un projet de l'hydrocarbure Green Earth à base de silicone et du nettoyage au CO<sub>2</sub> comme alternatives au Perchloroéthylène.

Green Clean Project est une initiative volontaire de prévention des pollutions pour encourager le développement du nettoyage au mouillé et la réduction de l'utilisation du Perc. Il a été financé de 1993 à 1995 par Environnement Canada avec la coopération des industriels et d'organisations non gouvernementales.

Cette technologie de Green Clean Project utilise de l'eau et des détergents dans des machines à laver et des sèche-linge ; elle est conçues sur des technologies avancées permettant de traiter des vêtements normalement nettoyer à sec.

Le rapport présente les résultats obtenus sur 9 mois du deux des trois phases du projet (test, évaluation technologique, la 3<sup>ème</sup> phase concernant le fonctionnement d'une installation a 100% Green Cleaning). Les résultats préliminaires indiquent que :

- Le Green Cleaning peut être une option viable pour traiter une quantité importante de vêtements. 80% des installations participant au projet utilisaient cette technologie par rapport à 15% des installations en général.
- Bien que cette technologie apporte des améliorations a la qualité et au service professionnel, il ne semble pas qu'elle puisse remplacer complètement le nettoyage à sec du fait d'un certain nombre d'inconvénients, à savoir : dégradation des tissus, difficulté d'enlever les taches d'huiles, importance de la durée du cycle de nettoyage.
- Une enquête de satisfaction des consommateurs montre que 98% sont satisfaits du nettoyage et que 97% rechoisiraient cette technologie de nettoyage.

Il est prévu que 30% des installations fonctionnant au Perc vont fermer avec la mise en place de nouvelle réglementation sur ce produit.

En 2005, jusqu'à 10% des vêtements sont nettoyés au mouillé et 10% des installations de nettoyage pratiquent plus de 50% de nettoyage au mouillé. Quant aux hydrocarbures, ils sont peu utilisés et il n'y a pas de réglementation spéciale pour ces solvants.

Green Earth est relativement nouveau au Canada, seulement quelques machines l'utilisent et il n'y a pas de réglementation pour ces produits. (Site Web, [10]).

## 5. GESTION DES DECHETS DES PRESSINGS EN EUROPE

### 5.1. Marché des solvants en Europe

Le marché des solvants est un marché mature avec, toutefois, une diminution de l'utilisation des solvants hydrocarbonés et chlorés au profit des oxygénés.

Le tableau.3.1, présente le marché des solvants en Europe. (ALCIMED, 2002)

Tab.3.1 : Marché des solvants en Europe. (ALCIMED, 2002)

	1994		2000		2007	
	Quantité (tonnes)	%	Quantité (tonnes)	%	Quantité (tonnes)	%
Solvants chlorés	315000	7	265000	6,5	228000	6
Solvants hydrocarbonés	1786500	39,7	1291500	31,5	1140000	30
Solvants oxygénés	2398500	53,3	2542000	62	2432000	64
total	4,5 Mitonnes		4,1 Mitonnes		3,8 Mitonnes	

L'industrie des peintures et des revêtements restes le plus gros consommateur de solvants, suivi de secteur pharmaceutique (Tab.3.2).

Tab.3.2 : Répartition du marché des solvants selon les applications. (ALCIMED, 2002)

Applications	%	Applications	%
Peintures et revêtements	41%	adhésifs	3,7%
Pharmacie	14,6%	phytosanitaires	3,2%
Imprimerie	8,4%	Extraction des huiles	2%
Produits domestiques	6%	Nettoyage à sec	1,4%
Cosmétiques	6%	Caoutchouc et plastique	1,6%
Nettoyage de surface	3,9%	Autres	8,2%

Le nettoyage à sec présente 1,4% (près de 56000 tonnes pour l'année 2000) sur le marché des solvants. L'Italie domine le marché du nettoyage à sec avec près de la moitié des installations (Tab.3.3). Le nombre total des installations en Europe est près de 56570 machines.

Tab.3.3: Répartition européenne des machines de nettoyage à sec. (ALCIMED, 2002)

Membres	%	Membres	%
Italie	42,4%	Espagne/Portugal	10%
France	15,7%	Allemagne	8,3%
UK	13,2%	Reste de l'Europe	10,4%

Le solvant le plus utilisé est à 80% le PCE, qui tend toutefois à être progressivement remplacé par des hydrocarbonés ou du nettoyage aqueux.

La consommation du PCE a chuté depuis 1980 (165 milliers de tonnes) et devrait se stabiliser à partir de 2005 (ver 20 milliers de tonnes). (ALCIMED, 2002).

## 5.2. Cadre réglementaire

Au sein de l'Union Européenne et depuis une trentaine d'années, des directives spécifiques définissent le cadre de la gestion de déchet, mais les stratégies mises en œuvre diffèrent d'un état membre à l'autre.

Douze catégories de déchets industriels prioritaires (Tab.3.4) ont été sélectionnées dans la liste du catalogue européen des déchets (CED) qui compte vingt catégories. Il s'agit aussi bien de déchets dangereux que de déchets non dangereux. (RECORD- ADIT, 2003). Les catégories de déchets industriels retenus sont les suivant :

Tab.3.4 : Catégories des déchets prioritaires. (RECORD- ADIT, 2003).

CED	Description brève
01	Mines, carrières
03	Transformation du bois
05	Raffinage du pétrole
06	Chimie minérale
07	Chimie organique
08	Fabrication du peinture et vernis
10	Procédés thermiques
11	Traitement des métaux, hydrométallurgie des métaux non ferreux
13	Huiles et combustibles
14	Solvant organique
16	Déchets d'équipement électriques et électroniques
19	Déchets de traitement de déchets

La directive COV 1999/13/CE, du 11mars 1999, vise à diminuer de 67%, par rapport aux niveaux de 1990, les émissions de COV provenant d'usines utilisant des solvants. Pour le nettoyage à sec, seules les machines de types 4 peuvent satisfaire les limites imposées par la directive. Ce sont des machines fermées avec système de réfrigération et filtre au charbon actif.

La directive COV 1999/13/CE, fixe un seuil d'émission de 20g/kg de textile nettoyé, et ce quelle que soit la taille de l'entreprise. C'est donc le seul secteur pour lequel la directive COV ne prévoit pas de seuil de consommation de solvant : toutes les installations de nettoyage à sec sont concernées.

En basculant sur des machines de type 4, la directive COV à pour objectif d'émettre moins de 9000 tonnes de PCE (en 2007, 8550 tonnes devraient être rejetées, dans l'hypothèse où toutes les machines sont de type 4). (ALCIMED, 2002).

### 5.3. Gestion des déchets des pressings dans quelques pays européens

a)- Allemagne : en Allemagne, les installations de nettoyage à sec utilisant le Perc sont soumis à la seconde ordonnance (2001) sur la mise en œuvre de l'ordonnance fédérale sur le contrôle des émissions et la limitation des émissions d'hydrocarbures halogénés très volatils. (Site Web, [11]).

Selon le Hohenstein Institute Allemand, environ 20% des installations utilisent des hydrocarbures (white-spirit), et environ 40% du nettoyage professionnel est réalisé au mouillé. Peu de commerces utilisent le nettoyage à sec seul.

b)- Royaume-Uni : le Ministère de l'environnement, de l'alimentation et des affaires rurales (DEERA, 2004) publie des « Process Guidance Notes » dont celui du nettoyage à sec.

Ce guide définit les conditions nécessaires au contrôle des COV et les échéances réglementaires pour les installations conformément à la:

- réglementation anglaise sur la prévention et le contrôle des pollutions (LAPPC, section 1, 2003)
- la directive européenne sur les émissions de solvants (COV 1999) en accord avec les travaux européens sur les BAT (Best Available Technique).

Les principaux solvants utilisés pour le nettoyage à sec sont : le Perc, les hydrocarbures et le siloxane. Le dioxyde de carbone n'est pas concerné par le guide anglais.

Bien que les hydrocarbures et le siloxane soient utilisés dans quelques machines, une vaste majorité des machines anglaise fonctionnent au Perc (Site Web, [8]).

c)- Danemark : le Perc fait partie des 4 substances chimiques chlorées sélectionnées comme indésirables à cause de leur toxicité.

Un nouvel ordre statuaire pour les installations de nettoyage à sec, signé par le Ministère de l'environnement et mis en œuvre le 1er juillet 2003, interdit l'installation de nouveaux commerces de nettoyage à sec dans les propriétés résidentielles et impose que les concentrations en Perc dans les habitations ne dépassent pas 0,1 mg/m<sup>3</sup>.

Actuellement, 29 installations de nettoyage professionnel utilisent les hydrocarbures au danemark. (Site Web, [11]).

## 6. GESTION DES DECHETS DES PRESSINGS EN FRANCE

### 6.1. Politique des déchets en France

La politique française des déchets s'articule depuis le début des années 1990, autour du principe qui attribue au producteur la responsabilité de l'élimination de ces déchets. (RECORD- ADIT, 2003).

L'autre grand principe est celui de la gestion intégrée qui préconise :

- la réduction, à la source, de la quantité des déchets produits et de leur caractère polluant ; en encourageant la conception de produits écologiques (éco-conception) et le développement de technologies propres.
- La valorisation, en terme de matière qui consiste aussi bien à réutiliser des produits qu'à recycler des matériaux ; et en terme énergétique, c'est-à-dire l'incinération combinée à la production d'électricité ou de chaleur.

### 6.2. Déchets toxiques en quantités dispersées (DTQD)

Les déchets toxiques en quantités dispersées ou en petites quantités proviennent des ménages et des activités divers, telles que le commerce et l'artisanat. Ces déchets spéciaux toxiques ou dangereux en raison de leurs caractéristiques physico-chimiques sont produits par différents utilisateurs en petites quantités pour être repris par les services habituels de collecte des déchets spéciaux.

Portant ces produits constituent une menace bien réelle pour les personnes et l'environnement. Ainsi, mal identifiés et mal stockés, ils représentent un risque pour le personnel à l'intérieur de l'entreprise, du laboratoire, ....

De même que mal éliminés, ils constituent un danger pour l'environnement et les personnes (déversés à l'égout, ils perturbent le fonctionnement des stations d'épuration ; abandonnés dans le milieu naturel, ils peuvent polluer le sol et les eaux ou dégager des vapeurs toxiques).

Une estimation réalisée par l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie) a montré que chaque année en France, 100000 à 150000 tonnes de DTQD sont produites. Parmi les DTQD on trouve les déchets des pressings. (Agence de l'eau Loire-Bretagne, 2006).

### 6.3. Déchets des pressings

Le PCE est utilisé pour le détachage à sec des tissus, il permet l'extraction des composants gras ou colorant responsables des taches. Après extraction sur les tissus, le Perc est régénéré par distillation. Les boues de distillation sont des boues riches en PCE (20 à 40% en masse environ).

La cartouche permettant de filtrer le Perc, contient encore du produit après son remplacement.

#### a)- Cadre réglementaire

- les boues des pressings sont des déchets « dangereux » identifiés comme tels par la classification des déchets (décret n° 2002-540 du 18 avril 2002). Ce décret transpose d'une part, la décision 2001/573/CE qui établit la liste des déchets et, d'autre part, la directive 91/689/CE qui définit un déchet dangereux.
- le cadre réglementaire actuel des activités liées à l'élimination des déchets repose sur deux textes essentiels : la loi du 15 juillet 1975 (code environnement, art. L 541-1 et suivants) sur l'élimination des déchets et la récupération des matériaux (modifiée par la loi du 13 juillet 1992) et le règlement sanitaire départemental. (Agence de l'eau Loire-Bretagne, 2006).
- l'arrêté du 2 février 1998 modifiée notamment par l'arrêté du 29 mai 2000 et par l'arrêté du 2 mai 2002 transpose en droit français le programme de suivi et de réduction d'émissions des COVS.
- le règlement sanitaire départemental type-circulaire du 9 août 1978, détaillé les obligations concernant les solvants.
- Les solvants ne doivent être ni abandonnés, ni rejetés (dans le milieu naturel, dans le réseau d'assainissement ou dans les ordures ménagères), ni brûlés à l'aire libre. (Chambre de commerce de Paris, 2006).

#### b)- Cadre financier

- Taxe générale sur les activités polluantes (TGAP) : créée par la loi de finance pour l'année 1999 (loi n° 98-1266 du 30 décembre 1998). Elle inclut les taxes sur l'élimination des déchets instituées par la loi n° 75-633 du 15 juillet 1975 modifiée, et augmente leurs taux. Les déchets dangereux sont soumis à une taxe de traitement et à une taxe sur la mise en décharge. Les taxes liées à la réception des déchets dans les

installations de stockage ou d'élimination sont présentées dans le tableau.3.5.

La TGAP est également considérée comme une première étape vers une taxation plus générale de l'ensemble des activités polluante, et pour l'accélération de leur fermeture le doublement de la taxe pour les installations non autorisées, lui aussi introduit dans le collectif budgétaire pour 2003. (RECORD- ADIT, 2003).

Tab.3.5 : Taxes liées à la réception et l'élimination des déchets (année 2000) (RECORD- ADIT, 2003).

Catégorie de déchet	Montant par tonne au 1/1/2000
Déchets réceptionnés dans une installation d'élimination de déchets industriels spéciaux.	9,15 € (60F)
Déchets réceptionnés dans une installation de stockage de déchets industriels spéciaux.	18,30 € (120F)
Déchets réceptionnés dans une installation de stockage de déchets ménagers et assimilés.	9,15 € (60F)
Déchets réceptionnés dans une installation de stockage de DMA de provenance extérieure au périmètre du plan départemental d'élimination des DMA, dans lequel est situé l'installation.	13,73 € (90F)

- les aides financières pour les opérations de collecte ou de traitement : en raison de leur grande diversité et hétérogénéité, les (DTQD), la plupart du temps, ne peuvent être traités directement par les centres de traitement. Ils doivent transiter par une plateforme intermédiaire (transit et/ ou regroupement) avant d'être transportés vers une unité de traitement spécialisée, comme le montre la figure. 3.2 :

Les opérations de collecte ou de traitement peuvent bénéficier d'aides financière.

Elles peuvent être sollicitées auprès :

- de l'état,
- du conseil régional,
- du conseil général,
- de l'agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME),
- de l'agence de l'eau,
- des sociétés agréées (Eco-Emballages, Adelphe).

Chaque organisme applique des critères d'attribution et des taux de subvention spécifiques.

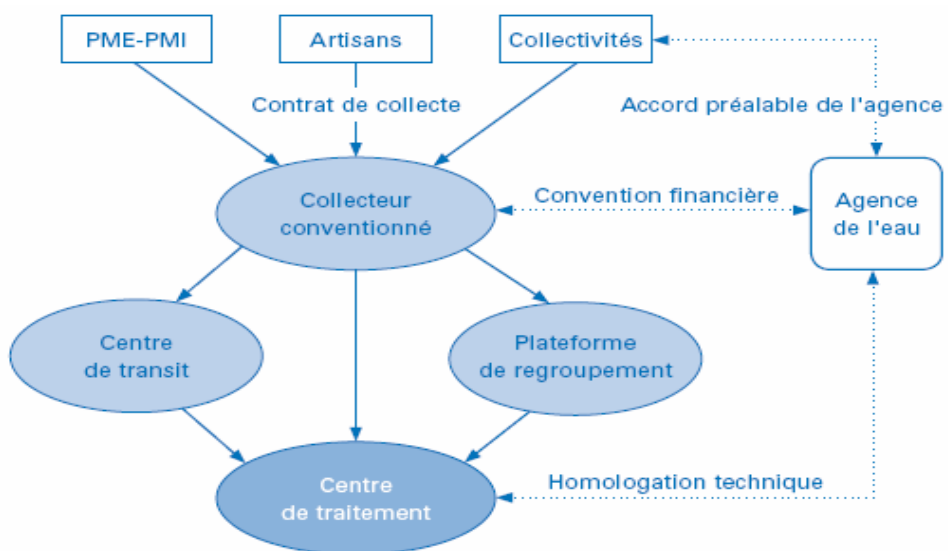


Fig.3.2 : Opérations de collectes et de traitements des polluants en France. (Agence de l'eau Loire-Bretagne, 2006).

