

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES



Faculté des Sciences de l'Ingénieur  
Laboratoire de Recherche de Technologie Alimentaire (LRTA)

**THESE DE DOCTORAT**

Spécialité : Génie de L'Environnement

Option : Traitement des Effluents industriels

**Etude des impacts environnementaux des  
débris de démolition de la région de Boumerdes**

Réalisée par: Benmenni Mohamed Said

**Jury :**

|                   |                   |            |
|-------------------|-------------------|------------|
| KETTAB Ahmed      | Professeur (ENP)  | Président  |
| BENRACHEDI Khaled | Professeur (UMBB) | Rapporteur |
| LOUHAB Krim       | Professeur (UMBB) | Examineur  |
| SELATNIA Ammar    | Professeur (ENP)  | Examineur  |
| LOUNICI Hakim     | Professeur (UTO)  | Examineur  |

Année universitaire : 2010/2011

## **REMERCIEMENTS**

*Je tiens à remercier en premier lieu Dieu le Tout Puissant de m'avoir donné courage et santé pour achever ce travail.*

*Un grand merci à Monsieur Benrachedi Khaled; Professeur à l'UMBB, d'avoir accepté de diriger ce travail avec compétence et dévouement, qu'il trouve ici l'expression de ma profonde gratitude.*

*Que mes vifs remerciements aillent à M<sup>r</sup> KETTAB Ahmed ; Professeur à l'ENP, qui me fait l'honneur de présider ce travail, à M<sup>r</sup> LOUHAB Krim; Professeur à l'université UMBB, à M<sup>r</sup> SELATNIA Ammar; Professeur à l'ENP, à M<sup>r</sup> LOUNICI Hakim; Professeur à l'Université de Tizi Ouzou pour avoir accepté d'examiner cette thèse.*

*Ce travail a été réalisé au Laboratoire de Recherche de Technologie Alimentaire de l'Université M'hamed Bougara de Boumerdes (LRTA), que tous ses membres trouvent ici l'expression de ma gratitude pour leur aide.*

*Un grand merci au personnel du Centre de Recherche et Développement (CRD Boumerdes) ayant contribué aux analyses et caractérisations et tout particulièrement M<sup>me</sup> Bendou, M<sup>me</sup> Oudjedi, M<sup>r</sup> Hammouche et M<sup>lle</sup> Benzine pour leur aide précieuse et pour avoir accueilli au sein de son laboratoire notre équipe où la majeure partie de notre travail de caractérisation des lixiviats, d'analyse des eaux et du de sol et a été réalisée.*

*Un grand merci au personnel de l'Office de Recherche Minière (ORGM Boumerdes) ayant contribué à la réalisation des essais de caractérisation et de résistance mécanique des débris de démolition.*

*Je tiens également à remercier tous mes (anciens) élèves, Abed F., Bendifallah H., Hacheche S., Hassouna F., Makhlouf A., Mechid M., Mellah L.M., Merzouk R., pour leur dévouement et leur intérêt.*

## SOMMAIRE

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Introduction générale</b>  | <b>13</b> |
| <b>Chapitre I : Généralités sur les déchets</b>   | <b>17</b> |
| I.1 Définitions   | 18        |
| I.2 Classification des déchets  | 18        |
| I.3 Les déchets urbains   | 19        |
| I.4 Déchets consécutifs à une catastrophe   | 21        |
| I.5 Effets des métaux lourds sur l'homme et impacts sur l'environnement   | 23        |
| I.6 Effets des hydrocarbures sur l'homme et impacts sur l'environnement   | 25        |
| I.7 Intérêts des déchets solides  | 29        |
| I.8 Codification des déchets  | 30        |
| I.9 Traitement des sites pollués  | 31        |
| <b>Chapitre II- Présentation des sites étudiés</b>  |           |
| II.1 Situations géographiques et administratives des sites  | 38        |
| II.2 Le cadre géologique et la tectonique   | 41        |
| II.3 Le réseau hydrographique   | 44        |
| II.4 Le climat  | 44        |
| <b>Chapitre III : Partie expérimentale</b>  | <b>45</b> |
| Partie A : Matériels et méthodes  | 46        |
| III.A.1 Matériels et méthodes pour la caractérisation des débris de démolition                                      | 47        |
| III.A.2 Matériels et méthodes pour la caractérisation des lixiviats et des eaux de surface                          | 48        |
| III.A.2.1 Echantillonnage   | 50        |
| III.A.2.2 Conditions requises pour la conservation des échantillons   | 51        |
| III.A.2.3 Méthodologie des analyses effectuées  | 52        |
| III.A.3- Matériels et méthodes pour la caractérisation du sol et des eaux souterraines du site de Tidjelabine       | 52        |
| III.A.4- Matériels et méthodes pour la caractérisation des huiles usagées moteurs (principale source de pollution). | 56        |

|  |           |
|--|-----------|
| III.A.5- Matériels et méthodes pour le traitement des huiles usagées moteurs et industrielles (élimination de la source de pollution)      | 59        |
| III.A.5.1 Traitement à la terre activée des huiles usées   | 59        |
| III.A.5.2 Traitement aux agrégats de débris de démolition des huiles usées   | 60        |
| III.A.6- Matériels et méthodes pour le recyclage des terres et des débris pollués  | 61        |
| III.A.6.1 matériels et méthodes pour la caractérisation des terres polluées  | 61        |
| III.A.6.2 Préparation des échantillons de mélange de la boue usée neutralisée et l'argile servant à la production de briques et tuiles.    | 64        |
| <b>Partie B : Résultats et interprétation</b>  | <b>65</b> |
| III.B.1 Analyse des données climatiques  | 66        |
| III.B.1.1 Pluviométrie   | 66        |
| III.B.1.2 Températures   | 68        |
| III.B.1 Résultats analyses et essais mécaniques des débris   | 74        |
| III.B.2 Etat et composition des décharges étudiées   | 69        |
| III.B.2.1 Etat des décharges   | 69        |
| III.B.2.2 Nature et composition des déchets  | 70        |
| III.B.2.3 Estimation du massif des déchets   | 71        |
| III.B.3 Analyses physiques et essais mécaniques des débris et interprétation des résultats   | 71        |
| III.B.3.1 Caractéristiques physiques des granulats   | 71        |
| III.B.3.2 Caractéristiques mécaniques des granulats  | 73        |
| III.B.4 Analyses lixiviats et eaux de surface des sites de Boudouaou, Corso Figuier et Tidjelabine et interprétation des résultats.        | 76        |
| III.B.5 Analyse de l'eau de surface (puisards) Tidjelabine et interprétation des résultats   | 78        |
| III.B.6 Analyse des eaux souterraines et interprétation des résultats  | 80        |
| III.B.7 Analyse du sol et interprétation des résultats   | 82        |
| III.B.8 Analyse de l'huile usagée et interprétation des résultats  | 86        |
| III.B.9 Analyse de l'huile usagée traitée et interprétation des résultats  | 92        |
| III.B.10 Essais de résistance mécanique du recyclage des terres usées et polluées dans les produits rouges et interprétation des résultats | 95        |

|  |            |
|--|------------|
| Chapitre IV: Méthodes de traitement et de recyclage préconisés pour la réhabilitation du site de Tidjelabine | 97         |
| Chapitre V: Conclusion générale  | 101        |
| <b>Références bibliographiques</b>   | <b>107</b> |
| <b>ANNEXEA : Méthodes d'analyses et d'essais des débris et résultats</b>                                     |            |
| <b>ANNEXE B: Méthodes d'analyses eau et sol</b>  |            |
| <b>ANNEXE C : Protocole de l'analyse par GC/MS</b>   |            |

## LISTE DES ABREVIATIONS

|                |  |
|----------------|--|
| Abs            | Absorption   |
| ADEME          | Agence Française de l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie |
| ASTDR          | Agence for Toxic Substances and Disease Registry                   |
| BTEX           | Benzene, Toluene, Ethylbenzene, Xylene                             |
| BTP            | Bâtiments Travaux Publics  |
| C&D            | Construction and Demolition  |
| CET            | Centre d'Enfouissement Technique                                   |
| CETIM          | Centre d'Etudes des Textiles et de l'Industrie des Matériaux       |
| CRD            | Centre de Recherche et Développement de la Sonatrach               |
| DBO            | Demande Biologique en Oxygène                                      |
| DCO            | Demande Chimique en Oxygène  |
| ES             | Equivalent Sable   |
| FWO            | Future World's Oil   |
| GCMS           | Gas Chromatography - Mass Spectrometry                             |
| HC             | Hydrocarbures  |
| HCP            | Hydrocarbures pétroliers   |
| LA             | Résistance à l'usure par fragmentation (Los Angeles)               |
| LNAPL          | Light Non-Aqueous Phase Liquids                                    |
| MATE           | Ministère de l'Aménagement du Territoire                           |
| MDV            | Résistance à l'usure par frottement (Micro Deval)                  |
| MES            | Matières En Suspension   |
| MF             | Module de Finesse  |
| MO             | Matières Organiques  |
| M <sub>s</sub> | Masse volumique absolue  |

|                |  |
|----------------|--|
| NIST           | National Institute of Standards and Technology                   |
| ORGM           | Office des Recherches Géologiques et Minières                    |
| PCB            | Polychlorobiphenyls  |
| R <sub>c</sub> | Résistance à la compression                                      |
| R <sub>f</sub> | Résistance à la flexion  |
| RN5            | Route Nationale N°5  |
| TAN            | Total Acid Number (Acidité Totale)                               |
| TCE            | Trichloroethylene  |
| VI             | Indice de Viscosité  |
| W.H.O<br>(OMS) | World Health Organization<br>(Organisation Mondiale de la Santé) |
| ZNS            | Zone Non Saturée   |
| ZS             | Zone Saturée   |

## LISTE DES FIGURES

|  |     |
|--|-----|
| Figure 1 : Schématisation des principales catégories de traitement des sols                                      | 31  |
| Figure 2: Situation et limites territoriales des communes d'étude  | 39  |
| Figure 3: Principaux ensembles topographiques des Communes du centre de la Wilaya de Boumerdes                   | 40  |
| Figure 4 : Esquisse géologique de la région centre de la wilaya de Boumerdes au 1/500.000ème                     | 43  |
| Figure 5 : type d'implantation des décharges sur terrain en dépression.  | 49  |
| Figure 6 : localisation des différents points de prélèvement d'eau (E <sub>i</sub> ) et de sol (S <sub>i</sub> ) | 52  |
| Figure 7 : Prélèvement et conditionnement des échantillons de sol  | 53  |
| Figure 8 : Dispositif expérimental   | 59  |
| Figure 9 : Précipitations moyennes mensuelles.   | 66  |
| Figure 10 : Les variations saisonnières des précipitations.  | 67  |
| Figure 11 : Diagramme des températures moyennes à la station de Thénia   | 68  |
| Figure 12 : Esquisse du panache de pollution des eaux souterraines par les hydrocarbures.                        | 85  |
| Figure 13: Pourcentage en masse d'huile usagée dans les différentes couches du sol et dans l'atmosphère          | 88  |
| Figure 14: chromatogramme de l'analyse des vapeurs d'huile usée par GCMS.  | 90  |
| Figure 15 : Carte des réserves d'eau souterraines nationales   | 105 |



**LISTE DES TABLEAUX**

|  |    |
|--|----|
| Tableau 1 : Exemples de déchets générés par une catastrophe  | 22 |
| Tableau 2 : Effets avérés de quelques métaux lourds sur l’homme  | 25 |
| Tableau 3 : Produits dérivés des hydrocarbures recensés dans la décharge de Tidjelabine  | 27 |
| Tableau 4 : Toxicité de catégories d’HC les plus répandus  | 28 |
| Tableau 5: Principaux produits polluants inorganiques et organométalliques   | 49 |
| Tableau 6 : Sources potentielles de ces quatre métaux cibles au niveau des sites étudiés   | 50 |
| Tableau 7: Conditionnement pour l’analyse des éléments métalliques toxiques et indésirables  | 51 |
| Tableau 8: Conditionnement pour l’analyse des indicateurs de pollution organique   | 51 |
| Tableau 9 : Description des points de prélèvements des échantillons d’eau et de sol.   | 53 |
| Tableau 10: Analyses effectuées sur les échantillons d’eau et de sol.  | 54 |
| Tableau 11 : Caractéristiques des huiles usagées moteurs collectées à travers différents régions du monde                                    | 55 |
| Tableau 12 : Composition chimique de la bentonite utilisée.  | 59 |
| Tableau 13 : Masse des différents débris prélevés sur le site de Tidjelabine.  | 60 |
| Tableau 14 : Masse et pourcentage des éléments composant les lits d’agrégats.  | 60 |
| Tableau 15 : Analyses de l’huile traitée à la bentonite  | 62 |
| Tableau 16: Teneurs en métaux lourds cibles dans l’huile avant et après traitement et dans les sous produits traitement acide-terre.         | 63 |
| Tableau 17 : Composition chimique des argiles grise et jaune du gisement de Benrahmoune.   | 63 |
| Tableau 18: Composition minéralogique des argiles grise et jaune du gisement de Benrahmoune.   | 63 |
| Tableau 19 : Analyse granulométrique des argiles grise et jaune du gisement de Benrahmoune.  | 63 |
| Tableau 20 : Evolution du pH d’un échantillon de 100 grammes de boue acide par rapport à la quantité de NaOH ajoutée jusqu’à neutralisation. | 64 |
| Tableau 21: Précipitations moyennes mensuelles (1975-2005)   | 66 |

|   |    |
|---|----|
| Tableau 22 : Pluviosité moyenne saisonnière en mm   | 66 |
| Tableau 23: Variation des températures (station de Thénia)  | 68 |
| Tableau 24 : volume de déchets de démolition par site dans la Wilaya de Boumerdes.  | 69 |
| Tableau 25: masse approximative des types de déchets les plus répandus dans les quatre décharges.   | 70 |
| Tableau 26 : Estimation en massique des déchets autres que les débris de démolition enfouis dans les trois décharges mixtes encore ouvertes                           | 71 |
| Tableau 27 : Valeurs moyennes de la composition, masse volumique, porosité et absorption des échantillons prélevés sur les sites de Figuier et Tidjelabine.           | 72 |
| Tableau 28 : composition minéralogique moyenne des échantillons de Figuier et Tidjelabine   | 72 |
| Tableau 29 : Valeurs moyennes des caractéristiques mécaniques pour le béton, le parpaing et la brique des échantillons prélevés sur les sites Figuier et Tidjelabine. | 73 |
| Tableau 30: Valeurs moyennes des résistances à l'usure Los Angeles et Micro Deval des différentes fractions de béton et parpaing des deux sites.                      | 74 |
| Tableau 31 : Friabilité, module de finesse et équivalent de sable : sables de béton et de parpaing des sites de Figuier et Tidjelabine.                               | 75 |
| Tableau 32 : Résultat de l'analyse granulométrique des sables par catégorie de débris.  | 75 |
| Tableau 33 : Valeurs moyennes des résultats des analyses sur les lixiviats des sites de Boudouaou Corso Figuier et Tidjelabine.                                       | 76 |
| Tableau 34 : Valeurs moyennes des résultats des analyses de présence de métaux lourds dans les eaux de puisards du site de Tidjelabine.                               | 79 |
| Tableau 35 : Valeur moyenne des HC totaux dans les eaux de puits du site de Tidjelabine.  | 79 |
| Tableau 36: Valeurs moyennes des résultats des analyses physico-chimiques des eaux souterraines de Tidjelabine  | 80 |
| Tableau 37: Résultats des analyses d'Indicateurs de pollution des échantillons d'eau.   | 80 |
| Tableau 38 : Résultats des analyses des métaux lourds dans les échantillons d'eaux.   | 80 |
| Tableau 39 : Résultat des analyses des hydrocarbures totaux dans échantillons d'eau.  | 80 |
| Tableau 40 : Valeurs moyennes des résultats obtenus des analyses physiques sur les échantillons de sol.   | 82 |
| Tableau 41 : Valeurs moyennes des résultats des concentrations de métaux lourds dans les échantillons de sol.   | 82 |

|   |    |
|---|----|
| Tableau 42 : Valeurs moyennes des résultats des concentrations des hydrocarbures totaux dans les échantillons de sol.   | 82 |
| Tableau 43 : Comparaison des concentrations des métaux lourds et HC totaux eau/sol aux points de prélèvements d'échantillons d'eau et de sol.                             | 85 |
| Tableau 44 : Caractéristiques essentielles et distillation de l'échantillon d'huiles usées.   | 87 |
| Tableau 45 : Pourcentage en masse des familles composant les vapeurs des huiles usées.  | 88 |
| Tableau 46 : Valeurs moyennes des principaux contaminants de l'huile usée et leurs origines.  | 91 |
| Tableau 47: Caractéristiques essentielles de l'huile usée traitée suivant les deux voies.   | 93 |
| Tableau 48: Teneurs en métaux lourds de l'huile après traitement suivant les deux voies.  | 93 |
| Tableau 49 : valeurs moyennes des résultats obtenus des propriétés et caractéristiques de séchage et de cuisson de quatre éprouvettes aux différent taux de terres usées. | 95 |

## ملخص

تتعلق هذه الدراسة بالتلوث الناتج عن النفايات المختلطة و المؤقتة، و هي ليست محضرة لاستقبال الحطام و الانقاض الناتجة عن تنظيف المراكز الحضرية الكبرى بعد حدوث كارثة طبيعية مثل الزلازل المدمرة، وأجريت الدراسة على ثلاث مراحل من فبراير 2006 إلى جوان 2010، وشملت الأعمال المنجزة خلال المرحلة الأولى الدراسات التاريخية ، الوثائقية، قابلية التأثير و التشخيص المقارن لآثارها على البيئة، لأربع مراكز قريه من مدينة بومرداس: بودواو، قورصو، الكرمة و تيجلابين، و تركز المرحلة الثانية على تدابير للتعامل مع واحدة من هذه المواقع ، و هي مدينة تيجلابين، بهدف الوصول إلى تحديد و اختيار طرق و تقنيات المعالجة التي يمكن التحكم فيها و تطبيقها بسرعة و متوفرة محليا، من بين كل طرق و تقنيات المعالجة. وتتألف المرحلة الأخيرة من تحديد البدائل المختلفة للعلاج ، وتحديد معايير الاختيار والتقنيات المتاحة لتصنيفها (أساليب لدعم اتخاذ القرارات لتحديد معايير متعددة) لاختيار البديل الأنسب كأساس للتخطيط لنموذج الإدارة الذي تم اختياره. إن مفرغة تيجلابين هي مختلطة (حطام البناء، النفايات الصناعية و الحضرية، و النفايات المنزلية) ، ولد التلوث المتعدد الأوجه خطرا حقيقيا على النظام الإيكولوجي ، الأمر الذي يتطلب معالجة سريعة لإعادة تأهيل هذا الموقع. إن النتائج المتحصل عليها يمكن أن تستخدم في المستقبل كنموذج لمعالجة مفرغ أخرى مماثلة كثيرة غير خاضعة للرقابة و موزعة بطريقة عشوائية تماما في جميع أنحاء البلاد.

كلمات مفتاحية : مفرغة مختلطة ، المغادن الثقيلة ، الارضبة معالجة ، المحروقات

## Résumé

Cette étude concerne les pollutions générées par les décharges mixtes et provisoires, donc non préparés pour la réception de débris de démolition et de détritiques issus du nettoyage de grands centres urbains à la suite d'une catastrophe naturelle, telle un tremblement de terre destructeur. L'étude s'est déroulée en trois phases successives de février 2006 à Juin 2010. Le travail réalisé lors de la première phase a consisté en études historiques, documentaires, de vulnérabilité, ainsi que le diagnostic comparatif des impacts sur l'environnement de quatre centres proches de la ville de Boumerdes à savoir Boudouaou, Corso, Figuier et Tidjelabine. La deuxième phase a porté sur l'étude approfondie du site de Tidjelabine en raison de la pollution multiforme rencontrée (bactériologique, par les métaux lourds et les hydrocarbures) des eaux souterraines et du sol; afin d'en déterminer les sources, l'étendue et la propagation de cette pollution. La troisième phase a porté sur les mesures de traitement de ce site, dans le but d'arriver à identifier et sélectionner parmi toutes les méthodes et techniques de traitement, celles qui peuvent être maîtrisables, facilement applicables et (surtout) localement disponibles. Cela a permis de sélectionner l'alternative la plus appropriée parmi toutes les autres en vue de la réhabilitation de ce site. La décharge de Tidjelabine étant de type mixte ouverte et non contrôlée, (débris de construction, déchets industriels et urbains, détritiques mangés..), la pollution générée présente une réelle menace sur l'écosystème, ce qui nécessite son traitement rapide. Cette démarche est proposée comme modèle pour le traitement de nombreuses autres décharges similaires réparties d'une manière tout à fait aléatoire à travers tout le territoire national.

*Mots clés : décharge mixte, métaux lourds, hydrocarbures, traitement du sol.*

## Abstract

The present study deals with impacts vis-à-vis the soil and underground water of construction and demolition debris buried in temporary landfills, following natural disasters such as devastating earth quakes. This study has been performed in three successive stages from February 2006 to June 2010. The first stage concerned documentary, historical, debris characterization and their comparative observable impacts of four landfills around the city of Boumerdes: Boudouaou, Corso, Figuier and Tidjelabine. That was in 2006/2007 as we performed physical and mechanical characterisation of the of the C&D debris buried in four sites including the Tidjelabine one in order to find out reuse possibilities of these debris as aggregates. At the same time, lixivates characterisation within the same sites indicated the presence of heavy metals (copper, cadmium, lead, zinc) and total hydrocarbons in the surface water of the Tidjelabine site. The second stage was dedicated to study of the Tidjelabine landfill which has been transformed by the local authorities to a mixed discharge including, in addition to the construction and demolition debris coming from the disposal of the solid wastes following May 23rd 2003 earthquake in the region, industrial wastes from the nearby industrial area and urban garbage from the Tidjelabine localities. That was in 2008/2009, as we achieved a detailed study of the pollution of the soil and underground water of the Tidjelabine site by target metals and hydrocarbons in order to identify the source and scope of the pollution, its spreading over time and polluted zone delimitation in view of its future rehabilitation. Final stage was dedicated to the testing of simple cost effective and locally available treatment techniques of the site. The Tidjelabine landfill is mixed (C&D debris, Industrial and urban wastes, household wastes...) and generates multiform pollution that represents a real threat on the ecosystem balance, thus necessitating its rapid treatment. This approach is proposed to serve as a model for the future treatment of numerous similar uncontrolled landfills randomly spread in the country.

*Key words : C & D mixed landfill, heavy metals, hydrocarbons, soil treatment.*

# Introduction Générale

En Algérie, toutes les décharges publiques créées après l'indépendance n'étaient pas réglementées, et ce n'est qu'en 1980 que les autorités avaient commencé à les désigner formellement. Le premier décret exécutif fixant les conditions d'enlèvement et de traitement des déchets solides a été promulgué en 1984. Cela n'a malheureusement pas empêché la prolifération de nombreuses décharges sauvages en raison de la multiplication et de la diversification considérables des sources de déchets solides (ménagers, urbains, industriels, hospitaliers...). La prise de décision pour l'implantation d'une décharge devrait se situer à trois niveaux :

- l'autorité localement compétente (Commune, Daira ou Wilaya) procède à la cession du terrain,
- le ministère de l'environnement apprécie l'impact du projet,
- le wali présente le projet si nécessaire (cas de grandes décharges).

Mais ce schéma n'est en fait que théorique à en juger des 48 projets de décharges publiques (une par Wilaya) inscrites au cours de l'année 2002 et dont la phase d'étude a été engagée par les collectivités locales. Théoriquement aucune de ces décharges ne pourrait être réalisée avant les conclusions de l'étude d'impact, laquelle a été réalisée par le Ministère de l'Environnement à travers les Inspections d'Environnement installées dans chaque Wilaya. La réalité est que nombre de ces décharges ont vu le jour sans tenir compte des recommandations des études d'impact. D'autres décharges sauvages de débris de démolition et de détritrus issus du nettoyage de grands centres urbains suite à des catastrophes naturelles tels les tremblements de terre destructeurs ont également été créées à la même période. Ainsi, pour la seule Wilaya de Boumerdes, et suite au séisme du 21 Mai 2003, ceux sont pas moins de 23 centres d'enfouissements des débris et déchets qui y ont été créés dans l'urgence sur des terrains agricoles. Bien que légalement autorisés, il n'en demeure pas moins qu'il n'y a eu ni étude d'impact ni préparation des sites, et sont donc sauvages. Pour compliquer davantage cette situation, certaines autorités locales, sous la pression des volumes de plus en plus grands de déchets urbains et industriels, avaient décidé de transformer ces sites d'enfouissement de débris C&D en décharges mixtes ouvertes non contrôlées dont les impacts négatifs sur l'environnement et la santé publique pourrait être dramatiques.

Par ailleurs, les décharges non contrôlées représentent une source de revenus pour de nombreux chiffonniers qui y recherchent tout ce qui peut être récupérable ou présentant une valeur marchande tels que les métaux. On y rencontre également des troupeaux de bêtes, leurs



propriétaires n'hésitant pas à les y faire paître sans se soucier des répercussions sur la santé du consommateur de cette viande (Grob K., Vass, M., Biedermann, M., Neukom, H.P., 2001) car la nourriture y est abondante et variée. En fait, les causes de pollutions et de dangers d'une décharge non contrôlée sont multiples:

- Pollution des eaux de surface par les détritiques portés par le vent et les lixiviations.
- Pollution de la nappe phréatique (eaux souterraines) par infiltration des lixiviations, les eaux de pluies qui ont traversé les déchets et se sont chargées bactériologiquement et chimiquement de substances minérales et organiques.
- Risques d'infection, de coupure, de toxicité, d'allergies, d'incendie, d'explosion... pour les enfants et chiffonniers qui fréquentent la décharge.
- Danger d'étouffement et d'ingestion de produits chimiques par les animaux.
- Pollution olfactive et visuelle pour les riverains et risques d'apparition de maladies contagieuses véhiculées par les animaux errants et les rongeurs (cas de la peste dans une localité d'Oran en 2003).

Plus de 3000 décharges non contrôlées, d'âges différents, dont 350 sont localisées au niveau des 40 plus grands centres urbains du pays, avaient été recensées à travers le pays par les services du Ministère de l'Aménagement du Territoire (MATE, février 2003).

Le présent travail qui s'appuie sur une démarche scientifique se veut également pragmatique dans le but d'aider au diagnostic de décharges non contrôlées en prenant comme exemple quatre décharges mixtes non contrôlées implantées à la périphérie de la ville de Boumerdes, à savoir Boudouaou, Corso, Figuier et Tidjelabine. Cela permettra de définir les mesures de traitement avant que la situation ne devienne ingérable car plus l'on attend, plus le risque de contamination (sol et eaux) sera grand, plus complexe sera le traitement et donc plus coûteux.

Notre démarche a consisté en études historiques, documentaires, de vulnérabilité ainsi que des impacts avérés sur l'environnement de ces quatre sites. Les résultats des indicateurs de pollution des eaux de surface ont indiqué la survenance d'une pollution multiforme plus accentuée sur le site de Tidjelabine par les coliformes, les métaux lourds et les hydrocarbures. Ce dernier site a ainsi fait l'objet d'une étude plus approfondie des eaux souterraines et du sol. La principale source de cette pollution a été identifiée comme étant des huiles usées et combustibles provenant des véhicules parqués sur les plateformes aménagées sur les débris de construction et réservées

au marché hebdomadaire de véhicules d'occasion. Dans le but de maîtriser cette source de pollution, nous avons réalisé une étude comparative de traitement des huiles usées sur de la terre activée (procédé classique) et sur des lits d'agrégats provenant des débris de démolition, en vue de produire un combustible d'appoint. De même que nous avons réalisé une étude de recyclage des boues acides issues du traitement précédent par incorporation dans l'argile servant à la fabrication des produits rouges au sein de la briqueterie « Bouzegza » de Boudouaou. Les techniques de traitement et de recyclage ainsi expérimentées sont facilement maîtrisables, applicables et localement disponibles.

# **CHAPITRE I**

## **Généralités sur les déchets et leurs impacts sur l'environnement et la santé humaine**

## **I.1 Définitions**

La notion de déchet est définie comme toute substance ou tout objet dont le détenteur se défait ou dont il a l'obligation ou l'intention de se défaire. La Loi N°01-19 du 12/12/2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets arrête (officiellement) les définitions des différents types de déchets comme suit :

### **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. »

### **Déchets ménagers et assimilés :**

«Tous déchets issus des ménages ainsi que les déchets similaires provenant des activités industrielles, commerciales, artisanales et autres qui, par leur nature et leur composition, sont assimilables aux déchets ménagers. »

### **Déchets encombrants :**

«Tous déchets issus des ménages qui en raison de leur caractère volumineux ne peuvent être collectés dans les mêmes conditions que les déchets ménagers et assimilés. »

### **Déchets spéciaux :**

«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 et les déchets inertes. »

### **Déchets spéciaux dangereux :**

«Tous déchets spéciaux qui, par leurs constituants ou par les caractéristiques des matières nocives qu'ils contiennent, sont susceptibles de nuire à la santé publique et/ou à l'environnement.»

### **Déchets d'activité de soins :**

«Tous déchets issus des activités de diagnostic, de suivi et de traitement préventif ou curatif, dans les domaines de la médecine humaine et vétérinaire.»

### **Déchets inertes :**

«Tous déchets provenant notamment de l'exploitation des carrières, des mines, des travaux de démolition, de construction ou de rénovation, qui ne subissent aucune modification physique, chimique ou biologique lors de leur mise en décharge, et qui ne sont pas contaminés par des substances dangereuses ou autres éléments générateurs de nuisances, susceptibles de nuire à la santé et/ou à l'environnement.»

## **I.2 Classification des déchets**

La classification des déchets d'après leur nature aboutit à trois catégories essentielles soit solides, soit liquides ou gazeux. Les déchets solides, objet de notre étude, sont regroupés dans cette classification en quatre grandes familles:

### **1.2.1-Les déchets inertes :**

Ils sont généralement constitués d'éléments minéraux stables ou inertes au sens de leur incompatibilité avec l'environnement et qui proviennent de certaines activités d'extraction minières ou de déblais de démolition (terre, gravats, sables, stériles, ...etc.)

### **1.2.2-Les déchets banals :**

Cette catégorie regroupe essentiellement des déchets constitués de papiers, plastique, cartons, bois produit par des activités industrielles ou commerciales et déchets ménagers

### **1.2.3- Les déchets spéciaux :**

Ils peuvent contenir des éléments polluants et sont spécifiquement issus de l'activité industrielle (boues de peintures ou d'hydroxyde métallique, cendres d'incinération...etc.). Certains déchets sont aussi dits spéciaux lorsque leur production importante sur un même site entraîne des effets préjudiciables pour le milieu naturel (mâchefers des centrales thermiques, phosphogypse, ainsi que certains déchets provenant des laboratoires universitaires et hospitaliers...etc.).

### **1.2.4-Les déchets dangereux :**

Ils sont issus de la famille des déchets spéciaux, ils contiennent des quantités de substances toxiques potentiellement plus importantes et présentent de ce fait beaucoup plus de risques pour le milieu naturel (poussières d'aciéries, rejets organiques complexes, bains de traitement de surface contenant soit du chrome, cyanure ou une forte acidité, les matériaux souillés par les P.C.B. , les déchets de C.F.C. et mercuriels.

Si l'on considère leurs effets sur l'environnement, ces déchets sont désignés comme :

- Des déchets inertes : Pouvant être différenciés suivant leur caractère plus ou moins encombrant, en débris plus ou moins volumineux jusqu'aux carcasses d'automobiles, chars, avions, bus,...
- Des déchets fermentescibles : Principalement constitués par la matière organique, animale ou végétale à différents stades de fermentation aérobies ou anaérobies.
- Des déchets toxiques : Poisons chimiques ou radioactifs qui sont générés soit par des industries, soit par des laboratoires ou tout simplement par des particuliers qui se débarrassent avec leurs ordures de certains résidus qui devraient être récupérés séparément (ex . : flacons de médicaments, seringues, piles et autres gadgets électroniques ...etc.)

Quant à l'origine de déchets solides, elle peut être soit industrielle, soit urbaine. Parmi les déchets industriels, on retrouve les déchets inertes provenant de chantiers de construction, (gravats, débris, ...etc.), les déchets des industries agricoles et alimentaires, mais également des déchets pouvant contenir des substances toxiques par des industries variables (ex. : ateliers artisanaux, galvanoplastie, chromage, miroiterie,... etc.).

### **I.3 Les déchets urbains**

La désignation de déchets urbains dérive du vocable « d'ordure ménagère », longtemps utilisé pour décrire les résidus des ménages. Mais du fait de l'évolution des caractéristiques quantitatives et qualitatives de ces déchets, on est passé à la notion plus générale de résidus ou déchets urbains qui englobent :

- Les ordures ménagères, les ordures de marché, les déchets artisanaux et commerciaux assimilables aux ordures ménagères, les souillures qui proviennent du nettoyage et du balayage des voies publiques (feuilles, branchage, déchets des plages, ...etc.).
- Les déchets encombrant appelés aussi « monstre » constitués par des objets volumineux qui ont été réformés et mis au rebus (vielle baignoire, vieux sommier...etc.).
- Les déchets hospitaliers qui, sans exceptions, doivent normalement faire l'objet de collecte séparée.