Les programmes d'aides sont révisés régulièrement, ces aides peuvent intervenir à différents stades du projet dans la mesure où ce dernier est en cohérence avec le plan départemental. (Agence de l'eau Loire-Bretagne, 2006).

#### 6.4. Exemple des pressings du bassin Loire-Bretagne

En 2004, 140,8 tonnes de boues de PCE ont été collectées par 13 collecteurs conventionnés. Ces déchets ont été générés par 615 pressings du bassin, soit une moyenne de 230 kg par producteur et par an.

Près de 42% des pressings aidés à la collecte et au traitement se concentrent sur la région des pays de la Loire et 18% en région centre.

Le coût total correspondant à la collecte et à l'élimination des 140,8 tonnes de boues de PCE s'élève à 227200€. Le total des subventions apportées par l'agence de l'eau est de 107200€ soit un taux moyen de subvention de 47%.

Le coût moyen pour la collecte et le traitement d'un kilogramme de PCE est de 1,66€ (analyse sur l'ensemble de 1796 factures pour 615 pressings aidés en 2004).

Moins d'une dizaine de centres traitent les déchets chlorés des pressings du bassin Loire-Bretagne, trois d'entre elles traitent 92% des boues de PCE :

- 69% SARP INDUSTRIES à Limay (78),
- 15% MAILLE ENVIRONNEMENT à Lasters (81),
- 8% TREDI à Salaise sur samme (38). (Agence de l'eau Loire-Bretagne, 2006).

#### 6.5. Opération pressings propres en Languedoc-Roussillon :

Les opérations collectives permettent de développer et de soutenir la politique d'aide des agences de l'eau.

Le pressing, producteur de ces déchets chlorés appartenant à la catégorie des Déchets Toxiques en Quantités Dispersées (DTQD), est rendu responsable par la réglementation en vigueur (loi du 15/07/1975, modifiée le 13/07/1992) du stockage et d'élimination des boues.

a)– Contexte : La production moyenne de boues d'un pressing est estimée à environ 250 kg/an. Pris individuellement, un pressing n'est pas un important pollueur, mais la multiplicité des entreprises et leur dispersion sur le territoire font que l'impact de leur activité artisanale sur l'environnement n'est pas négligeable.

En Languedoc-Roussillon (Bassin Rhone-Méditerranée-Corse), les 320 professionnels de la région génèrent environ 80 tonnes de boues par an.

En 1997, moins de 15% des boues de PCE produites suivaient des filières réglementairement autorisées pour leur élimination. Cependant, les améliorations apportées aux équipements ont eu pour conséquence la diminution constante de la quantité de solvant pendant le processus de nettoyage, dans les émissions et dans les résidus.

La consommation de PCE a en effet diminué de 50% au cours de la dernière décennie.

Les professionnels, invoquant une distorsion de concurrence entre ceux respectant la réglementation et ceux ne la respectant pas, ont été à l'origine de l'opération lancée en février 1998.

b)– Objectif : Cette opération a plusieurs objectifs :

- Sensibiliser et informer les gestionnaires de pressings à la gestion de leurs déchets spéciaux.

- Inciter les pressings à gérer leurs déchets spéciaux dans des conditions respectueuses de la législation et de l'environnement.
- Proposer une solution de collecte programmée de leurs déchets spéciaux en vue de l'élimination en installations spécialisées et autorisées.
- Promouvoir les pressings respectueux de l'environnement auprès des consommateurs. (Bassin Rhone-Méditerranée-Corçe, 2002).

c)- Moyens mis en œuvre : L'agence de l'eau et la région Languedoc-Roussillon ont accordé des aides financières incitatives représentant 50% du coût total de collecte, transport et traitement des boues.

Parallèlement, en s'appuyant sur le réseau des chambres de métiers et des syndicats professionnels, une campagne de sensibilisation et de promotion des professionnels engagés dans la démarche a été mise en place.

d)- Résultats : En décembre 2000, au terme de l'opération, les résultats suivants ont été observés :

- 200 professionnels ont initié et poursuivi une démarche de bonne élimination de leurs déchets, soit environ les 2/3 de la profession.
- 35 tonnes de boues sont récupérées annuellement auprès de ces professionnels. Ce taux de collecte a été multiplié par 3 en 3 ans.

La figure. 3.3, représente les résultats sur les 3 ans de l'opération :



Fig.3.3 : Résultats de l'opération pressings propre. (Bassin Rhone-Méditerranée-Corçe, 2002).

e)– Perspectives : Cette opération exemplaire sur la région Languedoc-Roussillon a été menée dans le courant 2002 en régions Rhône-Alpes et PACA. (Bassin Rhone-Méditerranée-Corce, 2002).

## 7. GESTION DES DECHETS DES PRESSINGS EN ALGERIE

### 7.1. Introduction

L'Algérie est entrain de connaître un développement économique et démographique sans précédent. Le taux élevé d'accroissement de la population a ainsi engendré une urbanisation accélérée, le plus souvent de manière anarchique qui a vu la prolifération de l'habitation précaire. Cela ne s'est pas fait sans conséquences sur l'environnement.

Face à la gravité des problèmes environnementaux, le gouvernement Algérien a décidé en 2001 de consacrer une enveloppe financière importante, de près de 970 MD, pour atteindre les objectifs inscrits dans le Plan National d'Action pour l'Environnement et le Développement durable (PNAEDD).

### 7.2. Etats de l'environnement en Algérie

L'Algérie affronte aujourd'hui, de nombreux problèmes liées à :

- La gestion des ressources naturelles (eaux, espaces).
- La lutte contre les pollutions et les nuisances.
- La protection et la préservation des patrimoines.

Le Rapport National sur l'état et l'avenir de l'Environnement (RNE 2000), qui a servi de base à l'élaboration du (PNAEDD), dresse un bilan alarmant sur l'environnement. Le recensement des problèmes a fait apparaître :

- des ressources en sols et en couvert végétal en dégradation constante : ce qui aboutit à la désertification des parcours steppiques des Hauts Plateaux, et du sud. Des surfaces agricoles ainsi perdus depuis 1962 sont estimés à 250000 ha.
- Des ressources en eau limitées et de faible qualité : l'Algérie ne dispose en moyenne annuelle que de 11,5 milliards de m<sup>3</sup>. Ce volume restreint est en outre menacé par les diverses pollutions, l'utilisation irrationnelle de la ressource, les pertes dans les réseaux et les divers gaspillages.
- Une couverture forestière qui est passé de 5 Millions d'hectares en 1830 à 3,9 Mha aujourd'hui, dont 2Mha sont constitués de maquis.

- L'urbanisation non contrôlée des zones littorales, ainsi que le processus d'industrialisation mal maîtrisé, ont généré des pollutions industrielles et urbaines croissantes qui sont à l'origine de sérieux problèmes de santé publique.
- Un cadre institutionnel et juridique déficient avec des mécanismes réglementaires souvent peu appliqués.
- De nombreuses associations à caractère écologique dont la plupart, d'entre elles sont locales, constituées de bénévoles et mobilisées sur les problèmes spécifiques de leurs régions. Citons l'Association de Recherche sur le Climat et l'Environnement (ARCE) et l'Association pour la Promotion de l'Eco-efficacité et de la Qualité en Entreprise (APEQUE). Actuellement, il n'existe qu'une seule association d'envergure internationale, "Déserts du Monde". Toutes ces associations manquent de moyens financiers. (Ambassade de France en Algérie, 2005).

### 7.3. Politique Algérienne des déchets

Face à la situation critique de l'environnement, les pouvoirs publics ont élaboré une Stratégie Environnementale Nationale (SNE), impliquant l'élaboration de politiques publiques efficaces, le renforcement du cadre législatif et réglementaire, la gestion durable des ressources naturelles et l'amélioration du cadre de vie des citoyens.

a)- Plan législatif et réglementaire : Sur le plan législatif et réglementaire, plusieurs lois ont été promulguées :

- La loi n° 83-03 du 05 février 1983 relative à la protection de l'environnement, prenait initialement en charge l'élimination des déchets, 13 articles du chapitre II édictaient les principales opérations de l'élimination des déchets avec des renvois à divers textes d'application. Les conditions de cette loi en matière de déchets sont très générales et manquent de clarté. (JORADP, 1983).
- Le décret n° 84 -378 du 15 décembre 1984, initié par les services du ministère de l'intérieur, fixait les conditions de nettoyage, d'enlèvement des déchets solides urbains. Ce décret comprend 43 articles et définit les déchets solides urbains et institue l'obligation des APC de procéder à leur enlèvement et à leur élimination de façon régulière et dans des conditions appropriées. (JORADP, 1984).

- La loi n° 01-19 du 12 décembre 2001, initié par le ministère de l'environnement et de l'aménagement de territoire, a pour objet de fixer les modalités de gestion, de contrôle et de traitement des déchets. Cette loi est plus structurée et mieux organisée, basée sur des principes et des règles claires, tout en précisant les obligations et les responsabilités de chaque intervenant en matière de gestion des déchets, avec une nomenclature des déchets solides. Elle partage les déchets en trois catégories, les déchets spéciaux, y compris les déchets dangereux, les déchets ménagés et assimilés et les déchets inertes. (JORADP, 2001).

b)- Plan financière : Ces politiques sont appuyées par le Fonds National de l'Environnement et de dépollution (FEDEP), qui peut être prévu principalement pour :

- les activités de surveillance de l'état de l'environnement.
- les études et recherches dans le domaine de l'environnement.
- les actions d'informations, de sensibilisation et de vulgarisation relatives aux questions de l'environnement.
- les subventions aux associations d'utilité publique dans le domaine de l'environnement. (Cabinet d'étude environnement, 2004).

Généralement le (FEDEP) intervient notamment pour aider les entreprises industrielles à réduire ou à éliminer leurs pollutions et les unités de collecte, de traitement et de recyclage des déchets. Ce fond a été consolidé par la nouvelle fiscalité écologique basée sur le principe du pollueur payeur, afin d'inciter à des comportements plus respectueux de l'environnement.

Le décret n° 01-408 du 10 décembre 2001 modifiant et complétant le décret exécutif n° 98-147 du 13 mai 1998, fixe les modalités de gestion du FEDEP. Celui-ci est alimenté principalement par des revenus de la taxation.

Entrée en application de la fiscalité écologique en janvier 2005, le montant de la taxe est de 24000 DA/tonne de déchets liés aux activités de soin des hôpitaux et cliniques, et de 10500 DA/tonne, de déchets industriels dangereux stockés.

Les pertes économiques (estimées à 2% du PIB par le PNAEDD) découlent des gaspillages entraînés par une gestion peu efficace de l'environnement, de l'énergie et de matières premières. (MATE, 2003).

c)- Plan institutionnel : nous notons ici la création de plusieurs organismes :

- Le Centre National des Technologies de Production plus Propres (CNTPP).
- L'Observatoire National de l'Environnement et du Développement Durable (ONEDD).
- L'Agence Nationale des Déchets (AND).
- Le Conservatoire National des Formations à l'Environnement (CNFE).
- Le Centre National de Développement des Ressources Biologiques (CNDRB).
- Le Commissariat National du Littoral (CNL).
- Le Centre National des Technologies de Productions plus Propres (CNTPP).
- Le Haut Conseil de l'Environnement et du Développement Durable (HCEDD).
- Le Cadastre National des Déchets Dangereux (CNDD). (MATE, 2003).

d)- Les perspectives : Dans le cadre du programme complémentaire de soutien à la croissance pour la période (2005-2009), plusieurs projets sont prévus :

- Pour le traitement des eaux usées rejetées, l'Algérie a prévu la réalisation de 10 stations d'épuration et la réhabilitation de 20 autres.
- Pour la gestion des déchets solides et urbains, il est prévu, dans le cadre du programme de gestion intégrée des déchets ménagers (PROGDEM), la réalisation de 50 centres d'enfouissement technique (CET) et la création de micro entreprises chargées du recyclage des déchets en plastique.
- Pour la gestion des déchets spéciaux, des opportunités existent notamment pour la sensibilisation des producteurs des déchets par la formation, la réalisation d'unités de récupération d'huiles usagées, l'implantation d'incinérateurs de déchets liés aux activités de soins infectieux. Il est aussi prévu le désamiantage de 145 établissements de formation professionnelle, et dans ce cadre, l'amélioration ne pourra être ressentie qu'à plus long terme. (MATE, 2003).

#### 7.4. Position actuelle des boues des pressings

Comme tous les polluants organiques, les boues de (PCE) sont identifiées comme des substances très toxiques pour les organismes aquatiques et dangereuses pour l'environnement.

On peut classer les boues de (PCE) comme des déchets spéciaux dangereux. Ces derniers sont définis par la loi comme étant « tous déchets issus des activités industrielles, agricoles, de soins, de services et toutes autres activités qui, en raison de leur nature et de la composition des matières qu'ils contiennent, ne peuvent être collectés, transportés et traités dans les mêmes conditions que les déchets ménagers et assimilés ».

Ces déchets sont considérés par la loi comme dangereux quand « par leurs constituants ou par les caractéristiques des matières nocives qu'ils contiennent, ils sont susceptibles de nuire à la santé publique et/ou à l'environnement ». (loi n° 01-19 du 12/12/2001).

Le dispositif législatif et réglementaire n'avait pas empêché le danger de ces substances, car il n'y a pas jusqu'à l'écriture de ces lignes, d'opération d'élimination de ces déchets qui restent jetés avec les ordures ménagères.

# *Partie Experimentale*

---

ETUDE DE L'INFILTRATION

## ETUDE DE L'INFILTRATION

### 1. OBJECTIF

Cette partie consiste à étudier l'infiltration d'un polluant à travers un sol ayant une perméabilité donnée. Le polluant en question est la boue des pressings, qui, en absence de stations de traitement spécifique (station de traitement des déchets industriels), se retrouve jetée avec les ordures ménagères. Tandis que le sol est constitué d'un mélange compacté de sable et de bentonite, la perméabilité du mélange est de l'ordre de  $10^{-9}$  m/s ; valeur réglementaire exigée en terme de perméabilité d'un sol constituant la barrière étanche d'un site de décharge de classe 1.

Pour mener à terme cette étude, nous réaliserons successivement les travaux suivants :

- 1- Rechercher le pourcentage optimal de bentonite à mélanger au sable pour l'obtention d'une perméabilité d'au moins  $10^{-9}$  m/s.
- 2- Etudier les effets des boues de pressing, percolées à travers le mélange compacté, sur la qualité de l'eau

### 2. IDENTIFICATION DES MATERIAUX

#### 2.1. Caractéristiques du sable

Le sable provient de la sablière de Sidi Daoud commune de Baghlia de Oued Sebou, située à 40Km à l'Ouest de la ville de Tizi Ouzou.

Afin d'éliminer toutes les impuretés pouvant perturber notre étude, le sable est préalablement lavé afin que son influence sur la perméabilité reste minime.

a)- Equivalent de sable

$E_s = 100\%$  D'où un sable très propre.

## b)- Composition granulométrique

L'essai de granulométrie par tamisage a été effectué selon les normes EN 33-2. La masse M de l'échantillon à étudier est prise, dans les limites données, par l'expression suivante :  $200D < M < 600D$ .