Cette énumération exclue formellement :

- Les déblais, gravats, décombres et débris des chantiers de travaux publics et constructions.
- Les déchets industriels et commerciaux.
- Les déchets anatomiques et infectieux des hôpitaux et abattoirs ainsi que les pansements, les médicaments, seringues et autres objets pouvant véhiculer des pollutions bactériologiques ou médicamenteuses .
- Tous les objets qui, en raison de leur encombrement, poids ou nature, ne pourraient être chargés dans les véhicules de collectes.

A l'échelle planétaire, la production quotidienne des seuls déchets ménagers et encombrants est estimée à plus de 3 millions de tonnes. Pour l'Algérie, la quantité de déchets municipaux produite a été estimée à quelques 10 millions de tonnes par an, dont environ 1,5 millions de tonnes de déchets industriels assimilables aux déchets ménagers (Kehila Y., Mezouari F., Bouhadiba B., Matejka G., 2010). Dès les années 70 les déchets urbains en général et les déchets ménagers en particulier sont considérés comme de la matière première.

Les ordures fraîches contiennent en moyenne 60% d'humidité (MATE, 2005), ce qui rend leur combustion très difficile dans les incinérateurs si l'on veut récupérer l'énergie calorifique dégagée. Mais il existe d'autres modes de récupération des déchets ménagers dont

- Le compostage avec utilisation du compost comme engrais
- Le lombricompostage qui consiste simplement à faire manger et rejeter sous forme digérée la partie organique des déchets ménagers par des vers de « fumier » qu'on appelle aussi lombrics rouges.
- La méthanisation qui est un processus spontané de fermentation anaérobie des déchets ménagers avec production de biogaz méthane.

#### **I.4 Déchets consécutifs à une catastrophe**

Les décombres consécutifs à une catastrophe sont assimilés à des déchets.

Toute catastrophe est susceptible de générer trois grands types de déchets :

- ❖ déchets *directement* associés au désastre (gravats, toiture, matériaux isolants).
- ❖ déchets *indirectement* associés au désastre (nourriture gâtée)
- ❖ déchets associés à *un mode de vie inhabituel* (consommation exceptionnelle d'eau embouteillée et de nourriture en conserve).

Pour simplifier la prise de décisions quant aux priorités de déblaiement et d'élimination des ruines, il est important de les classer par catégories.

Les critères pour ce faire dépendront des variables locales, par exemple :

- ❖ Quantité des décombres.
- ❖ Type de région (urbaine, rurale, côtière).
- ❖ Utilisation du sol (agricole, résidentielle, industrielle).
- ❖ Types de déchets (non toxiques, spécifiques).
- ❖ Infrastructure et programmes de recyclage.

Le tableau 1 ci-dessous donne une idée des décombres et des déchets susceptibles d'être générés par une catastrophe.

Tableau 1 : Exemples de déchets générés par une catastrophe

| Type de déchets  | Exemples   |
|--|--|
| Déchets putrides                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Carcasses : animaux d'élevage, domestiques et(ou) sauvages</li> <li>· Restes de nourriture : restes de repas ou aliments gâtés faute d'électricité</li> </ul>   |
| Végétation   | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Buissons et arbres déracinés, branches, feuilles</li> </ul>   |
| Débris environnementaux inertes                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Terre, boue</li> <li>· Rocaille, pierres, graves</li> <li>· Sable</li> </ul>  |
| Matériaux de construction                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Asphalte</li> <li>· Béton, briques, parpaing, maçonnerie, gravats plâtre</li> <li>· Matériaux isolants (fibre de verre, styromousse, etc.)</li> <li>· Métaux (acier, fer, aluminium, cuivre, laiton, etc.)</li> <li>· Fils électriques, lampes, ampoules</li> <li>· Verre et miroirs, carreaux</li> <li>· Bois, volets</li> <li>· Composés acryliques, vinyle, plastique</li> </ul> |
| Électroménagers meubles et autres équipements ménagers | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Lits et matelas, sofas, tapis</li> <li>· Meubles rembourrés, capitonnés</li> <li>· Ordinateurs, téléphones, imprimantes, téléviseurs, lampes ...</li> <li>· Bureaux, chaises, commodes</li> <li>· Laveuses, sècheuses, réfrigérateurs, lave-vaisselle, cuisinières...</li> </ul>  |
| Effets personnels                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Objets d'art, livres et papiers</li> <li>· Vêtements</li> <li>· Ustensiles de cuisine, vaisselle, objets en verre</li> </ul>  |
| Déchets toxiques                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Amiante</li> <li>· Déchets biomédicaux</li> <li>· Détersifs, dissolvants, peinture</li> <li>· Combustibles, huiles</li> <li>· Engrais, pesticides, autres substances ou matières toxiques</li> </ul>  |

L'élimination des décombres peut être l'un des plus grands défis à relever dans le contexte d'une catastrophe, non seulement parce que cela peut représenter des masses et des masses de déchets à gérer, mais encore, à cause des dangers que ceux-ci peuvent présenter pour l'environnement. Lorsqu'il s'agit d'un désastre majeur, le déblaiement intégral peut durer des mois, voire des années. Diverses stratégies ont été mises en oeuvre pour solutionner les problèmes de destruction de ces décombres, telles que :

- L'augmentation du nombre de sites de décharge; (ex. petits ravins, cavités naturelles ou artificielles), qui a été adopté dans la région de Boumerdes après le séisme du 21 Mai 2003,
- La multiplication des méthodes d'élimination; (ex. incinération, compostage, etc.),
- La réduction du volume des débris; (ex. concasser, couper, pulvériser, écraser, granuler, transformer en paille, en copeaux, etc.).



L'option de la réutilisation et du recyclage des débris C&D issus de cette catastrophe demeure une question extrêmement complexe et ne peut à elle seule résoudre tous les problèmes liés à la gestion des décombres car certaines de ces décharges sont devenues mixtes ; néanmoins, elle peut atténuer les effets négatifs en détournant d'importantes masses de débris des options d'enfouissement plus dangereuses.

En effet, des substances toxiques risquent de se disperser sur les lieux de la catastrophe, dont les métaux lourds, les produits pétroliers (combustibles, huiles...), les produits chimiques (pesticides, peintures dissolvants, détergents), ainsi que toute une gamme de matières dangereuses provenant des laboratoires d'analyses médicales et/ou scientifiques et techniques, comme c'est le cas de Boumerdes. La gestion des décombres enfouies doit tenir compte du traitement particulier qu'exigent ces déchets toxiques, ainsi que de leurs répercussions sur l'environnement à commencer par l'identification des risques encourus ; à savoir la détermination des sources de ces substances, leur dangerosité, les mesures nécessaires d'isolement et finalement les exigences pour leur traitement et élimination. Devant la complexité de cette tâche, nous avons ciblé les effets des métaux lourds dangereux les plus répandus cadmium, Cuivre, Plomb, Zinc (Cd, Cu, Pb, Zn) ainsi que les hydrocarbures pétroliers (HC).

### **I.5 Effets des métaux lourds sur l'homme et impacts sur l'environnement :**

Les métaux lourds peuvent causer des maladies à l'homme par passage à travers la peau, par ingestion (diffusion par gradient de concentration jusqu'à la circulation sanguine; le plomb et le cadmium peuvent prendre la place du calcium et de la vitamine D en cas de carence) ou par inhalation. Les vapeurs peuvent se dissoudre dans les muqueuses du système respiratoire ou arriver dans la circulation sanguine par l'intermédiaire des alvéoles pulmonaires (le mercure et le plomb tétra-éthyle pouvant être à l'état vapeur à température ambiante). L'effet des particules de métaux lourds sur la santé de l'homme dépend de leur granulométrie : les particules de diamètre supérieur à 20 µm sédimentent; celles dont le diamètre est compris entre 10 et 20 µm pénètrent au niveau des nasaux-pharynx; celles dont le diamètre est compris entre 1 et 5 µm atteignent la trachée et celles dont le diamètre est inférieur à 1 µm arrivent aux bronchioles et passent dans le sang.

Les métaux lourds contenus dans notre environnement (eau, air, sol) peuvent, par des cycles parfois complexes, se retrouver dans une étape végétale de notre chaîne alimentaire et entraîner une contamination de l'homme par voie orale. Toutefois, un simple passage passif dans notre chaîne alimentaire aurait un impact limité, sans l'existence d'un phénomène très particulier pour les métaux lourds et pour d'autres composés chimiques qu'est la bioaccumulation.

La bioaccumulation a pour conséquence une concentration en polluant dans un organisme vivant supérieure à la concentration de ce polluant dans le biotope de l'organisme. Dans le cas des métaux lourds, cette concentration se transmet tout au long de la chaîne alimentaire ce qui explique que l'homme puisse être exposé à des quantités dangereuses de métaux lourds par son alimentation. Malheureusement, dans la chaîne alimentaire de l'homme, les aliments ne sont pas les seuls à être contaminés par des métaux lourds, les boissons peuvent l'être également. Selon l'article du Docteur Ume de S&P Laboratories de Belgique, les métaux lourds peuvent causer des problèmes sérieux sur le plan de la santé de l'homme, comme un retard de croissance et un développement des perturbations des systèmes bio-régulateurs responsables de troubles étiquetés fonctionnels ou psychosomatiques (syndrome fatigue chronique, fibromyalgie ) des problèmes neuro-dégénératifs (Parkinson, Alzheimer) et finalement des lésions organiques et la maladie cancéreuse. L'intoxication par quelques métaux, tels le mercure et le plomb peuvent aussi entraîner des phénomènes d'auto-immunité dans lesquels le système immunitaire du patient attaque ses propres cellules. Cela peut conduire à des affections articulaires, telle l'arthrite rhumatoïde, des problèmes rénaux, circulatoires et nerveux. Plus spécifiquement, les conséquences de quelques autres métaux lourds sur la santé humaine sont résumées dans le tableau 2 ci-dessous. Dans le sol, les métaux peuvent être soit fixés dans les roches et les sédiments, soit mobiles (Asami T. Kubota M. Orikasa K., 1995). Dans le premier cas, les quantités disponibles sont infimes et n'ont pas d'influence significative sur l'environnement. Lorsque les métaux redeviennent solubles, l'augmentation de leurs concentrations est une menace directe pour l'environnement du fait de l'augmentation de leur disponibilité pour les plantes, sachant que les pluies acides augmentent la mobilité des métaux dans le sol et favorisent ainsi l'augmentation de leur concentration dans les plantes (Hlavackova P., 2005). En effet, il est assez difficile de prévoir l'évolution des métaux dans l'eau qui dépend fortement du milieu. Dans l'eau les métaux subissent un grand nombre de transformations (oxydation, réduction, complexation,...etc.) et, leur migration vers la nappe phréatique dépend de nombreux paramètres (Radilla Zuazo G., 1997), parmi lesquels :

- la forme chimique initiale du métal
- la perméabilité du sol et du sous-sol
- la porosité du sol
- le pH: dans un milieu acide, les métaux risquent de se solubiliser, alors que dans un milieu alcalin, ils peuvent former des hydroxydes métalliques

- l'activité biologique: certains micro-organismes ont la capacité d'ingérer des métaux, alors que d'autres les solubilisent par acidogénèse
- le potentiel redox du sol
- la composition minéralogique du sol pouvant conduire à la formation de nouveaux composés
- la teneur en matières organiques du sol pouvant provoquer la complexation des métaux par les substances humiques.

Parmi les principales sources de contamination de l'eau figurent les rejets d'eaux usées non traitées (domestiques et industrielles : Cd, Cu, Pb, Zn), la lixiviation des déchets dangereux putrescibles ou non des décharges non traitées (V Cr Mn Co Ni Cu Zn Ag Cd Sn Hg Ti Pb Bi. As Se Sb Te), l'utilisation extensive des engrais (Hg, Cu, Pb), la navigation fluviale et maritime, ainsi que les polluants atmosphériques.

Tableau 2 : Effets avérés de quelques métaux lourds sur la santé humaine.

| Métal     | Effets médicalement constatés                                |
|-----------|--|
| Cadmium   | Lésion rénales, pulmonaires, osseuses Cancer de la prostate. |
| Etain     | Oedèmes cérébraux. Pneumoconioses                            |
| Manganèse | Lésions pulmonaires Neurotoxique                             |
| Mercure   | Lésions neurologiques Insuffisance rénale                    |
| Nickel    | Cancérigène (nez, poumon)                                    |
| Vanadium  | Irritant des yeux, du nez et des bronches                    |

### I.6 Effets des hydrocarbures sur l'homme et impacts sur l'environnement:

La principale source d'hydrocarbures est le pétrole brut, mélange extrêmement complexe comprenant plusieurs centaines de milliers de molécules différentes. Il est composé majoritairement par du carbone et de l'hydrogène. Le pétrole brut renferme également de petites quantités de constituants organiques. Plusieurs centaines d'hydrocarbures sont contenus, en différentes proportions, dans tout produit dérivant du pétrole. Les hydrocarbures pétroliers (HCP) présentent un certain nombre de problèmes s'ils sont rejetés dans le sol sous forme de pétrole brut ou de lubrifiants.

Parmi ces problèmes, mentionnons les dangers d'explosion et d'incendie, la toxicité pour les humains et l'environnement ; la migration dans le sol, l'eau et l'air ; les odeurs ; et la perturbation des processus de la rétention d'eau et du cycle des éléments nutritifs. Les différentes classes d'hydrocarbures se comportent différemment dans l'environnement. De façon générale, plus le nombre d'atomes de carbone de la molécule hydrocarbonée est important, plus la solubilité, la volatilité et la biodégradabilité sont faibles. Au contraire, l'adsorption sera importante pour une molécule présentant un grand nombre d'atomes de carbone (Obbard et al., 2004). A nombre d'atomes de carbone égal, un hydrocarbure présentant certaines ramifications ou cyclisations, aura une biodégradabilité plus faible qu'un hydrocarbure linéaire. A nombre d'atomes de carbone égal, un hydrocarbure aliphatique aura une solubilité plus faible qu'un hydrocarbure aromatique (sauf si le nombre de noyaux aromatiques devient trop élevé), et une biodégradabilité plus élevée. Le nombre de cycles aromatiques aura une incidence sur la solubilité, l'hydrophobicité et la biodégradabilité. Pour un nombre de cycle supérieure à trois, le composé devient très hydrophobe et peu soluble. De plus pour un nombre de cycle inférieur à deux, le phénomène de biodégradation sera significatif. Les hydrocarbures les plus fréquemment retrouvés dans le sol et le sous sol des sites pollués sont soit des carburants, soit des lubrifiants et autres huiles industrielles usagées, soit des produits bitumineux provenant de la réfection des routes, toitures etc. Le tableau 3 ci-dessous donne la composition standard ainsi que les principales caractéristiques de ces produits dérivés du pétrole.

Tableau 3 : Produits dérivés des hydrocarbures recensés dans les sites pollués par les HC.

| Produit  | Composition standard et caractéristiques essentielles  |
|--|--|
| Essences<br>(1 <sup>er</sup> soutirage distillation du pétrole brut) | Les essences contiennent généralement environ 230 hydrocarbures différents, dont le nombre d'atomes de carbone se situe entre 4 et 10. La distillation des essences est effectuée à une température comprise entre 30-35° et 180-200°C. Les essences ont une densité moyenne de 0,72-0,77 et un rapport H / C qui varie entre 1,7 et 1,9. Les essences sont composées de 5 classes principales d'hydrocarbures : les n-alcanes, les iso-alcanes, les cyclo-alcanes, les alcènes et les aromatiques et contiennent des additifs antidétonants (Plomb Tetra Ethyl / Butyl, MéthylTertButylEther, EthylTertButyEther)   |
| Gasoles<br>(2 <sup>ème</sup> soutirage )                             | contiennent 2000 à 4000 hydrocarbures différents, dont le nombre d'atomes de carbone varie entre 11 et 25. Les gazoles sont distillés à des températures entre 180 et 380°C et ont une densité de 0,82 à 0,86. Les gazoles sont donc plus lourds que les essences et sont composés de produits moins volatils. Ils ne contiennent pas d'alcènes et sont majoritairement constitués de n-alcanes et cyclo-alcanes.  |
| Lubrifiants<br>(Distillation des fractions lourdes du pétrole)       | Les huiles minérales sont, et de très loin, les plus utilisées aussi bien dans les applications automobiles qu'industrielles. D'un prix peu élevé elles sont généralement additivées (Poly méthacrylate, Copolymères d'oléfines, Copolymères mixtes, Dithiophosphates de zinc, Sulfonates, ..)<br>Les huiles de semi-synthèse s'obtiennent à partir d'un mélange d'huiles minérales et d'huiles de synthèse (généralement 70 à 80% d'huile minérale et 20 à 30% d'huile de synthèse), produites par réaction chimique de plusieurs composants (les esters et les hydrocarbures de synthèse, plus particulièrement les poly-alpha-oléfines fabriquées à partir d'éthylène). |
| Bitumes<br>(Réidus de la distillation sous vide)                     | substances composées d'un mélange d'hydrocarbures, très visqueuses (voire solide) à la température ambiante et de couleur noire. Industriellement les bitumes sont fabriqués à partir de pétrole brut d'où l'on extrait, au préalable, les fractions les plus légères. Ils possèdent un grand pouvoir agglomérant car ils adhèrent à la majorité des matériaux usuels : pierre, béton, bois, métal, verre. Ils sont insolubles dans l'eau, mais l'on peut en obtenir des solutions dans de nombreux solvants organiques. Les bitumes sont des mélanges d'hydrocarbures à poids moléculaire élevé pouvant appartenir aux groupes aliphatique ; naphtéinique ou aromatique   |

### I.6.1 Effets des HC sur la santé humaine

Les HC constituent un risque potentiel et croissant pour la santé humaine avec leur résistance à la dégradation naturelle. (Thiele-Bruhn and Brümmer, 2005; Eibes et al.,2006). Les données expérimentales disponibles chez l'animal ont montré que certains hydrocarbures pouvaient induire spécifiquement de nombreux effets sur la santé, des effets systémiques (hépatiques, hématologiques, immunologiques et développement d'athéroscléroses), et/ou des effets sur la reproduction ainsi que des effets génotoxiques et cancérigènes. D'après une étude menée en 2001 par le Bureau de contrôle du Canton de ZURICH sur des poules nourries avec des aliments pollués par des huiles usagées, la plupart des fraction retrouvées dans le jaune de l'œuf appartiennent aux HC le plus toxiques, et auront très probablement quelques effets négatifs sur les animaux et par conséquent sur l'homme (Koni Grob, et al., 2001). Le tableau 4 ci-dessous donne la toxicité de trois catégories d'HC largement utilisés.

Tableau 4 : Toxicité de catégories d'HC les plus répandus.

| Catégorie d'HC      | Toxicité  |
|---------------------|---|
| Alcanes et cyclanes | Ne sont généralement pas toxiques sous forme gazeuse. Agissent de manière indirecte en diminuant la quantité d'oxygène nécessaire à l'homme ; après pénétration dans les poumons, ils exercent une action anesthésiante, qui augmente avec le nombre de carbone de la chaîne ; par exemple le méthane, l'éthane et le propane sont de simples asphyxiants ; mais les vapeurs des hydrocarbures supérieurs présentent une toxicité certaine aiguë et chronique |
| Aromatiques         | Présentent une dose létale chez les être humains de 50 à 500 mg/kg pour le toluène, des doses plus élevées de benzènes et ses dérivés provoquent des tremblements musculaires. Une concentration en benzène de 65 mg/kg dans l'atmosphère est rapidement mortelle.  |
| Polycycliques       | Ce sont des composés toxiques et provoquent les cancers cutanés.  |

### I.6.2 Impacts des HC sur l'environnement :

La contamination des sols et des eaux souterraines par les hydrocarbures pétroliers constitue assurément l'un des principaux problèmes environnementaux. La pollution par les HC de pétrole se traduit par la modification du milieu naturel et des conséquences dangereuses pour tout

organisme vivant (Mendoza,1998; Andreoni et al.,2004), le pétrole brut étant et de loin le plus dangereux.

Cependant, la toxicité d'un polluant organique dépend également des caractéristiques du sol. Plus sa capacité d'échange cationique est élevée (sols argileux ou riche en matières organiques), plus grande sera l'adsorption du polluant organique et plus faible sera son effet sur l'écosystème (McBride,1994). Parmi tous les impacts recensés et étudiés, les plus significatifs sont :

- les risques d'accidents (Samanta et al., 2002).
- les effets sur la croissance de la végétation et sur le fonctionnement et la productivité de l'écosystème (Bauer et al., 1991; Ladd et al.,1996).
- les effets sur la biomasse et l'activité bactérienne (Xu and Johnson, 1995).

Les sols ne peuvent pas dégrader d'une manière naturelle tous les produits pétroliers. Lorsque ces substances les traversent, on les retrouve dans les eaux de surface et dans les nappes phréatiques sans modification (Henri J. Schoeller, 1971). Aussi, les recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) imposent dans l'eau potable une teneur limite de 0,2 µg/l pour les fluoranthène, benzo(b)fluoranthène, benzo(k)fluoranthène, benzo(a)pyrène, benzo(ghi)pérylène, indéno(1,2,3,cd)pyrène, et une valeur limite pour le benzo(a)pyrène de 0,7 µg/l.

En Algérie, le Décret n°2001-1220 du 20 décembre 2001 relatif aux eaux destinées à la consommation humaine, à l'exclusion des eaux minérales naturelles, impose une concentration inférieure à 0,1 µg/l pour la somme des quatre composés suivants : benzo(b)fluoranthène, benzo(k)fluoranthène, benzo(ghi)pérylène, indéno (1,2,3-cd)pyrène. Pour le benzo(a)pyrène, la valeur limite est de 0,01 µg/l.

### **I.7 Intérêt des déchets solides**

Certains déchets solides cessent d'être des déchets lorsqu'ils ont subi une opération de valorisation ou de recyclage et répondent à des critères spécifiques à définir dans le respect des conditions suivantes :

- La substance ou l'objet est couramment utilisé à des fins spécifiques
- Il existe un marché ou une demande pour une telle substance ou un tel objet
- La substance ou l'objet remplit les exigences techniques aux fins spécifiques et respecte la législation et les normes applicables aux produits
- L'utilisation de la substance ou de l'objet n'aura pas d'effets globaux nocifs pour l'environnement et la santé humaine

Ces déchets deviennent donc des produits mais doivent subir une préparation en vue du réemploi. C'est précisément le cas de la réutilisation et du recyclage des débris de construction et de démolition,

qui sont des priorités pour les gouvernements qui les adoptent comme outils pour faire face à des coûts toujours à la hausse, ainsi qu'à l'impact de l'enfouissement des déchets sur l'environnement.

### I.8 Codification des déchets

Il existe plusieurs manières de codifier les déchets, dont la codification à plusieurs chiffres ; les deux premiers désignant la source produisant le déchet. Une fois la classe de la source définie, le déchet y est repéré avec le code correspondant. Cette codification est définie d'une manière non exhaustive et la liste complète des différents déchets est publiée au Journal Officiel par les autorités compétentes. A titre d'exemple, voici la liste arrêtée par la Commission Européenne :

- 01** Déchets provenant de l'exploration et de l'exploitation des mines et des carrières ainsi que du traitement physique et chimique des minéraux
- 02** Déchets provenant de l'agriculture, de l'horticulture, de l'aquaculture, de la sylviculture, de la chasse et de la pêche ainsi que de la préparation et de la transformation des aliments
- 03** Déchets provenant de la transformation du bois et de la production de panneaux et de meubles, de pâte à papier, de papier et de carton
- 04** Déchets provenant des industries du cuir, de la fourrure et du textile
- 05** Déchets provenant du raffinage du pétrole, de la purification du gaz naturel et du traitement pyrolytique du charbon
- 06** Déchets des procédés de la chimie minérale
- 07** Déchets des procédés de la chimie organique
- 08** Déchets provenant de la fabrication, de la formulation, de la distribution et de l'utilisation (FFDU) de produits de revêtement (peintures, vernis et émaux vitrifiés), mastics et encres d'impression
- 09** Déchets provenant de l'industrie photographique
- 10** Déchets provenant de procédés thermiques
- 11** Déchets provenant du traitement chimique de surface et du revêtement des métaux et autres matériaux, et de l'hydrométallurgie des métaux non ferreux
- 12** Déchets provenant de la mise en forme et du traitement physique et mécanique de surface des métaux et matières plastiques
- 13** Huiles et combustibles liquides usagés (sauf huiles alimentaires et huiles figurant aux chapitres 05, 12 et 19)
- 14** Déchets de solvants organiques, d'agents réfrigérants et propulseurs (sauf chapitres 07 et 08)
- 15** Emballages et déchets d'emballages, absorbants, chiffons d'essuyage, matériaux filtrants et vêtements de protection non spécifiés ailleurs
- 16** Déchets non décrits ailleurs dans la liste
- 17** Déchets de construction et de démolition (y compris déblais provenant de sites contaminés)
- 18** Déchets provenant des soins médicaux ou vétérinaires et/ou de la recherche associée (sauf déchets de cuisine et de restauration ne provenant pas directement des soins médicaux)
- 19** Déchets provenant des installations de gestion des déchets, des stations d'épuration des eaux usées hors site et de la préparation d'eau destinée à la consommation humaine et d'eau à usage industriel
- 20** Déchets municipaux (déchets ménagers et déchets assimilés provenant des commerces, des industries et des administrations), y compris les fractions collectées séparément

Dans cette liste les différents types de déchets sont définis de manière complète par le code à six chiffres pour les rubriques de déchets et par les codes à deux ou quatre chiffres pour les titres des chapitres et sections.



## I.9 Techniques de traitement des sites pollués

### I.9.1- Aperçu sur les différents traitements du sol

Au cours de ces dix dernières années, de nombreuses méthodes de décontamination de sites pollués ont été proposées (figure 1 ci-dessous). Toutes ces méthodes se basent sur le procédé dit *in-situ* ou celui dit *ex-situ*, et utilisent différentes technologies de nettoyage, telles que :

- les traitements thermiques,
- les traitements biologiques,
- l'extraction par solvant et lavage,
- l'injection d'air et la ventilation.

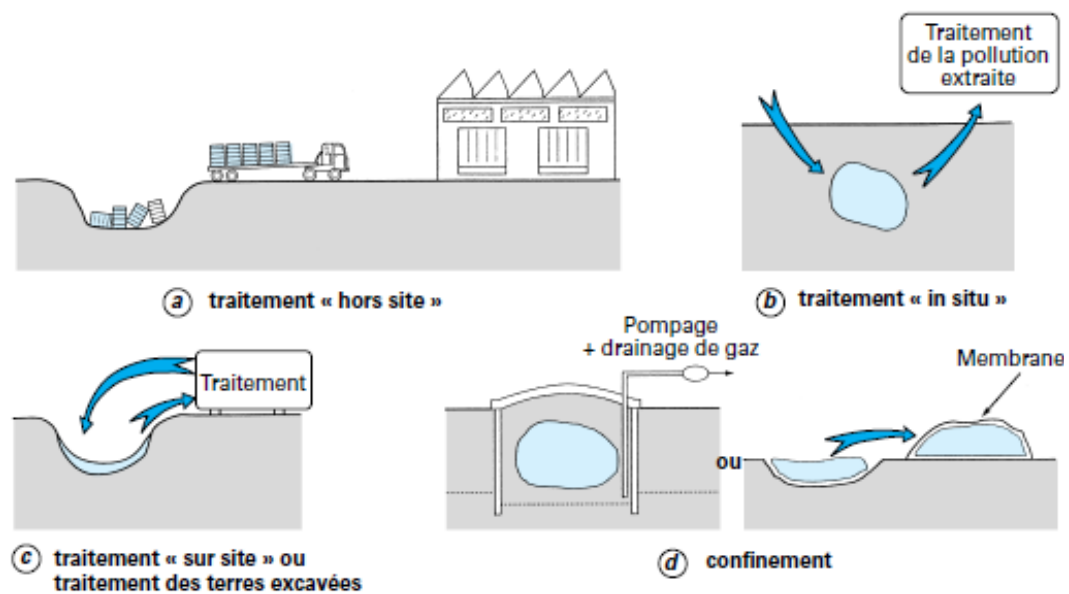


Figure 1 : Schématisation des principales catégories de traitement des sols

Cependant, il n'y a pas une seule méthode universelle d'élimination des contaminants d'un site, la solution finalement adoptée peut être une combinaison de traitements unitaires. En fait, les seules alternatives possibles se résument en :

- soit la restriction de l'utilisation du site laissé tel quel, sans aucun traitement
- soit le confinement partiel ou complet des endroits contaminés
- soit l'excavation du sol contaminé et l'enfouissement dans des décharges contrôlés
- soit le traitement du sol contaminé par les méthodes dites in-situ et/ou ex-situ.

Lorsque la décision de traiter est arrêtée, le choix entre ces techniques de traitement est :

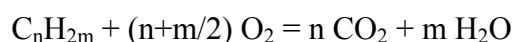
- Sans excavation de la terre (Traitement *In Situ*) : Il faut créer des points d'accès à la pollution par installation de puits, aiguille, fosses,... afin de provoquer une circulation forcée de fluides dans le milieu. On utilise le pompage d'eau ou d'air ou l'injection d'eau, d'air ou de produits (ré)actifs. Ces injections ou pompages sont ponctuels, ce qui induit presque toujours une hétérogénéité dans l'intensité de la dépollution et le résultat final n'est pas homogène. L'efficacité du traitement ne peut être appréciée qu'indirectement par des prélèvements ou mesures ponctuelles. Ces techniques de traitement *in situ* sont l'extraction sous vide, le bioventing, le sparging, le pompage écrémage, le confinement, l'extraction triple phase en réseaux séparés et les barrières réactives *in situ*.
- Excavation des terres (Traitement On Site)  
L'excavation des terres permet de reconnaître les zones polluées et de les excaver. Le stockage et le traitement sur place permettent la réutilisation sur site des terres dépolluées. Le traitement est limité à la terre, l'eau n'étant pas réhabilitée. L'excavation permet le contrôle du traitement dans le volume de la terre en terme de conditions physique, chimique et biologique. Par des prélèvements en cours de traitement il est possible de suivre l'évolution de ce dernier, mesurer l'écart avec la situation initiale et surtout avec l'objectif.
- Excavation et transport vers un centre de traitement (Traitement Off Site)  
L'excavation des terres permet de reconnaître les zones polluées et de les excaver. Les terres polluées sont transportées vers un centre spécialisé.  
Le traitement est limité à la terre, l'eau n'étant pas réhabilitée. L'excavation permet le contrôle du traitement dans le volume de la terre en terme de conditions physique, chimique et biologique. Par des prélèvements en cours de traitement il est possible de suivre l'évolution de ce dernier, mesurer l'écart avec la situation initiale et surtout avec l'objectif.

Les techniques de traitement « off site » sont la désorption thermique, le lavage des sols, le bio-traitement et le stockage. Toutes ces techniques sont brièvement décrites dans ce qui suit.

### **I.9.1.1 Bioventing**

Le but est de stimuler *in situ* la biodégradation des polluants piégés dans la zone non saturée (ZNS) du sol.

Il s'agit d'une oxydation biologique. Elle nécessite des conditions aérobies. Le polluant constitue la source de carbone qui est oxydé par les microorganismes pour leur fournir de l'énergie. Le développement, la croissance et la multiplication microbienne sont limités par l'azote (faim d'azote) pour l'élaboration des protéines microbiennes. Il convient d'apporter de l'azote. L'avancement du processus est suivi par la mesure de la respiration microbienne (production de CO<sub>2</sub>).



### **I.9.1.2 Biotertres et biopiles**

Le sol pollué est excavé et mis en tas. On ajoute les nutriments (azote en particulier) pour stimuler l'activité et la croissance microbienne et on contrôle l'oxygénation par un réseau d'aération forcée (injection d'air par des tubes perforés) et extraction par réseau de tubes reliés à une pompe (vide). Le tas est isolé de l'extérieur par une enveloppe constituée de film de polyéthylène haute densité (PEHD) situé au dessus et sous le tas.

### **I.9.1.3 Andains**

Le sol pollué est excavé et mis en tas. On ajoute les nutriments (azote en particulier) et on contrôle l'oxygénation par retournement mécanique de la terre. La dégradation est assurée par l'activité microbienne.

### **I.9.1.4 Landfarming**

Après excavation, le sol est étalé en fine couche, d'épaisseur équivalente à l'horizon organique du sol (40 cm environ). L'apport de fertilisant et l'aération liée au labour favorisent l'activité biologique qui dégrade le polluant organique.

### **I.9.1.5 Lavage par solvant**

Après excavation, le sol est lavé par lavage à contre courant d'un solvant d'extraction. Le polluant est séparé du solvant par distillation. Le sol est chargé de solvant. Il en est débarrassé par chauffage.

### **I.9.1.6 Lavage par tri granulométrique**

Le sol est lavé par de l'eau avec séparation selon la taille granulométrique en utilisant des agents dispersants. Les polluants solubles sont dissous dans l'eau (destruction de la structure capillaire qui les emprisonnait). Les tailles les plus fines qui adsorbent les polluants, peu solubles de par

leurs propriétés physiques liées à leur surface spécifique, sont séparées des autres classes granulométriques qui, propres, sont réutilisées. La pollution est concentrée dans les fractions fines, ce qui facilite le transport et/ou le conditionnement.

### **I.9.1.7 Le stockage profond**

Il s'agit du stockage définitif des déchets ultimes dans des couches géologiques hydrauliquement isolées. Les anciennes mines de sel sont souvent utilisées. La présence de sel, minéral très soluble, démontre l'absence de circulation de l'eau. Les galeries sont fermées par des bouchons étanches aux gaz afin d'obturer totalement les galeries et d'assurer l'étanchéité latérale totale. Les déchets ultimes doivent être stabilisés, ce conditionnement pouvant être réalisé sur site ou in situ.

### **I.9.1.8 Décharge**

Les terres polluées sont excavées puis transportées vers un stockage définitif sécurisé. Les accès sont contrôlés et le stockage doit respecter la législation. Il faut notamment pouvoir assurer la traçabilité des déchets.

La décharge doit être hydrauliquement isolée des eaux profondes afin d'éviter l'écoulement vers la nappe de fluides issus des fermentations internes à la décharge.

## **I.9.2 Aperçu sur les techniques utilisées pour le traitement des eaux souterraines**

### **I.9.2.1 Pompage avec extraction**

#### **Pompage et traitement**

Un puits d'accès (forage) est creusé afin d'installer une pompe. L'eau polluée, c'est-à-dire contenant du polluant dissous, est pompée vers la surface où elle est envoyée dans une unité de traitement de l'eau.

#### **Pompage écrémage**

Un puits d'accès est creusé pour installer un système de pompage de l'eau polluée avec une pompe de forage mais aussi du polluant en phase pure (qui surnage par exemple pour les LNAPL) avec une pompe d'écrémage sont installés dans le forage.

Le mélange diphasique eau polluée+polluant est envoyé vers la surface. Le polluant en phase pure est séparé par décantation. L'eau polluée est traitée.

#### **Extraction triple phase**

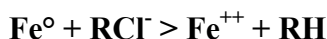
Il s'agit du pompage des trois phases : eau polluée, polluant en phase pure et air chargé de vapeurs de polluant issus de la ZNS. Le mélange des trois phases est envoyé vers la surface où les fluides sont traités.

### **I.9.2.2 Traitement in situ**

#### **Barrières réactives**

Une tranchée remplie de produit réactif est installée perpendiculairement au flux de polluant afin de l'intercepter. La tranchée doit donc être impérativement en val hydrogéologique du point de contamination et intercepter tout le panache.

Pour les produits halogénés, le réactif peut être du Fer zéro valent:



#### **Barrière étanche**

La tranchée est imperméable hormis un secteur de passage obligé contenant un mélange de réactif plus catalyseur. Ceci permet de canaliser le flux de polluant et l'obliger à passer par le réacteur muni du mélange réactif/catalyseur.

### **I.9.2.3 Traitement chimique**

#### **Confinement et utilisation de cartouches**

Un massif filtrant permet de canaliser les flux d'eau polluée vers une cartouche amovible de filtres actifs qui peuvent être positionnés en série. Des tubes d'accès situés entre chaque cartouche permettent de contrôler l'efficacité du traitement et son avancement. Le flux d'eau sort de la zone confinée par une enceinte de confinement (tranchée imperméable).

#### **Traitement au carbone actif**

Le carbone actif est utilisé pour adsorber les composés organiques dissous dans l'eau prélevée de l'aquifère contaminé. La capacité dépolluante u carbone actif dépend de sa surface spécifique.

#### **Oxydation in situ**

Un oxydant est injecté dans le point pollué afin d'oxyder le composé organique et le détruire. L'oxydant utilisé peut être:  $\text{H}_2\text{O}_2$  avec  $\text{Fe}^{++}$  comme catalyseur ou bien  $\text{KMnO}_4$ .

#### **Biosparging**

La bio dégradation du polluant est stimulée en créant les conditions physicochimiques favorables à cette dégradation. On injecte de l'air dans des puits pour créer des conditions oxydantes favorables à l'oxydation biologique du polluant. Des puits situés à proximité peuvent être utilisés pour pomper l'atmosphère de la ZNS, ce qui permet de favoriser la circulation de l'air et donc l'oxydation, de diminuer la teneur en  $\text{CO}_2$  dont la présence ralentit l'activité biologique et éventuellement de récupérer des vapeurs de polluant.

## **Barrière biologique**

Elle peut être

- soit aérobie, pour la biodégradation des BTEX, avec apport d'oxygène, d'azote, ...
- soit anaérobie, pour la biodégradation de TCE, avec apport de lactate, mélasse et autre support carboné.

La barrière doit bien sûr être située en aval hydrogéologique du point de pollution et être orientée perpendiculairement au flux de polluant (ligne de flux).

Et bien que nous ayons à notre disposition plusieurs techniques de réparation des sites contaminés, certaines d'entre elles rencontrent des restrictions pour leur mise en œuvre en raison soit de leur coût excessif, soit de leur longue durée requise, ou encore d'autres facteurs tels que l'indisponibilité et la faisabilité. L'incinération et le traitement thermique à haute température sont relativement les plus chers et engendrent des fumées qui doivent être traitées avant leur rejet dans l'atmosphère. L'excavation peut aussi s'avérer coûteuse surtout si l'on doit remplacer les terres excavées par des terres propres. La bioremédiation est moins coûteuse à la mise en œuvre mais dure plus longtemps (entre quelques mois à quelques années). Quant aux procédés d'extraction au solvant, ils sont vite limités par les rejets des solvants utilisés qui sont sélectifs alors que plusieurs types de contaminants coexistent généralement dans le même site pollué et sont largement dépendants de la nature du sol du site contaminé à traiter.

# **CHAPITRE II**

## **Présentation des sites étudiés**

## II.1 Situations géographiques et administratives des sites

Les territoires des Communes abritant les sites d'enfouissements étudiés sont situés sur le versant Nord du piémont de l'Atlas Télien en bordure du littoral sur une profondeur ne dépassant pas 2 Km à vol d'oiseau. Ces Communes sont situées dans la partie centrale de la wilaya de Boumerdes, à une distance variant de 4,5 km à 10 km du chef lieu de la wilaya et à environ 50 Km de la capitale. Elles occupent une position privilégiée dans leur contexte régional et sont limitées administrativement comme suit (Figure 2) :

- Au Nord, par la mer Méditerranée,
- Au Sud, par les communes de Keddara et Beni Amrane,
- A l'Est, par la commune de Thenia,
- A l'Ouest, par la commune de Ouled Moussa.

A l'échelle locale, ces Communes se situent sous l'influence du pôle industriel de Thenia-Tidjelabine et du pôle administratif de Boumerdes. Par contre, à l'échelle régionale, elles sont sous l'influence des pôles industriels et Rouiba et de Réghia à l'Ouest, et de Bordj Menaiel à l'Est, ainsi que de la métropole d'Alger. Ces communes sont à vocation agricole, avec pour Tidjelabine une mini-zone industrielle à proximité du site d'enfouissement. Sur le plan physique, le territoire de ces communes est développé et partagé entre deux systèmes morphologiques : les bas reliefs du bassin de la Mitidja au Nord et le domaine montagneux, très accidenté, au Sud. A cheval entre ces deux reliefs, elles occupent une position de piémont, zone intermédiaire entre l'extrémité orientale de l'Atlas Blidéen, dans sa jonction avec le massif Kabyle au Sud, et la terminaison orientale de la plaine de la Mitidja au Nord.

### II.1.1 Le domaine montagneux :

Faisant partie de l'Atlas de Blida, la zone montagneuse de ces communes se localise entièrement dans les terrains méridionaux définis dans l'étude de la wilaya de Boumerdes. C'est un domaine très accidenté qui se caractérise, malgré que les altitudes soient modérées, par de fortes dénivellations entre le sommet des reliefs et le bas fond des oueds. C'est un secteur fortement déchiré par les phénomènes érosifs et se trouve fortement déboisé. Les marques de l'anthropisation sont très frappantes et ne cessent de déstabiliser les versants. Ce domaine se caractérise aussi par des altitudes faibles à modérées, parmi les points les plus dominants, nous distinguons celui de Djebel Si Feredj avec 452m. Quant aux reliefs méridionaux, partagés avec les communes de Béni Amrane et Souk el Had au sud et à l'Est et constituant le massif de Djebel Ifri (609m), ils atteignent des altitudes allant de 400 à 800m.



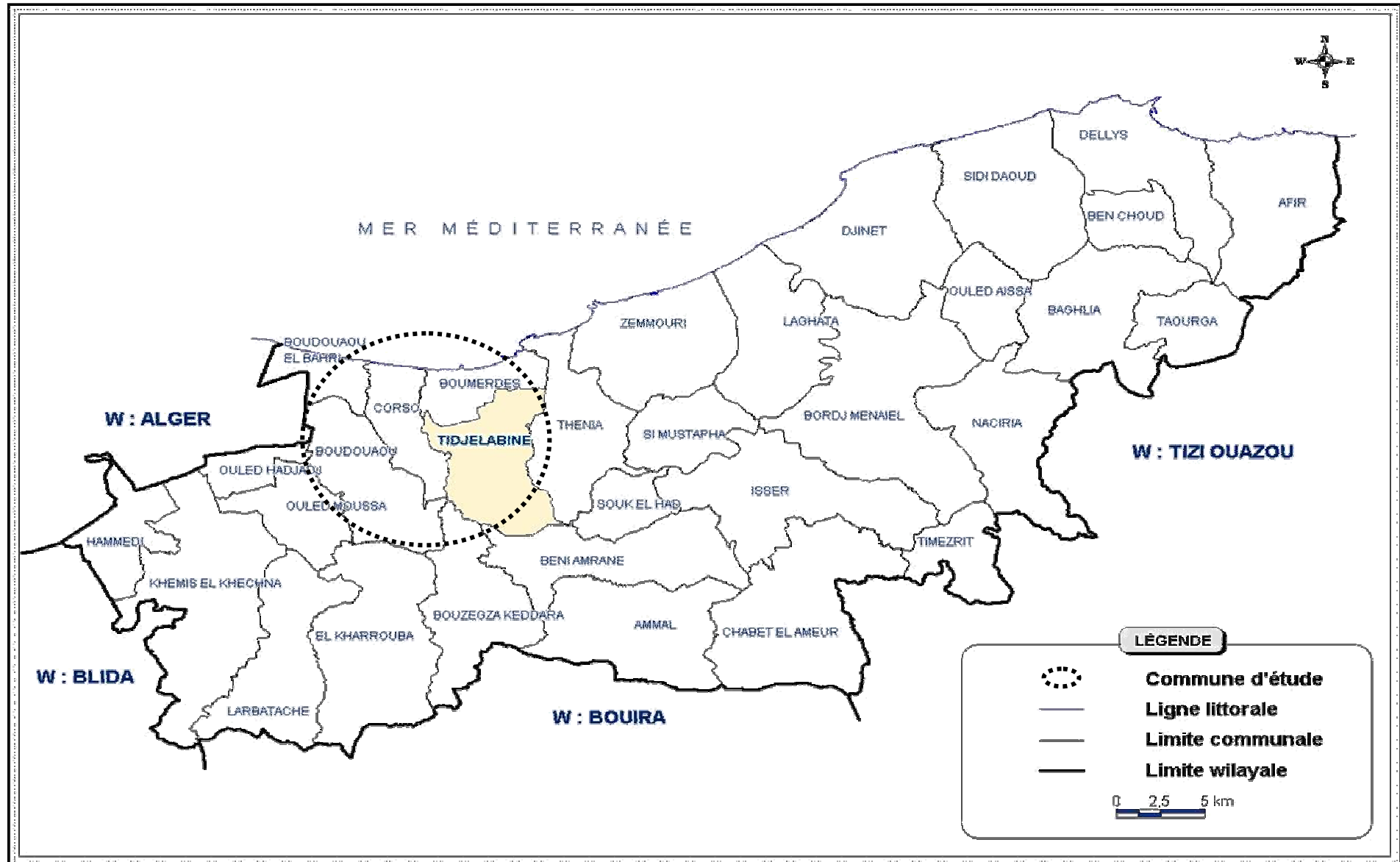


Figure 2 : Situations et limites territoriales des communes abritant les sites étudiés.

La figure 3 ci-dessous permet de constater enfin que cette classe de reliefs constitue l'essentiel de ce domaine, avec partiellement celle de 100m à 400m.

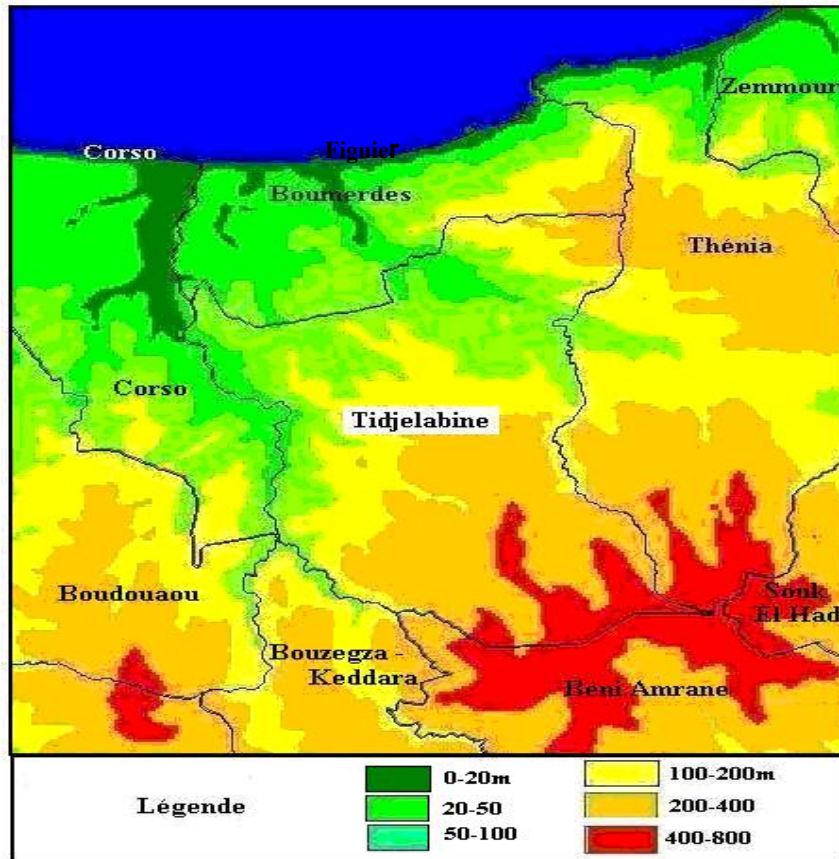


Figure 3 : Principaux ensembles topographiques des Communes du centre de la Wilaya de Boumerdes

### II.1.2 Le piémont :

C'est un domaine collinaire ou de reliefs mamelonnés et de plateaux peu élevés où les altitudes restent faibles en général. Elles varient de 100m en bordure des principaux oueds (Boumerdes et Corso) à 200m au sud de la Route Nationale n°5 (RN5). La zone de piémont se trouve parmi les terrains les plus déstabilisés et les plus peuplés de ces communes et c'est l'endroit où se développe la plupart des voies de communications, ex de la RN5, à l'Ouest les chemins de wilaya bordant le littoral et menant vers Alger, à l'Est menant vers Tizirt et au Sud le chemin menant à Lakhdaria en passant par le barrage de Keddara.

### II.1.3 Le domaine de plateaux-plaines et des bas reliefs :

Il s'agit d'un domaine qui concerne tous les bas reliefs des Communes du centre de la wilaya de Boumerdes, développés à l'extrémité orientale du bassin de la Mitidja. Il est formé en grande partie de plateaux ou localement de collines peu élevées et dont l'altitude varie de 50 à 100m. Ce domaine est formé aussi, du moins en partie, de plaines et de vallées. Il s'agit d'une topographie simple en général qui se localise essentiellement au nord de ces Communes.

## **II.2 Le cadre géologique**

Les zones centrales et méridionales de ces Communes appartiennent au domaine du Tell, lui-même faisant partie du domaine interne des Maghrébides. C'est un secteur montagneux qui se caractérise par la diversité des terrains et la prédominance des faciès argilo-marneux, marno-calcaires, gréseux à argilo-gréseux. Comme il arrive de rencontrer des terrains à faciès flyschoids et conglomératiques. L'analyse stratigraphique des principaux terrains affleurant dans cette zone permet de suivre et de comprendre la structuration de ce territoire et surtout de voir quels sont les facteurs géologiques à l'origine de certaines formes de dégradations présentes dans ce secteur, particulièrement celles liées à la pollution et aux différentes atteintes à l'écosystème et à l'environnement naturel.

### **II.2.1 Stratigraphie**

L'analyse de la carte géologique de la figure 4, ci-dessous, permet de suivre aisément l'histoire géologique du territoire de ces Communes. Elle est faite ici sur la base de l'étude des principaux affleurements suivant un ordre chronologique, en allant du plus ancien des formations aux plus récents.

### **II.2.2 Le Primaire**

Les terrains primaires dans ces communes affleurent essentiellement au Sud, à sa frontière avec les communes de Béni Amrane et Souk El Had, et partiellement au Nord en allant vers Boumerdes et Thénia. Il s'agit essentiellement de terrains métamorphiques qui affleurent sous forme de micaschistes, de gneiss, de schistes micacés et localement de calcaires cristallins, souvent rouges. Au Nord de cette Commune, ces terrains affleurent au contact des formations éruptives (granite de Thénia). Au Sud, ces terrains affleurent dans plusieurs endroits et se trouvent souvent entourés de formations oligo-éocènes ou créacées en dehors de cette commune. Comme il arrive de rencontrer au sud de Tidjelabine plusieurs affleurements de conglomérats et de schistes azoïques datés de Paléozoïques qui se présentent sous forme de schistes satinés, souvent granulitisés.

### **II.2.3 Le Secondaire**

Les terrains secondaires dans ces Communes sont pratiquement absents. Aucun affleurement triasique, jurassique ou créacé n'est signalé sur la carte géologique de cette région. Ils n'existent que dans les Communes limitrophes, particulièrement celles de Khémis el Khechna, Larbatache et Keddara.

## II.2.4 Le Tertiaire

Dans ces Communes, le Tertiaire est représenté par des terrains variés et appartenant à l'Eocène, l'Oligocène, le Miocène et le Pliocène. L'Éocène dans cette zone est représenté par des argiles et des grès numidiens, ils affleurent essentiellement au Sud. Quant aux terrains oligocènes, nous relevons qu'ils affleurent sous forme de conglomérats appelés aussi poudingues de Dellys. Ils constituent plusieurs reliefs développés autour de Tidjelabine. Le Miocène dans le secteur étudié n'est signalé qu'au nord de cette Commune, il affleure sous forme de marnes carténiennes, très développées sur la RN5 (Alger-Constantine) et de marnes sahéliennes qui affleurent dans beaucoup d'endroits du côté nord de cette Commune également. Le Pliocène, lui aussi n'est présent qu'au nord de cette commune, non loin de la RN.5 aux environs de Figuier. Il affleure sous forme de faciès variés, mais dominés par les sables rouges, les conglomérats et des formations argilo-détritiques rouges.

## II.2.5 Le Quaternaire

Dans ces Communes le quaternaire n'est développé qu'au Nord où la topographie est relativement moins accidentée et où les processus d'érosion sont moins agressifs. Dans cette zone, le Quaternaire est représenté par des faciès variés, il y a des conglomérats, des cailloutis, des argiles et des alluvions qui persistent sur les terrains à faible pente, particulièrement au nord au niveau des principaux Oueds Bou Froun, Bou Khelifa, Boumerdes et Corso. Au sud, sur les reliefs accidentés, il ne persiste que des colluvions, des éboulis ou des dépôts de pentes.

## II.2.6 La tectonique

Les marqueurs de la tectonique dans cette zone sont relevés par le caractère chahuté des terrains, les nombreuses failles qui tranchent la plupart des formations, ex de la faille de Thénia, et par l'importance du métamorphisme qui affecte la majeure partie des affleurements paléozoïques. La déformation dans cette zone résulterait également d'une tectonique complexe et polyphasée. Ils s'expriment par l'importance de l'écaillage des structures et l'abondance des chevauchements et des contacts anormaux, sans oublier les marqueurs de la tectonique cassante très répandus à travers cette zone. Notons enfin que la tectonique dans cette partie des terrains, littoraux à sublittoraux de ces Communes, comme pour le reste des régions telliennes, s'exprime jusqu'à présent par les différents séismes qui affectent fréquemment cette zone et dont le dernier séisme important est celui du 21 Mai 2003 ayant causé d'important dégâts à la wilaya de Boumerdes et à l'ensemble de l'Algérois.



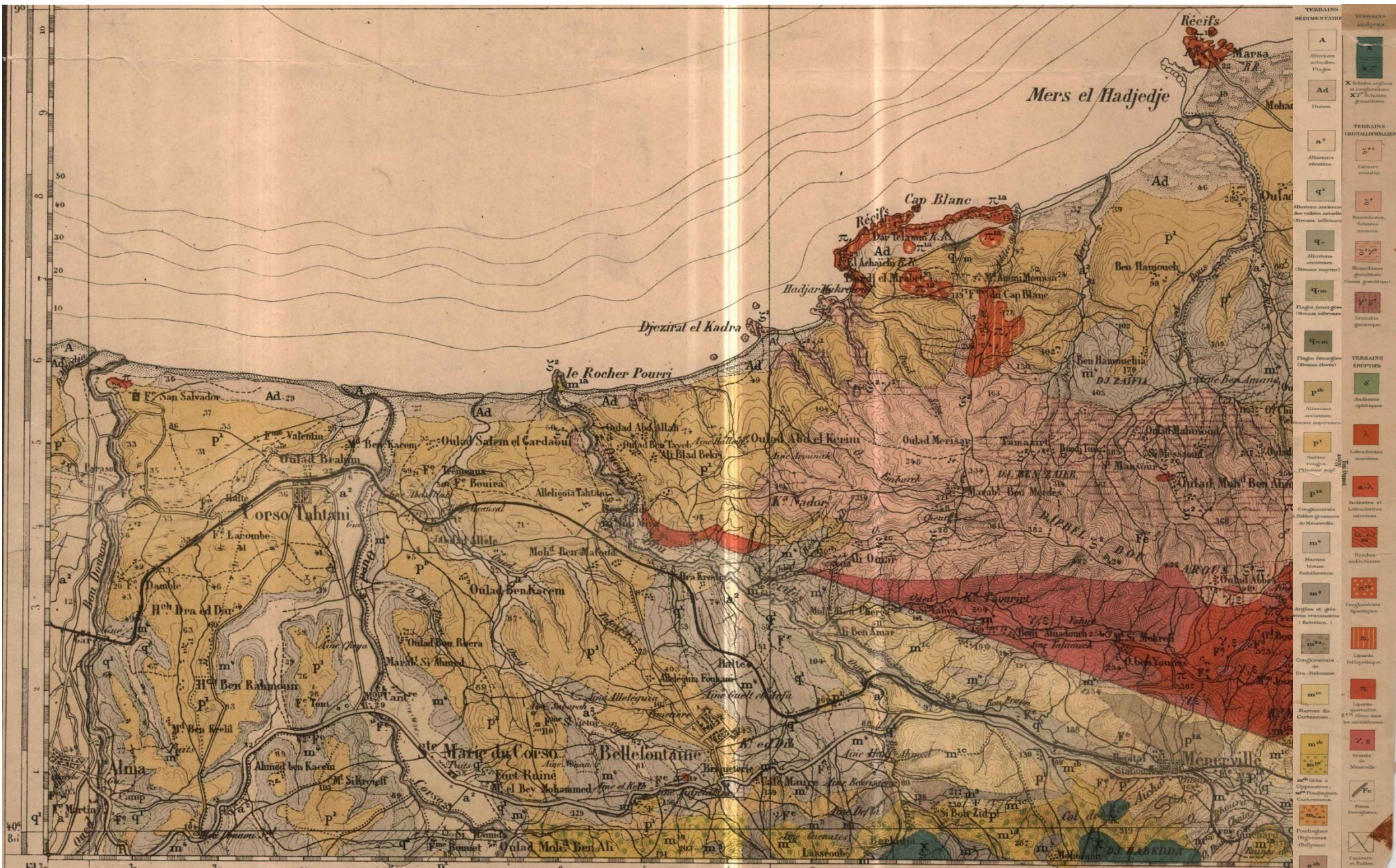


Figure 4 – Esquisse géologique de la région centre de la wilaya de Boumerdes au 1/500.000ème. (Source : Carte géologique au 1/500.000ème, feuille d'Alger)



### II.3 Le réseau hydrographique

Le réseau hydrographique de ces communes se caractérise par la densité des écoulements, particulièrement dans la moitié nord où les terrains sont essentiellement argileux ou marneux qui constituent le milieu idéal pour le ravinement et les mouvements de terrain. Les terrains dans cette commune sont drainés par trois principaux oueds, il s'agit des Oueds Bou Froun, Bou Khelifa, affluents de l'oued Boumerdes et l'oued Corso. L'Oued Bou Froun a une direction presque Est-Ouest et débouche dans l'Oued Boumerdes du côté Est et l'Oued Bou Khelifa, de direction Sud-Nord débouche dans l'Oued Boumerdes du côté Ouest et Sud-Ouest. Quant à l'Oued Corso, nous constatons qu'il draine la moitié ouest de la Commune de Tidjelabine et dessine dans son tronçon aval la limite ouest de cette commune suivant une direction Sud-Nord. Notons enfin, que chacun de ces Oueds reçoit un chevelu dense d'écoulements et de ravins à pente forte et dont le profil en large possède une forme en V découlant de l'importance de l'encaissement et de l'approfondissement des talwegs. Cependant les études hydrogéologiques menées dans cette zone montrent que cette dernière recèle deux horizons aquifères, le premier situé à quelques mètres (maximum 10 mètres) de profondeur et est influencé par les apports des sites d'enfouissement, les formations alluvionnaires du Mio-Plio-Quaternaires sont le siège de cet aquifère. Par contre, le second est situé dans l'ensemble gréseux-albien. Les précipitations accentuent le déplacement des polluants soit par le biais de l'infiltration soit par écoulement de surface. Les formations géologiques à l'affleurement dans cette zone d'étude sont constituées de marnes avec des intercalations de calcaire fissuré et des alluvions d'âge respectivement Crétacé et Mio-Plio-Quaternaire. Ces formations confèrent au site une perméabilité variable dans le sens horizontal et vertical. En effet, les fréquents changements de faciès (passage des formations alluvionnaires aux calcaires compactes) font que la perméabilité change dans des proportions importantes. En effet, on passe d'une perméabilité de l'ordre de  $10^{-2}$  m/s à une perméabilité de  $10^{-6}$  m/s. De ce fait, les écoulements prennent des directions préférentielles selon la fissuration.

### II.4 Le climat

Les facteurs climatiques intervenant dans les processus de transformation (biodégradation) des matières organiques contenues dans les déchets sont les pluies et les températures, tandis que le vent joue un rôle de vecteur de pollutions potentielles (éparpillement des déchets, odeurs ...). Pour l'étude climatologique de la zone d'étude, nous utiliserons les données la station de Thenia (Ménerville) qui est limitrophe de Boumerdes et qui présente des caractéristiques (topographie) presque identiques à celles des Communes considérées.

# **Chapitre III**

## **Partie expérimentale**

# **Partie A**

## **Matériels et méthodes**



### III.A.1 Matériels et méthodes pour la caractérisation des débris de démolition

Le but de cette partie du travail expérimental est d'évaluer les caractéristiques physiques et mécaniques des débris enfouis en tenant compte de leur composition hétérogène, et d'explorer les possibilités de leur recyclage dans des applications techniquement et économiquement viables.

Les prélèvements de débris ont été effectués au niveau des sites d'enfouissement de Figuier et Tidjelabine, le site de Corso étant fermé et interdit d'accès. Les débris enfouis dans les sites de Boudouaou et Tidjelabine proviennent de constructions similaires et réalisées avec les mêmes types de matériaux produits localement (cimenteries de Meftah et de Rais Hamidou pour les ciments, et briqueteries de Boudouaou et de Benrahmoune pour les produits rouges). Compte tenu de cette similitude, nous n'avons pas jugé utile d'inclure dans cette étude la caractérisation des débris de Boudouaou. Les débris se présentent sous forme de blocs de diverses formes et dimensions de béton ferrailés ou non, de briques et/ou de parpaings enduits de ciment artificiel portland, plâtre et peinture. Les prélèvements ont été réalisés manuellement à l'aide d'une pelle, et d'une façon aléatoire en surface et ce en raison de l'indisponibilité des moyens mécaniques permettant des prélèvements en profondeur. Les échantillons prélevés sur les deux sites se présentent sous la forme de blocs de taille et composition diverses : béton, parpaings enduits de ciment pour les deux sites, et des blocks de briques enduits de ciment et autres revêtements pour Tidjelabine uniquement.

Le poids des échantillons prélevés est déterminé à l'aide d'une balance de capacité de 120 Kg. Leurs pourcentages par nature sont déterminés par rapport au poids total de l'échantillon global. Les éprouvettes de béton sont préparées par carottage. L'opération consiste à prélever dans le béton des éprouvettes cylindriques de dimensions 40mm x 40mm (diamètre x hauteur), à l'aide d'une carotteuse à couronne diamantée.

Les éprouvettes de parpaing sont cubiques de 50mm et découpées à l'aide d'une tronçonneuse. Trois éprouvettes par catégorie de débris sont soumises aux analyses et essais et la moyenne des résultats obtenus est à chaque fois déterminée (Guide Environment Canada, 2006).

Les analyses et essais normalisés réalisés (Dupin R, Lauchon J.C, Saint Arroman, 2003) ; (Neville A.M., 2000) sont :

|   |               |
|---|---------------|
| Détermination du poids par pesée                      | AFNOR         |
| Détermination de l'humidité naturelle                 | AFNOR         |
| Composition minéralogique                             | MO -L-3-2/3/5 |
| Masse volumique apparente ( $\rho_{\text{absolue}}$ ) | NF EN 1097-6  |
| Masse volumique absolue ( $\rho_{\text{apparente}}$ ) | NF EN 1089-4  |
| Absorption  | NF EN 1097-5  |
| Résistance à la compression ( $R_c$ )                 | EN 12390 – 3  |
| Résistance à l'usure par fragmentation (Los Angles)   | NF EN 1097-2  |
| Résistance à l'usure par frottement ( Micro Deval)    | NF EN 10/97-1 |
| Résistance à la flexion                               | NFP198-405    |
| Analyse granulométrique des sables                    | NF EN 933 - 1 |
| Friabilité des sables                                 | P18-576       |
| Equivalent de sable (E S)                             | NF EN 933-8   |

### III.A.2 Matériels et méthodes pour la caractérisation des lixiviats et des eaux de surface

Les lixiviats des décharges résultent de la percolation à travers le massif de déchets de liquides contenus dans les déchets et de l'eau apportée par les précipitations. Les mécanismes de formation des lixiviats de nature biologiques et physico-chimiques, sont très complexes. Les déchets enfouis servent de substrat aux micro-organismes (bactéries, levures, champignons) dont l'activité a des effets directs multiples sur les conditions physico-chimiques du milieu (pH, potentiel redox...) ou peuvent déclencher des phénomènes physico-chimiques secondaires (dissolutions, précipitations...). En retour, ces mécanismes biologiques se trouvent sous la dépendance des paramètres physico-chimiques du milieu. La genèse des lixiviats implique simultanément des processus aérobies et anaérobies, liés au mode d'exploitation de la décharge et à la nature des déchets enfouis. Ces mécanismes sont bien connus, en particulier dans le cas des centres de d'enfouissement de déchets solides urbains et ménagers (Ejlertsson et al, 2003). Tous les sites sélectionnés pour l'enfouissement et le dépôt des débris de démolition du séisme du 21 mai 2003 se présentent sous la forme d'un terrain en cuvette ou en dépression (voir figure 5 ci-dessous) dans laquelle on a procédé à l'enfouissement par couches successives légèrement inclinées que l'on a recouvert d'une couche de terre végétale de 50 cm une fois la dépression remplie.