D : le plus gros diamètre des particules (D = 2mm).

La masse de l'échantillon M = 500g.

La courbe granulométrique du sable est représentée dans la figure.4.1.

Les coefficients respectivement d'uniformité et de courbure sont :

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = 3, \quad C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \cdot D_{60}} = 1.33$$

D'après la classification de LCPC, notre sable est propre et mal gradué (Sm).

Tab.4.1 : Analyse granulométrique du sable.

Tamis (mm)	Refus partiels (gr)	Ref. cumulés (gr)	% Ref.cumul	% Tamisât cumulés
2	12.5	12.5	2.5	97.5
1	321.1	333.6	66.8	33.2
0.4	133.3	466.9	93.5	6.5
0.25	18.1	485.0	97.1	2.9
0.1	14.1	499.1	99.9	0.1
0.08	0.3	499.4	100	0
Bac	0			

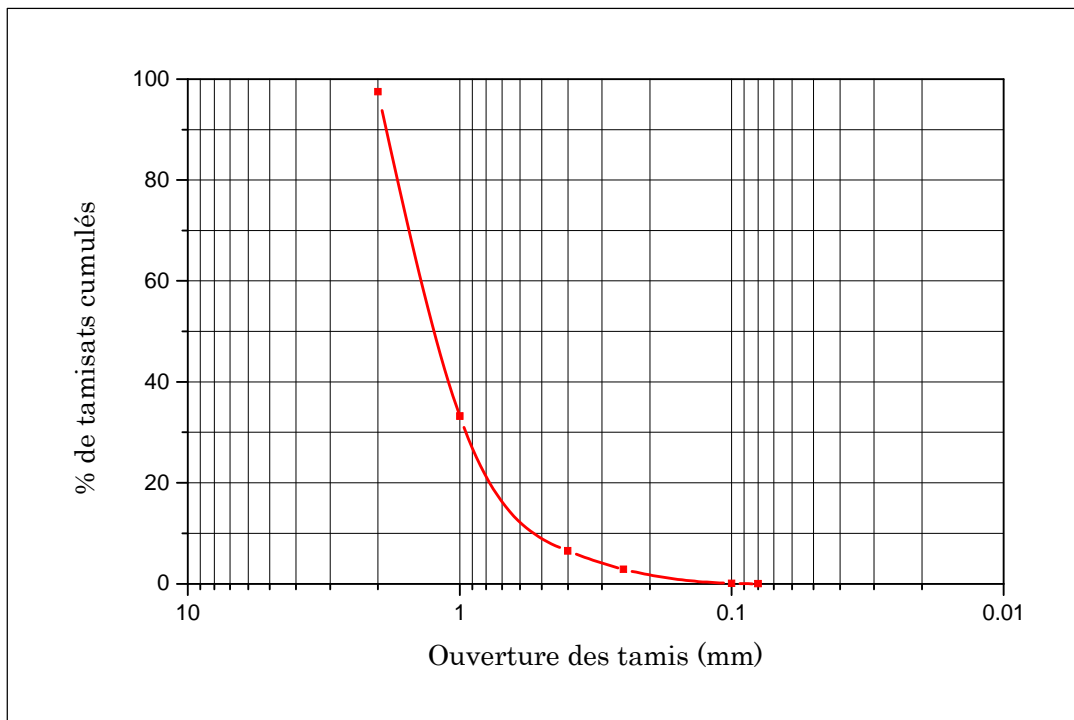


Fig.4.1 : courbe granulométrique du sable.

## 2.2. Caractéristiques de la bentonite

En Algérie, les gisements bentonitiques les plus importants se trouvent à l'ouest du pays. Ils ont été exploités depuis l'année 1950. A titre d'exemple, nous citons :

- Le gisement de Hammam Bouhrara situé sur la rive droite de la Tafna au sud-est de Maghnia. Ses réserves géologiques globales sont estimées à plus de 1.032.000 tonnes à la fin de l'année 2002 ;
- Le gisement de M'Zila situé à 35Km au nord-est de Mostaganem à l'ouest de l'Algérie. Ses réserves sont estimées à plus d'un million de tonne.

La bentonite utilisée est extraite de ce dernier gisement. Elle est commercialisée par l'entreprise nationale des produits miniers non ferreux (ENOF) d'El-Harrach à Alger, et destinée à la fonderie, l'industrie de céramique ou le forage pétrolier et hydraulique. C'est un matériau non traité, de couleur grise et se présente sous forme de poudre finement broyée et conditionnée dans des sacs.

### a)- Teneur en eau naturelle

La teneur en eau naturelle est calculée de manière classique :

$$\omega(\%) = \frac{P_h - P_s}{P_s} \times 100$$

$P_h$  : Poids de la bentonite humide

$P_s$  : Poids de la bentonite sèche (après étuvage à 50°C pendant 48 heures).

Notre bentonite à l'état de commercialisation présente une teneur en eau naturelle de :  $\omega = 9 \%$

### b)- Poids spécifique

Le poids spécifique de la bentonite est déterminé à partir de l'essai au pycnomètre et selon la norme NF P 94-054 (Photo.4.1).

La formule de la densité spécifique est donnée par :

$$\gamma_s = \frac{P_3 - P_1}{P_2 - P_1 - P_4 + P_3} \times \gamma_w$$

Ou :

$P_1$  : Poids du pycnomètre vide ;

$P_2$  : Poids du pycnomètre rempli d'eau distillée ;

$P_3$  : Poids du pycnomètre avec 20 g de bentonite sèche

$P_4$  : Poids du pycnomètre rempli de bentonite et d'eau ;

$\gamma_w$  : Poids volumique de l'eau à température de l'essai.

Après trois séries d'essais, nous obtenons la valeur moyenne :  $\gamma_s = 27 \text{ kN/m}^3$ .



Photo.4.1 : Essai au pycnomètre

#### c)- Composition granulométrique

L'analyse granulométrique a été réalisée par rayon LASER : La granulométrie laser est un procédé d'analyse destiné à la détermination de la texture des poudres chimiques, organiques et minérales, ainsi que les liquides sous formes des aérosols. C'est une méthode très rapide (quelques secondes), non destructive (l'échantillon peut être récupéré), et qui couvre une large gamme granulométrique.

Le principe de l'essai consiste à soumettre une quantité de poudre à un faisceau laser, celle-ci est collectée par un émetteur (Fig.4.2). Les particules solides de la poudre diffusent une lumière laser, celle-ci assure la collecte et le stockage de l'information.

L'essai par rayon Laser a été effectué au centre de recherche et de développement de SONATRACH (C.R.D) de Boumerdes.

La courbe granulométrique représentée dans la figure.4.3, est évaluée à 100 % et est étalée entre 100 $\mu\text{m}$  et 0.1 $\mu\text{m}$  environ. Elle montre que plus de 70 % des éléments ont un diamètre inférieur à 2  $\mu\text{m}$ , d'où la bentonite utilisée est un matériau argileux très fin. (Debieche .M, 2007).

Il faut noter ici que ces résultats sont en accord avec les données publiées par Boukerche.A, 2007.

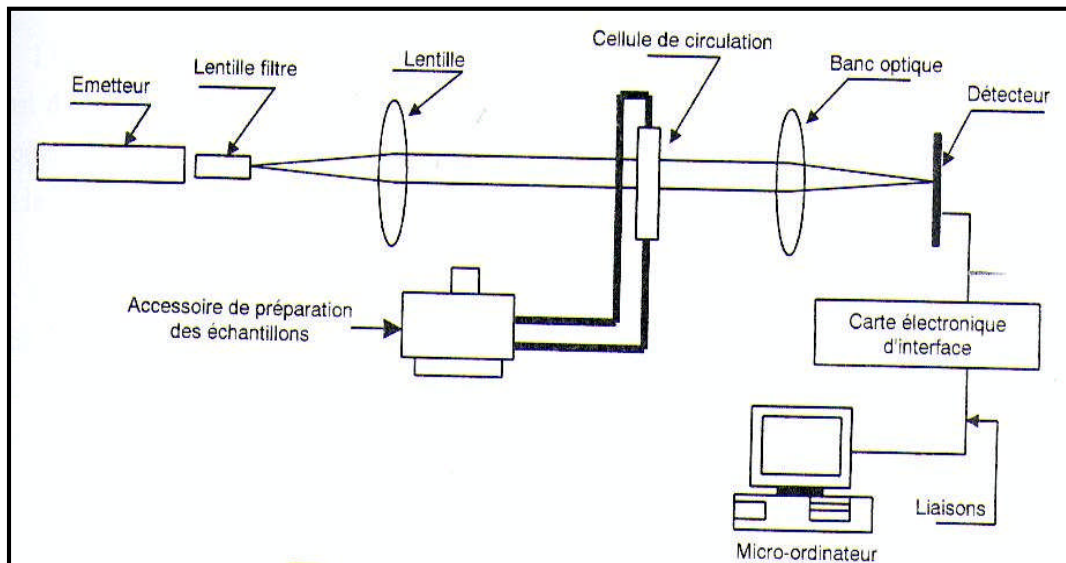


Fig.4.2: Granulométrie à Laser

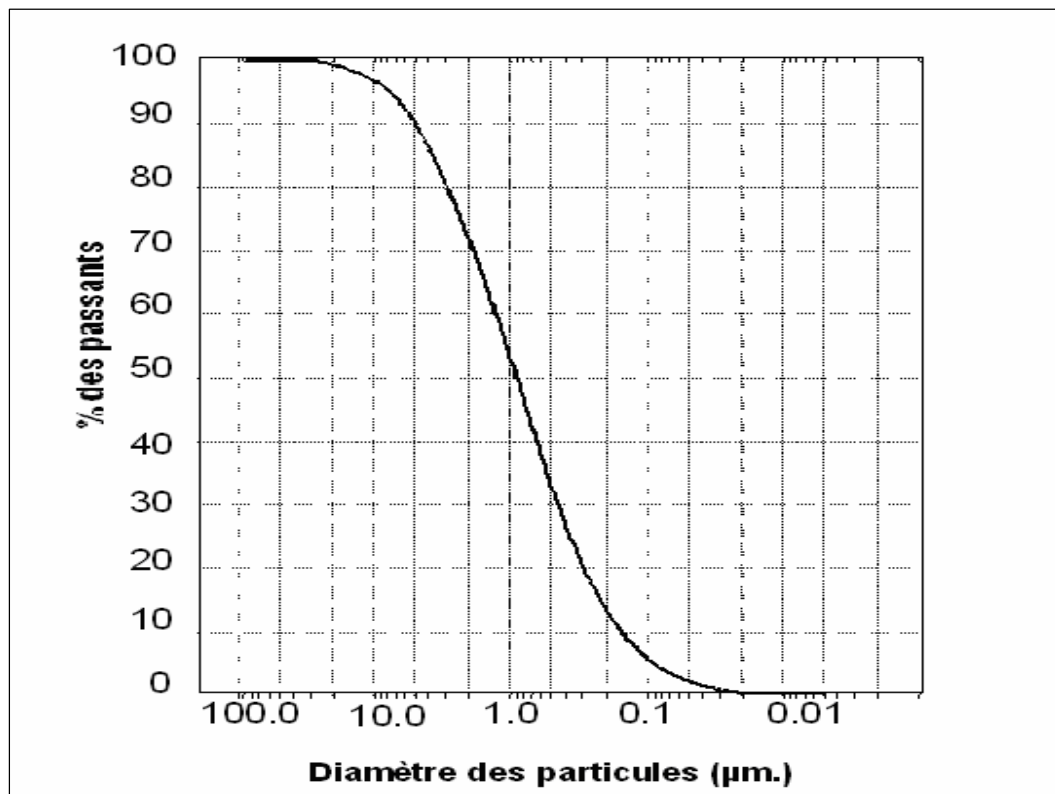


Fig.4.3 : Analyse granulométrique de la bentonite par rayon Laser.  
(Debieche .M, 2007).

## d)- Limites de consistance

Cet essai permet de connaître la consistance des sols fins en fonction de leur teneur en eau. Atterberg a défini en 1911 les trois teneurs suivantes : limite de liquidité ( $w_l$ ), limite de plasticité ( $w_p$ ), et limite de retrait ( $w_r$ ).

Le tableau suivant fournit les appellations recommandées pour désigner l'état des sols argileux.

Tab.4.2: Classification des sols en fonction de l'indice de consistance. (G.Philippinat, 2001).

$I_c$	< 0	0	0.25	0.5	0.75	1	>1
Consistance	Liquide	pâteuse ou très molle	molle	ferme	Très ferme		dure

Les limites de consistance de notre bentonite ont été déterminées selon la norme NF P 94-051 en utilisant l'eau de robinet.

Ses valeurs sont résumées dans le tableau suivant :

Tab.4.3 : Limites de consistance de la bentonite. (Debieche .M, 2007).

Eau utilisée	$w_l$ (%)	$w_p$ (%)	$I_p$ (%)	$w_r$ (%)	$I_r$ (%)	$I_c$
Eau de robinet	187	45	142	49	138	1.25

Dans lequel :

\*Indice de plasticité  $I_p$  :  $I_p = w_l - w_p$ .

\*Indice de retrait  $I_r$  :  $I_r = w_l - w_r$ .

\*Indice de consistance  $I_c$ :  $I_c = (w_l - w) / I_p$

\*W: la teneur en eau naturelle.

D'après le diagramme de Casagrande (Fig.4.4), on peut dire qu'on est en présence d'une montmorillonite très plastique. D'après le tableau 4.2, notre bentonite est un matériau dur.

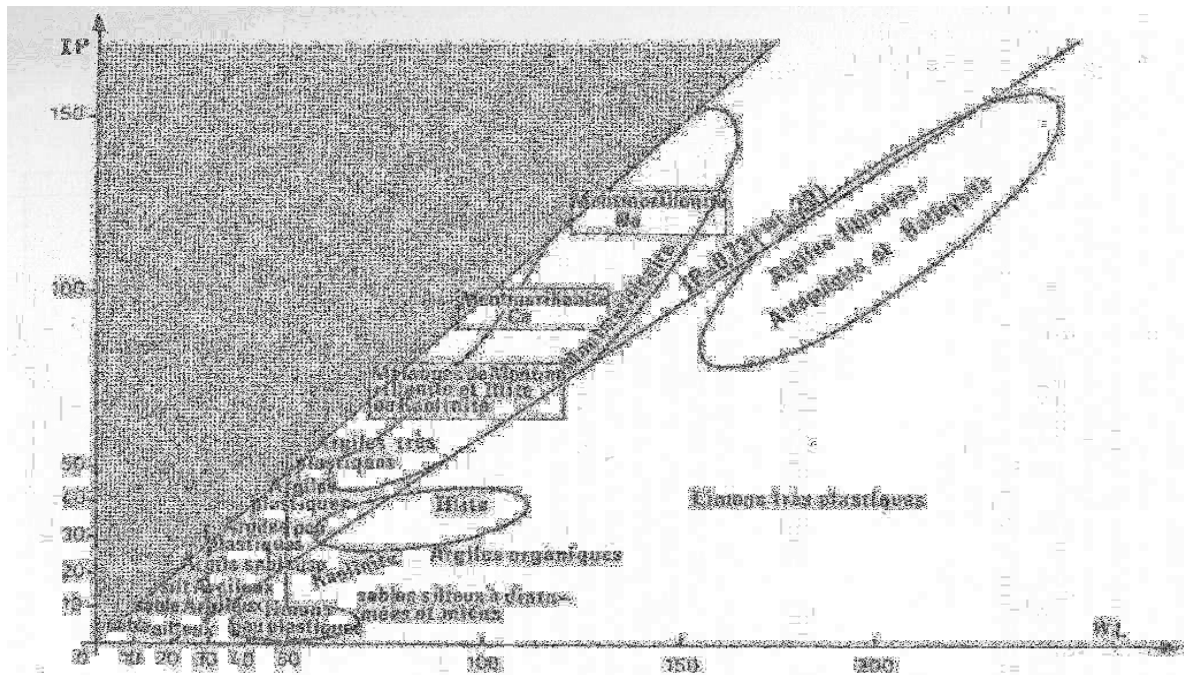


Fig.4.4 : Diagramme de Casagrande. (Habib. P, 1997)

## e)- Activité

L'activité traduit la quantité d'eau retenue sur la surface des argiles. Elle est définie par la relation :

$$A_c = \frac{I_p}{P}$$

P : étant le pourcentage en poids des particules inférieures à 2  $\mu\text{m}$ .