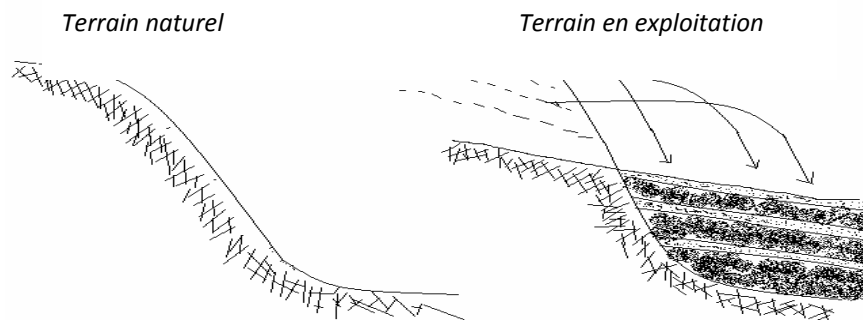


Figure 5 : type d'implantation des décharges sur terrain en dépression.

Trois ans après enfouissement, les lixiviats générés par les eaux pluviales ont peut être entraîné des substances toxiques contenues dans ces déchets vers les nappes d'eau souterraines. Pour nous en assurer, nous avons procédé à des prélèvements et analyses d'échantillons de lixiviats et d'eau dans des puits et/ou des forages à proximité des quatre sites ; avec une attention toute particulière pour le cas de Tidjelabine, car ce site renferme des débris classiques de démolition jugés inertes, des métaux lourds provenant des déchets industriels, des hydrocarbures provenant de déversements d'huiles de graissage, de goudrons provenant de la réfection des routes, ainsi que des produits chimiques provenant des blocs d'enseignement de l'université effondrés ( Benmenni, M.S., et Benrachedi, K., 2009). L'objectif des analyses effectuées sur ces échantillons de lixiviats et d'eau potable est de répondre à la question de la contamination éventuelle des eaux destinées à la consommation humaine par les substances toxiques contenues ou mélangées aux débris de démolition, en fonction des conditions d'enfouissement et gestion des différents sites. Toutes les analyses ont été effectuées entre Février et Avril en 2006 (pour les lixiviats) et 2007 (lixiviats et eaux potables). Le tableau 5 ci-dessous dresse la liste des principaux polluants susceptibles d'être retrouvés dans des sites pollués.

Tableau 5 : principaux produits polluants inorganiques et organométalliques

| <b>Produits</b>                         | <b>Polluants types</b>  |
|---|---|
| Métaux lourds non-métaux et métalloïdes | V Cr Mn Co Ni Cu Zn Ag Cd Sn Hg Ti Pb Bi As Se Sb Te  |
| Anioniques et autres                    | Nitrates sulfates nitrites Fluorures, chlorures, cyanures   |
| Composés organo-minéraux                | Pétrole et produits pétroliers, Plomb organiques, organo-stanniques, organo-mercuriels, pigments « organiques » industriels |
| Composés organo-metalliques             | Additifs pour dérivés de pétrole : carburants, huiles, graisses...  |

En plus de la lixiviation des déchets solides, ces polluants peuvent provenir des produits chimiques et pétroliers, de l'incinération, et de l'activité agricole, etc. Ces polluants étant nombreux, nous avons limité cette étude aux impacts de quatre métaux lourds (cadmium, cuivre, plomb et zinc) et des hydrocarbures totaux. Les sources potentielles identifiées des ces polluants au niveau des sites étudiés sont résumées dans le tableau 6.

Tableau 6 : Sources potentielles des polluants cibles au niveau des sites étudiés.

| <b>Polluant</b> | <b>Sources et produits usagés retrouvés dans la décharge</b>  | <b>Décharges</b>                                 |
|-----------------|---|--|
| <b>Cd</b>       | Accumulateurs usagés au nickel-cadmium. Films pour la photographie et la radiographie, des pièces en caoutchouc synthétique, pneus, et des bris de porcelaine. Produits usagés en matière plastique ( Cd comme stabilisants et pigments). | Boudouaou<br>Figuier, et<br>Tidjelabine          |
| <b>Cu</b>       | Conduites d'alimentation d'eau et de gaz dans les habitations. Eléments de produits domestiques usagés en laiton (Cu-Zn) et en bronze (Cu-Sn). Coussinets de moteurs. Huiles usagées de graissage.  | Figuier et<br>Tidjelabine                        |
| <b>Pb</b>       | Batteries automobiles (environ 50 % de la quantité retrouvée). Conduites pour la distribution d'eau et de gaz (de moins en moins). Coussinets en cupro-plomb. Peinture au plomb dans les débris de démolition.                            | Boudouaou,<br>Corso<br>Figuier et<br>Tidjelabine |
| <b>Zn</b>       | Tôles d'acier galvanisées usagées. Pièces moulées (automobile, équipements ménagers, pièces industrielles...etc.) représentant environ 20 % de des objets trouvés. 11 %. Grandes quantités de conduites d'eau usagées en acier galvanisé. | Boudouaou,<br>Figuier,<br>Tidjelabine.           |
| <b>HC</b>       | Fuites d'huiles de carburant et de graisses de véhicules (marché d'occasions) vidanges sauvages, boues huileuses industrielles  | Tidjelabine                                      |

### III.A.2.1 Echantillonnage

Après une période pluviale, une série de prélèvements de lixiviats a été réalisée aux points d'écoulement en contrebas des décharges de Boudouaou, Corso, Figuier et Tidjelabine, ainsi qu'une autre série de prélèvement des eaux de surface à partir de puits les plus proches du centre de la décharge de Tidjelabine. Les prélèvements réalisés se rapportent aux mois de février et mars 2007 et les analyses effectuées ont porté sur les ions majeurs, les métaux lourds cibles, les hydrocarbures, les demandes chimiques et biologiques en oxygène (DBO et DCO<sub>5</sub>). Les échantillons ont été prélevés à une température ambiante qui varie entre 15 et 18°C.

### III.A.2.2 Conditions requises pour la conservation des échantillons

Les conditions requises (Rodier, J., 2005) pour la conservation d'échantillons afin d'obtenir des résultats fiables, sont résumés dans les tableaux 7 et 8 ci-dessous.

Tableau 7: Conditionnement pour l'analyse des éléments métalliques toxiques et indésirables.

| Métaux lourds                  | Nature du récipient | Technique de conservation                                     | Lieu de l'analyse | Durée de conservation |
|--------------------------------|---------------------|---|-------------------|-----------------------|
| Plomb, Cuivre, Zinc et Cadmium | Polyéthylène        | Filtration sur le lieu du prélèvement et acidification à pH<2 | laboratoire       | 1 mois                |

Tableau 8: Conditionnement pour l'analyse des indicateurs de pollution organique.

| Indicateur | Flaconnage  | Conservation   | Lieu de l'analyse | Durée de conservation | Observation  |
|------------|---|--|-------------------|-----------------------|--|
| DBO        | P ou V<br>(le verre est préférable dans le cas de faible DBO) | Réfrigération entre 2 et 5°C                             | laboratoire       |                       |  |
|            |   | Congélation à -20°C                                      | laboratoire       | 1 mois                |  |
| DCO        | P ou V<br>(le verre est préférable dans le cas de faible DCO) | Réfrigération entre 2 et 5°C et maintien à l'obscurité   | laboratoire       | 24h                   | L'acidification est particulièrement recommandée quand la DCO est due à la présence de matières organiques |
|            |   | Acidification à pH<2 avec H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | Laboratoire       | 2 jours               |  |
|            |   | Congélation à -20°C                                      | laboratoire       | 1 mois                |  |
| MES        | P ou V  | Réfrigération à 4°C, et maintien à l'obscurité           | Laboratoire       | 6h                    |  |

### III.A.2.3 Méthodologie des analyses effectuées

La mesure du pH a été effectuée suivant la méthode électrométrique : (Adaptée à la norme NF T 90 008). Le dosage des métaux lourds a été réalisé par spectrophotométrie d'absorption atomique. La détermination de la DCO et de la DBO<sub>5</sub> par respirométrie ont été réalisées suivant la méthode HACH (Jirka, A.M., Carter, M.J., 1975) quant aux MES, elles ont été déterminées par centrifugation.

### III.A.3- Matériels et méthodes pour la caractérisation du sol et des eaux souterraines du site de Tidjelabine

Le but de ce travail conduit entre les mois de Février et juin 2008 est l'évaluation de la pollution du site (sol et eaux souterraines) suite aux résultats obtenus concernant les lixiviats et les eaux de surface l'année précédente.

Pour ce faire, nous avons choisis les points de prélèvement en tenant compte de la disponibilité des puits ou forages et de leur position par rapport au centre de la décharge désigné par S<sub>1</sub> (référence) comme indiqués sur la figure 6 ci-dessous.

Les prélèvements de sol ont été effectués aux endroits des prélèvements d'eau pour six d'entre eux. Pour Les points S<sub>1</sub> et S<sub>2</sub>, il n'y a pas de puits ni forage à proximité. Au total, Il y a eu 8 prélèvements d'échantillons de sol et six prélèvements d'échantillons d'eau (tableau 9).

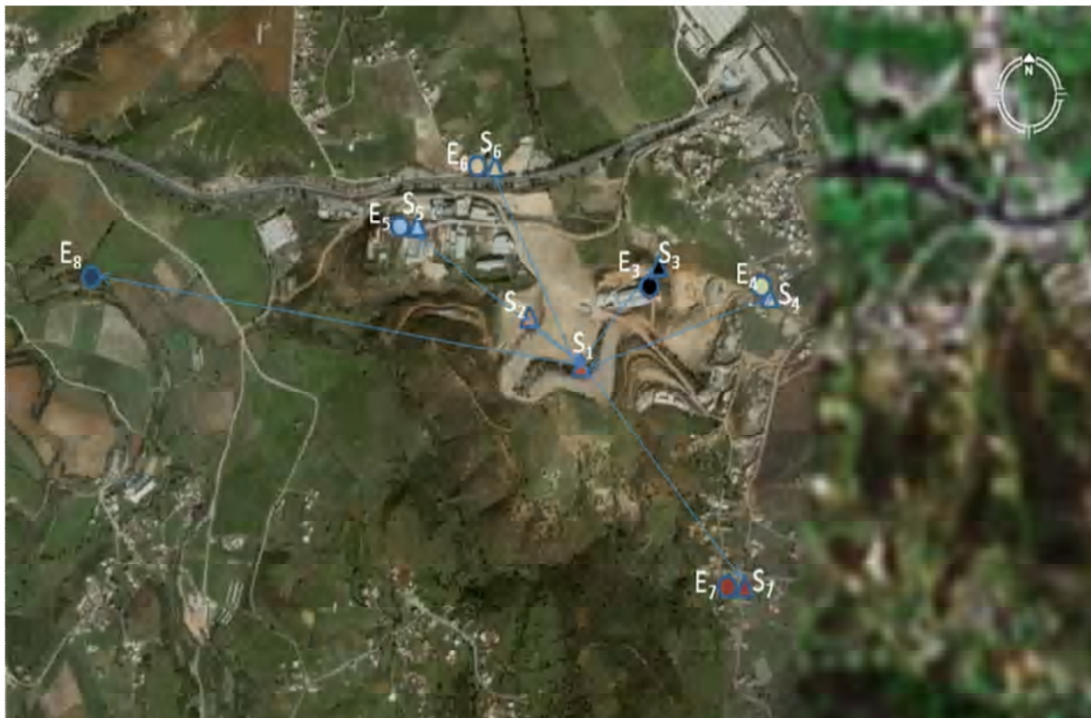


Figure 6 : localisation des différents points de prélèvement d'eau (E<sub>i</sub>) et de sol (S<sub>i</sub>)





Figure 7 : Prélèvement et conditionnement des échantillons de sol

Tableau 9 : Description des points de prélèvements des échantillons d'eau et de sol.

| Point | Situation par rapport au centre de la décharge (1)  | Distance de S1 (m) | Nature des échantillons                     |
|-------|---|--------------------|---|
| 1     | Central Référentiel   | Repère             | Sol : S <sub>1</sub>                        |
| 2     | Nord Ouest en zone mixte de la décharge   | 100                | Sol : S <sub>2</sub>                        |
| 3     | Nord Est proximité d'un forage de 70 m de profondeur (usage industriel)                                 | 150                | Eau : E <sub>3</sub> et Sol: S <sub>3</sub> |
| 4     | Est proche d'un puits de 2m de profondeur (usage domestique)  | 300                | Eau :E <sub>4</sub> et Sol : S <sub>4</sub> |
| 5     | Nord Ouest proximité d'un forage de 80 m de profondeur (usage industriel)                               | 600                | Eau :E <sub>5</sub> et Sol : S <sub>5</sub> |
| 6     | Nord en zone d'habitation proximité puits de 8m de profondeur (usage domestique)                        | 700                | Eau :E <sub>6</sub> et Sol : S <sub>6</sub> |
| 7     | Sud Ouest sur terrain agricole à proximité puits de 8m de profondeur (usage agricole)                   | 1000               | Eau :E <sub>7</sub> et Sol : S <sub>7</sub> |
| 8     | Nord Ouest, terrain agricole, à proximité de l'Oued Corso, forage de 80m de profondeur (usage agricole) | 1500               | Eau :E <sub>8</sub>                         |

Le tableau 10 ci-dessous résume les analyses réalisées sur les échantillons d'eau et de sol.

Tableau 10: Analyses effectuées sur les échantillons d'eau et de sol.

| Echantillon   | Type de l'analyse  |
|---|--|
| Eau   | Mesure du pH   |
|   | Détermination de l'alcalinité                              |
|   | Dosage du calcium  |
|   | Dosage du magnésium  |
|   | Dosage des sulfates  |
|   | Dosage des chlorures                                       |
|   | Détermination de la DBO                                    |
|   | Détermination de la DCO                                    |
|   | Détermination de la concentration des métaux lourds        |
|   | Détermination de la concentration des hydrocarbures totaux |
|   | Sol  |
| Détermination de l'humidité                                   |  |
| Evaluation de la teneur en matière organique par perte au feu |  |
| Détermination de la concentration des métaux lourds           |  |
| Détermination de la concentration des hydrocarbures totaux    |  |

#### III.A.4- Matériels et méthodes pour la caractérisation des huiles usagées moteurs (principale source de pollution).

L'huile usée est liquide et se compose d'un mélange de molécules organiques et d'une variété d'additifs chimiques et de particules métalliques provenant de l'usure des pièces mécaniques et des additifs utilisés lors de la formulation des huiles neuves. En Algérie, les huiles pour moteurs essence et diesel ainsi que les huiles hydrauliques sont les plus largement utilisées et 20% uniquement de la consommation nationale sont récupérés au niveau de certaines stations services. Elles se composent d'une huile minérale de base (hydrocarbures ayant des points d'ébullition supérieurs à 350°C) et d'une quantité plus ou moins importante de divers additifs (jusqu'à 20% en masse) destinés à leurs conférer les propriétés spécifiques désirées. Ces additifs peuvent être organiques (sans cendres) ou organométalliques ; et se caractérisent par une très bonne solubilité dans les huiles de base, une stabilité thermique aussi élevée que possible et une volatilité aussi faible que possible (J. Ayel, M. Born, 1998). Mais après usage,



les propriétés de ces huiles sont dégradées, ce qui nécessite leur vidange, et se transforment en rejets extrêmement toxiques (Koni Grob, et al, 2001) Elles et sont classées dans la catégorie des déchets dangereux car elles contiennent :

- des constituants volatils (eau, essence, gasoil) ;
- des composés solubles dans l'huile formés par oxydation (résines, savons métalliques, additifs d'indice de viscosité, composés organométalliques) ;
- des composés insolubles dans l'huile (particules de carbones, poussières atmosphériques, métaux, oxydes métalliques maintenus en suspension dans l'huile par les détergents associés aux huiles),
- des additifs renfermant un métal, des additifs dispersants, des additifs sans cendres, des additifs antioxydants et anticorrosifs (chlore, phosphore, des phénols, des phtalates...)
- des composés aromatiques parmi lesquels des hydrocarbures polycycliques aromatiques (HAP),

Les valeurs moyennes des caractéristiques essentielles des huiles usagées moteurs à travers le monde sont résumées dans le tableau 11 ci-dessous.

Tableau 11 : Caractéristiques des huiles usagées moteurs collectées à travers différents régions du monde.

| Caractéristiques des huiles usagées moteurs collectées | France <sup>1</sup> | Italie <sup>1</sup> | Belgique <sup>1</sup> | Afrique du Sud <sup>1</sup> | Amérique du Sud <sup>1</sup> | Algérie <sup>2</sup> |
|--|---------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------------|------------------------------|----------------------|
| Densité à 15°C   | 0,893               | 0,885               | 0,904                 | 0,892                       | 0,902                        | 0,898                |
| Viscosité cSt à 37,8°C                                 | 78                  | 87,58               | 118,4                 | 63,15                       | 116                          | 129,62               |
| 98,9°C   | 10,92               | 11,81               | 12,6                  | 8,76                        | 12,82                        | 13,57                |
| Indice de Viscosité                                    | 128                 | 126                 | 101                   | 123                         | 113                          | 100                  |
| Matières carbonneuses (% pds)                          | 1,95                | 2,08                | 2                     | 1,5                         | 2,7                          | 0,6                  |
| Point d'écoulement °C                                  | - 42                | - 33                | - 27                  | - 39                        | - 24                         | - 21                 |
| Point éclair Cleveland °C                              | 189                 | 224                 | 230                   | 168                         | 216                          | 226                  |
| TAN (mg KOH/g)   | 4                   | 2,92                | 1,95                  | 2,2                         | 4,8                          | 2,11                 |
| Cendres sulfatées (% pds)                              | 1                   | 1,1                 | 1,13                  | 0,98                        | 1,2                          | 1,06                 |

(1) : d'après l'Institut Français du Pétrole.

(2) : d'après le Centre de recherche et Développement (CRD) de la SH Boumerdes.

Il n'est pas possible de donner la composition précise type de l'huile usagée, car elle dépend de sa provenance. Mais indépendamment de leur provenance, toutes les huiles usées contiennent des fractions légères, moyennes et lourdes. La fraction lourde ne pénètre pas facilement les média poreux et sa densité avoisine celle de l'eau, l'évaporation des composés volatils peut donner lieu à des sols goudronneux solides, rendant leurs nettoyage très difficile.

La fraction moyenne est plus dangereuse vis-à-vis de l'environnement car elle pénètre plus facilement dans les milieux poreux. La fraction légère (huile volatile) diffuse rapidement sur les surfaces solides et liquides (eau) et pénètre plus aisément les surfaces poreuses. Cette dernière catégorie d'huile est habituellement la plus toxique.

Les échantillons proviennent du mélange de volumes équivalents (5 litres) d'huiles usées collectées auprès de dix stations services proche de Boumerdes. Ces huiles proviennent de la vidange de moteurs de voitures et de camions ainsi que d'engins hydrauliques. Une distillation sous vide (ASTM D1160) a été réalisée dans le but d'évaluer la partie toxique de ces huiles (fractions légères et médianes), le résidu final étant la fraction lourde de l'huile usée. Dans le but d'identifier les différents composants de la fraction légère, nous avons analysé par la méthode de la chromatographie en phase gazeuse couplée à un spectromètre de masse (GCMS) les vapeurs reproduites expérimentalement au sein de l'atelier de retraitement des huiles usagées de la Future World Oil de Ouled Moussa, par chauffage d'un mélange de l'huile usée et de la bentonite. L'huile et la terre sont mélangées dans les proportions convenables (10% en poids de Montmonrillonite) dans deux réacteurs de 3 mètres cubes chacun et munis d'un système d'agitation et de chauffage à bain d'huile. Dans le premier réacteur, la température opératoire est fixée à 180°C, soit environ 40°C en dessous du point d'inflammation moyen (en vase ouvert et déterminé par la méthode ASTM D 1298) de l'huile usagée en traitement. Le mélange est transféré par l'intermédiaire d'une pompe dans le deuxième réacteur où il continuera à être malaxé mais à une température d'environ 120°C, de la vapeur d'eau et des produits volatils malodorants se dégagent, essentiellement pendant le passage de l'huile dans le premier réacteur. La durée totale de ce traitement à la terre est de 5 heures. Les échantillons de vapeurs dégagées sont prélevés au dessus des deux bacs par aspiration dans des bouteilles métalliques qui étaient préalablement sous vide et rincées au CCl<sub>4</sub>. Avant de procéder à son analyse l'échantillon de vapeur qui s'est condensé de nouveau dans la bouteille a été chauffé à une température supérieure à 120°C afin d'évaporer la totalité des composés présents dans cet échantillon. Le prélèvement et l'injection de l'échantillon gazeux ont été effectués à l'aide d'une seringue à gaz pour pouvoir injecter un maximum d'échantillon.

### **III.A.5- Matériels et méthodes pour le traitement des huiles usagées moteurs et industrielles (élimination de la source de pollution)**

Cette partie de notre travail a pour but l'étude comparative de la décontamination des huiles à l'aide d'agrégats issus des débris de démolition par rapport au procédé classique utilisant de

la bentonite activée à l'acide sulfurique. Si cette voie de décontamination de la principale source de pollution est jugée satisfaisante, l'huile ainsi traitée pourra être utilisée comme combustible pour incinérateur, alors que les agrégats usés seront recyclés dans le bitumage des routes ou encore dans la fabrication de briques et tuiles en argile cuite (produits rouges), ce qui contribuera à la réhabilitation du site. D'après les résultats obtenus lors de la caractérisation des débris de démolition, les agrégats issus des opérations de concassage de ces derniers présentent une composition minéralogique et chimique ainsi que des propriétés physiques intéressantes en tant qu'adsorbat et donc susceptibles de retenir les contaminants et autres impuretés contenues dans l'huile usagée. En effet, le liant des sables et agrégats de roche naturelle de ces débris est du ciment type portland dont le constituant principal est le clinker. Il est obtenu par la cuisson d'un mélange composé généralement aux environs de 80% de calcaire majoritairement composé de carbonate de calcium  $\text{CaCO}_3$  et de 20% d'argile (mélange complexe et souvent hydraté de silice  $\text{SiO}_2$ , d'alumine  $\text{Al}_2\text{O}_3$  et d'oxyde de fer  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (Blezard, R. G., 1998).

Dans Le procédé classique de décontamination des huiles usagées par contact à la terre activée, La terre utilisée est généralement de la bentonite constituée principalement du minéral montmorillonite, le reste étant constitué de la gangue, telle que par exemple du quartz, de la chaux, du feldspath ou analogues. Pour fabriquer à partir de ce minéral une terre décolorante à haute activité, on purifie l'argile brute et, par activation en suspension dans des acides inorganiques, tels par exemple que l'acide chlorhydrique ou l'acide sulfurique, on la modifie à haute température. (BOURG, Ian C., 2004).

Dans ce procédé un grand nombre de contaminants indésirables sont éliminés par adsorption, en une seule opération. La charge d'huile usée est mélangée à de la terre activée à l'acide sulfurique concentré afin d'éliminer la plupart des impuretés et des sous produits de la dégradation de l'huile neuve. Au cours de cette phase, des goudrons soufrés insolubles se forment et s'adsorbent sur la surface des grains de la terre. L'ensemble est pressé dans filtre presse et l'huile débarrassée d'une grande partie de ses contaminants est récupérée et neutralisée (chaux/soude caustique).

Les huiles usées ainsi décontaminées doivent être exemptes d'odeur et présenter une faible acidité (indice d'acide inférieur à  $2\text{mgKOH/g}$ ) (GUIBET, J.C., BE 8 545). (Carburants liquides. Techniques de l'Ingénieur, traité Génie énergétique) ainsi qu'une faible teneur en chlore (Règlement sur les matières dangereuses, Canada.). Un exemple pratique de ce type

d'unités peut être visité à la zone industrielle de Khemis El Khechna, Wilaya de Boumerdes (Future World's Oil) qui permet de traiter un mètre cube d'huile usée à la fois et dont les opérations ont été reconstituées en laboratoire pour les besoins de notre travail expérimental.

Le processus de traitement commence par le chauffage de la charge dans un réservoir en acier jusqu'à 170°C avec un palier à 100°C pour permettre l'évaporation de la fraction d'eau contenue (jusqu'à 4%) dans l'huile usée. Entre 100° et 170°C certains composés volatils (fractions légères et autres solvants ayant pu se mélanger à l'huile usée) sont éliminés.

L'huile est ensuite introduite dans un agitateur, enceinte à double parois de forme cylindrique avec une base conique, contenant de la terre (bentonite de Mostaganem) activée à d'acide sulfurique (10% du volume total du batch). Le mélange est refroidi jusqu'à 40°C, et lentement agité pendant 3 à 4 heures pour permettre la réaction de l'acide sulfurique avec les impuretés (donnant des sulfates) et leur adsorption sur la terre activée. Ensuite le mélange est introduit dans un presse filtre à toile et l'huile claire mais acide est envoyée vers un deuxième agitateur, alors que la terre activée est réutilisée (jusqu'à 3 fois de suite). La terre usée est stockée dans des vieux fûts en attendant son élimination.

L'huile acide est mélangée à de la chaux et l'ensemble est chauffé jusqu'à 170°C-180°C avec une faible agitation entre deux à quatre heures. La chaux réagit avec l'acide pour donner du gypse et l'opération se termine par la neutralisation l'huile (pH 7). L'huile neutralisée est alors filtrée pour la séparer des particules solides de gypse de l'huile et est ensuite utilisée comme combustible dans les incinérateurs. Ces terres usées contaminées sont un danger pour l'environnement (contamination du sol et des nappes d'eau souterraines) et leur recyclage dans la fabrication des produits rouges a également été expérimenté (Benmenni MS., 2009).

La figure 8 ci-dessous représente le dispositif utilisé en laboratoire pour reproduire les opérations du procédé de la FWO. Il comprend une plaque chauffante réglable, une terrine en acier inoxydable, un agitateur mécanique réglable et un thermomètre pour le contrôle de la température. La charge d'huile pour moteurs usée provient du même mélange d'huiles des vidanges de moteurs collectées auprès de stations services de Boumerdes et préalablement caractérisé.

Elle a été décantée pour précipiter les grosses particules (au repos pendant deux jours), ensuite chauffée à 100°C pendant 10 minutes et à 160°C pendant 10 autres minutes pour évaporer le reste d'eau et les fractions légères.

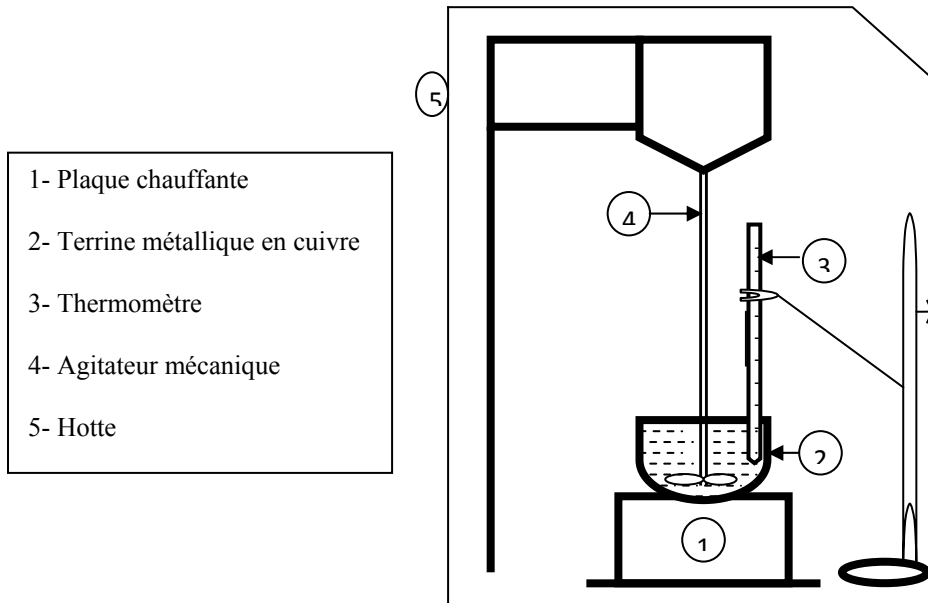


Figure 8 : Dispositif expérimental

### III.A.5.1 Traitement à la terre activée des huiles usées

La terre utilisée est de la bentonite provenant du gisement dit « bloc 3 » de Mostaganem, d'une masse volumique de 1,90 g/cm<sup>3</sup>, de couleur brun clair et dont la composition chimique à l'état naturel est la suivante :

Tableau 12 : Composition chimique de la bentonite utilisée.

| Composant | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MgO  | CaO  | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | TiO <sub>2</sub> | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | Cr   | Perte au Feu |
|-----------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|-------------------|------------------|------------------|-------------------------------|------|--------------|
| % (masse) | 56.62            | 16.44                          | 4.32                           | 3.21 | 1.39 | 2.7               | 0.78             | 0.47             | 0.11                          | 0.02 | 12.5         |

La bentonite brute est broyée, tamisée ( 250µm et 400µm) a été ensuite activée à l'acide sulfurique à 34%. L'incorporation de l'acide sulfurique est faite au goutte à goutte avec agitation et en chauffant.

L'huile usée décantée et déshydratée est mélangée à la bentonite activée.

Le mélange est soumis à un choc thermique entre 160°C à 170°C pendant quelques minutes et refroidi jusqu'à 40°C tout en subissant une agitation mécanique continue à la vitesse de 100 tr/min pendant 3 heures. Le mélange est finalement introduit dans un filtre presse pour séparer l'huile de la boue.

Les différents essais effectués concernent :

- 1- l'influence de la masse de bentonite activée à 34% pour un même volume d'huile défini (250 ml), ce qui nous a permis de définir la masse (130g) qui correspondant au meilleur résultat
- 2- l'influence de la granulométrie (250µm et 400µm) pour et de la concentration d'acide pour une masse de bentonite définie (130g), et un volume d'huile fixé (250 ml), ce qui nous a permis de déterminer la granulométrie optimale de 250µm et la concentration optimum d'acide dans le mélange à 11,63%.

Les meilleurs résultats qui ont été obtenus sur les échantillons traités à la bentonite de granulométrie 250 µm et à une concentration d'acide de 11,63% dans le mélange (huile usée et bentonite), sont très proche de ceux obtenus dans le procédé industriel où la concentration d'acide est de 10%.

### III.A.5.2 Traitement aux agrégats de débris de démolition des huiles usées

Les prélèvements de débris ont été effectués manuellement, et d'une façon aléatoire en surface sur le site de décharge de Tidjelabine. Les débris prélevés sont des morceaux de blocs de béton, de parpaing, de brique, et plâtre peint, leurs masses respectives sont résumées dans le tableau 13 ci-dessous.

Tableau 13 : Masse des différents débris prélevés sur le site de Tidjelabine.

| Echantillons | Béton     | Parpaing  | Brique  | Plâtre  | Peinture |
|--------------|-----------|-----------|---------|---------|----------|
| Poids (g)    | 1 634.820 | 1 048.440 | 196.960 | 241.103 | 67.501   |

La masse de ces différents matériaux entrant dans la confection du lit d'agrégats est déterminée proportionnellement à la composition en masse des ces différents éléments précédemment estimée lors de l'étude de caractérisation des débris de démolition de ce même site. Cette opération a été réalisée à l'aide d'une balance électronique de capacité de 400g et les valeurs résumées dans le tableau 14 ci-dessous.

Tableau 14 : Masse et pourcentage des éléments composant les lits d'agrégats.

|           | Béton | Parpaing | Brique | Plâtre | Peinture | Total |
|-----------|-------|----------|--------|--------|----------|-------|
| Masse (g) | 96.96 | 24.24    | 2.03   | 5.40   | 1.40     | 130   |
| %         | 74.58 | 18.65    | 1.56   | 4.14   | 1.07     | 100   |

Après séchage dans une étuve à 105°C pendant une heure, les débris sont concassés et ensuite broyés. Les poudres obtenues sont ensuite tamisées au moyen de tamis normalisés de classes 315 µm, 250 µm et 200 µm. La masse des différents agrégats entrant dans la composition des lits est déterminée en tenant compte des pourcentages correspondants précédemment déterminés (voir tableau 14 ci-dessus). Des lits de masse totale équivalente à 130 g de granulométrie 315 µm, 250 µm et 200 µm ont été activés à l'acide sulfurique à 34% de la même manière que pour la bentonite.

La réaction entre l'acide et les agrégats, lors de l'activation, était accompagnée d'un fort dégagement de poussières et de chaleur ; le lit est humidifié dans un premier temps, mais après mélangeage, il a repris son aspect initial sans qu'il y ait changement de volume, et n'a donc pas développé de surface spécifique ; ce qui s'explique par le fait que les agrégats contiennent du plâtre basique. Et dans le but de garder la concentration en acide dans le mélange égale exactement à la quantité introduite au départ, nous avons déterminé la quantité d'acide nécessaire pour la neutralisation du plâtre. Nous avons pris 5.40g de plâtre (quantité contenue dans le lit), que nous avons solubilisé dans 100ml d'eau distillée avec agitation. Le filtrat récupéré était dosé par de l'acide sulfurique; le dosage était contrôlé par la mesure du pH afin de ne pas dépasser la neutralité et qui est obtenue avec 0,8 ml d'acide.

L'huile utilisée préalablement décantée et déshydratée est ensuite mélangée à chaque lit prétraité, selon la même procédure que pour le traitement à la bentonite. L'extraction de l'huile est effectuée à la pression atmosphérique à l'aide de l'appareil Retort Method destiné à mesurer les saturations des roches en eau et huile : le mélange huile usée-agrégats est mis dans des cornues, introduit dans l'appareil et l'huile traitée est récupérée dans des tubes en verre.