Avec  $I_p = 142 \%$ , et  $P = 71\%$ , pour l'eau de robinet, l'activité de la bentonite utilisée est évaluée à :  $A_c = 2$

Tab.4.4 : Valeurs et intervalles de l'activité pour différents minéraux argileux (D'après Skempton .A.W. ,1953).

Argile	Activité
Kaolinite	0.58
Illite	0.9
Montmorillonite Ca	1.5
Montmorillonite Na	7.2

Nature d'argile	Activité
Inactive	< 0.75
Normale	0.75 – 1.25
Active	> 1.25

Selon Skempton A.W (Tab.4.4), la bentonite testée est une montmorillonite calcique active.

## f)- Surface spécifique

La surface spécifique des sols fins est obtenue par l'essai au bleu de méthylène. Cet essai doit son existence au chercheur Tran Ngoc Lair qui a proposé dans les années 70 une méthode simple de mesure de la surface spécifique d'un sol, en utilisant la propriété de la molécule du bleu de méthylène qui s'adsorbe à la surface des particules. La détermination de la surface spécifique ( $S_p$ ) est un caractère très sélectif. Pour le sol cohérent,  $S_p$  peut varier de 0.3 m<sup>2</sup>/g à 40 m<sup>2</sup>/g. La surface spécifique caractérise la nature et la quantité d'argile (< 2 μm) existante dans le sol, ainsi que la capacité d'adsorption ionique des sols. Actuellement l'essai est réalisé selon la norme NF P 94-068 (Photo.4.2).



Photo.4.2 : Essai au bleu de méthylène (test de la tache)

La valeur de bleu (V.B) est la quantité de bleu adsorbée pour 100 g de sol :

$$V.B \text{ (cm}^3\text{/g)} = \frac{V \text{ injecté de bleu}}{\text{masse de l'échantillon}}$$

La surface spécifique totale de l'échantillon est obtenue par la formule empirique donnée par Gaillabaud et Cinot :

$$S_p = 21 \text{ V.B (0/2 } \mu\text{m)}$$

L'essai, au bleu de méthylène (test de la tache), a été réalisé par le laboratoire central des travaux publics (L.C.T.P) d'Hussein Dey. La valeur de la surface spécifique de notre bentonite est de 66.4 m<sup>2</sup>/g.

Le logiciel traitant les données de la granulométrie par Laser (C.R.D de Boumerdès) a donné un surface spécifique de 67.3 m<sup>2</sup>/g.

On peut dire qu'avec deux méthodes différentes, la valeur de la surface spécifique est du même ordre de grandeur.

Ces résultats sont en accord avec les données publiées par des auteurs tels que Hamdi, B et al. 2000 et Bakhti, A. et al. 2001. (Debieche .M, 2007).

#### g)- Gonflement libre

Les normes, utilisées à présent aux Etats Unis (ASTM D 5890) et en projet en France (NF P 84-703), décrivent un essai permettant d'apprécier la capacité de gonflement d'une argile, spécialement le Smectite (montmorillonite) à l'eau ou à tout autre liquide.

L'essai prévoit l'utilisation de 2g de bentonite qui sont mis dans un cylindre gradué contenant 100 ml d'eau distillée. La bentonite est ajoutée très lentement, afin de permettre le gonflement et la sédimentation. Après 24h on mesure le volume occupé par la bentonite. La mesure est exprimée en cm<sup>3</sup> /2g. Cet essai présente l'intérêt d'être assez simple et reproductible (Photo.4.3)



Photo.4.3 : Essai de gonflement libre

Dans le cas d'une bentonite calcique, après quelques heures la sédimentation est achevée et le volume atteint 5-7ml. Dans le cas d'une bentonite sodique, plus de 48h sont nécessaires avant que le gonflement soit stabilisé et le volume peut

atteindre jusqu'à 30ml. Cet essai peut également servir pour quantifier l'influence des différentes substances chimiques sur le gonflement.

L'essai de gonflement libre de la bentonite a donné une moyenne de 23 ml.

#### h)- Composition chimique

L'analyse chimique a été effectuée de deux manières différentes, l'une au moyen d'un spectromètre de fluorescence X de marque Siemens type SRS-3400 dans le laboratoire de chimie du CRD de Boumerdes (Tab.4.5), l'autre par le microscope électronique à balayage (MEB) de type JEOL JSM 6830 au laboratoire des Sciences et Génie des Matériaux de la Faculté de Génie mécanique et de Génie des Procédés de l'USTHB (Tab .4.6 & Fig.4.5).

Tab.4.5: Composition chimique de la bentonite par fluorescence des rayons X

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Perte au feu
60.49 %	12.57 %	2.70 %	3.60 %	2.29 %	2.28 %	1.55 %	13.80 %

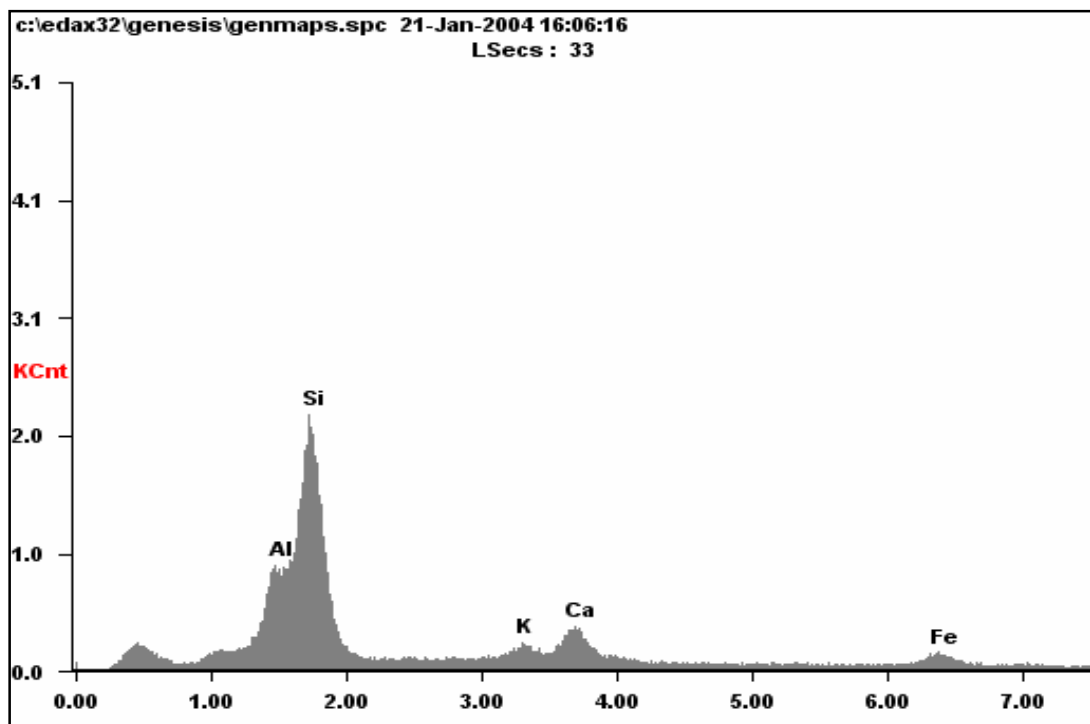


Fig.4.5 : Diagramme de la composition chimique de la bentonite par le MEB. (Debieche .M, 2007).

Tab.4.6 : Composition chimique de la bentonite par le MEB

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	K <sub>2</sub> O
64.86 %	20.45 %	3.63 %	7.59 %	3.47 %

Nous remarquons que les constituants prédominants de la bentonite sont la silice, l'alumine, les oxydes alcalins de forme MO, l'oxyde de fer et de magnésium. Le taux de quartz libre est plus important. Le pourcentage de CaO est plus important que celui de Na<sub>2</sub>O, ce qui confirme qu'on est en présence d'une bentonite calcique. (Debieche .M, 2007).

i)- Capacité d'échange cationique (C.E.C)

La capacité d'échange cationique représente la quantité de cations de la double couche électrique susceptible d'être remplacée par d'autres cations. Elle détermine la capacité d'échange chimique. Elle s'exprime en milliéquivalents (m.e) / 100g :

$$\text{C.E.C} = \frac{\text{m.e.de cation échangeable}}{100 \text{ g d'argile}}$$

La capacité d'échange cationique (C.E.C.) a été déterminée, en utilisant la méthode de percolation à l'acétate d'ammonium, dans le laboratoire d'hydrometallurgie et chimie inorganique moléculaire de la faculté de chimie L'USTHB (photo.4.4). Une quantité de bentonite est introduite dans une colonne en verre et mise en contact avec une solution d'acétate d'ammonium (NH<sub>4</sub>CH<sub>3</sub>COO, 1M, pH=7).

La bentonite est ensuite rincée avec un solvant approprié (l'éthanol dans notre cas) jusqu'à absence de réaction en présence du réactif de Nessler. Le passage d'une solution de chlorure de sodium (NaCl, 0.5M) à travers l'échantillon permet alors la libération des ions ammonium et leur dosage par spectrophotométrie UV – visible (Jasco V – 530) à la longueur d'onde 630 nm en milieu alcalin et en présence de nitroprussiate de sodium. La quantité des ions ammonium est alors convertie en milliéquivalents par 100g d'échantillon (18 mg d'ammonium correspondent à 1 milliéquivalent).



Photo.4.4 : Capacité d'échange cationique (C.E.C.)  
déterminée par la méthode de percolation à l'acétate d'ammonium.

La bentonite étudiée possède un C.E.C = 43 mmol (éq)/100g.

Des résultats similaires ont été obtenus par certains auteurs parmi lesquels nous citons Hocine, O. 2004 et Ait Hamoudi, S. 2005. (Debieche .M, 2007).

#### j)- Composition minéralogique

La minéralogie de la bentonite a été mise en évidence par deux méthodes différentes mais complémentaires. Ce sont celle de la diffraction des rayons X et celle du MEB (Microscopie Electronique à Balayage).

Les résultats de l'analyse par diffraction aux rayons X, sont présentés dans la figure 4.6. Celle-ci montre une raie dont la distance réticulaire correspond à 15.36 Å indiquant la présence de la montmorillonite, apparaît également l'illite (10.16 Å), le quartz (3.35 Å), la calcite à 3.04 Å et des traces de feldspaths (orthoclase et Albite).

# Bentonite brute

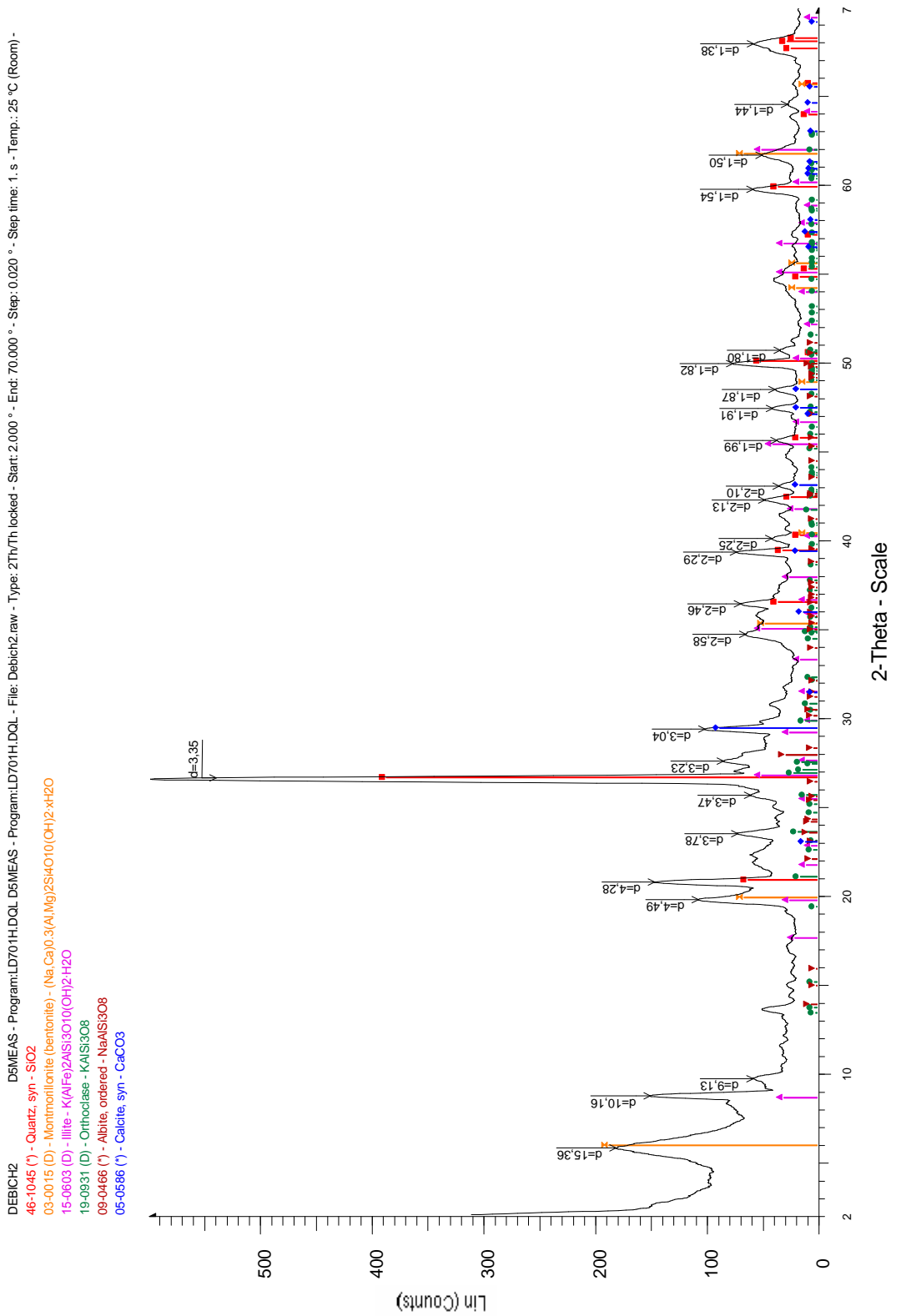


Fig.4.6 : Diagramme de diffraction au R.X de la bentonite (Debieche .M, 2007).

Les résultats de la diffraction au rayon X sont justifiés par l'analyse des photographies prises au microscope électronique à balayage (M.E.B) du CRD de Boumerdès (Photo.4.5). (Debieche .M, 2007).

En effet, en agrandissant l'image successivement, la microstructure de la bentonite non traitée apparaît logique ; elle est constituée par des agrégats argileux de dimensions variées atteignant 2 microns. Ces agrégats sont disposés d'une manière complètement aléatoire, reliant entre elles des microcavités de diamètre 10 microns et même plus. Ces microgravités représentent, en fait, des pores inter-agrégats. Les agrégats argileux sont constitués par l'assemblage des particules de montmorillonite.

Le microscope électronique à balayage (MEB) est un appareil d'analyse, pouvant fournir rapidement des informations sur la morphologie et la composition chimique d'un objet solide.