### **III.A.6- Matériels et méthodes pour le recyclage des terres et des débris pollués**

#### **III.A.6.1 matériels et méthodes pour la caractérisation des terres polluées**

Lors de ce travail expérimental, nous avons étudié la possibilité de recycler de manière écologique les terres issues des endroits très pollués par les huiles usées du site de Tidjelabine dont les concentrations en hydrocarbures totaux présentent des valeurs très largement supérieures à la norme qui est de 0.8 g/kg, telles que les stations S<sub>1</sub> avec 10.592 g/kg ; S<sub>3</sub> avec 16.926g/kg, et S<sub>5</sub> avec 23.598 g/kg.

Ces terres doivent être excavées et traitées hors site. La voie expérimentée consiste à recycler ces déchets très dangereux par mélangeage à la matière première servant à la fabrication de briques et tuiles en argile dans l'une de briqueteries et tuileries de la région de Boumerdes en l'occurrence l'Unité « Bouzegza » de Boudouaou. Pour ce faire, nous avons prélevé des échantillons de terres des stations les plus polluées du site de Tidjelabine. La terre de ce site a une masse volumique moyenne de 1,90 g/cm<sup>3</sup>, une couleur brun foncé.

En l'absence d'un laboratoire spécialisé dans les analyses des terres polluées aux huiles usées, nous avons procédé, pour caractériser la terre polluée, par différenciation en analysant l'huile usée avant et après traitement suivant le procédé dit par contact à la terre en utilisant de la bentonite activée industriellement à 10% d'acide sulfurique.

La masse des polluants de l'huile usée piégés dans la masse de la bentonite ont été ainsi déduits pour trois batch successifs (après saturation du lit). La caractérisation de l'huile traitée ainsi que les résultats des différentes analyses et essais réalisés sont résumés dans les tableaux 15 et 16 ci-dessous.

Tableau 15: analyses de l'huile traitée à la bentonite

| <b>Analyses</b>                   | <b>Huile usagée</b> | <b>Huile traitée</b> |
|-----------------------------------|---------------------|----------------------|
| Densité à 15 °C                   | 0.8936              | 0.8690               |
| Teneur en soufre % poids          | 0.4938              | 0.1489               |
| Point d'écoulement °C             | - 22                | - 21                 |
| Couleur ASTM                      | >8                  | 3.0                  |
| Odeur                             | Forte               | Faible               |
| Point d'éclair °C                 | 216                 | 226                  |
| Indice d'acidité (mg KOH/g)       | 14.84               | 0.5381               |
| Teneur en eau ppm                 | 1126                | Non dosable          |
| Teneur en cendres % poids         | 1.2                 | 0.57                 |
| Viscosité cinématique cSt à 40 °C | 116.8               | 69.2                 |
| à 100 °C                          | 14.4                | 9.1                  |



Tableau 16: Teneurs en métaux lourds cibles dans l'huile avant et après traitement et dans les sous produits traitement acide-terre.

| Métaux  | Teneur en ppm               |                              |  |   |
|---------|-----------------------------|------------------------------|--|---|
|         | Valeurs dans l'huile usagée | Valeurs dans l'huile traitée | Valeurs dans les boues acides (différence) | Valeurs limites de concentration dans les sols* |
| Cadmium | 1,4                         | 0,4                          | 1  | 2   |
| Chrome  | 140                         | 8                            | 132  | 150   |
| Cuivre  | 110                         | 4                            | 106  | 100   |
| Nickel  | 25                          | 11                           | 14   | 50  |
| Plomb   | 270                         | 15                           | 255  | 100   |
| Zinc    | 1100                        | 80                           | 1020                                       | 300   |

\*limites internationalement admises.

La matière première utilisée dans la production de briques et tuiles de l'unité « Bouzegza » de Boudouaou est obtenue par mélange de 60% d'argile grise et de 40% d'argile jaune, extraites des gisements limitrophes de Benrahmoune.

Les tableaux 17, 18 et 19 ci-dessous résument les principales caractéristiques chimiques, minéralogiques et granulométriques des argiles utilisées déterminées au sein du laboratoire de l'Organisme des Recherches Géologiques et Minières de Boumerdes (ORGM).

Tableau 17 : Composition chimique des argiles grise et jaune du gisement de Benrahmoune.

| Nature de l'échantillon | Elément |       |       |       |      |      |      |      |              |
|-------------------------|---------|-------|-------|-------|------|------|------|------|--------------|
|                         | SiO2    | Al2O3 | Fe2O3 | CaO   | Mg O | SO3  | KO2  | Na2O | Perte au Feu |
| Argile grise%           | 47,00   | 12,59 | 4,88  | 13,41 | 1,92 | 0,56 | 1,82 | 0,75 | 16,00        |
| Argile jaune%           | 48,48   | 13,12 | 5,19  | 12,83 | 1,49 | 0,16 | 1,85 | 0,71 | 15,06        |

Tableau 18: Composition minéralogique des argiles grise et jaune du gisement de Benrahmoune.

| Nature de l'échantillon | Minéraux |         |          |           |                |           |        |          |
|-------------------------|----------|---------|----------|-----------|----------------|-----------|--------|----------|
|                         | Quartz   | Calcite | Dolomite | Feldspath | Ferromagnésien | Kaolinite | Illite | Chlorite |
| Argile grise (%)        | 28,50    | 24      | 2        | 3         | 5              | 17        | 14     | 6,5      |
| Argile jaune (%)        | 30       | 23      | 2        | 4,5       | 5              | 19,50     | 11     | 5        |

Tableau 19: Analyse granulométrique des argiles grise et jaune du gisement de Benrahmoune.

| Nature de l'échantillon | Taille       |                |                  |            |
|-------------------------|--------------|----------------|------------------|------------|
|                         | 1 à 0,063 mm | 0,063 à 0,01mm | 0,005 à 0,001 mm | < 0,001 mm |
| Argile grise (%)        | 12,75        | 5,84           | 19,72            | 28,84      |
| Argile jaune (%)        | 11,44        | 0,20           | 16,64            | 32,80      |

Le pH de la terre usée a été déterminé selon la NF EN 12176 (AFNOR,1998) sur des échantillons de boue de 100 grammes. Le pH de la boue acide est de 4,67. La boue acide a été ensuite neutralisée avec une solution basique (NaOH 1N). Le tableau 20 résume les valeurs du pH pour différents volumes de soude jusqu'à la neutralisation (pH = 7,1) qui est obtenue à l'aide de 43 ml de NaOH.

Tableau 20 : Evolution du pH d'un échantillon de 100 grammes de boue acide par rapport à la quantité de NaOH ajoutée jusqu'à neutralisation.

| Volume de NaoH (ml) | 0    | 10  | 20  | 30  | 35  | 40  | 42  | <u>43</u>  |
|---------------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------------|
| pH mesuré           | 4,67 | 4,8 | 5,1 | 5,6 | 5,9 | 6,6 | 6,9 | <u>7,1</u> |

### **III.A.6.2 Préparation des échantillons de mélange de la boue usée neutralisée et l'argile servant à la production de briques et tuiles.**

L'argile de production a été obtenue par mélangeage et homogénéisation de 60% d'argile grise avec 40 % d'argile jaune, selon la spécification propre à l'unité Bouzegza. La terre polluée d'une granulométrie de 250µm a été mélangée à part égale avec la boue neutralisée et homogénéisée. Ce mélange a ensuite été incorporé dans l'argile de production à différents taux en masse à savoir 0,05% désigné par ( $V_1$ ) ; 0,1% ( $V_2$ ) ; 0,2% ( $V_3$ ) ; et 0,3% ( $V_4$ ) qui représente la valeur limite au-delà de laquelle le mélange final ne peut plus être homogénéisé. Une série de quatre éprouvettes ont été confectionnés pour chaque mélange ainsi que pour l'argile de production qui sert de référence ( $V_0$ ) aux fins d'essais physiques et mécaniques.

Le malaxage et le façonnage des éprouvettes d'essais ont été réalisés manuellement au niveau du laboratoire de l'Unité de production de Boudouaou. Le séchage a été réalisé dans une étuve à la température de 100°C pendant 24 heures et obtention d'une masse constante des éprouvettes.

La cuisson a été réalisée dans le four de l'unité à une température de 850 °C pendant 52h et demi.

Le comportement de l'argile de production chargée aux différents pourcentages de terre usée a été évalué grâce à la détermination des propriétés et caractéristiques essentielles (Giovanni, P., 2005) dont : l'humidité (de carrière et de façonnage) ; le retrait sur sec ; la perte au feu ; le retrait sur cuit ; la porosité totale ; l'absorption d'eau ; la masse volumique ; la masse spécifique et la résistance à la flexion (sec et cuit). Les essais ont été réalisés au niveau du laboratoire du Centre d'Etudes Techniques de l'Industrie Matériaux (CETIM) de Boumerdes.

# **Partie B**

## **Résultats et interprétation**

### III.B.1 Analyse des données climatiques

#### III.B.1.1 Pluviométrie

Les données climatiques collectées auprès de la station de Thenia sont regroupées dans les tableaux 21 et 22 ci-dessous.

Tableau 21: Précipitations moyennes mensuelles (1975-2005) (Source : Station météorologique de Thénia)

| Mois           | Sep | Oct | Nov | Déc | Jan | Fev | Mrs | Avr | Mai | Jui | Juil | Aout | annuel |
|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|--------|
| Pluie en mm    | 35  | 72  | 127 | 143 | 132 | 91  | 87  | 59  | 52  | 18  | 1    | 3    | 816    |
| Jours de Pluie | 4   | 8   | 11  | 13  | 12  | 12  | 10  | 8   | 7   | 4   | 1    | 1    | 99     |

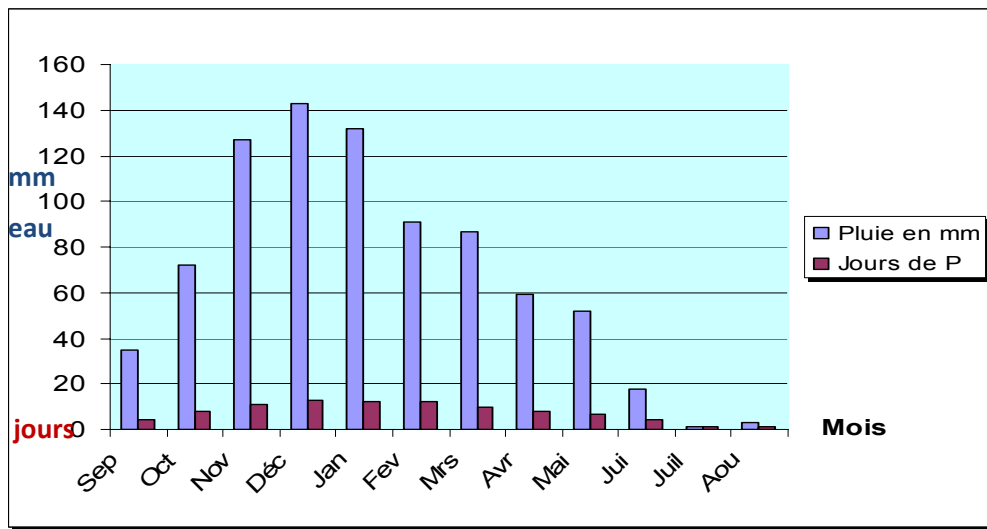


Figure 9 : Précipitations moyennes mensuelles. Source : Station météorologique de Thénia

Tableau 22 : Pluviosité moyenne saisonnière en mm. Source : Station météorologique de Thénia

| Saison            | Automne | Hiver | Printemps | Eté |
|-------------------|---------|-------|-----------|-----|
| Station de Thénia | 234     | 366   | 198       | 22  |

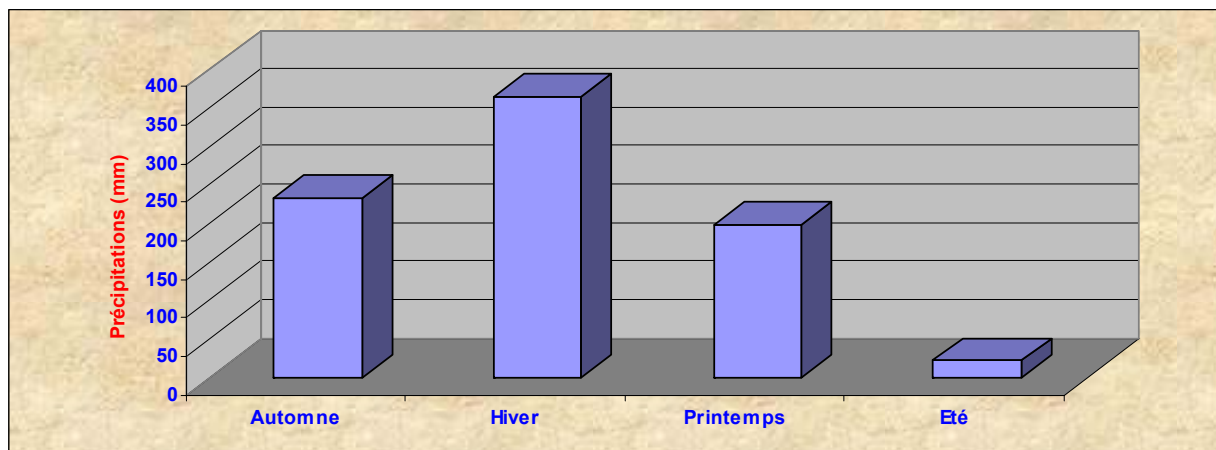


Figure 10: Les variations saisonnières des précipitations. Source : Station météorologique de Thénia

### Interprétation

Les Communes de cette région sont caractérisées par un climat subhumide du type méditerranéen, avec un été chaud et sec et un hiver froid et humide. Les précipitations annuelles sont d'environ de 820 mm, réparties sur 100 jours par an (tableau 21).

Les variations mensuelles moyennes des précipitations sont presque identiques à celles du littoral algérois. A partir de septembre, on assiste à une augmentation rapide des pluies jusqu'au mois de janvier, puis un décroissement lent jusqu'en juin ; les pluies sont quasiment nulles en juillet et août. Pour ce qui est du nombre de jours de pluies, on remarque que les mois de Décembre, janvier et février ont enregistré plus de 12 jours de pluies chacun.

L'examen de l'histogramme ci-dessus fait apparaître une répartition irrégulière des précipitations durant les différentes périodes de l'année caractérisées par deux saisons contrastées, à s'avoir :

- Une période pluvieuse et humide, qui va à partir du mois d'Octobre jusqu'au mois de Mai, avec une moyenne de 763 mm / an, soit 93,50 % du total des précipitations annuelles.
- Une période chaude et sèche, qui va à partir du mois de Juin jusqu'à Septembre, avec peu de précipitations (53 mm/ an), soit 6,50 % du total des précipitations annuelles

Cette répartition est caractéristique des pays secs, avec des précipitations fines et pénétrantes durant la période pluvieuse qui favorise la lixiviation des déchets et leur entrainement en profondeur dans le sol vers les eaux souterraines. Par contre, les rares précipitations survenant durant la période chaude et sèche, essentiellement à partir de mi-automne, sont des pluies orageuses, de courte durée et favorise le lessivage des surfaces entrainant les polluants qui s'y trouvent sur des distances plus ou moins importantes en fonction de la puissance de l'orage.

### III.B.1.2 Les Températures

L'analyse de la température se réfère aux données relevées du tableau 23 ci-dessous à savoir la moyenne des températures minima, la moyenne des températures maxima, ainsi que la température moyenne mensuelle.

Tableau 23 : Variation des températures (source : station de Thénia)

| Température | Jan  | Fev  | Mrs  | Avr  | Mai  | Jui  | juil | Aou  | Sep  | Oct  | Nov  | Déc  | Moyenne annuelle |
|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------------------|
| Minima      | 6,3  | 6,9  | 8,0  | 9,6  | 12,4 | 16,0 | 18,9 | 19,3 | 17,2 | 14,1 | 10,5 | 7,6  | 12,2             |
| Maxima      | 14,7 | 14,9 | 18,0 | 20,8 | 24,5 | 28,5 | 32,7 | 33,8 | 20,2 | 24,7 | 19,1 | 15,4 | 23,1             |
| Moyenne     | 10,5 | 10,9 | 13,0 | 15,2 | 18,4 | 22,2 | 25,8 | 26,5 | 23,7 | 19,4 | 14,8 | 11,5 | 17,6             |

L'écart maximum entre la température mensuelle des minima et la température mensuelle des maxima varie entre 7,6 °C en décembre et 33,8°C en août. Par ailleurs, les hautes valeurs estivales (températures) sont enregistrées en Juillet et en Août, par contre les valeurs d'hiver sont représentées par les mois de Janvier et Décembre (Figure 11 ci-dessous).

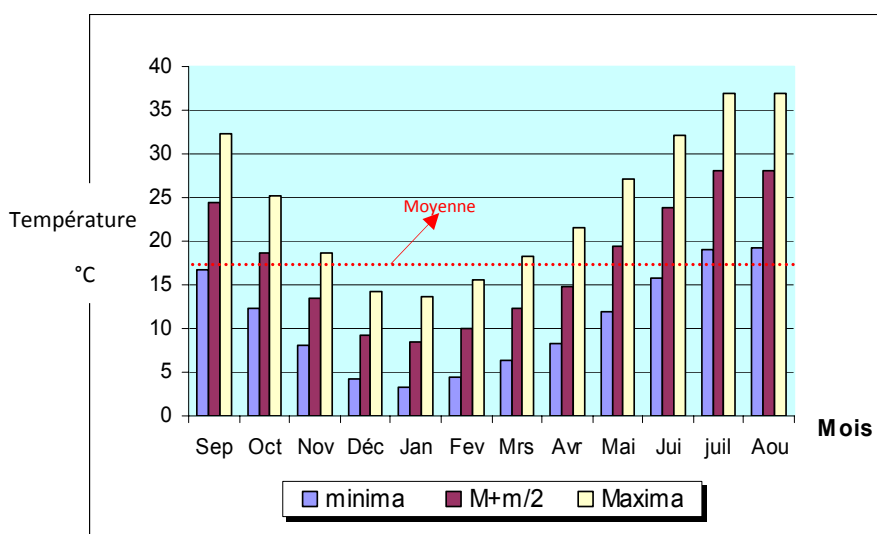


Figure 11: Diagramme des températures moyennes relevées à la station de Thénia

L'analyse des températures de cette région montre que :

- La température moyenne annuelle est de 17,6°C ;
- La température moyenne annuelle des mois les plus froids est de 10,5 °C (Janvier).
- La température moyenne annuelle des mois les plus chauds est de 26,5 °C (Août)

La température est un facteur important de prolifération bactériologique survenant aux saisons chaudes, avec transmission de maladies hydriques par une multitude de vecteurs provenant pour l'essentiel des décharges sauvages. En conséquence de quoi, nous avons effectué tous les prélèvements des échantillons d'eau, de sol et de lixiviat durant les saisons d'hivers-printemps correspondant à la période allant du mois de Février jusqu'à la fin du mois d'Avril c'est-à-dire après la période pluviale et avant les grandes chaleurs.

### III.B.2 Analyse de l'état et de la composition des décharges étudiées

#### III.B.2.1- Etat des décharges

Les données fournies par les services concernés de la Wilaya sont rassemblées dans le tableau 24 ci-dessous sous forme de volumes de débris enfouis dans les divers sites.

Tableau 24 : volume en m<sup>3</sup> de déchets de démolition par site dans la Wilaya de Boumerdes.

| DAÏRA             | COMMUNE              | SITE DE DECHARGE            | QUANTITE DE GRAVATS               | ETAT DE LA DECHARGE               |
|-------------------|----------------------|-----------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| BOUMERDES         | BOUMERDES            | FIGUIER 1                   | 270 000,000                       | OUVERTE                           |
|                   |                      | FIGUIER 2                   |                                   |                                   |
|                   | CORSO                | FOUAÏS                      | 14 000,000                        | FERMEE                            |
|                   |                      | CORSO CENTRE                | 180 000,000                       | FERMEE AMENAGEE                   |
|                   |                      | BEN RAHMOUNE                | 15 000,000                        | FERMEE NON AMENAGEE               |
| TIDJELABINE       | MARCHE DES VEHICULES | 110 000,000                 | OUVERTE ET EN COURS D'AMENAGEMENT |                                   |
| BORDJ MENAËL      | BORDJ MENAËL         | ANCIENNE BRIQUETERIE ISSERS | 300 000,000                       | OUVERTE                           |
|                   | ZEMMOURI             | ZEMMOURI CENTRE             | 230 000,000                       | OUVERTE ET EN COURS D'AMENAGEMENT |
|                   | LEGATA               | KOUSS                       | 30 000,000                        | OUVERTE                           |
|                   | CAP DJINET           | CARRIERE                    | 35 000,000                        | FERMEE AMENAGEE                   |
| THENIA            | THENIA               | CITE BOUSHAKI               | 70 000,000                        | OUVERTE NON AMENAGEE              |
|                   | BENI AMRANE          | OUED DJENEN                 | 20 000,000                        | OUVERTE NON AMENAGEE              |
|                   | SOUK EL-HAD          | RENTREE EST                 | 15 000,000                        | OUVERTE NON AMENAGEE              |
| ISSERS            | ISSER                | ANCIENNE BRIQUETERIE ISSER  | 300 000,000                       | OUVERTE NON AMENAGEE              |
| BOUDOUAOU         | BOUDOUAOU            | DRAA ZMAM                   | 380 000,000                       | OUVERTE AMENAGEMENT EN COURS      |
|                   |                      | BEN ADJEL HLA MIA           | 30 000,000                        | TRAITEE                           |
|                   | BOUDOUAOU EL-BAHRI   | PLATEAU                     | 50 000,000                        | FERMEE NON AMENAGEE               |
| KHEMIS EL-KHECHNA | KEK                  | CHANTIER MODERNE            | 60 000,000                        | OUVERTE                           |
|                   | OULED MOUSSA         | OULED MOUSSA                | 35 000,000                        | OUVERTE                           |
|                   | HEMMADI              | HEMMADI                     | 55 000,000                        | OUVERTE                           |
|                   | LARBATACHE           | LARBATACHE                  | 20 000,000                        | OUVERTE                           |

La ville de Boumerdes occupe une superficie de 1800 ha pour environ 45000 habitants (2005). Les décharges de Boudouaou, Figuier et Tidjelabine sont ouvertes et reçoivent les

déchets urbains et industriels et sont donc mixtes. Seule la décharge de Corso est fermée et ne renferme que des déchets de démolition des constructions endommagées par le séisme.

### III.B.2.2 Composition de débris de démolition

L'estimation en masse des différentes catégories de débris de démolition des quatre décharges est rassemblée dans le tableau 25 ci-dessous. Le calcul estimatif de la masse des différentes catégories de débris de démolition issus du séisme est conduit sur la base d'un devis quantitatif de réalisation d'une cité de 200 logements fournis par les services de l'urbanisme de la commune de Boumerdes. L'extrapolation (voir Annexe1) est faite pour les débris provenant de la démolition des logements endommagés des communes de Boumerdes, Corso, Boudouaou, Thénia et de leurs environs immédiats (parmi l'ensemble des bâtiments complètement ou gravement endommagés par le séisme) et enfouis dans les sites objets de notre étude proportionnellement aux volumes donnés par le tableau 24. A noter que le site d'enfouissement de Figuier ne contient pas de débris de briques d'argile car les logements et structures démolis et enfouis sur ce site proviennent de construction en parpaing et béton.

Tableau 25: Masse approximative des débris les plus répandus dans les quatre décharges.

| Masse /type de débris (Tonnes)           | Boudouaou | Corso  | Figuier | Tidjelabine | Total          |
|--|-----------|--------|---------|-------------|----------------|
| Béton (y compris ferraille)              | 1306300   | 362850 | 979750  | 399140      | 3048040        |
| Briques d'argile                         | 20230     | 5650   | -----   | 15220       | 41100          |
| Plâtre                                   | 41500     | 11500  | 31120   | 12680       | 96800          |
| Peinture et revêtements muraux           | 7550      | 2090   | 5650    | 2500        | 17740          |
| Boisier                                  | 12100     | 3350   | 9060    | 3690        | 28160          |
| <b>Masse totale des débris en tonnes</b> |           |        |         |             | <b>3231840</b> |

D'après les mêmes services de la Direction des travaux publics et de la construction de la Wilaya de Boumerdes, une très large proportion des boisiers avait été récupérée par les entrepreneurs chargés de la démolition et de l'évacuation de débris vers les décharges. En fait il ne subsiste dans la catégorie boiserie que les morceaux d'éléments scellés aux débris de béton ou de briques, ce qui réduit considérablement la masse de boiserie. La boiserie représentant moins d'un pour cent de la masse totale, la masse définitive de débris de



démolition enfouis dans les quatre sites et contenant très peu de boiserie peut être estimée à 3203000 tonnes toutes catégories confondues.

### III.B.2. 3 Estimation de la masse des autres déchets

L'estimation de la masse des autres types de déchets composant les trois décharges mixtes est faite selon les résultats de l'étude menée par Yost, (P. Yost and J. Halstead, 1996), vue que la nature des déchets entrant dans la composition de décharges mixtes, sans tri ni récupération, reste très sensiblement équivalente d'un pays sur l'autre étant donné le mode de vie et les habitudes de consommation des citoyens. Le tableau 26 ci-dessous donne les masses estimées en déchets autres que les débris de démolition.

Tableau 26 : Estimation en massique des déchets autres que les débris de démolition enfouis dans les trois décharges mixtes encore ouvertes

| Masse /type de déchets (tonnes) | Boudouaou | Figuier | Tidjelabine |
|---------------------------------|-----------|---------|-------------|
| Plastic*                        | 156100    | 208200  | 63610       |
| Déchets ménagers**              | 520500    | 694200  | 212050      |
| Divers***                       | 38650     | 45300   | 35300       |

\* : Essentiellement emballages boissons, sachets, films et pièces d'électroménager.

\*\* : englobent les restes alimentaires de fruits et légumes, papier, textile, verre, céramique, sachets plastic , petit appareillage ménager.

\*\*\* : comprend les pièces usées automobile, batteries, huiles usagées, pneus usés, goudrons, boues industrielles, verre plat .

### III.B.3 Analyses physiques et essais mécaniques des débris et interprétation des résultats

L'ensemble des analyses et essais des débris ont été réalisés au sein de laboratoire de l'Office Régional des Gisements Miniers (ORGM) de Boumerdes. Les tableaux ci-dessous donnent les valeurs moyennes des résultats obtenus sur les échantillons pour les différentes caractéristiques physiques et mécaniques. Le détail de ces résultats et les modes opératoires suivis sont rassemblés dans l'annexe A.

#### III.B.3.1 Caractéristiques physiques des granulats

Les résultats obtenus des essais physiques ont donné les résultats suivants :

Tableau 27 : Valeurs moyennes de la composition, masse volumique, porosité et absorption des échantillons prélevés sur les sites de Figuier et Tidjelabine.

| Nature de l'échantillon | Caractéristiques physiques         |           | Figuier | Tidjelabine | Spécification |
|-------------------------|------------------------------------|-----------|---------|-------------|---------------|
| Béton                   | Composition % (poids) <sub>3</sub> |           | 64.62   | 46.65       |               |
|                         | ρ g/cm <sup>3</sup>                | absolue   | 2.70    | 2.66        | > 2.2         |
|                         |                                    | apparente | 2.10    | 2.09        |               |
|                         | Porosité %                         |           | 21.74   | 21.3        | < 10          |
| Absorption%             |                                    | 8.41      | 8.00    | ≤7          |               |
| Parpaing                | Composition % (poids) <sub>3</sub> |           | 35.38   | 33.85       |               |
|                         | ρ g/cm <sup>3</sup>                | absolue   | 2.58    | 2.70        | > 1.9         |
|                         |                                    | apparente | 1.99    | 1.99        |               |
|                         | Porosité %                         |           | 22.67   | 28.32       | < 10          |
| Absorption %            |                                    | 8.69      | 9.04    | ≤7          |               |
| Brique                  | Composition % (poids) <sub>3</sub> |           | /       | 20.50       |               |
|                         | ρ g/cm <sup>3</sup>                | absolue   | /       | 2.70        | > 1.6         |
|                         |                                    | apparente |         | 1.94        |               |
|                         | Porosité %                         |           | /       | 28.32       | < 10          |
| Absorption %            |                                    | /         | 9.40    | ≤7          |               |

Tableau 28 : composition minéralogique moyenne des échantillons de Figuier et Tidjelabine

| Echantillon | Quartz % | Feldspath % | Micas % | Ciment % | Autres * |
|-------------|----------|-------------|---------|----------|----------|
| Figuier     | 30       | 15          | <5      | 35       | 15       |
| Tidjelabine | 60       | --          | <5      | 35       | <1       |

Autres : Hydroxyde de fer, Carbonates, Muscovite, Amphibole.

### Interprétation

L'humidité moyenne de l'échantillon de Tidjelabine est égale à 4.07 et celle de Figuier est de 1, 84 (l'humidité naturelle est importante dans la correction des dosages d'eau lors de la confection des bétons et lors du compactage des sols pour la construction des routes (Dreux G., Festa J., 1998). La masse volumique est comprise entre 2 et 3 g/cm<sup>3</sup> d'où les granulats peuvent être classés comme granulats courants.

La porosité présente des valeurs élevées par rapport aux spécifications (23,47% pour

Tidjelabine et 22,06 %pour Figuier) alors que l'utilisation des granulats pour le béton exige une valeur inférieure à 10%. La porosité et l'absorption sont liées directement à la présence des pores internes dans les granulats qui sont en rapport direct avec la densité de ces derniers (Buck, A.D., 1977). Le coefficient d'absorption d'eau est de l'ordre de 7,97% pour Tidjelabine et 8,5% pour Figuier, valeurs supérieure à la limite des 7% imposée par la spécification. Par conséquent, il n'est pas recommandé d'utiliser ces granulats seul mais en mélange avec des agrégats naturels dans des proportions à définir pour la confection des bétons et mortiers.

### III.B.3.2 Caractéristiques mécaniques des granulats

Les résultats obtenus pour les caractéristiques de résistance mécaniques des granulats sont rassemblés dans les tableaux ci-dessous.

Tableau 29 : Valeurs moyennes des caractéristiques mécaniques pour le béton, le parpaing et la brique des échantillons prélevés sur les sites Figuier et Tidjelabine.

| Nature et dimension de l'éprouvette  | Caractéristiques mécaniques                     | Figuier    | Tidjelabine |
|--|---|------------|-------------|
| Béton/Cylindrique:<br>D = 40.52±0.22 mm<br>S= 12.86 ±0.12 cm <sup>2</sup><br>Essais à la compression   | Force de rupture sec kgf                        | 4350       | 2080        |
|  | Force de rupture humide kgf                     | 2875       | 1910        |
|  | Résistance sèche kgf/cm <sup>2</sup>            | 329        | 170         |
|  | Résistance humide kgf/cm <sup>2</sup>           | <u>226</u> | <u>150</u>  |
| Parpaing/Cylindrique<br>D = 47.50±0.36 mm<br>S= 22.56 ±0.34 cm <sup>2</sup><br>Essais à la compression | Force de rupture sec kgf                        | 2625       | 3200        |
|  | Force de rupture humide kgf                     | 2250       | 2125        |
|  | Résistance sèche kgf/cm <sup>2</sup>            | 95         | 144         |
|  | Résistance humide kgf/cm <sup>2</sup>           | <u>79</u>  | <u>93</u>   |
| Brique<br>L= 72.38 ±0.43 mm<br>l= 13.86 ±0.26mm<br>e= 13.97 ±.20 mm                                    | Résistance à la flexion kgf/cm <sup>2</sup>     | /          | 28.41       |
|  | Résistance à la compression kgf/cm <sup>2</sup> | /          | 369.04      |

Tableau 30: Valeurs moyennes des résistances à l’usure Los Angeles et Micro Deval des différentes fractions de béton et parpaing des deux sites.

| Résistance à l’usure                                      | Fraction mm | Béton        |       |              |       | Parpaing |       |             |       |
|---|-------------|--------------|-------|--------------|-------|----------|-------|-------------|-------|
|   |             | Figuier      |       | Tidjelabine  |       | Figuier  |       | Tidjelabine |       |
| Résistance à l’usure par fragmentation (Los Angeles) en % | 4-6.3       | 31.54        |       | 29.35        |       | 23.83    |       | 21.25       |       |
|   | 6.3-10      | 38.27        |       | 36.88        |       | 33.38    |       | 31.07       |       |
|   | 10-14       | 39.64        |       | 40.60        |       | 39.56    |       | 35.40       |       |
|   | 10-25       | 45.41        |       | 42.02        |       | 35.51    |       | 38.50       |       |
|   | 16-32.5     | 51.37        |       | 47.44        |       | 38.80    |       | 41.56       |       |
| Résistance à l’usure par frottement (Micro Deval) en %    | 4-6.3       | MDE          | MDS   | MDE          | MDS   | MDE      | MDS   | MDE         | MDS   |
|   |             | <u>57.58</u> | 48.44 | <u>65.68</u> | 52.32 | 42.5     | 43.94 | 44.34       | 45.94 |
|   |             | <u>49.64</u> | 49.64 | <u>60.14</u> | 37.18 | 38.2     | 26.8  | 43.16       | 25.94 |
|   |             | <u>41.46</u> | 23.94 | <u>54.00</u> | 27.14 | 33.8     | 19.82 | 44.72       | 25.56 |

Valeurs recommandées: résistance à l’usure par fragmentation et à l’usure par frottement en présence d’eau MDE ≤40

### Interprétation

Au regard des valeurs de la résistance à la compression (202 Kgf/cm<sup>2</sup> et 194 Kgf/cm<sup>2</sup> pour Tidjelabine et Figuier respectivement) bien inférieures à la valeur imposée pour la confection des bétons par les spécifications, ces granulats sont impropres à cette utilisation. De plus les essais de résistance à l’usure donnent des valeurs (Micro Deval) bien supérieures à la recommandation des 40%, ce qui est synonyme de mauvaise qualité de ces matériaux.

Globalement, les résultats des essais physiques et mécaniques cités auparavant indiquent une qualité médiocre des granulats, ces derniers ne répondant pas aux spécifications de la confection des bétons de construction des BTP (ASTM, 1997) et par conséquent, il va falloir leur trouver des applications moins nobles telles que la confection des parpaings pour clôtures, de bordures pour les trottoirs ou encore de blocs de béton glissière ou de stabilisation en bordure de routes...

### III.B.3.3 Caractéristiques des sables :

Les résultats obtenus pour les caractéristiques des sables sont rassemblés dans les tableaux qui suivent :

Tableau 31 : Friabilité, module de finesse et équivalent de sable : sables de béton et de parpaing des sites de Figuier et Tidjelabine.

| Caractérisation des sables provenant des débris |         |             |          |             | Recommandations<br>(Sable pour béton) |
|---|---------|-------------|----------|-------------|---------------------------------------|
| Nature de l'échantillon                         | Béton   |             | Parpaing |             |                                       |
| Sites   | Figuier | Tidjelabine | Figuier  | Tidjelabine |                                       |
| Friabilité                                      | 30.5    | 33,46       | 29.2     | 31.5        | <35                                   |
| Module de finesse                               | 3.24    | 3,2         | 3.4      | 3.34        | >3                                    |
| Equivalent de sable                             | 82      | 85          | 85       | 83          | >80                                   |

Tableau 32 : Résultat de l'analyse granulométrique des sables par catégorie de débris.

| Tamis (mm) | Béton      |         |               | Parpaing   |         |               | Brique     |         |               |
|------------|------------|---------|---------------|------------|---------|---------------|------------|---------|---------------|
|            | Poids (gr) | Refus % | %Refus cumulé | Poids (gr) | Refus % | %Refus cumulé | Poids (gr) | Refus % | %Refus cumulé |
| 2,5        | 129,2      | 25,83   | 25,83         | 190        | 29,7    | 29,7          | 120,7      | 20,1    | 20,1          |
| 1,25       | 130        | 26      | 51,83         | 150,9      | 23,56   | 53,26         | 116,8      | 19,44   | 39,54         |
| 0,63       | 86,8       | 17,4    | 69,23         | 110,3      | 17,24   | 70,5          | 100,5      | 16,72   | 56,26         |
| 0,315      | 69,6       | 13,91   | 83,14         | 97,9       | 15,33   | 85,83         | 98         | 16,33   | 72,59         |
| 0,16       | 39,6       | 7,92    | 91,06         | 75,5       | 11,8    | 97,63         | 110        | 18,33   | 90,92         |
| 0,08       | 19,8       | 3,94    | 95            | 11,5       | 1,81    | 99,44         | 35         | 5,83    | 96,75         |
| <0,08      | 25         | 5       | 100           | 3,5        | 0,56    | 100           | 19,5       | 3,25    | 100           |
| Total      | 500,2      | 100     |               | 639,6      | 100     |               | 600,5      | 100     |               |

## Interprétation

Pour les sables issus des bétons et parpaing, les résultats des essais réalisés donnent des valeurs pour l'Equivalent de Sable (ES) supérieur à 80%, la Friabilité inférieure à 35 et le Module de Finesse (MF) supérieur à 3.

A priori, ces valeurs sont dans les limite acceptables pour les sables provenant des bétons; néanmoins, il faudrait faire des corrections avec un sable fin, afin de minimiser le risque de ségrégation (Kerkhoff, B., Siebel, E., 2001). Pour le sable issu du concassage de débris de brique, la friabilité présente une valeur élevée par rapport aux spécifications, l'équivalent de sable tend vers 65%, ce qui signifie que c'est un sable légèrement fin et donc pouvant entrer dans la composition en complément au sable issu du béton et parpaing pour la confection des bétons (Tamura, M.; Noguchi, T.; Tomosawa, F., and Kitsutaka, Y., 2001).

### III.B.4 Analyses des lixiviats et des eaux de surface des sites de Boudouaou, Corso Figuier et Tidjelabine et interprétation des résultats

Les résultats des différentes analyses sont reportés sur le tableau 33 ci-dessous. Les détails concernant les méthodes utilisées ainsi que tous les résultats obtenus lors des différentes analyses sont résumés dans l'annexe B.

Tableau 33 : Valeurs moyennes des résultats des analyses sur les lixiviats des sites de Boudouaou Corso Figuier et Tidjelabine.

| Concentrations  | Boudouaou | Corso  | Figuier | Tidjelabine | Valeurs limites norme Algér. |
|-----------------|-----------|--------|---------|-------------|------------------------------|
| pH              | 7.37      | 7.50   | 7.65    | 6.94        | 6.5-8.5                      |
| DCO mg/l        | 36.40     | 49.90  | 53.76   | 22.80       | 120                          |
| DBO5 mg/l       | 8.10      | 0.00   | 1.60    | 4.00        | 35                           |
| MES mg/l        | 12.00     | 10.00  | 16.00   | 10.00       | 35                           |
| Nitrates mg/l   | 0.30      | 0.10   | 0.30    | 0.20        | 50                           |
| Nitrites mg/l   | 0.016     | 0.01   | 0.02    | 0.002       | 0.1                          |
| Chlorures mg/l  | 62.40     | 60.98  | 31.19   | 25.52       | 500                          |
| Sulfates mg/l   | 75.00     | 75.00  | 43.00   | 64.00       | 400                          |
| Phosphates mg/l | 13.00     | 8.00   | 0.39    | 0.74        | 10                           |
| Azote amm. mg/l | 0.01      | 0.02   | 0.01    | 0.04        | 30                           |
| Pb mg/l         | 0.03      | 0.02   | < 0.01  | 0.51        | 0.5                          |
| Zn mg/l         | 0.04      | 0.16   | < 0.01  | 0.47        | 3                            |
| Cd mg/l         | < 0.01    | < 0.01 | < 0.01  | 2.78        | 0.2                          |
| Cu mg/l         | < 0.01    | < 0.01 | < 0.01  | < 0.01      | 0.5                          |
| HC totaux mg/l  | < 0.01    | < 0.01 | < 0.01  | 25.79       | 10                           |

## Interprétation

La caractérisation des lixiviats montrent que les décharges de Boudouaou, Corso et Figulier sont stabilisées, alors que celle de Tidjelabine est dans une phase intermédiaire. Les analyses des lixiviats et des eaux de puisards du site de Tidjelabine ont révélé la présence de polluants provenant de débris et déchets de la décharge, et donc la contamination quasi certaine de l'environnement du site. En conséquence de quoi, l'investigation plus approfondie du site de Tidjelabine par les analyses de sol et d'eaux souterraines s'impose dans le but d'évaluer la propagation de la pollution par les métaux lourds et les hydrocarbures. En effet, les concentrations particulièrement importantes en plomb et en hydrocarbures des eaux de puisards de ce site indiquent la très probable pollution des eaux souterraines par des éléments toxiques contenus dans les huiles usées moteurs.

Au regard de la réglementation algérienne, les sites d'enfouissement de Boudouaou, Corso et Figulier ne présentent pas de danger de contamination par les lixiviats, les débris qui y sont enfouis pouvant être assimilés à des déchets inertes. Par contre les lixiviats prélevés du site de Tidjelabine ont des teneurs en métaux lourds et en hydrocarbures totaux au dessus des valeurs admissibles.

Les résultats obtenus pour les analyses concernant la détermination de la demande chimique en oxygène des lixiviats de Tidjelabine sont supérieurs aux normes prescrites pour le rejet des effluents industriels, la norme étant de 120 mg/l alors que les résultats obtenus sont de 135 mg/l et 121.92 mg/l pour les deux échantillons (moyenne de 128,5 mg/l). La différence entre ces résultats et ceux obtenus en 2006 (103 mg/l) s'explique par le fait que cette décharge continue de recevoir toute sorte de débris par endroits accessibles au déversement par camions. Les échantillons ont été prélevés à proximité de ces déchets plus récents.

Pour la DBO<sub>5</sub>, le résultat trouvé est de 4.9 mg/l pour 2007 alors qu'en 2006 il était de 43,7 mg/l tandis que la valeur normale est limitée à 40 mg/l. Ce résultat comparé à la forte valeur de la DCO traduit juste le fait que la décharge contient très peu de matières biodégradables. Quant aux matières en suspension, la valeur normalisée est fixée à 40 mg/l; alors que la valeur moyenne obtenue dans la détermination des MES dans les échantillons de lixiviats est de 160 mg/l. Cette valeur est due à la présence de poussières (renouvelées par les nouveaux débris déchargés) entraînées par les fortes pluies du printemps.

Les valeurs obtenues pour le plomb restent de loin les plus alarmantes : 0.48 mg/l pour les eaux de puits et 0.51 mg/l pour les lixiviats. Pour les eaux destinées à la consommation humaine, ces valeurs dépassent de 9.6 fois la valeur recommandée, et de 48 fois la limite fixée par l’OMS.

En ce qui concerne les lixiviats, même si la valeur obtenue est très proche de la limite fixée par la norme algérienne, il n’en demeure pas moins que cette valeur peut éventuellement augmenter en fonction de la composition des déchets industriels qui pourraient être déversés sans aucun contrôle. Ceci nous crée plus de difficultés pour le suivi de l’évolution de la pollution par les débris de démolition, à l’instar de la teneur en cadmium que l’on relève sous forme de traces dans les lixiviats, alors que l’eau de puits en contient 0,07 mg/l. La teneur en zinc est inférieure aux normes en vigueur, alors que la présence du chrome dans les lixiviats et même sous forme de traces dans l’eau des puits, prouve que les débris contiennent des huiles de graissage usagées.

En effet, les résultats concernant les analyses des hydrocarbures confirment la présence des hydrocarbures provenant des bitumes, des huiles de graissage et autres produits chimiques déversés dans les différents laboratoires de l’université effondrés lors du séisme. Même si pour les lixiviats la teneur en hydrocarbures reste en dessous du seuil fixé par la réglementation algérienne, nous remarquons immédiatement la valeur de 0,01 mg/l des eaux de puits c'est-à-dire environ 14 fois supérieure à la valeur limite fixée par la norme de l’OMS pour les eaux potables.

Ces résultats préliminaires représentent un indicateur essentiel pour la recherche des sites d’enfouissement des débris de démolition appropriés et la nécessité de les isoler afin éviter la propagation de la pollution générée par l’enfouissement précipité d’importantes quantités de débris dans des sites non préparés et ouverts.

### **III.B.5 Analyse de l’eau de surface (puisards) Tidjelabine**

Le tableau 34 ci-dessous résume les valeurs moyennes des résultats des analyses d’eau de puisards de Tidjelabine en raison du risque avéré de pollution par les lixiviats.



Tableau 34 : Valeurs moyennes des résultats des analyses de présence de métaux lourds dans les eaux de puisards du site de Tidjelabine.

| Concentrations en (mg/l) | Plomb | Cadmium | Zinc | Chrome |
|--------------------------|-------|---------|------|--------|
| Valeurs obtenues         | 0.48  | 0.07    | 0.47 | Traces |
| Recommandées             | 0.05  | 0.005   | 5    | 0.05   |
| Norme OMS                | 0.01  | 0.003   | 3    | 0.05   |

La moyenne des résultats obtenus quant à la concentration en HC totaux est donnée par le tableau 35 ci-dessous.

Tableau 35 : valeur moyenne des HC totaux dans les eaux de puits du site de Tidjelabine.

| Valeurs de la concentration en HC totaux en (mg/l) |               |
|--|---------------|
| Eaux de puisards Tidjelabine                       | Norme (OMS)   |
| <b>0.01</b>  | <b>0.0007</b> |

### Interprétation

Les prélèvements ont été réalisés en 2007 à quelques jours d'intervalle, sur deux puits éloignés d'une vingtaine de mètres l'un de l'autre. Nous remarquons que les valeurs du plomb et du cadmium sont élevées par rapport à la norme de potabilité de l'OMS. Et, bien que la valeur moyenne de la concentration en HC totaux (0,01 mg/l) soit à la limite admissible pour les eaux destinées à la consommation humaine selon la norme algérienne, il n'en demeure pas moins que cette concentration est d'environ 14 fois plus élevée que la limite imposée par l'OMS.

Ces résultats mettent en relief la particularité du site de Tidjelabine où sont enfouis les débris provenant de la démolition des blocs d'enseignement de l'Université de Boumerdes, qui contiennent un mélange de divers produits et réactifs chimiques nécessaires aux diverses expérimentations et des déchets industriels divers provenant de la zone industrielle limitrophe. De plus la mairie de Tidjelabine a procédé à l'aménagement de plateformes servant au parcage des véhicules d'occasion lors du marché de vente hebdomadaire.

### III.B.6 Analyse des eaux souterraines et interprétation des résultats

Les valeurs moyennes des résultats des différentes analyses réalisées sur les échantillons des eaux souterraines sont données par les tableaux 36, 37, 38 et 39 ci-dessous.

Tableau 36: valeurs moyennes des résultats des analyses physico-chimiques des eaux souterraines de Tidjelabine

| Paramètres                         | Echantillons   |                |                |                |                |                |
|------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|                                    | E <sub>3</sub> | E <sub>4</sub> | E <sub>5</sub> | E <sub>6</sub> | E <sub>7</sub> | E <sub>8</sub> |
| pH                                 | 7.55           | 7.37           | 8.55           | 7.56           | 7.85           | 7.61           |
| HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l | 615.246        | 540.58         | 786.29         | 417.97         | 488            | 416.02         |
| Ca <sup>2+</sup> mg/l              | 86.893         | 144.92         | 19.719         | 116.712        | 126.973        | 108.55         |
| Mg <sup>2+</sup> mg/l              | 47.569         | 13.42          | 10.60          | 39.495         | 0              | 31.42          |
| Cl <sup>-</sup> mg/l               | 272.309        | 209.196        | 230.186        | 327.48         | 98.854         | 140.55         |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/l | 488.039        | 38.681         | 1194.173       | 139.087        | 399.155        | 437.013        |

#### Indicateurs de pollutions des eaux souterraines

Tableau 37: Résultats des analyses d'Indicateurs de pollution des échantillons d'eau.

| Paramètres                         | Echantillons         |                      |                      |                      |                      |                      |
|------------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|                                    | E <sub>3</sub>       | E <sub>4</sub>       | E <sub>5</sub>       | E <sub>6</sub>       | E <sub>7</sub>       | E <sub>8</sub>       |
| MES                                | 1.6 10 <sup>-2</sup> | 0.3 10 <sup>-2</sup> | 0.2 10 <sup>-2</sup> | 1.7 10 <sup>-2</sup> | 0.7 10 <sup>-2</sup> | 0.4 10 <sup>-3</sup> |
| DCO                                | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    |
| BDO <sub>5</sub>                   | 4.5                  | 0.8                  | 3.5                  | 1.4                  | 0                    | 2.2                  |
| NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> mg/l  | 0.006                | 0.019                | 0.009                | 0.01                 | 0                    | 0.007                |
| PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> mg/l | 0.10                 | 0.02                 | 0                    | 0.04                 | 0.14                 | 0.20                 |

#### Analyse des métaux lourds dans les eaux souterraines :

Tableau 38 : Résultats des analyses des métaux lourds dans les échantillons d'eaux.

| Eléments | Echantillons   |                |                |                |                |                |
|----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|          | E <sub>3</sub> | E <sub>4</sub> | E <sub>5</sub> | E <sub>6</sub> | E <sub>7</sub> | E <sub>8</sub> |
| Cd mg/l  | 0.0134         | 0.007          | 0.0076         | 0.0078         | 0.0060         | 0.0062         |
| Cu mg/l  | 0.0093         | 0.0140         | 0.074          | 0.0047         | 0.0122         | 0.0006         |
| Pb mg/l  | 0              | 0.0220         | 0              | 0              | 0              | 0.0200         |
| Zn mg/l  | 0.1400         | 0.0790         | 0.0220         | 0.0124         | 0.7790         | 0.4710         |

#### Analyse des hydrocarbures totaux dans les eaux :

Tableau 39 : Résultat des analyses des hydrocarbures totaux dans échantillons d'eau.

| Elément          | Echantillons   |                |                |                |                |                |
|------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|                  | E <sub>3</sub> | E <sub>4</sub> | E <sub>5</sub> | E <sub>6</sub> | E <sub>7</sub> | E <sub>8</sub> |
| HC Totaux (mg/l) | 0.021          | 22.76          | 0.041          | 0.0199         | 0.013          | 0.0031         |

## Interprétation

En comparant les résultats obtenus avec les valeurs admissibles de la loi algérienne, nous remarquons que la plupart des paramètres physico-chimiques ont des valeurs inférieures aux limites admissibles, à l'exception des valeurs des sulfates des échantillons E<sub>3</sub> (488 mg/l), E<sub>5</sub> (1194.173 mg/l) et E<sub>8</sub> (437 mg/l) qui dépassent la valeur limite admissible (400 mg/l). De même pour les métaux lourds, les résultats obtenus les concentrations des différents échantillons d'eaux ne dépassant pas les valeurs limites de potabilités de la norme Algérienne; sauf pour l'échantillon E<sub>3</sub> : 0.0134 mg/l qui dépasse légèrement la valeur admissible pour la concentration de Cadmium qui est de 0.01 mg/l.

Par contre, au regard de la même norme algérienne, la concentration en hydrocarbures totaux est élevée en tous les points sauf pour le point 8 situé à 1500m du centre de la décharge. Dans un ordre décroissant les valeurs moyennes de ces concentrations sont :

- 22.76 mg/l au point 4. L'échantillon d'eau E<sub>4</sub> a été prélevé dans un puits d'une profondeur de 2 m ; à usage domestique; situé à 300 m du centre de la décharge. D'après les riverains, ce puits se remplit en période hivernale et est presque à sec en période d'été. Cette grande concentration peut s'expliquer par la percolation et la lixiviation des hydrocarbures entraînés par un courant d'eau pluviale situé à profondeur de 2m.
- 0.041 mg/l au point 5. L'échantillon d'eau E<sub>5</sub>, a été prélevé dans un forage d'eau d'une profondeur de 80 m, situé à 600 m du centre de la décharge. L'atténuation de la concentration par rapport au point précédent s'explique par la profondeur du forage ainsi que par son éloignement relatif du point de référence.
- 0.021 mg/l au point 3. L'échantillon d'eau E<sub>3</sub>, a été prélevé dans un forage d'eau d'une profondeur de 70 m, situé à 150 m du centre de la décharge. Bien que plus proche du centre de la décharge, cette concentration est plus faible par rapport à celle de E<sub>5</sub> en raison de sa plus faible différence d'altitude avec le point de référence. Cette valeur est élevée par rapport à la valeur tolérée par la norme.
- 0.0199 mg/l au point 6. L'échantillon d'eau E<sub>6</sub> a été prélevé dans un puits d'une profondeur de 8 m à usage domestique, situé à 700m du centre de la décharge. Cette concentration assez proche de celle du point 3 s'explique par sa situation plus éloignée et la relative profondeur du puits.

### III.B.7 Analyse du sol et interprétation des résultats

Les valeurs moyennes des résultats des différentes analyses réalisées sur les échantillons de sol sont données par les tableaux 40, 41 et 42 ci-dessous.

Tableau 40 : Valeurs moyennes des résultats obtenus des analyses physiques sur les échantillons de sol.

| Paramètres | Echantillons   |                |                |                |                |                |                |
|------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|            | S <sub>1</sub> | S <sub>2</sub> | S <sub>3</sub> | S <sub>4</sub> | S <sub>5</sub> | S <sub>6</sub> | S <sub>7</sub> |
| pH         | 9.26           | 8.31           | 8.80           | 8.93           | 9.41           | 9.18           | 7.62           |
| Humidité % | 8.5            | 12             | 12             | 11.5           | 16             | 17             | 10.5           |
| Mat Org %  | 3              | 4              | 3              | 4.5            | 6              | 5.5            | 2.5            |

Tableau 41 : Valeurs moyennes des résultats des concentrations de métaux lourds dans les échantillons de sol.

| Eléments | Echantillons   |                |                |                |                |                |                |
|----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|          | S <sub>1</sub> | S <sub>2</sub> | S <sub>3</sub> | S <sub>4</sub> | S <sub>5</sub> | S <sub>6</sub> | S <sub>7</sub> |
| Cd mg/kg | 2.92           | 3.17           | 2.82           | 0.62           | 1.25           | 3.05           | 1.70           |
| Cu.mg/kg | 20.21          | 23.93          | 5.935          | 22.86          | 27.81          | 26.26          | 24.98          |
| Pb mg/kg | 776.5          | 1025           | 8.50           | 9.75           | 15681.50       | 16.75          | 6.50           |
| Zn mg/kg | 5135           | 80.52          | 74.67          | 37.97          | 214.65         | 81.95          | 20.55          |

Tableau 42 : Valeurs moyennes des résultats des concentrations des hydrocarbures totaux dans les échantillons de sol.

| Elément          | Echantillons   |                |                |                |                |                |                |
|------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|                  | S <sub>1</sub> | S <sub>2</sub> | S <sub>3</sub> | S <sub>4</sub> | S <sub>5</sub> | S <sub>6</sub> | S <sub>7</sub> |
| HC totaux (g/kg) | 10.592         | 4.677          | 16.926         | 6.353          | 23.598         | 5.357          | 5.621          |

#### Interprétation

D'après les résultats obtenus, nous pouvons dire que le sol est légèrement basique (potentiel d'hydrogène dans le varie de 7.6 à 9.4), avec une humidité assez élevée (prélèvements durant la saison des pluies) et riche en matière organique et en sels dissous.

D'après Petra Hlavackova., une augmentation du pH contribue à la diminution du potentiel de surface en diminuant la concurrence des protons par rapport aux ions métalliques et favorise ainsi leur fixation (Hlavackova, P.,2005),. WU, quant à lui a remarqué qu'un pH

élevé favorise la dissolution des acides humiques et augmente la concentration dissoute de métal en raison de formation de complexes métal-organique en solution (WU J., et al 2002).

L'humidité joue un rôle indirect en favorisant l'activité biologique du sol et donc la production de substances acides ou complexantes issues de la biodégradation des matières organiques. Si l'on compare maintenant les résultats obtenus des concentrations en métaux lourds aux valeurs limites de la norme Hollandaise pour le sol (qui sont plus sévères que celle de la norme Algérienne), on constatera que pour :

- le Cu et le Cd, les résultats obtenus sont conformes à la norme qui est de 20 mg/kg pour le Cd et de 500 mg/kg pour le Cu.
- le Zn, les résultats obtenus sont conformes à la norme, sauf pour l'échantillon S<sub>1</sub> qui se situe au niveau de la décharge (débris de démolition), qui a une concentration de 5135 mg/kg qui dépasse largement le seuil de danger qui est de 3000 mg/kg, cette concentration est due aux débris d'appareillages ménagés à base du zinc, ainsi que les tôles galvanisées de protection (baraquas, toitures, palissades...etc.) qui ont été enfouies à ce niveau.
- le Pb, les résultats obtenus sont conformes à la norme, sauf pour les échantillons :  
 S<sub>1</sub> : qui se situe au niveau de la décharge, qui a une concentration de 776.5 mg/kg.  
 S<sub>2</sub> : qui se situe au niveau de la décharge des déchets urbains, qui a une concentration de 1025mg/kg.  
 S<sub>5</sub>: qui se situe à proximité de l'unité de production de rideaux métalliques (IDEAL METAL), qui a une concentration de 15 681 mg/kg.

Ces échantillons dépassent largement le seuil de danger, qui est de 600 mg/kg, surtout l'échantillon S<sub>5</sub> qui dépasse ce seuil de 26 fois, ce qui est énorme. Cette concentration extraordinaire peut être expliquée, par le déversement des effluents rejetés par cette unité.

Les résultats des concentrations en hydrocarbures totaux des différents échantillons sont alarmants. Si l'on compare ces résultats aux valeurs limites de produits polluants fixées par la norme hollandaise pour le sol, on constatera que tous les échantillons présentent des valeurs supérieures à la limite de 0.8 g/kg, et que certains points ont des concentrations inquiétantes :

- S<sub>3</sub> qui a une concentration de 16.926g/kg, qui se situe au niveau de la décharge (débris de démolition).
- S<sub>5</sub> qui a une concentration de 23.598 g/kg ce qui est énorme, et se situe au Nord de la décharge dans une zone d'habitation à une distance de 600m du point S<sub>1</sub> ;

- S<sub>1</sub> qui à une concentration de 10.592 g/kg et représente le centre de la décharge. Ces fortes concentrations sont dues à une infiltration des hydrocarbures présents dans les débris de démolition et également le déversement accidentel ou volontaire d'huile de vidange et de carburant (essence et gasoil) provenant des véhicules parkés sur des plates formes aménagées sur la décharge (marché hebdomadaire de vente de véhicules d'occasions).

## Discussion

Cette série d'analyses nous a permis de confirmer ce qui n'était qu'hypothèse au départ, à savoir la contamination du sol et des eaux souterraines du site de Tidjelabine par les métaux lourds et les hydrocarbures totaux provenant essentiellement des huiles usées déversées sur les plateformes de stationnement réalisées par la Mairie de Tidjelabine pour servir comme marché hebdomadaire des véhicules d'occasion. Lorsque l'on sait le nombre de véhicules d'occasion (en moyenne, plus de 3000 de tourisme, quelques 1000 autres de transport de voyageurs et 200 comme utilitaires) qui y exposés pour la vente tous les Jeudi dès 4heures du matin jusqu'à 13 heures de l'après midi. Les véhicules d'occasion présentent souvent des défauts d'étanchéité aux différents fluides (huiles, fluides hydrauliques, glycol), qui s'échappent en souillant le sol et le sous sol ; sans compter les vidanges sauvages de certains usagers sur le site et les déchets industriels contenant des huiles usagées. Cela explique la disparité des résultats obtenus pour les analyses du sol de la zone non saturée jusqu'à une profondeur de 2 mètres, ainsi que ceux obtenus pour les eaux souterraines jusqu'à une profondeur de 70 mètres, en fonction de la configuration du sol et des déversements des huiles usées qui ne se font pas de manière uniforme sur toute la surface du site. A la date de la conclusion de cette étude (2011) la limite de la propagation de la pollution dans le sens de l'écoulement des eaux pluviales sur le site de Tidjelabine est matérialisée par les trois points 4, 5 et 8 qui se trouvent en contrebas, à des altitudes inférieures d'environ 30 mètres à celle du point de référence. Les alignements des points 8 et 6 au Nord, 7 et 8 à l'Ouest, 6 et 4 à l'Est et 4 et 7 au Sud marquent les limites du panache de pollution par les hydrocarbures sur le site de Tidjelabine (Figure 12 ci-dessous). Dans un rapport rendu public par le BRGM Français en 2005 (BRGM/RP-53739-FR, 2005) sur l'atténuation naturelle des hydrocarbures, les auteurs ont rapporté plusieurs cas d'étude ayant démontré l'efficacité de l'atténuation naturelle des hydrocarbures pétroliers. L'analyse de résultats fournis par quatre grandes études, regroupant plus de 600 sites, a aboutit à la conclusion que 75% des sites étudiés

présentaient une stabilisation ou une diminution de la longueur et de la concentration du panache des hydrocarbures, après bien évidemment la élimination de la source de la pollution.

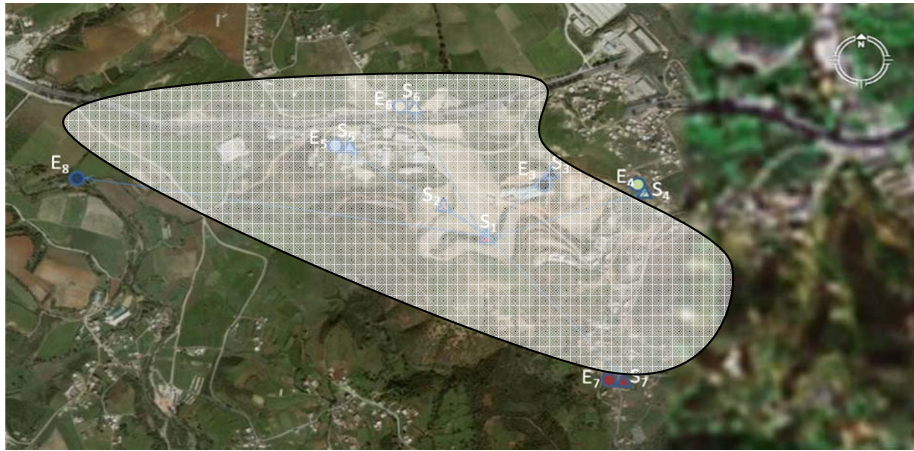


Figure 12. Esquisse du panache de pollution des eaux souterraines par les hydrocarbures.

La comparaison des concentrations des métaux lourds et des HC dans les eaux par rapport aux sols (E/S) pour les points 3, 4, 5, 6 et 7 (tableau 43) montre clairement que la plus grande proportion des polluants sont piégés dans la zone non saturée du sol avec infiltration lente vers les eaux souterraines.

Tableau 43 : comparaison des concentrations des métaux lourds et HC totaux eau/sol aux points de prélèvements d'échantillons d'eau et de sol.

| Eléments  | Rapports des concentrations en polluants d'eau par rapport au sol (E / S) |                                 |                                 |                                 |                                 |
|-----------|---|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
|           | E <sub>3</sub> / S <sub>3</sub>   | E <sub>4</sub> / S <sub>4</sub> | E <sub>5</sub> / S <sub>5</sub> | E <sub>6</sub> / S <sub>6</sub> | E <sub>7</sub> / S <sub>7</sub> |
| Cd mg/l   | 0.0134 / 2.82   | 0.007/0.62                      | 0.0076/1.25                     | 0.0078/3.05                     | 0.0060/1.70                     |
| Cu mg/l   | 0.0093 / 5.935  | 0.0140/22.86                    | 0.074/27.81                     | 0.0047/26.26                    | 0.0122/24.98                    |
| Pb mg/l   | 0/ 8.50   | 0.0220/9.75                     | 0/15681.50                      | 0/16.75                         | 0/6.50                          |
| Zn mg/l   | 0.1400 / 74.67  | 0.0790/37.97                    | 0.0220/214.65                   | 0.0124/81.95                    | 0.7790/20.55                    |
| HC totaux | 0.021 (mg/l) / 16.926 (g/kg)  | 22.76 (mg/l) / 6.353 (g/kg)     | 0.041(mg/l) / 23.598 (g/kg)     | 0.0199 (mg/l) / 5.357 (g/kg)    | 0.013(mg/l) / 5.621 (g/kg)      |

Les principaux composants du sol étudié sont les sables et les argiles dont les surfaces spécifiques peuvent atteindre 800 m<sup>2</sup>/g. De même que les analyses effectuées sur les échantillons de sol prélevés en huit endroits du site montrent un caractère basique qui favorise la fixation des métaux et une teneur importante en matières organiques qui peut chimisorber efficacement les ions métalliques avec un haut degré de sélectivité (Mc Bride, 1994).

Toutes ces caractéristiques du sol concourent à la réduction de la mobilité des métaux lourds dans le sol, ce qui explique la faible concentration des métaux lourds cibles dans l'eau, essentiellement pour les prélèvements de forages de profondeurs supérieures à 70 mètres.

Quant aux hydrocarbures nous remarquons que les concentrations les plus élevées se rencontrent dans les échantillons de sol, ce qui explique la répartition des concentrations d'hydrocarbures dans les eaux souterraines du site. Toujours est-il que ces valeurs restent très élevées au regard des standards de l'OMS. Les résultats obtenus confirment la propagation verticale (jusqu'à une profondeur de 80m à proximité du centre de la décharge) et horizontale (jusqu'à 1500 mètres du centre de la décharge) des hydrocarbures, donnant ainsi un aperçu du panache de la pollution par les hydrocarbures du site de Tidjelabine.