Sa grande commodité d'utilisation, sa souplesse pour visualiser des champs d'extension très variables sur des échantillons massifs, l'étendue de sa profondeur de champ font du MEB un outil indispensable dans l'exploration du monde microscopique.

Le fonctionnement du microscope est basé sur l'émission d'électrons produits par une cathode et la détection de signaux provenant de l'interaction de ces électrons avec l'échantillon. Ces électrons qui irradient la surface de l'échantillon pénètrent profondément dans le matériau.

Dans un microscope électronique à balayage, l'image est obtenue séquentiellement point par point en déplaçant le faisceau d'électrons primaires sur la surface de l'échantillon. L'image est alors reconstruite en utilisant le signal généré par les différents détecteurs pour moduler la brillance d'un tube cathodique. Le rapport entre le format de l'écran et celui de la zone balayée sur l'échantillon détermine le grandissement.

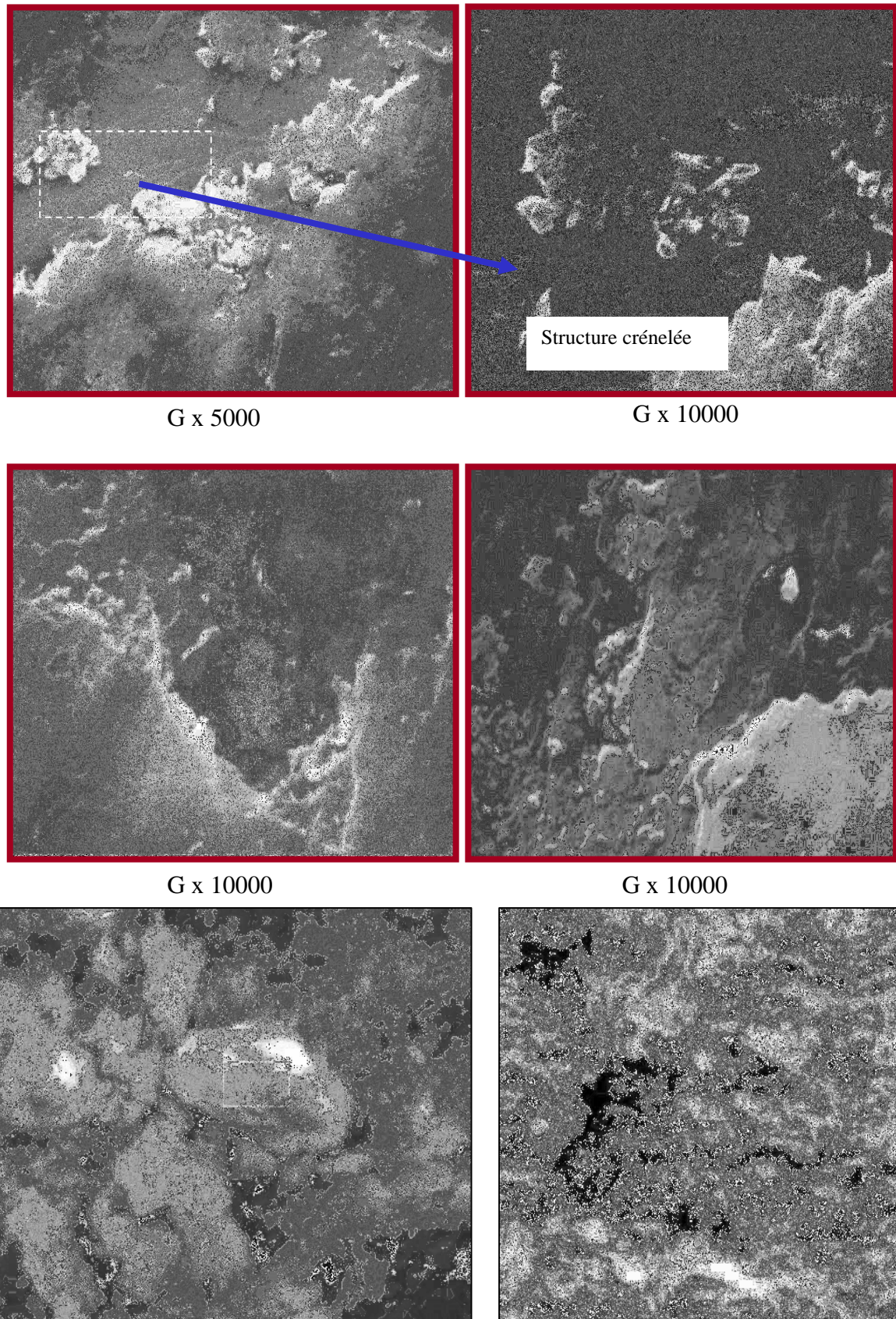


Photo.4.5 : Microstructure de la bentonite étudiée (Debieche .M. 2007).

En conclusion, les différents essais d'identification révèlent que notre bentonite contient plus de 70 % des éléments inférieurs à 2  $\mu\text{m}$ . Le diffractomètre montre la présence de la montmorillonite associée à l'illite avec des impuretés comme le quartz et le feldspath. Une teneur en eau naturelle à l'état de commercialisation ne dépassant pas 9 %. A l'eau de robinet, la limite de liquidité et l'indice de plasticité sont respectivement 187 % et 142 %. Un gonflement libre de 23 ml. La surface spécifique donnée par l'essai au bleu de méthylène (essai à la tache) est estimée à une valeur moyenne de 66,85  $\text{m}^2/\text{g}$ . La capacité d'échange cationique est de 43 meq/100g. La composition chimique de la bentonite testée à l'essai par fluorescence par rayon X et le microscope électronique à balayage, contient en plus du quartz libre, un taux de calcium supérieur à celui du sodium.

A la lumière des données rassemblées, nous pouvons conclure que la bentonite de Mostaganem est une montmorillonite calcique active et présente un potentiel d'absorption d'eau assez important, lui conférant ainsi une possibilité d'utilisation dans la réduction de la perméabilité.

### 3. TRAVAUX D'IMPERMEABILISATION

Dans le domaine de l'environnement, les bentonites sont généralement utilisées comme composants des dispositifs d'étanchéité drainant, dans les centres de stockage des déchets, en fond ou en couverture.

Les travaux d'imperméabilisation, pour le mélange compacté de sable et de bentonite, ont été réalisés au laboratoire de géotechnique de la faculté de Génie Civil de l'USTHB à Alger. Le matériel utilisé est un perméamètre pouvant être utilisé aussi bien à charge constante qu'à charge variable. Ce dernier permet la réalisation simultanée de 04 essais.

L'objectif à atteindre de ces travaux consiste à déterminer le pourcentage demandé de bentonite pour obtenir un coefficient de perméabilité inférieur ou égale à la norme ( $10^{-9}$  m/s). Pour cela, nous aborderons la préparation des différents échantillons composés de mélange compacté de sable et de 0%, 4%, 6% et 8% de bentonite respectivement.

### 3.1. Compactage des échantillons

#### a)- Principe

Le compactage est l'ensemble des opérations mécaniques qui conduisent à accroître la densité en place d'un sol. Celle-ci est due essentiellement à la diminution de la quantité d'air dans ses pores. Le changement de volume d'eau n'est pas significatif, c'est ce qui le différencie fondamentalement de la consolidation.

Le but de compactage est de resserrer la texture du sol, réduire les possibilités de déformation, augmenter sa capacité portante et sa résistance au cisaillement.

Le principe de compactage des sols a été introduit pour la première fois par l'ingénieur américain R.R PROCTOR au début des années 1930. PROCTOR a démontré que le compactage est une fonction de quatre variables :

a) la masse volumique sèche, b) la teneur en eau, c) l'effort de compactage et d) le type de sol.

Il proposa un essai standard pour déterminer les caractéristiques de compactage au laboratoire. Dans cet essai, un échantillon de sol à particules inférieures à 20mm est compacté en trois couches dans un moule standard avec une certaine énergie fournie par une dame d'un poids de 2,5kg tombant d'une hauteur constante.

Un autre essai appelé Proctor modifié a été par la suite proposé par l'Américain Association of State Highways Officials (A.A.S.H.O) où l'échantillon de sol à particules inférieures à 37,5mm est compacté en 5 couches dans le même moule mais avec une dame de 4,5kg. Chaque couche est compactée pour une période de 60 secondes (Figs.4.7 et.4.8).

Le tableau 4.7, donne les différentes caractéristiques pour les essais Proctor et Proctor modifié, où deux types de moule sont indiqués à savoir le moule Proctor et le moule C.B.R (Classification Bearing Ratio). Les dimensions des moules sont données dans le tableau 4.8.

Tab.4.7 : Essai Proctor normal et modifié. (Chelghoum .N, 2006).

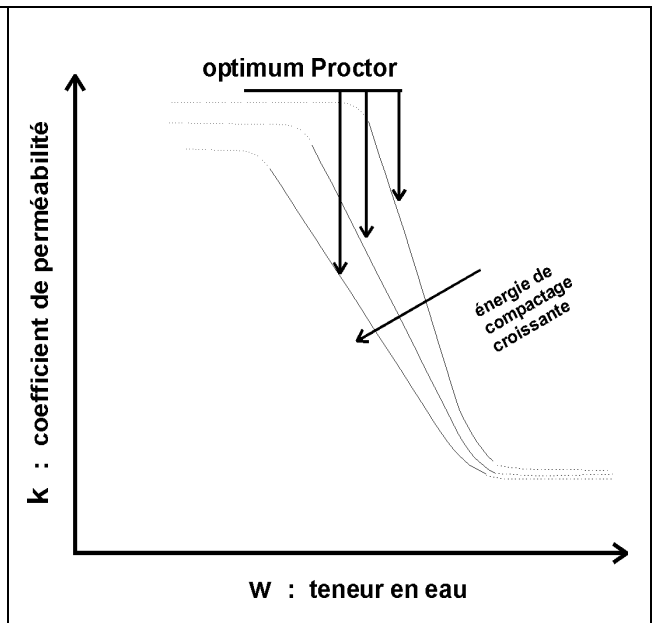
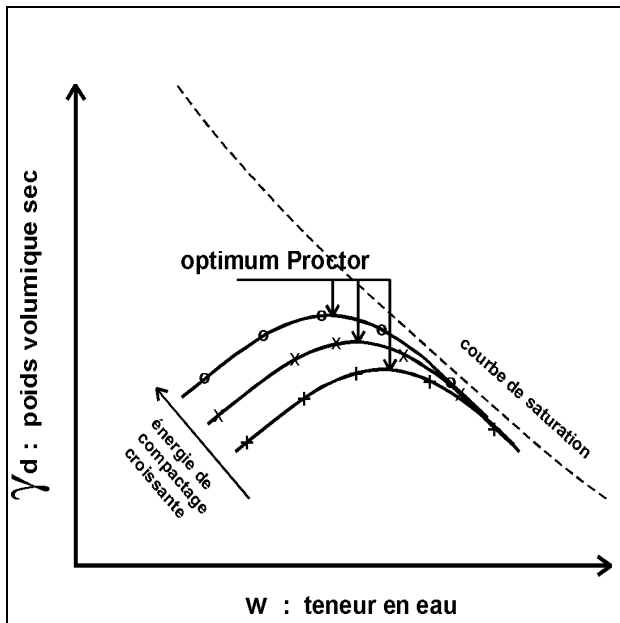
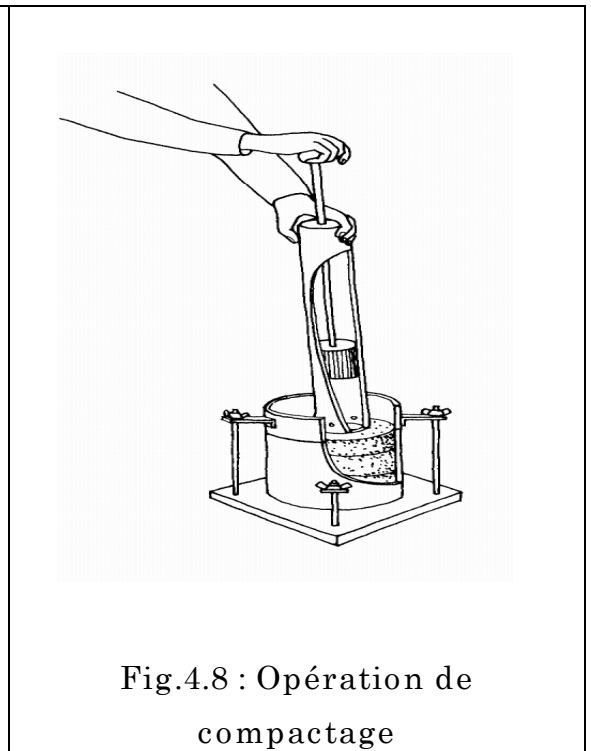
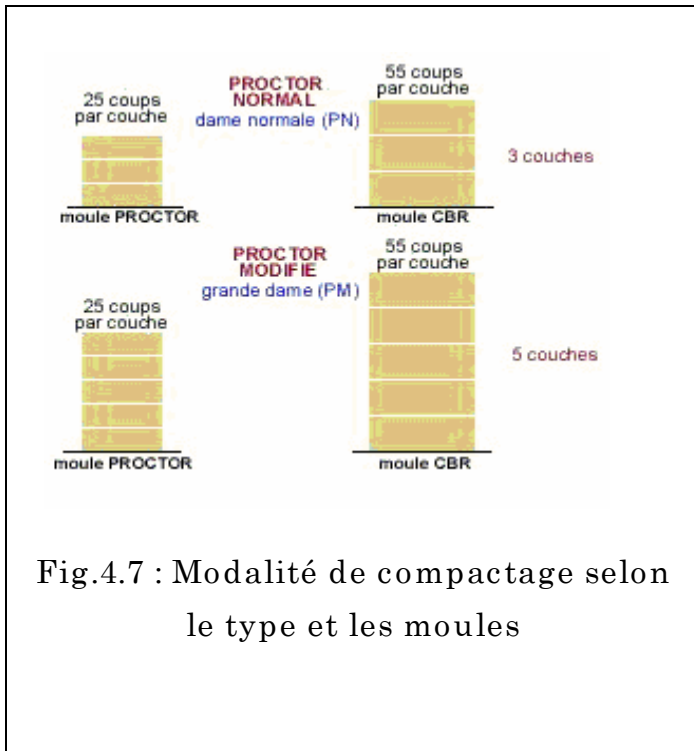
Essai Proctor	Masse de la dame (kg)	Hauteur de chute (cm)	Nombre de coups par couche	Nombre de couches	Energie de compactage (kj/dm <sup>3</sup> )
Normal	2.490	30.5	25(Proctor)	3	0.59
			55(CBR)	3	0.53
Modifié	4.540	45.7	25(Proctor)	5	2.71
			55(CBR)	5	2.41

Tab.4.8 : Dimension des moules Proctor et CBR. (Chelghoum .N, 2006).

Dimension / Moule	Proctor	CBR
Hauteur	11.7cm	15.2cm
Diamètre	10.2cm	15.2cm
Dimension des grains	$\leq 5\text{mm}$	$5\text{mm} \leq d \leq 20\text{mm}$

Le coefficient de perméabilité d'un sol n'est que peu lié à la valeur absolue du poids volumique sec (corrélation en nuage de points) mais on constate souvent une forte diminution de la perméabilité (de un à deux ordres de grandeur) en passant d'une teneur en eau légèrement inférieure à l'optimum à une teneur en eau légèrement supérieure. Par conséquent, il est souvent préférable de travailler à une teneur en eau un peu supérieure à l'optimum, même si le poids volumique attendu est un peu plus petit que le maximum possible (Figs.4.9 et 4.10).