Ces polluants, ont des effets directs sur la santé humaine et font l'objet d'une réglementation au niveau de l'émission. Parmi les principaux effets directs des huiles usées sur la santé nous pouvons citer (ASTDR, 2003) :

- L'irritation du tissu respiratoire dû à la présence de gaz renfermant des aldéhydes, des cétones, des composés aromatiques.
- La présence d'éléments chimiques tel le Cl (Chlore), le NO<sub>2</sub> (dioxyde d'Azote), le H<sub>2</sub>S (hydrogène sulfuré), le Sb (antimoine), le Cr (Chrome), le Ni (Nickel), le Cd (Cadmium), et le Cu (Cuivre), affectent les voies respiratoires supérieures et les tissus pulmonaires.
- La production d'effets asphyxiants empêchant le transport d'oxygène, dû à la présence de monoxyde de carbone, de solvants halogénés, d'hydrogène sulfuré.
- Les effets cancérigènes sur la prostate et les poumons, dû à la présence de métaux comme le plomb, le cadmium, le manganèse.

### **III.B.8 Résultats obtenus de l'analyse de l'huile usagée et interprétation des résultats**

#### **III.B.8.1 Distillation ASTM de l'huile usée**

Les résultats de la distillation ASTM de l'huile usée sont rassemblés dans le tableau 44 ci-dessous.



Tableau 44 : Caractéristiques essentielles et distillation de l'échantillon d'huiles usées.

| <b>Caractéristiques de l'huile usée</b>  |                |
|--|----------------|
| Presence d'eau (Karl Fischer) ppm        | 1126.25        |
| densité à 15°C                           | 0.8936         |
| Viscosité à 40°C cSt                     | 116,8          |
| Point éclair (Cleveland) °C              | 216            |
| Cendres % masse                          | 1,2            |
| Total Acid Number mg KOH/g               | 14.84          |
| <b>Distillation sous vide ASTM D1160</b> |                |
| Point Initial °C                         | 140.6          |
| 05 % vol                                 | 401.5          |
| 10 “                                     | 413.4          |
| 15 “                                     | 422.1          |
| 20 “                                     | 428.7          |
| 25 “                                     | 436.7          |
| 30 “                                     | 442.9          |
| 35 “                                     | 450.0          |
| 40 “                                     | 456.6          |
| 45 “                                     | 463.7          |
| 50 “                                     | 471.4          |
| 55 “                                     | 478.9          |
| 60 “                                     | 587.7          |
| 65 “                                     | 497.8          |
| 70 “                                     | 505.6          |
| 75 “                                     | 513.1          |
| 80 “                                     | 523.4          |
| Point Final °C                           | 530.9          |
| vol Distillat % (% mass)                 | 83.12 (81.10 ) |
| Residu % w/w (solid form)                | 18.90          |
| <b>Caracteristiques du distillat</b>     |                |
| Densité à 15°C                           | 0.8690         |
| Viscosité à 40°C cSt                     | 58.566         |
| Point éclair °C                          | 186.0          |

### Interprétation

Les résultats de la distillation ASTM donnent la valeur maximum la part toxique de l'huile usée dont le pourcentage approche les 80% en masse alors que le résidu d'environ 20% en masse représente la part la moins toxique et qui s'adsorbera sur les surfaces des grains rocheux (sables, grès entre autres) et autres constituants solides du sol. Cette valeur de 80% comprend les fractions légères (qui ont tendance à s'évaporer) et les fractions moyennes qui s'infiltreront dans le sol et peuvent atteindre les nappes d'eau souterraines (voir figure 13 ci-dessous).

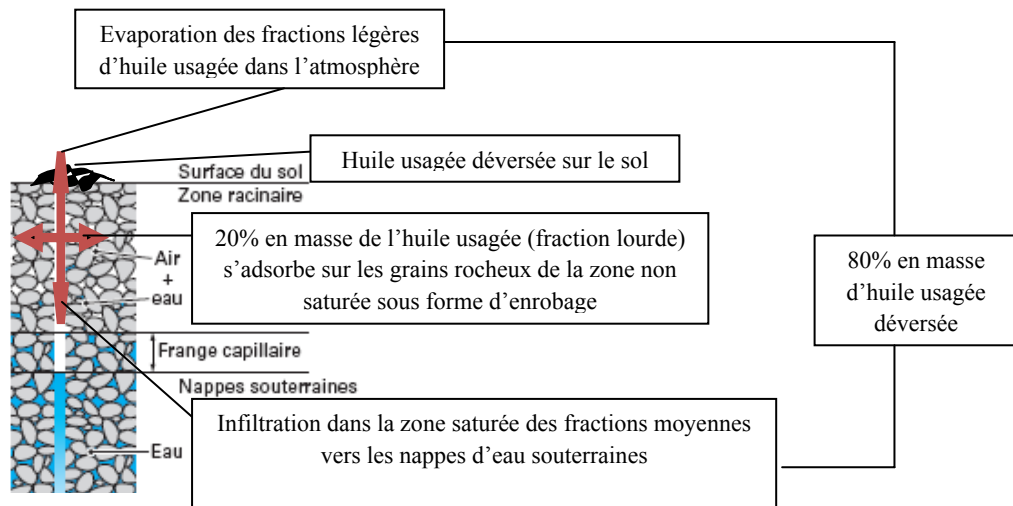


Figure 13 : Répartition des fractions de l'huile usagée dans les différentes couches du sol et dans l'atmosphère.

### III.B.8.2 Analyse par GCMS et par spectrométrie de masse de l'huile usée

La composition des vapeurs par famille d'hydrocarbures est donnée par le tableau 45 ci-dessous. Les résultats obtenus par analyse GCMS donne pour par analyse GCMS et le chromatogramme est représenté par la figure 14 ci-dessous.

Tableau 45 : Pourcentage en masse des familles des hydrocarbures composant les vapeurs des huiles usées.

| composition | Familles des hydrocarbures |             |         |           |
|-------------|----------------------------|-------------|---------|-----------|
|             | Isoparaffines              | Aromatiques | Cétones | Siloxanes |
| % en masse  | 1.17                       | 4.17        | 1.13    | 15.65     |

### Interprétation

La figure 14 ci-dessous montre le chromatogramme obtenu par GC/MS appliqué à l'échantillon de vapeurs d'huile usagée. Ce chromatogramme permet de distinguer deux parties principales : (i) la première, avec des pics à des temps de rétention inférieurs à 18 minutes, (ii) et la seconde, avec des pics formant une structure caractéristique non résolue à des temps de rétention supérieurs à 18 minutes attribuée à la base d'huile. De toute façon, la séparation des composants de cette structure n'est pas réalisable dans des conditions classiques de séparation chromatographique monodimensionnelle. Néanmoins, l'attribution de

ces pics non séparés aux hydrocarbures paraffiniques a été possible en recherchant la présence d'ions  $C_7H_{15}^+$  de rapport  $m/z = 99$ , ion couramment utilisé pour sonder la présence d'hydrocarbures paraffiniques dans les produits pétroliers. Ceci nous a permis d'identifier la présence d'hydrocarbures paraffiniques à des temps de rétention compris entre 15 et 22 minutes.

Par ailleurs, les pics observés à des temps de rétention inférieurs à 15 minutes résultent principalement de produits de dégradation des huiles et de la présence de certains composés issus du carburant. La plupart de ces produits ont été identifiés comme étant des aromatiques pour la plupart présents dans la composition du gazole avec une prédominance des dérivés benzéniques et naphthaléniques substitués ayant un nombre variable de groupements méthyles (C2 à C5).

Le principal avantage de cette technique d'introduction des vapeurs prélevées puis réchauffées est que l'on peut être certain que les volatiles identifiés étaient initialement présents dans l'échantillon et ne sont pas des produits formés par la volatilisation, puisque la température de chauffage est faible (légèrement supérieure à  $120^\circ\text{C}$ ) et n'est pas suffisante pour provoquer une pyrolyse de l'échantillon.

Il convient toutefois de noter que le chromatogramme obtenu présentait des pics très mal résolus. Même s'il a été possible d'identifier les produits en faisant des appels d'ions, il est très difficile de procéder à une analyse quantitative de tous ces produits.

L'analyse des vapeurs dégagées, réalisée sur GCMS a permis, outre la détection de l'eau et de l'air, l'identification des autres composants de différentes natures tels que les hydrocarbures paraffiniques et aromatiques, des cétones et des composés à base de silice tels que les siloxanes. Les hydrocarbures paraffiniques sont du type isoparaffiniques en C7 C8 et C9, et parmi les aromatiques on retrouve le benzène, le toluène, l'éthylbenzène, les xylènes, les triméthylbenzènes et les méthyléthylbenzènes.

Les fractions légères ont tendance à s'évaporer sous l'effet de la température qui peut dépasser le point initial ( $140,1^\circ\text{C}$ ) sous l'effet de l'inflammation spontanée des gaz produits par la méthanisation naturelle des déchets.

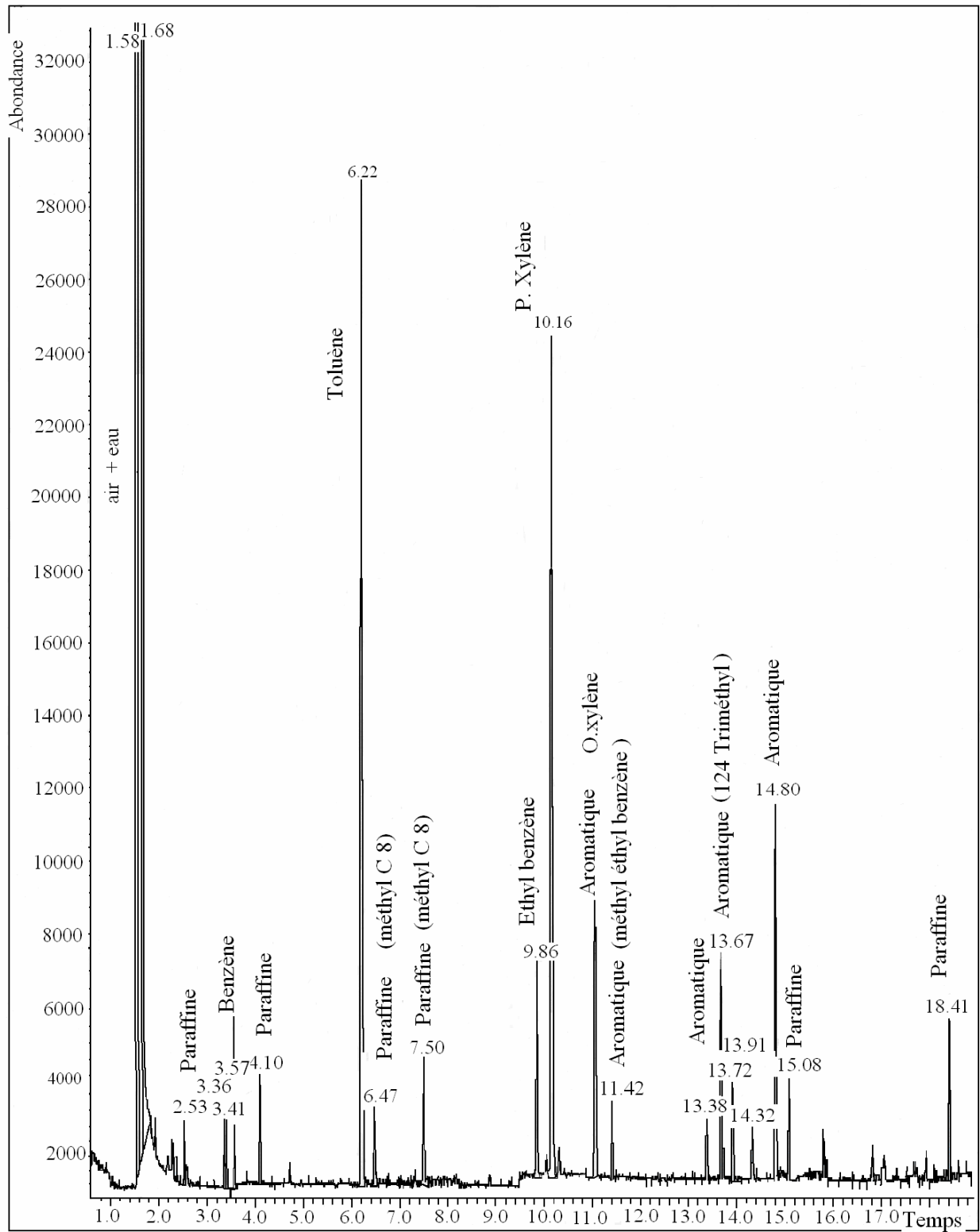


Figure 14: chromatogramme de l'analyse des vapeurs d'huile usée par GCMS.

### III.B.8.3 Détermination des concentrations des contaminants présents dans l'huile usée par analyse spectrométrique de masse

Enfin l'analyse par spectrométrie de masse de l'huile usée a permis la détermination les concentrations moyennes en ppm des principaux contaminants comme résumé dans le tableaux 46 ci-dessous avec indication des origines probables pour chaque contaminant.

Tableau 46 : valeurs moyennes des principaux contaminants de l'huile usée et leurs origines.

| Eléments en ppm |      | Origine  |
|-----------------|------|--|
| Ca              | 1500 | Additifs détergents et antioxydants inhibiteurs de corrosion (sulfonates, phénates, salicylates, Savons de calcium   |
| Mg              | 224  | Usure et corrosion d'alliages légers au Mg   |
| B               | 110  | Additifs antioxydants, anti-usure, détergent -inhibiteurs antirouille, savon de graisse                              |
| Zn              | 1100 | Additif anti-usure, Dithiophosphates de zinc   |
| P               | 900  | Usure et corrosion des fontes à chemises et segments ; Additif anti-usure (phosphates, phosphites, dithiophosphates) |
| Fe              | 2500 | Usure et corrosion des pièces en acier et fonte.   |
| Cr              | 140  | Usure et corrosion des aciers au Ni-Cr   |
| Al              | 170  | Usure piston et coussinets Al-Sb   |
| Cu              | 110  | Usure des coussinets   |
| Sn              | 50   | Usure coussinets et pièces en alliages.  |
| Pb              | 270  | Dilution par le carburant, usure et corrosion de revêtements de coussinets   |
| Mo              | 15   | Additif extrême pression en bi-sulfure de molybdène  |
| Si              | 230  | Air, eau de refroidissement usure et corrosion des aciers siliciés.  |
| Na              | 65   | Sulfonates, stéarates. Présence sous forme de NaCl   |
| Ni              | 25   | Usure et corrosion de certaines fontes et aciers alliés au Ni-Cr   |

### Discussion

Les composés à base de silice sont des poussières comprennent à la fois les particules minérales et les particules organiques. Leurs tailles vont de 1µm à 1 mm environ. Les particules de petites tailles représentent à peu près 99% des poussières rencontrées dans l'émission atmosphère des décharges car leur vitesse de sédimentation est très faible (<0,001m/s).

Quant aux molécules malodorantes, ce sont essentiellement des composés soufrés, et/ou azotés, et/ou oxygénés produits par réaction d'oxydation ou de réduction de molécules complexes en composés

volatils à chaîne courte. Ils sont produits à grande échelle à partir de sources naturelles comme les volcans. Mais les débris de démolition contenant des plâtres et autres enduits à base de  $\text{CaCO}_3$  en présence d'eau sont sources de production d'hydrogène sulfureux  $\text{H}_2\text{S}$  ( Bogner, 1992 ; Bogner and Scott, 1995 ; Lee et al., 2006) caractéristiques de l'odeur d'œuf pourri retrouvée sur le site de la décharge de Tidjelabine (Johnson,B., 1986). Néanmoins, de nombreux autres déchets présents dans la décharge mixte peuvent également être des sources de nuisances olfactives (Flynn, B.E., 1998). Enfin la dernière série d'analyses par spectrométrie de masse a permis d'identifier les composants métalliques présents dans l'huile usée et que l'on retrouvera dans le sol et les eaux souterraines.

### **III.B.9 Analyse de l'huile usagée traitée**

Au cours des différents essais, et pour une masse de 130g d'agrégats et un volume fixe de 250 ml d'huile usée et aux mêmes températures, nous avons étudié l'influence de la granulométrie et de la concentration d'acide sur la qualité de l'huile traitée. Comme pour la voie à la bentonite, les meilleurs résultats ont été obtenus avec le lit d'agrégats de la classe 250 $\mu\text{m}$ .

L'application stricte du processus de traitement a donné des résultats satisfaisants pour le traitement à la bentonite, chose que nous n'avons pas pu réaliser lors du traitement aux agrégats. Ceci s'explique par la présence de composés basiques au sein du lit d'agrégats (chaux et plâtre) dont l'effet neutralisant avait réduit l'efficacité de l'acide dans son action d'activation. La correction du pH du lit a permis le développement d'une surface spécifique du lit et donc de son efficacité d'adsorbant.

La détermination des caractéristiques physico-chimiques et des teneurs en métaux lourds cibles (par analyse spectrométrique) a été réalisées au laboratoire de CRD Boumerdes sur l'huile traitée suivant les deux voies et les résultats sont résumés dans les tableaux 47 et 48 ci-dessous.

Tableau 47: Caractéristiques essentielles de l’huile usée traitée suivant les deux voies.

| <b>Analyses</b>                   | <b>Huile usagée</b> | <b>Huile traitée à la bentonite</b> | <b>Huile traitée aux agrégats</b> |
|-----------------------------------|---------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| Densité à 15 °C                   | 0.8936              | 0.8690                              | 0.8790                            |
| Teneur en soufre % poids          | 0.4938              | 0.1489                              | 0.2489                            |
| Point d’écoulement °C             | - 22                | - 21                                | - 21                              |
| Couleur ASTM                      | noire               | 3.0                                 | 5.0                               |
| Point d’éclair °C                 | 216                 | 226                                 | 227.1                             |
| Indice d’acidité (mg KOH/g)       | 14.84               | 0.5381                              | 0.2139                            |
| Teneur en eau ppm                 | 1126                | Non dosable                         | Non dosable                       |
| Teneur en cendres % poids         | 1.2                 | 0.57                                | 0.89                              |
| Viscosité cinématique cSt à 40 °C | 116.8               | 69.2                                | 78.1                              |
| à 100 °C                          | 14.4                | 9.1                                 | 11.9                              |

Tableau 48: Teneurs en métaux lourds de l’huile après traitement suivant les deux voies.

| <b>Métaux cibles</b> | <b>Huile usagée</b> | <b>Traitement à la bentonite</b> | <b>Traitement aux agrégats</b> | <b>Valeurs limites admissibles *</b> |
|----------------------|---------------------|----------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|
| Cadmium (ppm)        | -----               | -----                            | -----                          | 2                                    |
| Nickel (ppm)         | 0,469               | 0.013                            | 0,023                          | 63                                   |
| Plomb (ppm)          | 0,074               | 0.05                             | 0,02 3                         | 100                                  |
| Chrome (ppm)         | 11,14               | 0.8                              | 1,811                          | 10                                   |

\*Normes à respecter pour les huiles usées utilisées à des fins énergétiques d’après l’ Agence Française de l’Environnement et de la Maîtrise de l’Energie (ADEME)

### Interprétation

La comparaison des différents résultats obtenus permettent de situer l’efficacité du lit d’agrégats par rapport à la bentonite pour cette application spécifique, en termes de :

- Densité : la densité de l’huile traitée aux agrégats présente une valeur légèrement supérieure à celle l’huile traitée à la bentonite, tout en étant inférieure à celle de l’huile usée.

- Viscosité : la viscosité de l'huile traitée aux agrégats est légèrement supérieure aux températures de référence dénotant ainsi une plus faible épuration de l'huile obtenue par cette voie par rapport celle obtenue par traitement à la bentonite.
- d'Indice d'acidité : l'huile traitée aux agrégats présente un meilleur indice d'acidité, rendant les produits obtenus plus intéressants quant à leur utilisation comme combustible d'appoint.
- Teneur en cendres : la teneur en cendres est plus élevée pour la deuxième voie, confirmant une relativement moindre purification par rapport au traitement à la bentonite.
- Teneur en métaux lourds cibles : la teneur des métaux cibles de l'huile traitée aux agrégats est environ le double de celle de l'huile traitée à la bentonite, mais ces valeurs restent inférieures aux limites admissibles pour l'application considérée.

Ces résultats intéressants peuvent s'expliquer par la composition des lits d'agrégats qui contiennent plus de 90% d'agrégats naturels (graves et sables) et de ciment. Dans sa recherche sur la microstructure du ciment Hadley a observé la présence d'espaces restant vides autour des grains même après 28 jours, de même qu'il a également remarqué la croissance de cristaux très fins dans certains de ces espaces donnant ainsi une structure poreuse et fibreuse au ciment des bétons et autres enduits au ciment qui a été également observée par Scrivener (Hadley, D.W., 1972 ; Scrivener, K.L., 1984).

La porosité moyenne des agrégats provenant du site de Tidjelabine est d'environ 23 % (Benmenni, M.S., Benrachedi, K., 2009). L'effet de purification de l'huile usagée par ces agrégats peut s'expliquer par cette valeur élevée de la porosité qui induit une bonne absorption par effet capillaire de l'huile dont la viscosité est assez faible à la température de la phase de mélangeage (170°C) alors que la structure cristalline fibreuse jouerait le rôle d'un média filtrant en piégeant les impuretés comme lors de l'opération finale d'extraction dans le filtre presse (à 40°C). L'huile traitée répond aux exigences d'utilisation comme combustible et ne présente plus de danger de pollution du sol. Par contre les boues acides contiennent des éléments traces métalliques en quantités bien supérieures aux limites admissibles dans le sol, et représente un danger réel de pollution du sol et des nappes d'eau sous terraines ce qui nécessitent leur traitement.

Comparativement au règlement sur les matières dangereuses du Canada ; les résultats obtenus sont acceptables et ouvrent ainsi une nouvelle piste pour l'utilisation des agrégats provenant du broyage des débris de démolition de taille inférieure à 250µm comme lits adsorbants sur les plateformes de stationnement des véhicules sur le site de Tidjelabine. Ceci permettrait la



réduction de la pollution du sol et des eaux souterraines par les huiles usées s'échappant des carters de véhicules d'occasion et autres vidanges non contrôlées.

### III.B.10 Essais de résistance mécanique du recyclage des terres usées et polluées dans les produits rouges et interprétation

Les valeurs moyennes des résultats obtenus sont résumées dans le tableau 49 ci-dessous. La valeur moyenne de l'humidité de carrière étant de 12,49 % pour le mélange V<sub>0</sub>.

Tableau 49 : valeurs moyennes des résultats obtenus des propriétés et caractéristiques de séchage et de cuisson de quatre éprouvettes aux différent taux de terres usées.

| Caractéristiques                                  | Taux de terres usées |                        |                       |                       |                       |
|---|----------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|   | V <sub>0</sub> (0%)  | V <sub>1</sub> (0,05%) | V <sub>2</sub> (0,1%) | V <sub>3</sub> (0,2%) | V <sub>4</sub> (0,3%) |
| Humidité de façonnage%                            | 24,20                | 23,84                  | 23,72                 | 22,75                 | 21,81                 |
| Retrait sur sec %                                 | 6,32                 | 5,70                   | 5,00                  | 4,69                  | 4,49                  |
| Retrait sur cuit %                                | 1,27                 | 1,48                   | 1,89                  | 2,08                  | 2,39                  |
| Perte de feu %                                    | 16,64                | 17,25                  | 17,30                 | 17,85                 | 18,05                 |
| Absorption %                                      | 11,15                | 14,25                  | 16,54                 | 18,09                 | 18,66                 |
| Résistance à la flexion (sec) kgf/cm <sup>2</sup> | 63,53                | 54,90                  | 51,57                 | 46,84                 | 40,49                 |
| (cuit) kgf/cm <sup>2</sup>                        | 166,39               | 148,25                 | 131,54                | 113,98                | 105,39                |
| Masse volumique %                                 | 1,907                | 1,789                  | 1,712                 | 1,632                 | 1,509                 |
| Masse spécifique %                                | 2,59                 | 2,51                   | 2,46                  | 2,38,                 | 2,32                  |
| Porosité %  | 26,65                | 28,72                  | 30,40                 | 31,42                 | 34,95                 |
| Couleur (sec)                                     | Grise                | Grise                  | Grise                 | Grise                 | Grise                 |
| (cuit)  | Rouge                | Rouge                  | Rouge                 | Rouge                 | Rouge                 |

#### Interprétation

Sur le plan des propriétés physiques des différents mélanges, nous remarquons une diminution l'humidité de façonnage avec l'augmentation de la teneur en terres usées. L'ajout de la bentonite usée a entraîné une meilleure plasticité de la pâte, grâce à la quantité d'huile résiduaire ; entraînant par la même occasion une diminution du retrait sur sec.

Nous relevons par ailleurs une augmentation de la perte au feu avec l'augmentation de la teneur en bentonite usée. Ceci s'explique par l'évaporation des composés volatils que contient l'huile résiduaire ce qui entraîne une perte de poids de plus en plus prononcée.

Le retrait sur cuit augmente avec l'ajout de bentonite. Ceci se traduit par la diminution des dimensions des échantillons qui est due à une meilleure plasticité à sec et à l'évaporation des matières volatiles de la fraction huile contenues dans la bentonite usée et de l'eau.

La porosité totale augmente avec le pourcentage de bentonite usée ajoutée, en raison de micro cavités créées par l'évaporation des fractions volatiles de l'huile résiduaire ce qui a pour conséquence la diminution de la masse volumique et de la masse spécifique (en proportions inverses de la porosité) et l'accroissement de la quantité d'eau absorbée en fonction de la teneur en bentonite usée.

Sur le plan des caractéristiques mécaniques, nous nous sommes intéressés à la résistance à la flexion qui de loin représente la caractéristique mécanique la plus importante des produits de l'unité (tuilerie). Ainsi relevons une nette diminution de la résistance à la flexion aussi bien à sec que pour le cuit qui s'explique par l'accentuation de la fragilité due à l'augmentation de la perte au feu et donc de la diminution des dimensions des tessons. Les résultats les plus proches de la valeur moyenne des échantillons vierges  $V_0$  sont obtenus avec une concentration de 0,05% de bentonite usée ( $V_1$ ), les autres valeurs obtenues pour des concentrations plus élevées étant loin de cette valeur de référence.

## **Chapitre IV**

# **Méthodes de traitement et de recyclage préconisés pour la réhabilitation du site**

Les facteurs influençant le choix des techniques de traitement proposées sont :

- l'aspect économique que représente la possibilité de produire sur site agrégats par recyclage des débris de démolition pour faire répondre à la très grande demande en agrégats locaux ce qui aidera certainement à rentabiliser le projet de réhabilitation ;
- la nature et l'importance des impacts constatés par les huiles usagées en relation avec l'usage local des plateformes aménagées sur le site;
- la présence locale d'unités spécifiques de production de produits rouges (Benmenni, 2009) et d'enrobage de produits bitumineux (Jamrah A., Al-Futaisi A., Hassan H. Al-Oraimi S., 2007) pour le recyclage des terres et des débris fortement souillés par les huiles usagées
- la capacité naturelle du milieu à l'auto-épuration dans les endroits du site à faible risque aidée en cela par la plantation de la végétation et le reboisement pour une réinsertion paysagère.

La caractérisation des débris de démolition suite au séisme du 21 Mai 2003, a clairement fait ressortir les possibilités de recyclage dans des applications moins nobles que le BTP, en tant qu'agrégats de substitution aux agrégats naturels dans la confection des bétons et mortiers de qualité et aux normes et standards internationalement reconnus. Cela n'empêche nullement de considérer leur réutilisation dans la production de bordures, pavés et autres applications de moindre importance sur le plan des résistances mécaniques, telles que les bétons de propreté, le revêtement des pistes carrossables et chemins de campagne...

Pratiquement, l'élimination des débris de construction et de démolition s'appréhende en fonction des difficultés de réutilisation ou de recyclage. Les travaux publiés sur le sujet montrent une réelle avancée dans ce domaine, bien que les résultats techniques soient plutôt rares et ne permettent pas de se faire une idée précise des difficultés rencontrées et des solutions expérimentées. En Algérie, le recyclage des débris de démolition n'est qu'à ces débuts, et les quelques publications disponibles ne font état que d'essais et tentatives à l'échelle expérimentale au sein de laboratoires pour le recyclage de débris de béton et/ou de briques (Debieb F., Kenai S., 2005), ou de marbre (Belachia M., Hebhouh H., 2005) ou encore de produits rouges (Hadjoudja M., Bederina M., 2005)

Parmi les pays où le recyclage des débris de construction et de démolition est bien établi, les Etats unis et le Canada sont rapidement passés du «sous-recyclage» dans des applications moins nobles telles que les pistes de campagne, la confection de bordures et autres couches de

propreté (Buck, 1977 et McGovern, 2002) ; au recyclage normalisé des débris dans des bétons hydrauliques (ASTM, 1997) et dans la construction des autoroutes.

Les pays européens ainsi que le Japon ne sont pas en reste, le recyclage de ces débris étant réglementé et le plus souvent obligatoire. En Allemagne la normalisation de l'utilisation des débris de construction et de démolition (DIN 4226-1000 Aggregates for Concrete and Mortar, 2002) fixe les lignes directrices pour l'adjonction des agrégats de béton recyclés dans les agrégats naturels de confection de béton. Les chercheurs allemands ont prouvé que les agrégats recyclés n'affectent pas la plupart des caractéristiques de résistance du béton ainsi modifié, bien qu'ils aient tendance à augmenter le retrait sur sec et l'affaissement, et réduisent le module d'élasticité (Kerkhoff and Siebel, 2001). L'amélioration des techniques de collecte et de tri des débris de construction est à la base du développement du recyclage des débris de construction qui devient un segment croissant de la branche BTP et nécessite de plus en plus de matériel sophistiqué, et l'unité de recyclage réalisée en Hollande par l'entreprise Hazemag GmbH allemande représente un exemple type (Anon., 2002). Et, bien que la recherche actuelle s'oriente vers l'utilisation optimale des bétons recyclés en procédant à la séparation de ses ingrédients qui pourront ainsi être réutilisés séparément (Splittberger and Mueller, 2002), il n'est fait aucune mention de l'utilisation de débris de béton dans la production du ciment à l'échelle industrielle.

Cette nouvelle voie basée sur l'extraction du ciment de la matrice du béton nécessite beaucoup d'énergie et donc économiquement non viable par rapport au recyclage classique des débris sans séparation des agrégats. Par contre, le recyclage classique des débris de démolition peut apporter un début de réponse aux problèmes imbriqués auxquels nous faisons face : limiter l'utilisation de ressources naturelles, réduire l'enfouissement (et les rejets sauvages dans la nature) des débris, et par conséquent contribuer à la sauvegarde de l'environnement

Cette approche pragmatique du recyclage de ces débris est très indiquée pour l'Algérie, où la consommation nationale des ciments type portland est en continuelle augmentation en raison des gigantesques chantiers (autoroute Est-Ouest ; grands barrages d'eau, programmes de logements...). Sachant que les principales utilisations restent la confection des bétons et la maçonnerie, ceci induit de très fortes demandes (et souvent des tensions) en agrégats naturels. Le recyclage classique peut aider à atténuer ces tensions en mettant sur le marché national des agrégats de substitution tout en remédiant au problème des impacts sur l'environnement.

De plus, les résultats obtenus lors des essais de traitement des huiles usées sur des lits d'agrégats de granulométrie 250µm ouvrent une autre possibilité d'utilisation dans la lutte contre la pollution par les huiles usées, qui sont la source principale de contamination du site de Tidjelabine. Cette classe de d'agrégats, pouvant contenir des particules de chaux, est produite lors du concassage du béton et peut être nuisible pour l'environnement car assimilée à de la poussière comme c'est le cas des carrières d'extraction et de production des agrégats naturels. De plus, la chaux agit dans ce cas comme un irritant au niveau du système respiratoire humain et animal de même qu'au niveau des yeux (Pilon I., Laquerre M., 1999). Après usage, les agrégats contaminés par les hydrocarbures peuvent être recyclés sans inconvénients dans la production d'asphaltes routiers (Jamrah A., Al-Futaisi A., Hassan H. Al-Oraimi S., 2007). Cette solution permettrait ainsi, tout en traitant les huiles usées, d'abaisser le niveau de poussières en suspension dans l'air.

A l'issue de notre étude, nous pouvons dire que l'alternative la plus appropriée pour la réhabilitation du site de Tidjelabine devra se baser sur les opérations et traitement suivants :

- évacuation des déchets ménagers et biodégradables vers les CET les plus proches ( 48 sont en voie de réalisation, dont celui de Boumerdes prévu à Benrahmoune, à 5km de la décharge de Tidjelabine),
- excavation de la couche superficielle du sol fortement contaminé et recyclage dans les produits rouges,
- recyclage des débris contaminés et concassés dans la fabrication de goudrons routiers,
- recyclage des débris non contaminés dans la confection des pistes et bordures de trottoirs,
- traitement biologique du site par épandage de restes de moissonnage (chaume) (Molina-Barahona, L. & al, 2004) et l'atténuation naturelle du milieu dans les endroits du site à faible risque aidée en cela par la plantation de la végétation originelle et par le reboisement.