Après obtention de la courbe Proctor, essais de perméabilité et essais mécaniques (la résistance au cisaillement est aussi fonction de la compacité), il est possible de définir sur le diagramme une "zone d'acceptation" à l'intérieur de laquelle doit se situer le sol pour présenter les caractéristiques requises. (Site Web, [12]).



A titre d'exemple, le diagramme ci-dessous montre la réponse de différents types de matériaux (Fig.4.11).

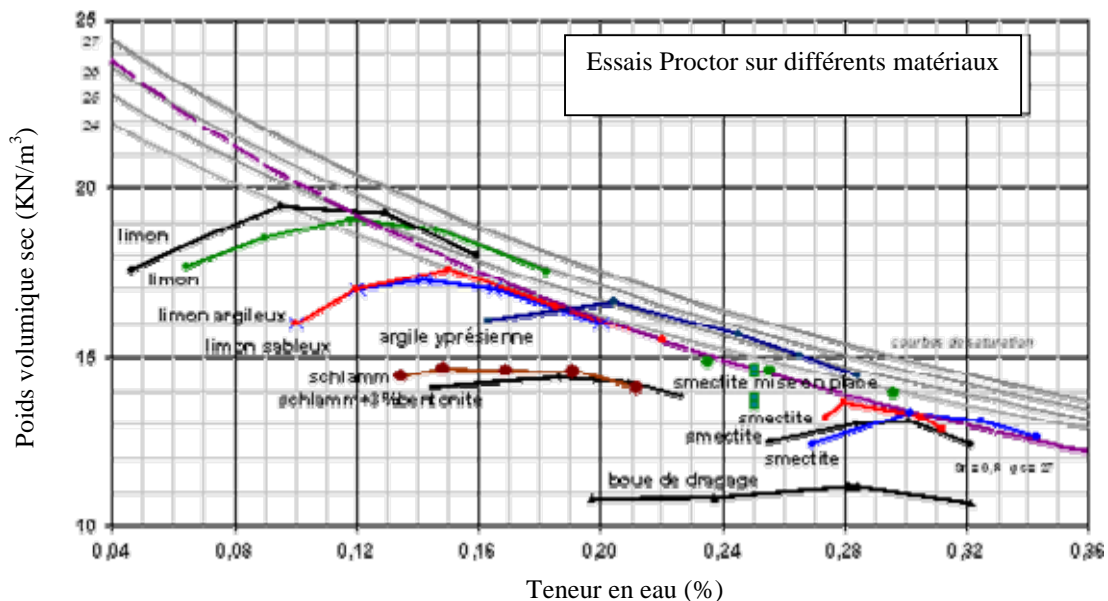


Fig. 4.11 : Essais Proctor sur différents matériaux. (Site Web, [12]).

#### b)- Mode opératoire

- Appareillage: Le dispositif est constitué d'un moule Proctor standard, de hauteur 11.7cm et de diamètre 10.2 cm, ce qui correspond à un volume de 0,96 litre. La dame à un poids de 2.490 kg, la hauteur de chute est de 30.5 cm. Ce dispositif est recommandé pour les essais de sols ayant des éléments dont le diamètre est inférieur à 5mm (Photo. 4.6).

- Préparation des échantillons : Après avoir déterminé la masse sèche du sable par rapport au volume du moule, nous déduisons le pourcentage pondéral choisi de la bentonite.

Pour la préparation d'un mélange homogène, un malaxeur de 5 litres a été utilisé (Photo. 4.7). Il est composé d'un récipient en acier inox, d'un batteur rotatif en alliage léger tournant dans le sens inverse du mouvement planétaire. Parmi les trois vitesses que possède le batteur, nous avons adopté la plus lente 139 tr/mn pendant une durée de malaxage que nous avons estimé à plus en moins 1mn selon le pourcentage de bentonite ajouté au sable. L'opération est achevée dès que le sable soit imprégné par la bentonite et prenne la couleur de cette dernière.

La mise en place de l'échantillon dans la cellule, est faite en utilisant un entonnoir. Nous versons le mélange jusqu'à dépasser la hauteur du moule, puis on arase, du centre vers l'extrémité, la face supérieure de ce dernier avec une règle à araser. L'échantillon devient ainsi compacter en trois couches.



Photo. 4.7 : Malaxage du mélange  
Sable-Bentonite



Photo.4.6: Matériel pour essais  
Proctor

#### c)- Résultats des essais de compactage

Les essais de compactage à l'optimum Proctor ont été réalisés pour des pourcentages de 0%, 4%, 6% et 8% de la bentonite. Les teneurs en eau optimales sont représentées sur les figures : 4.12, 4.13, 4.14 et 4.15.

La figure 4.16, présente la superposition des différentes courbes Proctor.

Les valeurs optimales des teneurs en eau et des poids volumiques secs, sont représentées dans le tableau 4.9.

Tab. 4.9 : Valeurs du  $W_{opt}$  et  $\gamma_{dopt}$ .

% bentonite	$w_{opt}$ (%)	$\gamma_{dopt}$ (kN/m <sup>3</sup> )
0%	12.0	16,25
4%	13.9	17.15
6%	14.6	17.70
8%	15.3	17.65

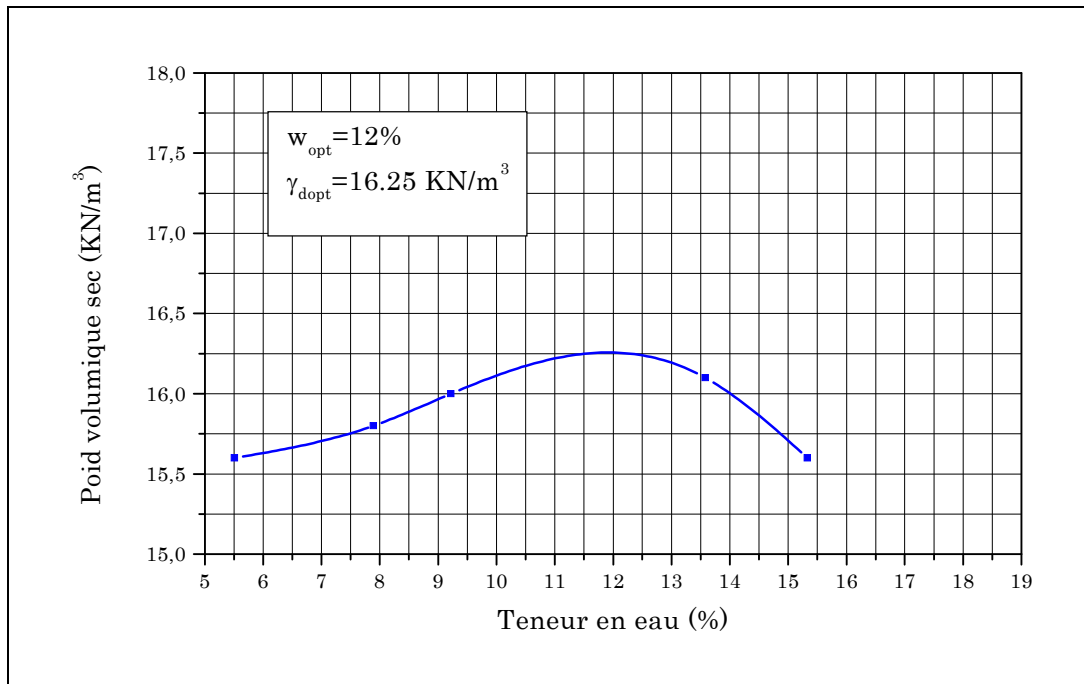


Fig. 4.12 : Courbe Proctor du mélange (sable + 0% bentonite).

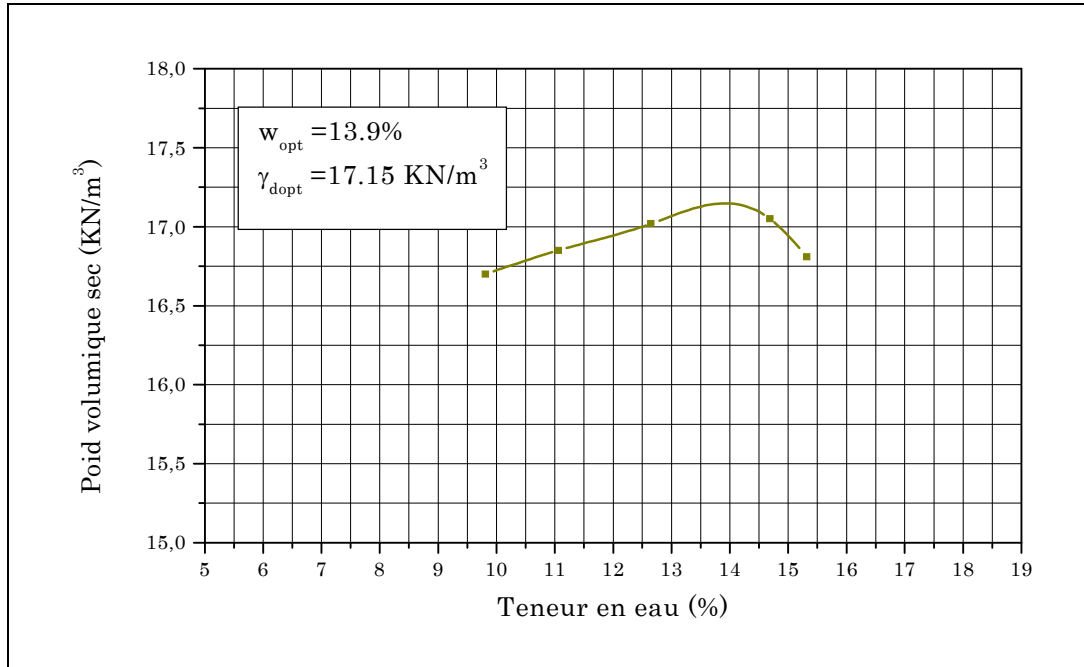


Fig. 4.13 : Courbe Proctor du mélange (sable + 4% bentonite).

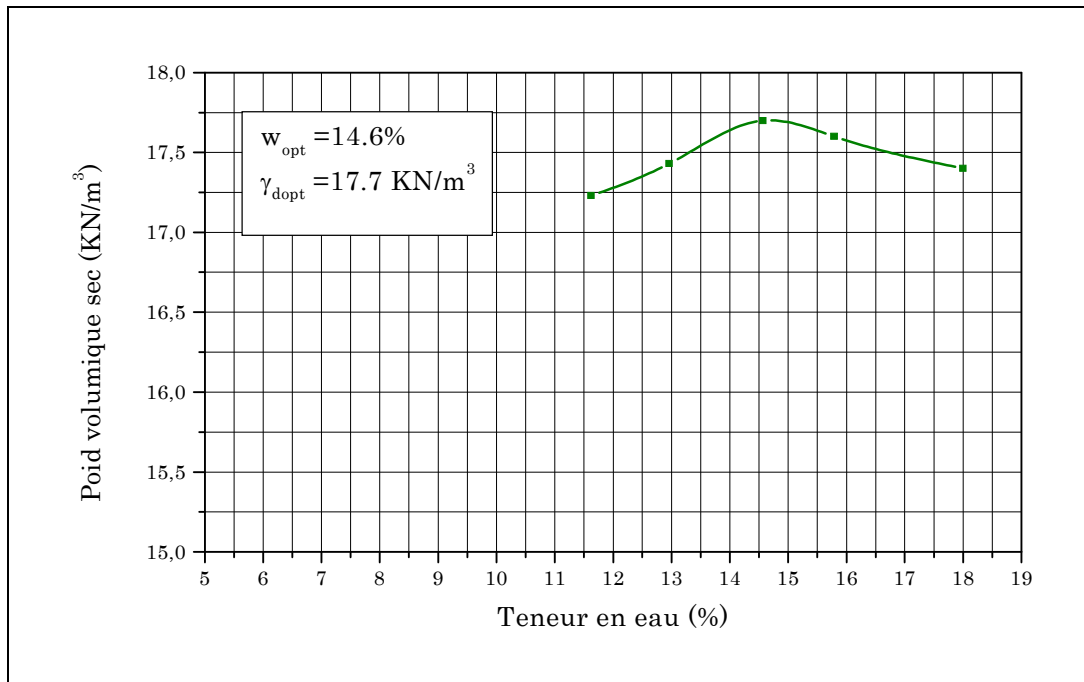


Fig. 4.14 : Courbe Proctor du mélange (sable + 6% bentonite).

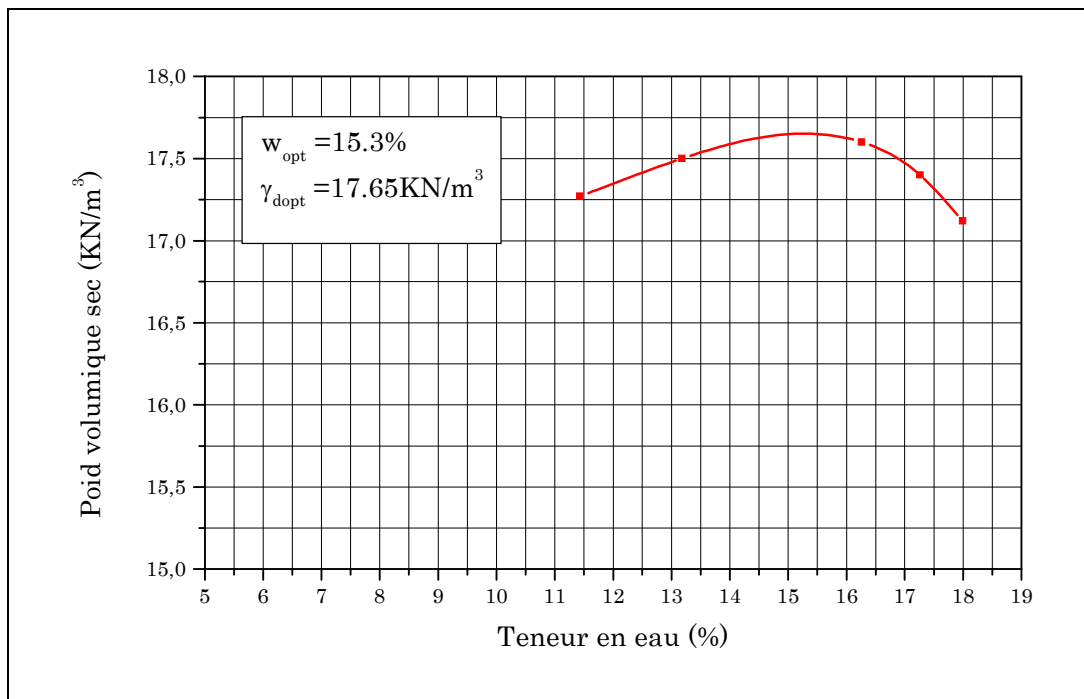


Fig. 4.15 : Courbe Proctor du mélange (sable + 8% bentonite).

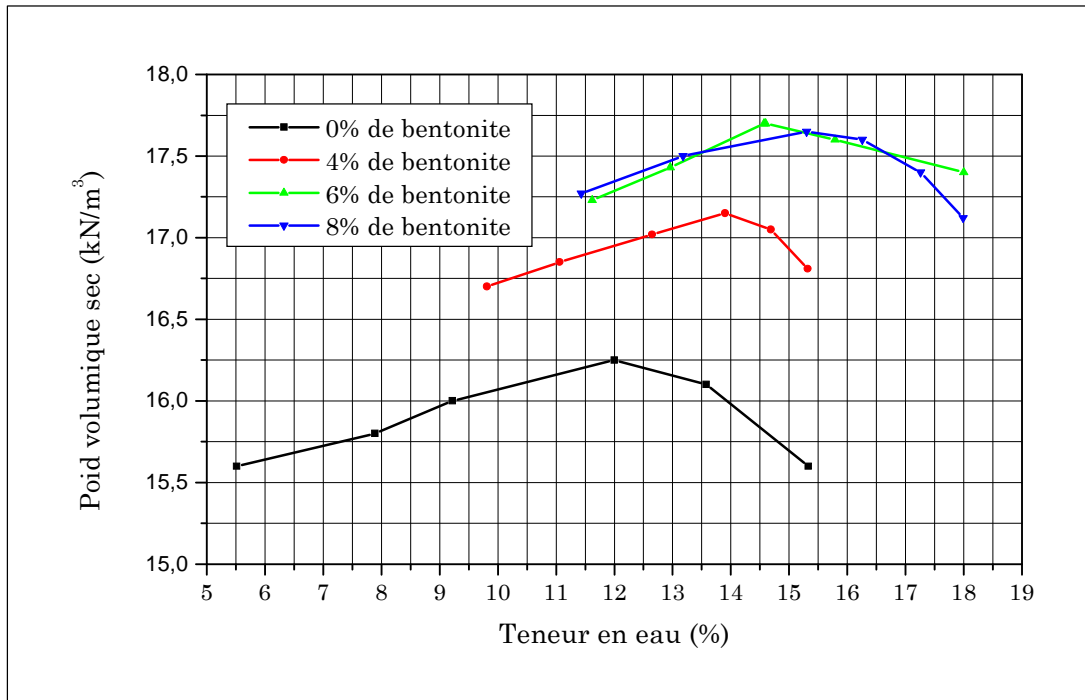


Fig. 4.16: Superposition des Courbes Proctor.

### 3.2. Essais de perméabilité

#### a)- Principe

La perméabilité d'un milieu poreux est la grandeur qui caractérise l'aptitude d'un milieu poreux à se laisser traverser par l'eau, elle s'exprime par une vitesse, elle est définie par la loi de Darcy.

La figure.4.17, représente l'expérience sur laquelle se base cette loi :

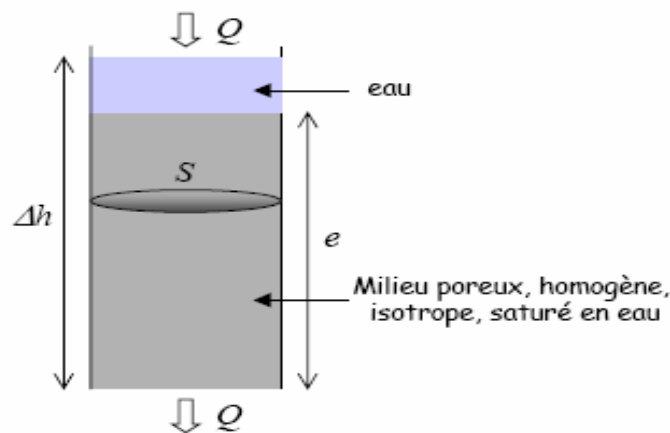


Fig. 4.17 : Schéma de l'expérience sur laquelle repose la loi de Darcy.

(Buzzi .O.L, 2004).

- Loi de Darcy : La loi de DARCY est la loi fondamentale de l'hydraulique des sols. Elle exprime la proportionnalité entre la vitesse d'écoulement et le gradient hydraulique  $i$ .

C'est une loi expérimentale :  $V = K \cdot i$

A noter :

1. La loi de Darcy se vérifie en générale très bien à condition de rester en régime laminaire, c'est-à-dire quand les vitesses restent faibles,

2. Le coefficient de proportionnalité  $k$  est appelé coefficient de perméabilité du sol. Il s'exprime en m/s ou en cm/s,

3. L'équation du débit à travers une section  $S$  de sol, s'écrit alors en fonction de  $i$  et  $K$  :

$$Q = K \cdot i \cdot S$$

Cette loi ne s'applique que dans le cas d'un milieu poreux homogène isotrope saturé en eau.

- Influence de la viscosité du fluide : La perméabilité de Darcy ne dépend pas uniquement des caractéristiques du matériau testé mais également de la nature du fluide le traversant.

Pour l'eau, plus la viscosité est élevée, plus le débit est faible (Tab.4.10). Conventionnellement, le coefficient de perméabilité  $k$  est donné, pour une température de l'eau s'écoulant dans le matériau de 20°C, pour laquelle la viscosité dynamique de l'eau est de 1.00 mPa.s, (norme AFNOR X30-441, 2003).

$$k_{20^{\circ}\text{C}} = k_{T^{\circ}\text{C}} \frac{\eta_{T^{\circ}\text{C}}}{\eta_{20^{\circ}\text{C}}}$$

Où

$k_{20^{\circ}\text{C}}$  le coefficient de perméabilité à 20°C,

$k_{T^{\circ}\text{C}}$  le coefficient de perméabilité à la température T°C,

$\eta_{20^{\circ}\text{C}}$  la viscosité dynamique à 20°C,

$\eta_{T^{\circ}\text{C}}$  la viscosité dynamique à T°C,

La relation entre la viscosité et la température est donnée par :

$$\eta = \frac{1.78}{1 + 0.0337T + 0.00022T^2}$$

$\eta$  : est donnée en mPa.s lorsque T est en °C. (Olson .R.E. et Daniel .D.E, 1981)

Tab. 4.10 : Valeurs de la viscosité dynamique de l'eau, à la pression atmosphérique.

T°C	$\eta$ (mPa.s)	T°C	$\eta$ (mPa.s)
0	1.787	16	1.109
1	1.728	17	1.081
2	1.671	18	1.053
3	1.618	19	1.027
4	1.567	20	1.002
5	1.519	21	0.978
6	1.472	22	0.955
7	1.428	23	0.932
8	1.386	24	0.911
9	1.346	25	0.890
10	1.307	26	0.870
11	1.271	27	0.851
12	1.235	28	0.833
13	1.202	29	0.815
14	1.169	30	0.797
15	1.139	31	0.781

La perméabilité se mesure, selon les cas, à l'aide d'un perméamètre (Photos 5.3 et 5.4) ou par des essais de pompage.

La perméabilité à l'eau et la porosité d'un sol n'ont pas de corrélation directe : parmi les roches imperméables on retrouve des roches non poreuses telles que les roches éruptives ou métamorphiques et des roches très poreuses telles que les argiles et les marnes. A l'inverse parmi les roches perméables, on retrouve des roches non poreuses mais fracturées ou altérées (perméabilité en grand) et des roches poreuses telles que les grés (perméabilité en petit).

Dans le cas des graviers très propres ou des remblais d'enrochement comportant de larges pores, l'écoulement peut être turbulent et la loi de Darcy ne peut pas s'appliquer.

La perméabilité des sables peu compacts à granulométrie serrée peut être évaluée en utilisant la formule de Hazen. (Costet et Sanglérat, 1981) :

$$k = 1.25D_{10}^2 \text{ (cm / s)}$$

Où  $D_{10}$  est le diamètre efficace des grains en (cm).

## b)- Mesure de la perméabilité au laboratoire

Pour l'interprétation des phénomènes observés in-situ, des expérimentations au laboratoire sont effectuées sur des échantillons de sols ou matériaux comparables à ceux testés sur terrain.

On mesure la perméabilité au laboratoire à l'aide d'un perméamètre, à charge constante ou à charge variable, (Fig. 4.18). Un Perméamètre est composé d'une enceinte étanche dans laquelle est placé un échantillon de sol de section A et de longueur L. Les deux extrémités de l'échantillon sont reliées à deux tubes par l'intermédiaire de pierres poreuses. On distingue :

- Perméamètre à charge constante : C'est un appareil destiné à la mesure de la perméabilité des sols très perméables, type sable moyen à forte perméabilité. Pour exécuter l'essai, on crée un gradient hydraulique à l'intérieur de l'échantillon et l'eau s'écoule à travers le sol. La charge  $\Delta h$  reste constante et on mesure le débit d'eau qui passe à travers le sol pendant un temps donné.

On calcule alors k :

$$q = kA \frac{\Delta h}{L} \Rightarrow k = q \frac{L}{\Delta h}$$

- Perméamètre à charge variable : C'est un appareil destiné à la mesure de la perméabilité des sols peu perméables. Dans le perméamètre à charge variable le tube fin supérieur est rempli d'eau et l'essai consiste à mesurer la baisse de son niveau en fonction du temps.

$$Q = kA \frac{h}{L} = a \frac{dh}{dt} \Rightarrow \frac{dh}{h} = \frac{A}{a} k \frac{dt}{L}$$

D'où :

$$\ln\left(\frac{h}{h_0}\right) = \frac{Ak}{aL}(t - t_0)$$

A = section de l'échantillon [L<sup>2</sup>]

a = section du tube fin supérieur [L<sup>2</sup>]

h<sub>0</sub> = hauteur d'eau initiale [L]

h = hauteur d'eau finale [L]

t-t<sub>0</sub> = temps de percolation (noté souvent T)

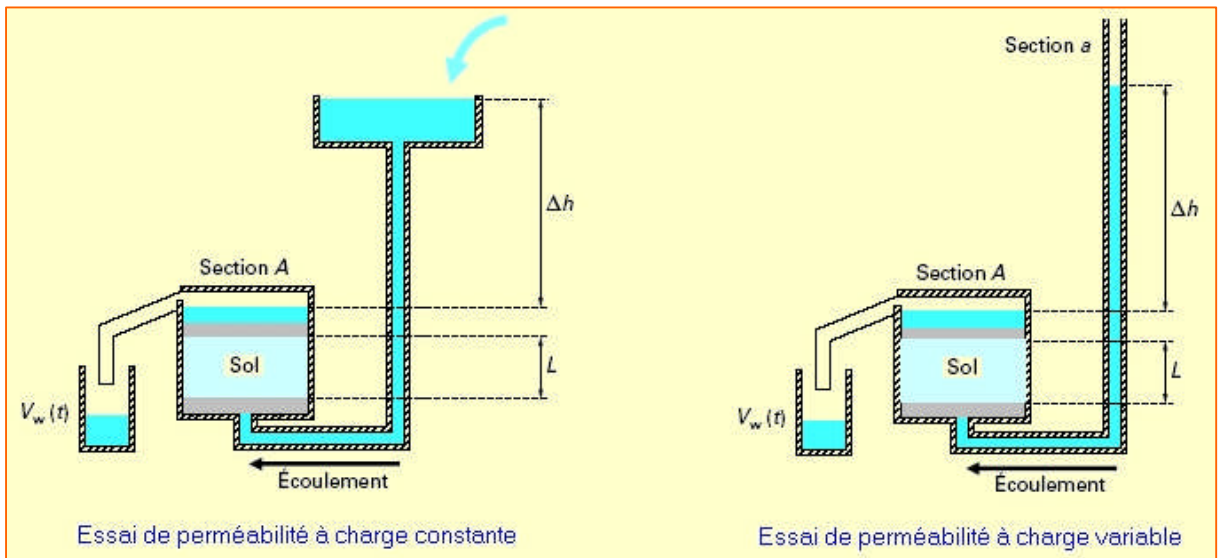


Fig. 4.18 : Essais de perméabilité à charge constante et à charge variable



Photo 4.8: Support pour perméamètre et accessoires



Photo.4.9 : Bâti du perméamètre

## c)- Mode opératoire

- Appareillage: Le dispositif est constitué d'un perméamètre à charge constante et à charge variable en même temps, le drainage s'effectue vers le bas (Photos. 4.8, et 4.9). Il comprend :

- Quatre cellules de perméabilité de 102 mm de diamètre et une hauteur de 116 mm.
- Un panneau de quatre tuyaux en verre de 10 mm de diamètre, reliés à quatre cellules pour l'essai de perméabilité à charge variable.
- Un réservoir d'eau sert à maintenir le spécimen dans la cellule libre d'air.

- Préparation des échantillons : La mise en place de l'échantillon dans la cellule, se fait après l'opération de compactage à l'optimum Proctor. L'essai de perméabilité sera effectué sur le même moule.

## d)- Résultats des essais de perméabilité

Dans tous les essais de perméabilité, les échantillons ont été préalablement saturés, et les résultats ont été récoltés après une stabilisation du coefficient de perméabilité de chaque essai. La durée de stabilisation dépasse une semaine. Pour la reproductibilité des essais, nous avons réalisé, pour chaque concentration en bentonite, deux échantillons avec plus d'une vingtaine de lectures en précisant la date, l'heure et la température.

La perméabilité doit en revanche être ramenée à une température de référence, souvent 20°C. Pour le pH il est presque toujours dans l'intervalle de 6.5 et 9.

Les résultats des essais de perméabilité sont résumés dans le tableau 4.11.

Tab. 4.11: Résultats des essais de perméabilité

Pourcentage en bentonite	Echantillon (1) k (m/s)	Echantillon (2) k (m/s)
0 %	8.02 E-5	7.93 E-5
4 %	5.20 E-5	5.20 E-5
6 %	7.80 E-7	1.72 E-6
8 %	1.72 E-9	8.2 E-10

La figure.4.19, donne l'évolution du coefficient de perméabilité en fonction des concentrations de la bentonite.

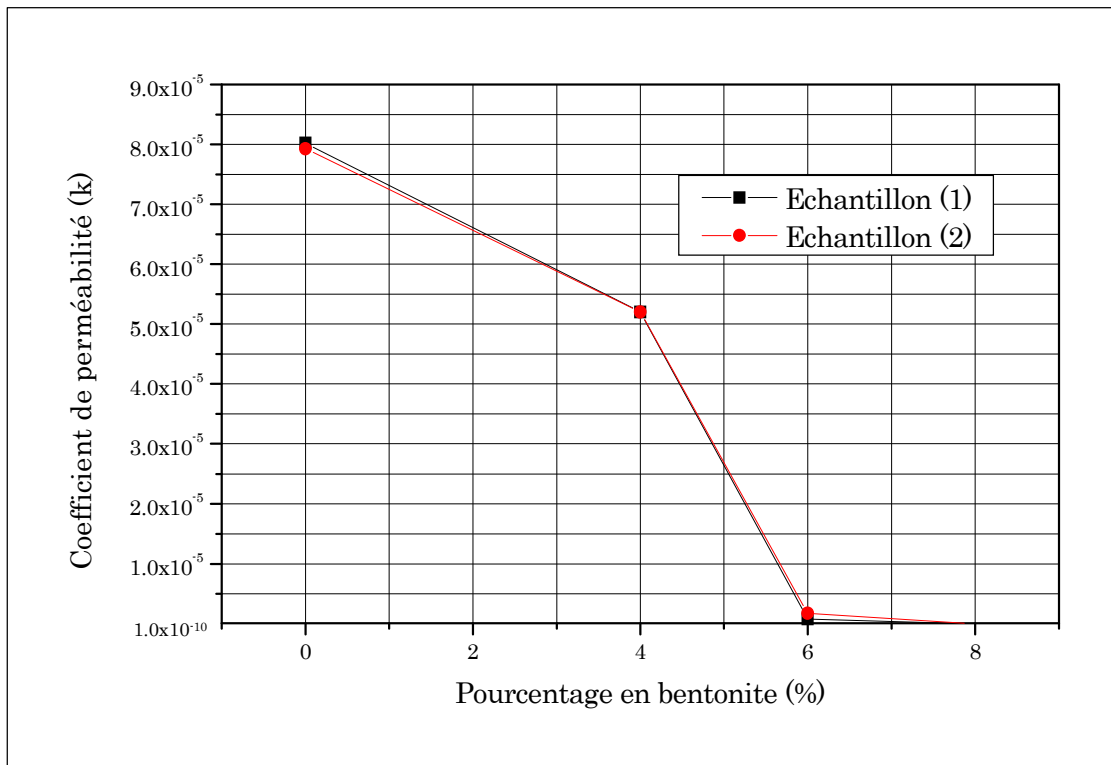


Fig. 4.19 : Evolution de k en fonction de concentration en bentonite

#### 4. ESSAI D'INFILTRATION

Il faut signaler ici qu'une analyse physico-chimique, de l'eau utilisée dans ce travail, a été réalisée avant infiltration.

##### 4.1. Préparation de l'échantillon

En utilisant le Perméamètre à charge variable, l'essai d'infiltration a été effectué sur un échantillon qui se compose de mélange compacté de 92% du sable et de 8% de la bentonite. Le coefficient de perméabilité de cet échantillon est de  $8.2 \cdot 10^{-10}$  m/s, présente la valeur maximale des coefficients de perméabilité.

##### 4.2. Mise en marche de l'essai

Les essais ont été faits comme suite :

- Sur le même échantillon et après l'ouverture de cellule (Photo. 4.10), nous mettons une quantité de 10 cl de polluant sur l'échantillon.
- Après fermeture de cellule on laisse l'eau s'infiltrer dans l'échantillon.
- La quantité d'eau récupérée après infiltration, sera mise en bouteille plastique fermé.

- Une fois la quantité d'eau polluée est suffisante, des analyses physico-chimiques seront réalisées.

Il faut noter ici que, pour avoir cette quantité, la durée d'attente dépasse généralement un mois.



Photo.4.10 : Mise en marche de l'essai d'infiltration.

#### 4.3. Résultats des analyses

Les analyses physico-chimiques, avant et après infiltration, ont été faites au niveau du laboratoire de l'Agence National des Ressources Hydrauliques (ANRH) à Alger.

a)- Composition physico-chimique de l'eau avant infiltration : Les résultats des analyses (Tab.4.12) confirment que cette eau répond aux normes de potabilité physico-chimique, sous réserve d'une analyse bactériologique.

b)- Composition physico-chimique de l'eau après infiltration : Par la présence des teneurs très élevées en ammonium et en matière organique, les résultats obtenus confirme que cette eau polluée est de très mauvaise qualité et impropre à la consommation (Tab.4.13).

Tab. 4.12 : Résultats des analyses chimiques de l'eau avant infiltration.

Paramètres physico-chimiques et minéralisation globale	résultats	Valeur maximale admissible	Paramètres de pollution	résultats	Valeur maximale admissible
pH	7,33	6.5<PH<9	Ammonium NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)	0,05	0,5
Conductivité (ms/cm)	0,98	2,80	Nitrite NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	0,00	0,10
Résidus sec à 110°	681	2000	Nitrate NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	12,83	50,00
Calcium Ca <sup>++</sup> (mg/l)	97	75 - 200	O.Phosphates PO <sub>4</sub> <sup>---</sup> (mg/l)	0,00	0,50
Magnésium Mg <sup>++</sup> (mg/l)	26	150,00	Fluorure F <sup>-</sup> (mg/l)	0,47	0,8 – 2
Sodium Na <sup>+</sup> (mg/l)	74,2	200,00	Matières Organiques (mg/l)	3,00	3,5
Potassium K <sup>+</sup> (mg/l)	1,06	20,00	-	-	-
Chlorure Cl <sup>-</sup> (mg/l)	142	200 – 500	-	-	-
Sulfate SO <sub>4</sub> <sup>--</sup> (mg/l)	116	200 – 400	-	-	-

Tab.4.13 : Résultats des analyses chimiques de l'eau après infiltration.

Paramètres physico-chimiques et minéralisation globale	résultats	Valeur maximale admissible	Paramètres de pollution	résultats	Valeur maximale admissible
pH	8,42	6.5<PH<9	Ammonium NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)	5,66	0,5
Conductivité (ms/cm)	0,00	2,80	Nitrite NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	0,00	0,10
Calcium Ca <sup>++</sup> (mg/l)	26	75 – 200	Nitrate NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	0,00	50,00
Magnésium Mg <sup>++</sup> (mg/l)	5	150,00	O.Phosphates PO <sub>4</sub> <sup>---</sup> (mg/l)	0,30	0,50
Sodium Na <sup>+</sup> (mg/l)	407,8	200,00	Fluorure F <sup>-</sup> (mg/l)	-	0,8 – 2
Potassium K <sup>+</sup> (mg/l)	3,70	20,00	Matières organiques (mg/l)	51,00	3,5
Chlorure Cl <sup>-</sup> (mg/l)	250	200 – 500	-	-	-
Sulfate SO <sub>4</sub> <sup>--</sup> (mg/l)	335	200 - 400	-	-	-

Discussion :

En fonction des normes de perméabilité demandées ( $k < 10^{-9}$  m/s) pour les barrières étanches des enfouissements techniques, nous constatons que les 8 % de la bentonite mélangées au sable utilisé sont suffisantes.

Mais, sur le plan environnemental, les résultats d'infiltration montrent les effets néfastes de la présence de la boue des pressings dans les décharges de classe 1. Cela implique que les boues des pressings, ne doit pas être rejeté dans les enfouissements techniques avec les ordures ménagères.

# *Conclusion Générale*

## **CONCLUSION GENERALE**

L'étude réalisée dans le cadre de ce mémoire, a comporté deux parties, l'une bibliographique dans laquelle nous avons identifié les déchets et leur gestion, l'autre expérimentale permettant de caractériser les effets d'infiltration d'un polluant industriel.

De l'analyse bibliographique, nous avons montré l'existence de plusieurs types de déchets qui demandent un traitement spécifique visant essentiellement les déchets industriels et tout particulièrement les boues des pressings qui résultent de l'industrie du nettoyage à sec. La gestion de ces boues dans différents pays occidentaux est bien avancée et bien réglementée. Les pressings sont soumis à de nombreuses exigences réglementaires et financières (Clean Air Act, COV 1999/13/CE, Environnement Canada, etc.), de telle sorte qu'elles imposent la diminution de la concentration en perchloroéthylène et interdisent même l'installation de nouveaux commerces de nettoyage à sec dans les zones résidentielles. Aussi, cette réglementation tend à promouvoir la valorisation de ces déchets par récupération ou régénération. Elle prévoit également les obligations en matières d'étiquetage, d'emballage et de contrôle de flux. Elle préconise enfin, un non mélange à la source, notamment avec des déchets non dangereux.

En Algérie, malgré l'existence d'une Stratégie Nationale Environnementale (SNE) qui implique le règlement du cadre législatif de la gestion des déchets, la question des boues des pressings y est omise.

De l'analyse expérimentale, nous avons montré et confirmé l'intérêt pratique du compactage et de l'ajout de la bentonite à la réduction de la perméabilité des sols. Nous avons également montré, à partir de l'essai d'infiltration, la nocivité de la présence des boues des pressings dans les décharges d'ordures ménagères.

Aussi, nous achevons notre travail par dire que les autorités algériennes doivent réglementer l'activité des pressings par la mise en place d'un cadre législatif et réglementaire et en faire des actions d'information, de sensibilisation et de vulgarisation.

# *Références Bibliographiques*

---

## **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

Agence de l'eau Loire-Bretagne.: Collecte et traitement des déchets dangereux pour l'eau. Guide technique. Janvier 2006. France. pp.1-44.

Ambassade de France en Algérie. : Le marché de l'environnement en Algérie. Missions économiques. Fiche de synthèse. Novembre 2005. pp.1-2.

ADEME. : Identification et gestion des sites pollués. Guide méthodologique, ADEME Edition. Paris 2005. pp.32-36.

ALCIMED. : Analyse des marchés potentiels des agro-solvants. Paris. France. Février 2002. pp.1-82.

Boukerche A. : Utilisation de la bentonite pour l'étanchement des sites de décharges. Mémoire de magister. Faculté de génie civil. USTHB. Algérie, 2007. pp.3-21.

Buzzi O.L. : Hydromécanique du contact entre Géomatériaux. Thèse de Doctorat, Université Grenoble I, France, 2004. pp. 29-40.

Bassin Rhone-Méditerranée-Corse. : Pollution Toxique et Ecotoxicologie. Guide technique N°7. France. Novembre 2002. pp.71-72.

BRGM. : Remise en état de sites d'usines d'incinération d'ordures ménagères. Guide à l'usage des opérateurs techniques. BRGM/RP-53373-FR. documents complémentaire 3 et4 Octobre 2004. France.

BRGM. : Guide méthodologique pour l'analyse des sols pollués. Documents du BRGM, N° 298, France, 2001. pp. 1-27.

BRGM. : Guide sur le comportement des polluants dans les sols et les nappes. Documents du BRGM, N° 300, France, 2001. pp.26-33.

Chelghoum N. : Eléments de base en mécanique des sols. Publication de l'Université Badji Mokhtar, Annaba. Algérie, 2006. pp.91-93.

Chambre de commerce de Paris. : Guide de bonne pratique de la gestion des déchets dangereux. Paris. France, Septembre 2006. p.19.

Cabinet d'étude environnement. : Schéma directeur de collecte, transport et élimination des déchets des cinq communes de la daïra de MAGRA. BBA. Algérie, 2004. pp.1-10.

CNRS. : Science et Décision. Unité mixte de service n°2293. Centre National de la Recherche Scientifique. Université d'Evry. France, Février 2003. p.2.

CNIID. : Un danger potentiel près de chez vous. Centre national d'information indépendante sur les déchets. Dossier de synthèse. Paris. France, 2005. pp. 1-4.

Cazaux D. : Mesure et contrôle in situ de la perméabilité des matériaux utilisés dans les dispositifs d'étanchéité pour la protection de l'environnement état de l'art et de développement. Thèse de doctorat, INSA de Lyon, France, 1998. p.337.

Costet J. & Sanglerat G. : Cours des mécaniques des sols. Tome 1, 3ème édition, Ed Dunod. France, 1981. p. 285.

Debieche M. : Imperméabilisation d'un matériau pulvérulent par ajout de bentonite. Mémoire de magister. Faculté de génie civil. USTHB. Alger. Algérie, 2007. pp.72-97.

Dutheil C. : Dépollution des sols par extraction sous pression réduite. Thèse de Doctorat, INSA, Lyon. France, 2003. pp.8-29.

Durville J.L & Pothera P. : Géologie. Rev. Tech. « Technique de l'ingénieur ». C 204, Traité construction. France, 1997. pp. 1-7.

Environnement Canada. : Rapport sur les options stratégiques. Règlement sur le Tétrachloroéthylène. 1996. pp. 1-24.

GTZ. : Manuel d'information sur la gestion et l'élimination des déchets solides urbains. MATE, Ed par la GTZ Coopération Technique Allemande PN : 2000.2214.5-001.00, 240p, Algérie, 2003.

Gaidi L. : Transfert par infiltration de l'eau et du soluté dans les sols non saturés : Utilisation de la méthode TDR (Time Domain Reflectometry). Thèse de doctorat, de l'Institut National des Sciences Appliquées. Laboratoire URGC-Géotechnique de l'INSA de Lyon, Lyon (France), 2002. p. 262.

Gouvernement du Canada. : Progrès en matière de prévention de la pollution 1998-1999. Canada, 1999. pp. 7-9.

Habib P. : « Pédologie »: génie géotechnique –Application de la mécanique des sols et des roches, Ed. Ellipes, Paris (France), 1997, p. 222.

INERIS. : Note sur les produits de substitution du perchloroéthylène dans les installations du nettoyage à sec. Rapport d'étude N° ERS-05 n°9. France, Février 2005. p.12.

Jules H. : Livre blanc du Chlore (les solvants). BelgoChlor c/o Fedichen. Bruxelles, Novembre 2004. pp. 1-5.

JORADP. : Loi n° 01- 19 du 27 Ramadhan 1422, correspondant au 12 décembre 2001, relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets. Journal Officiel de la République Algérienne. 40<sup>ème</sup> année. N°77. Mardi 15 Décembre 2001. pp.7-15.

JORADP. : Décret n° 84-378, du 15 décembre 1984 fixant les conditions de nettoyage, d'enlèvement et du traitement des déchets solides urbains. Journal Officiel de la République Algérienne. 23<sup>ème</sup> année. –N°66. Dimanche 16 décembre 1984. pp.1458-1463.

JORADP. : Loi n° 83-03 du 5 février 1983, relative à la protection de l'environnement. Journal Officiel de la République Algérienne. 22<sup>ème</sup> année. – N°6. Mardi 8 février 1983. pp.250-264.

MATE. : Guide de conception des (CET). Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement. Algérie, Septembre 2005. pp.1-13.

MATE. : Rapport sur l'état et l'avenir de l'environnement 2003. Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement. Algérie, 2003. pp. 207-220.

METAP. : Projet régional de gestion des déchets solides dans les pays du mashreq et maghreb. Rapport du pays - Algérie (final). Mediterranean Environmental Technical Assistance Programme. The World Bank. Janvier 2004. pp.1-7.

ORICA. : Perchloroéthylène production process. Orica Limited, ACN 004 145 868. January 1999. pp.1-4.

Olson R.E. & Daniel .D.E. : Measurement of the hydraulic conductivity of fine-grained soils, Permeability and Groundwater Contaminant Transport. ASTM STP 746. 1981. pp. 18-64.

Philipponnat G. & Hubert B. : Fondations et ouvrages en terre, troisième tirage, Ed. Eyrolles. 2002. p.548.

RECORD-ADIT. : Bilan de la gestion des déchets industriels en europe. Objectif de l'étude. Novembre 2003. p.1.

RECORD-ADIT.: Bilan de la gestion des déchets industriels en France. Novembre 2003. pp.1-40.

Skempton A.W. : The colloid activity of clay. Proc. 3rd conf. Soil Mechanics and Foundations. Eng., vol I, Suisse, 1953.

Van Impe W.F. & Bouazza A. : Barrières d'étanchéité dans les sites de décharges: développements récents, Revue française de géotechnique, N° 74, 1er trim. 1996. pp.3-17

Zebdji M. : Gestion des déchets solides dans le Gouvernorat du Grand Alger, Séminaire international sur la gestion intégrée des déchets solides. Actes du séminaire. Organisé par les services de l'environnement du Ministère des Travaux Publics, de l'aménagement, de l'environnement et de l'Urbanisme, en collaboration avec la GTZ. Ed. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Alger. 2000. pp.37-42

Sites Web:

- [1] – <http://www.pays-ancenis.com/index.php?id=3925>
- [2] - <http://fr.wikipedia.org/wiki/perchloro%C3%A9thy1%C3%A8ne>
- [3] - <http://www.2ie-edu.org/cours/geotechnique/permeabilite.html>
- [4] - [http://www.veolia-proprete.com/pdf/GALILEO4\\_page18a21\\_FR.pdf](http://www.veolia-proprete.com/pdf/GALILEO4_page18a21_FR.pdf), [Le stockage viable des déchets : ça existe, FOCUS.PP : 19-21](#)
- [5] – <http://www.cdphe.state.co.us/ap/p2/dryclean.html>
- [6] – <http://www.epa.state.oh.us/opp/dry.html>
- [7] – <http://www.ec.qc.ca/nopp/DOCS/consult/CBz/fr/p5.cfm>
- [8] – <http://www.crm-basse-normandie.fr/et/et35/reportage.html>
- [9] – <http://www.ec.gc.ca/toxics/FR/index.cfm>
- [10] – <http://perc.ca/PEN/1995-06/jack.html>
- [11] – <http://www.defra.gov.uk/environment/airquality/lapc/pgnotes/pdf/pg6-46.pdf>
- [12]- [http://mrw.wallonie.be/dgrne/rapports/owd/barrieres\\_argileuses/marruel.html](http://mrw.wallonie.be/dgrne/rapports/owd/barrieres_argileuses/marruel.html).