Le traitement préconisé de ce site particulier aura des retombées sur la qualité de vie de la région, la préservation de l'écosystème avec protection des nappes d'eau souterraines et création d'emplois pour la population locale.

## **V- Conclusion générale**

Dans le but de réhabiliter les sites d'enfouissement créés dans l'urgence sur des terrains agricoles suite à la catastrophe naturelle de Boumerdes et d'éliminer les tonnes de déchets générés ; il est nécessaire de procéder à l'estimation du massif par site d'enfouissement, à la détermination de la nature et de la nocivité des déchets enfouis, à l'étude des impacts survenus sur l'environnement en cas de pollution avérée ainsi qu'à la détermination des sources de cette pollution.

L'estimation du massif d'une catastrophe naturelle permettra aux localités de prévoir la l'aménagement de sites d'entreposage préalablement désignés et dûment localisés ainsi que l'appui extérieur nécessaire. Cette façon de faire permettra de prévoir le temps qu'il faudra pour le déblaiement ainsi que les coûts induits.

En fait, la gestion d'une catastrophe naturelle est basée sur de telles prévisions; autrement le déblaiement intégral peut durer des mois, voire des années lorsqu'il s'agit d'un désastre majeur tel le tremblement de terre de Haïti. Bien qu'en Algérie, le déblaiement n'a pris qu'un mois après le séisme, il n'en demeure pas moins que, près de huit ans après, l'élimination des décombres demeure l'un des plus grands défis à relever dans le contexte de la catastrophe de Boumerdes ; et cela non seulement parce que cela représente des masses et des masses de déchets à gérer, mais et surtout, à cause des dangers que ceux-ci peuvent présenter pour l'environnement.

En effet, les éléments naturels (humidité, variation de température) risquent d'endommager les décombres et de les rendre inutilisables ou non recyclables, et au pire, de déchets inertes à l'origine, elles peuvent se transformer en déchets toxiques, voire dangereux avec le temps sous l'action anthropologique.

Sur le plan pratique, l'évaluation des quantités de décombres générées par catastrophe de Boumerdes s'est avérée extrêmement ardue, compte tenu de l'infinité de variables qui entrent en jeu. L'échelle peut varier d'un tout petit monticule à des milliers de mètres cubes. Pour notre étude, nous avons opté pour l'évaluation réaliste de la masse des décombres par catégorie en tenant compte de la nature des déblais qui proviennent essentiellement d'immeubles d'habitation, d'institutions publiques, et d'entreprises.

Ainsi pour les quatre sites étudiés parmi les 23 créés sur des terres agricoles, les décombres proviennent essentiellement de la démolition de constructions classiques (béton ferrailés, briques d'argile, parpaings au ciment, plâtre, boisiers, enduits et peinture). Cette composition nous a permis d'évaluer la masse des débris par catégorie de façon claire et concise sur la base



de l'étude d'un devis quantitatif d'une construction classique fourni par les services de l'urbanisme de la mairie de Boumerdes.

L'étape suivante a concerné la caractérisation des lixiviats des sites étudiés afin de déterminer la nocivité des déchets enfouis. Les séries d'analyses réalisées ont donné des résultats globalement acceptables pour les lixiviats de trois sites sur les quatre étudiés, prouvant par là l'innocuité des déchets entreposés. Par contre, les mêmes analyses réalisées sur le site de Tidjelabine ont clairement indiqué l'existence de substances toxiques, telles que des hydrocarbures et des métaux lourds. En fait, et juste après sa création, ce site d'enfouissement a été transformé par les autorités locales en décharge mixte de déchets urbains et industriels, en même temps que des plateformes de parcage de véhicules pour le marché hebdomadaires de véhicules d'occasion y ont été aménagées; ce qui explique la toxicité des lixiviats produits (Benmenni M.S., Benrachedi K., 2010, 2011).

Ces résultats mettent en relief la vulnérabilité des sites d'enfouissement sans protection ou encore sciemment transformés en décharges mixtes comme c'est le cas du site de Tidjelabine où sont enfouis des débris de démolition, des déchets industriels divers provenant de la zone industrielle limitrophe et des déchets urbains de type ménagers. Les plateformes servant au parcage des véhicules d'occasion lors du marché hebdomadaire ont été réalisées en recouvrant d'une couche variable de 50 cm à 2 mètres de terre végétale les débris de construction. Bien que les impacts recensés soient multiformes, notre diagnostic a été conditionné par le niveau des risques identifiés suite à la contamination du sol et des nappes d'eau souterraines par les métaux lourds et les hydrocarbures provenant des huiles de graissage usagées provenant de fuites ou de vidanges sauvages relevées sur ce site (Benmenni M.S., 2009).

Parallèlement, nous avons procédé à la caractérisation des débris de démolition enfouis dans les quatre sites en vue de leur recyclage comme agrégats dans le BTP. Leur relativement médiocre résistance mécanique en fait des matériaux pour des applications moins nobles que le béton de construction, mais sont tout à fait acceptables pour la confection des bordures de trottoirs, piste et chemin de campagne, béton de propreté, etc (Benmenni M.S., 2009). Cette diminution des caractéristiques mécaniques de débris étudiés est due à l'effet de vieillissement sous l'effet des conditions atmosphériques, après cinq ans d'entreposage. Il serait très intéressant de suivre l'évolution de ces caractéristiques en cours du temps dans la mesure où aucune action de réhabilitation n'est entreprise. D'un autre côté, et bien que les débris présente généralement un pH basique, des études ont montré une action corrosive par des bétons d'agrégats recyclés sur des tuyaux en métal (aluminium, zinc galvanisé) ainsi que

sur les structures métalliques souterraines en contact avec ce dernier, due à la présence du chlore, soufre, calcium et potassium dans les débris de démolition (Delay M., Lager T., Schulz H.D., Frimmel F.H.,2007).

L'évaluation post-catastrophe des impacts des décombres consécutifs à une catastrophe est une question relativement nouvelle pour les autorités à l'échelle mondiale, et plus particulièrement en Algérie, où l'on commence à peine à sérieusement envisager la réalisation des décharges contrôlées et autres CET. Les données utiles sont plutôt rares et toute étude sur les catastrophes antérieures ne livre qu'un très bref aperçu de ce à quoi on peut s'attendre. La présente étude représente une source d'information importante sur les impacts des débris de construction et de démolition survenus sur les sites d'enfouissement étudiés et peut être utile à la prise de décision pour la gestion des vingt trois sites d'enfouissement non contrôlés mais officiellement (et temporairement) créés dans la région de Boumerdes. L'absence de surveillance est le résultat du classement de tels sites d'enfouissement comme banalisés du fait que les débris de construction et de démolition étaient originellement inertes. Or, dans pratiquement toutes les régions il n'existe pas actuellement d'autres alternatives valables quant à l'élimination des déchets solides. Par conséquent, les sites d'enfouissement devraient continuer à être transformés en décharges mixtes non contrôlées afin de recevoir les quelques 10 millions de tonnes de déchets urbains produits dans le pays. Les caractéristiques des rejets des décharges sauvages, ont pour conséquence une affectation directe sur l'environnement et un risque pour la santé publique de la zone. En effet, la majeure partie des eaux propres de surface arrivant sur ces décharges est transformée en lixiviats qui peuvent contaminer le sol et les eaux souterraines.

Les autorités concernées devraient instituer la surveillance de la qualité des eaux souterraines du site de Tidjelabine par un suivi piézométrique; cette surveillance des nappes étant fondamentale pour la préservation des rares ressources en eau du pays estimées à quelques 3000 millions de m<sup>3</sup>, comme le montre la figure 15 ci-dessous (JSTRE, 2007).

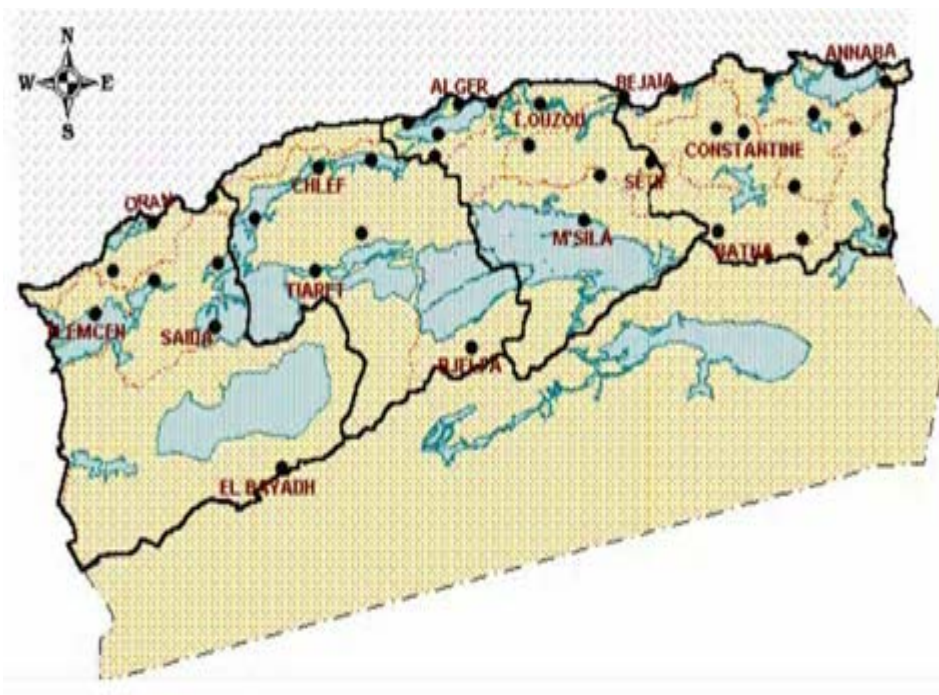


Figure 15 : Réserves d'eau souterraines d'Algérie estimées à 3000 millions de m<sup>3</sup>, Sud inclus. La dégradation de la qualité de l'eau de surface et souterraines créera un déséquilibre entre la disponibilité et la demande au niveau local, le site étant situé dans une région rurale à vocation agricole. Les habitants y puisent l'eau pour leur consommation et leurs besoins domestiques et leur besoins agricoles. Il est plus qu'urgent de procéder à la fermeture immédiate du site de Tidjelabine ce qui permettra d'éliminer la source de pollution par les huiles usées. Tout comme il est nécessaire de traiter ce dernier en priorité, en procédant à :

- premièrement à l'évacuation des déchets urbains non dégradés vers les décharges contrôlées de Boumerdes,
- deuxièmement en excavant la couche de terre polluée par les huiles et les métaux lourds pour y être traitée in situ,
- troisièmement en recyclant les débris de démolition en agrégats par la technique de concassage universellement utilisée.

Le site peut être réhabilité par un traitement biologique simple par épandage de restes de cultures de céréales largement disponibles dans la région (Molina-Barahona, L. & al, 2004) et réimplantation de la végétation d'origines du type garigue méditerranéenne dont il reste quelques poches sur les versants sud du site. Parmi les recherches menées sur l'atténuation naturelle des sites pollués par les hydrocarbures nous pouvons citer celle de Liste et Felgentreu (Liste Hans-H., Felgentreu D. 2006) dont les résultats semblent tout à fait satisfaisants nonobstant le facteur temps qui reste le grand obstacle au développement des cette technique. En effet des périodes variant de quelques mois à plusieurs années seront

nécessaire pour l'efficacité de ce traitement naturel, en fonction de plusieurs facteurs dont la nature des polluants, de la durée d'exposition à la pollution, de la nature du sol pollué etc.

Les zones fortement polluées par les hydrocarbures sont généralement réaffectées à la construction, évitant ainsi tout risque de contamination des produits agricoles. Cela peut être tout à fait réalisable pour le site de Tidjelabine, au vu de sa situation géographique dans la commune de Tidjelabine offrant ainsi une importante assiette de terrain de construction dans la perspective (décennale) de l'extension future de la ville de Tidjelabine.

Bien que la gestion des ces décharges relève du monopole de l'Etat, nous recommandons d'identifier d'autres sources de financement en procédant à la délégation du service public à travers soit des sociétés d'économie mixte, soit des concessions aux privés, ou encore des micro-entreprises dans le cadre de la création d'emplois dans la revalorisation et traitement/recyclage des déchets, traitement du sol et réhabilitation/réaménagement des site. Avec le soutien et les garanties de l'Etat quant à la réutilisation des produits recyclés et des sites réhabilités, cette dernière option quasiment absente à l'heure actuelle, peut devenir très rapidement intéressante non seulement sur les plans de la protection de l'environnement et de la création de l'emploi, mais aussi sur le plan de l'économie grâce à la création des richesses insoupçonnées qui concourent au développement durable du pays.

## References bibliographiques

- Agency for toxic substances and disease registry (ATSDR)**, 2003. Atlanta, GA.
- Anon.** 2002. World's Largest Rubble Recycling Plant. *World Cement*, London, UK, p 7.
- Andreoni, V., Cavalca, L., Rao, M.A., Nocerino, G., Bernasconi, S., Della' mico, E., Colombo, M., Gianfreda, L.**, 2004. Bacterial communities and enzyme activities of PAHs polluted soils. *Chemosphere* 57, 401–412.
- ASTM**, 1977, "Standard Specification for Concrete Aggregates C33-97," *1997 Annual Book of ASTM Standards*, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA, USA.
- Asami T., Kubota M., Orikasa K.**, 1995, Distribution of different fraction of cadmium, zinc, lead, and copper in unpolluted and polluted soils, *Water Air and Soil Pollution*, vol. 83, 187-194.
- Ayel, J., Born, M.**, 1998. Lubrifiants et fluides pour l'automobile. Ed Technip, Paris.
- Azzouz L., Bouhicha M., Kenai S. et Hadjoudja M.**, 2005. Effet des déchets de briques sur le comportement du béton de sable de dunes. Colloque CMEDIMAT.
- Bauer, E., Pennerstorfer, C., Holubar, P., Plas, C., Braun, R.**, 1991. Microbial activity measurements in soil: a comparison of methods. *J. Microbiol. Methods* 14, 109–117.
- Belachia M. Hebhouh H.**, 2005. Déchets de marbre comme substituent dans le béton hydraulique. Colloque CMEDIMAT.
- Blezard, R. G.**, 1998. Reflexions on the history of chemistry of cement. Construction Materials Group of the Society of Chemical Industry (SCI).
- Benmenni, M.S., Benrachedi, K.**, Impact of debris from demolition of Boumerdes on the quality of groundwater, 2010. *International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology*; Ed.reg. N°689.
- Benmenni, M.S., Benrachedi, K.**, Impact of Earthquake Demolition Debris on the Quality of Groundwater in Boumerdes Algeria, 2011, *AJC. Asian Journal of chemistry* 23 (5): 1999-2002.
- Benmenni M.S., 2009.** Caractérisation des débris de démolition et des lixiviats des sites d'enfouissement de la région de Boumerdes. Congrès de la Société Algérienne de Chimie 26-28 mai 2009, Université de Béjaia.
- Benmenni M.S., 2009.** Etude expérimentale du recyclage des boues acides issues du traitement des huiles usées moteurs dans les produits rouges. 3<sup>ème</sup> Symposium maghrébin sur les argiles 23-25 Novembre 2009, Université de Boumerdes.
- Benmenni M.S., 2009.** Etude expérimentale du remplacement de la bentonite par un lit d'agrégats de débris de démolition dans le traitement des huiles moteurs usées. 3<sup>ème</sup> Symposium maghrébin sur les argiles 23-25 Novembre 2009, Université de Boumerdes.

- Benmenni M.S., 2009.** Etude des impacts environnementaux des débris de démolition et des lixiviats. Site d'enfouissement de Tidjelabine. VII èmes Journées Internationales de Chimie de L'université Mentouri Constantine 07-09 Décembre 2009.
- Bogner, J.E., 1992.** Anaerobic burial of refuse in landfills: increased atmospheric methane and implications for increased carbon storage. *Ecological Bulletins* 42, 98-108.
- Bourg, Ian C., 2004.** Caractérisation du comportement d'une bentonite sodique pour l'isolement des déchets : Transport diffusif des traceurs ioniques (Na<sup>+</sup>, Sr<sup>2+</sup>, Cs<sup>+</sup> et Cl<sup>-</sup>) dans la bentonite sodique compactée saturée, et titration acide-base de la montmorillonite. Thèse de doctorat de l'Université de Pau et des Pays de l'Adour.
- Buck, A.D., 1977.** Recycled Concrete as a Source of Aggregates. *ACI Journal*, American Concrete Institute, Detroit, MI, USA, p 212-219.
- Debieb F., Kenai S. 2005.** Durabilité du béton à base de granulats recyclés. Départements de Génie civil Centre Universitaire de Médéa et Université de Blida.
- Delay M., Lager T., Schulz H.D., Frimmel F.H., 2007.** Comparison of leaching tests to determine and quantify the release of inorganic contaminants in demolition waste. *Waste Management* 27 pp 248–255.
- Deutsch, R., 2001.** Procédé de décontamination des huiles minérales semi-synthétiques et synthétiques usagées. WO 01/00/756 A1.
- Dreux G., Festa J., 1998.** Nouveau guide du béton et ses constituants. Ouvrage, Ed Eyrolles.
- Dupin R, Lauchon J.C Saint A., 2003.** Caractérisation des matériaux de génie civil par les essais de laboratoire, Ed Castella.
- Eibes, G., Cajthaml, T., Moreira, M.T., Feijoo, G., Lema, J.M., 2006.** Enzymatic degradation of anthracene, dibenzothiophene and pyrene by manganese peroxidase in media containing acetone. *Chemosphere* 64, 408–414.
- Flynn, B.E., 1998.** Invisible threat: odor & landfill gas from C&D waste. *Waste Age*, 91-97.
- Guide sur le Comportement des Polluants dans le Sol et les Nappes, 2008. Ministère de l'Ecologie du Développement et de l'Aménagement Durables République Française. Ed BRGM.
- Guide de valorisation** des matières résiduelles inorganiques non dangereuses de source industrielle comme matériau de construction, 2006. Liste des méthodes pour réaliser des analyses de laboratoire. Conservation and Protection Wastewater Technology Center. Environment Canada.



- Grob K., Vass, M., Biedermann, M., Neukom, H.P.,**2001. Contamination of animal feed and food from animal origin with mineral oil hydrocarbons. *Food Additives and Contaminants*. Vol. 18, No.1, 1- 10.
- Hadjoudja, M. Bederina, M.,** 2005. Influence des déchets de briques sur la durabilité à l'eau du béton de sable de dunes. Colloque CMEDIMAT Décembre 2005.
- Hadley D.W.,** 1972. The nature of the paste-aggregate interface”, Doctoral Thesis, Purdue University, USA.
- Hans-Holger Liste , Dieter Felgentreu,** 2006. Crop growth, culturable bacteria, and degradation of petrol hydrocarbons (PHCs) in a long-term contaminated field soil. *Applied Soil Ecology* 31 pp 43–52
- Hlavackova Petra,** 2005, Evaluation du comportement du cuivre et du zinc dans une matrice de type sol à l'aide de différentes méthodologies, thèse de Doctorat INSA LYON.
- Jamrah A., Al-Futaisi A., Hassan H. Al-Oraimi S.,** 2007. Petroleum contaminated soil in Oman: Evaluation of bioremediation treatment and potential for reuse in hot asphalt mix concrete. *Environ Monit Assess* 331–341.
- Johnson B.,** 1986. Gypsum wallboard creates landfill odor problem. *World Waste*, 53654.
- JSTRE,** 2007. Journée Mondiale de l'Eau, Laboratoire de Chimie de l'Université Said Dahleb, Blida
- Kehila Y., Mezouari F., Bouhadiba B., Matejka G.,** 2010. For an Integrated Management of Municipal Solid Waste in Algeria. Systemic and Methodological Approaches. *International Review of Chemical Engineering* Vol. 2. n. 3, pp. 426-429
- Kerkhoff, B., Siebel, E.,** 2001. Properties of Concrete with Recycled Aggregates. *Beton*, Düsseldorf, Germany, Part1:p 47-50 , Part 2:pages 105 -108.
- Ladd J.M., Foster, R.C., Nannipieri, P., Oades, J.M.,** 1996. Soil structure and biological activity. *In: Stotzky, G., Bollag, J.M. (Eds.), Soil Biochem.,* Vol. 9. Marcel Dekker Inc., New York, pp. 23–78.
- Lee, S., Xu, Q., Booth, M., Townsend, T., Chadik, P., Bitton, G.,** 2006. Reduced sulfur compounds in gas from construction and demolition debris landfills. *Waste Management* 26, 526-533.
- Loi n° 01-19** du 12 décembre 2001, JORDAP
- MATE,** Février 2003. Manuel d'information sur la gestion des déchets solides urbains, 240p
- Mendoza R.E.,** 1998. Hydrocarbon leaching, microbial population, and plant growth in soil amended with petroleum. *Biorem. J.* 3, 223–231.
- Mc Bride, M.B.,** 1994 .Environmental Chemistry of Soils. *Oxford University Press.* p.352.



**McGovern M.**, 2002. Recycled Aggregate for Reinforced Concrete. *Concrete Technology Today*, Vol. 23, No .2, Portland Cement Association, Skokie, IL, USA, , pages 5 -7.

**Molina-Barahona L., Rodriguez-Vasques R., Hernandez-Vekasco M., Segal-Jarquine C., Zapata-Perez O., Mendoza-Canta A., AlborsA.**, 2004. Diesel removal from contaminated soils by biostimulation and supplementation with crop residues. *Applied Soil Ecology*, vol 27, issue 2.

**Neville A.M.**, 2000. Propriétés des bétons. Ouvrage, Ed Eyrolles.

**PCA, U.S. and Canadian Portland Cement Industry: Plant Information Summary**, Portland Cement Association, Skokie, IL, USA, 2001.

**PCA, The Monitor**, Vol.12, Number 5, Portland Cement Association, Skokie, IL, USA, 2002, pages 6 -7.

**Peirs, G.**, 2005. La Brique , Fabrication et traditions constructives. Manuel, Ed Eyrolles, France.

**Pilon I., Laquerre M.**, 1999. Recyclage des matériaux secs, RECYC-QUÉBEC.

**Radilla Zuazo G.**, 1997. Contamination des eaux souterraines par les hydrocarbures : expériences en laboratoire, modélisation, interprétation et résolution des problèmes inverses pour l'estimation des propriétés de transport. Th. Doctorat, ENSAM Bordeaux, 210 p.

**Samanta, S.K., Singh, O.V., Jain, R.K.**, 2002. Polycyclic aromatic hydrocarbons: environmental pollution and bioremediation. *Trends Biotechnol.* 20, 243–248.

**Schoeller Henri J.**, 1975. Groundwater Pollution - Symposium - (Proceedings of the Moscow Symposium, August 1971): IAHS-AISH Publ. No.103.

**Scrivener K.L.**, 1984. The development of microstructure during the hydration of Portland cement. Doctoral Thesis, Imperial College of science and technology, University of London.

**Splittgerber, F., and Mueller, A.**, 2002. Inversion of the Cement Hydration as a New Method for Identification and/or Recycling. Unpublished manuscript, Bauhaus-University, Weimar, Germany.

**Surprenant et al.**,1983. The fate of hazardous and nonhazardous wastes in used oil disposal and recycling. United States Department of Energy, Report No. DOE/BC/10375-6.

**Tamura, M.; Noguchi, T.; Tomosawa, F., and Kitsutaka, Y., 2001.** Concrete Design Toward Complete Recycling. Proceedings of the Symposium of International Federation for Structural Concrete on Concrete and Environment, Berlin, Germany.

**Thiele-Bruhn S., Brümmer G.W.,** 2005. Kinetics of polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) degradation in long-term polluted soils during bioremediation, *Plant and Soil*. 275, 31–42.

**Ume, Dr.,** « Les Métaux Lourds... de Conséquences », publication de S&P Laboratories, Venelle de Sart 8 ; Belgique.

**WHO.** 2008. Guidelines for drinking-water quality. third edition – Chemical fact Sheets, p429.

**Wu J., West L.J., Stewart D.J.,** 2002. Effect of humic substances on Cu(II) solubility in kaolin-sand soil. *Journal of Hazardous Materials*, Vol 94, N°3, 223-238.

**Xu J.G., Johnson, R.L.,** 1995. Root growth, microbial activity and phosphatase activity in oil-contaminated, remediated and uncontaminated soils planted to barley and field pea. *Plant Soil* 173, 3–10.

# Annexes

## ANNEXE A: METHODES D'ANALYSES ET D'ESSAIS DES DEBRIS ET RESULTATS

### 1- Poids des échantillons

*Principe* : On détermine le poids des échantillons prélevés et leurs pourcentages par rapport à l'échantillon global.

*Appareillage nécessaire*: une balance

### 2- Humidité naturelle :

*Principe* : L'humidité naturelle c'est le taux d'eau présente dans l'échantillon à l'état naturel .L'échantillon est mis dans un sac hermétique pour sauvegarder l'humidité. On détermine les poids humide (P<sub>H</sub>) et sec (P<sub>S</sub>)

*Appareillage nécessaire*: une balance une étuve et une capsule.

*Mode opératoire* : Pour avoir une valeur représentative de cette caractéristique, on exécute l'essai toujours sur différents échantillons et on détermine la moyenne

- peser l'échantillon, P humide = P<sub>H</sub>
- sécher à 105° C jusqu'à poids constant
- peser l'échantillon P<sub>sec</sub>= P<sub>S</sub>

L'humidité naturelle sera calculée ainsi :

$$\text{Humidité} = \left( \frac{P_H - P_S}{P_S} \right) * 100$$

### 3- Composition minéralogique : Référence : MO – L - 3 - 2 / 3 / 5

Ce mode opératoire a pour objet de décrire la technique de préparation pour la confection de la lame mince.

*Principe* : Les minéraux sont déterminés en lame mince, de 30 microns d'épaisseur, observés sous microscope binoculaire. *Appareillage nécessaire* : microscope polarisant binoculaire

*Mode opératoire* : les étapes successives

- Sciage, couper en tranche de roche d'environ 5cm d'épaisseur pour obtenir un sucre,.
- Dressage, repérer la face à dresser, enduire le plateau de la polisseuse avec de l'émeri mélangé à l'eau et passer l'échantillon sur toute la surface du plateau jusqu'à obtention d'une surface homogène et lisse,
- Séchage et collage : placer à sécher les sucre sur une plaque chauffante à 60°C de température, puis ramener la température à 30 °C . ; coller le porte –objet sur le sucre et les laisser durcir,
- Usinage ; réduire l'épaisseur des sucres collés sur les porte-objets jusqu'à 40μ,
- Réduire, à la machine sur une dalle de verre l'épaisseur de la lame mince,
- Couverture ; sécher et coller la lamelle,
- Tremper durant 8h, dans l'eau les lames minces couvertes. Enlever à l'aide d'une lame, la colle débordante et à l'aide de la polisseuse muni d'un papier abrasif et nettoyer à l'alcool la colle qui se trouve à la surface ; la lame est prête.

### Opérations de préparation des échantillons pour essais mécaniques

#### Carottage:

*Principe* : C'est une opération qui consiste à prélever des éprouvettes dans le béton sous forme cylindrique de dimension diamètre : hauteur = 40 : 40 à l'aide d'une carotteuse à couronne diamantée.

*Appareillage nécessaire* : Une carotteuse à couronne diamantée

*Mode opératoire*

- prélèvement d'un cylindre de quelques centimètres de diamètre et de longueur variable, à l'aide d'un tube à couronne diamantée animée d'un mouvement de rotation.
- découpage des éprouvettes à l'aide d'une tronçonneuse à disque diamanté de façon à avoir des cylindres d'élanement 1 :1 (rapport entre la longueur et le diamètre =1).
- polissage de l'échantillon à l'aide d'une poudre abrasive d'électrocarborundrum (émri) de façon à avoir une surface uniforme et plane.

**Concassage**

*Principe* : L'opération consiste à réduire de façon successive la taille des éléments à l'aide des concasseurs

*Appareillage utilisé* : Concasseur primaire à mâchoire denté et concasseur secondaire à mâchoires plates

**Tamissage**

*Principe* : L'essai consiste à séparer au moyen d'une série de tamis l'échantillon en plusieurs classes granulaires de dimensions décroissantes.

*Appareillage nécessaire* : Série de tamis d'ouvertures (50 – 40 – 31,5 – 16 -14 -10 – 6 ,3 – 4) mm

**Détermination des Caractéristiques physiques**

**Masse volumique apparente ( $\rho$ )** : Référence NF EN 1097-6 (Juin 2001)

*Principe* : On détermine le poids des éprouvettes dans l'eau ( $P_E$ ) puis le poids humide ( $P_H$ ) et ( $P_S$ ) après séchage jusqu'à masse constante.

*Appareillage nécessaire* : une balance hydrostatique, étuve, capsules.

*Mode opératoire* : Pour avoir une valeur représentative de cette caractéristique, on exécute l'essai toujours sur différents échantillons et on détermine la moyenne

- plonger l'échantillon dans l'eau jusqu'à immersion totale pendant 24 heures
- peser l'échantillon dans l'eau =  $P_e$
- essuyer l'échantillon avec un tissu humide et on détermine le poids humide,  $P_{humide} = P_H$
- sécher à 105°C jusqu'à poids constant.
- peser,  $P_{sec} = P_S$

calculer la masse volumique par la formule suivante :  $\rho = P_S / (P_H - P_e)$

**Masse volumique absolue ( $M_v$ )**: Référence NF EN 1089-4

*Principe* : La détermination de la masse volumique absolue par la méthode de LECHATelier consiste à déterminer le volume d'eau distille ( $V_1$ ) dans une fiole puis son volume après l'ajout de l'échantillon broyé ( $V_2$ ) et on détermine la masse du matériau correspondant au volume d'eau chassé ( $P$ ).

*Appareillage nécessaire* : Balance, fiole (LECHATelier), entonnoir.

*Mode opératoire* :

- Prendre la prise d'essai qui est environ de 60 g
- sécher jusqu'à poids constant
- remplir la fiole d'eau dessillée jusqu'à la première graduation  $V_1$
- peser la fiole pleine d'eau et on tare la balance

- verser la prise d'essai dans la fiole
- laver la fiole des grains qui se sont fixés au paroi
- éliminer toutes les bulles d'air
- noter le volume atteint V<sub>2</sub>
- peser la fiole pleine d'eau avec l'échantillon

Calculer le poids spécifique par la formule

$$M_s = P / (V_2 - V_1)$$

### Porosité

Elle est donnée par :

$$\text{Porosité} = (1 - (\rho / M_s)) \times 100$$

avec  $\rho$  : masse volumique ;  $M_s$  : masse volumique absolue.

### Absorption (Abs) : Référence NF EN 1097-5

*Principe* : La méthode consiste à déterminer le poids de l'éprouvette humide ( $P_h$ ) et après séchage à l'étuve jusqu'à masse constante ( $P_s$ ).

*Appareillage nécessaire*: balance, étuve, capsule.

*Mode opératoire* : Pour avoir une valeur représentative de cette caractéristique, on exécute l'essai toujours sur différents échantillons et on détermine la moyenne.

- plonger l'échantillon dans l'eau jusqu'à immersion totale pendant 24 heures

- essuyer l'échantillon avec un tissu humide et déterminer le poids humide,  $P_{\text{humide}} = P_h$

- sécher à 105°C jusqu'à poids constant puis peser,  $P_{\text{sec}} = P_s$

L'absorption est donnée par la formule suivante :  $\text{Abs} = ((P_h - P_s) / P_s) \times 100$

### Résistance à la compression ( $R_c$ ) : Référence : EN 12390 – 3

Méthode des écrasements des éprouvettes en béton. Références normatives

*Principe* : La résistance à la compression est basée sur l'écrasement des éprouvettes humides (après immersion dans l'eau pendant 24 heures) et sèches (à l'étuve jusqu'à masse constante) à l'aide d'une presse conforme à l'EN 12390-4. On enregistre la force de rupture (écrasement).

*Appareillage nécessaire* : Machine d'essai de compression conforme à l'EN12390-4.

*Mode opératoire* :

- Réceptionner l'éprouvette
- Vérifier la conformité de ses dimensions
- Bien centrer l'éprouvette entre les deux plateaux de la presse
- Mettre à charge à vitesse constante 0,5± 0,1bars par seconde
- La charge de rupture est la charge maximale obtenue au cours de l'essai

Calculer sa résistance en compression par:

$$R_c = F / S$$

avec  $R_c$  : résistance à la compression ( $\text{Kg f/cm}^2$ ),  $F$  : valeur de la force à la rupture ( $\text{Kg f}$ ) et  $S$  : surface de chargement de l'éprouvettes ( $\text{cm}^2$ )

### Résistance à l'usure par fragmentation (Los Angles) : Référence : NF EN 1097-2

Méthode pour la détermination la résistance à la fragmentation d'un granulat grossier.

*Principe* : Faire tourner dans un cylindre rotatif une prise d'essai de 5000 gramme mélangé à des boulets d'acier, le nombre de boulets dépend de la fraction du matériau étudié, à la fin on évalue la quantité du matériau retenus au tamis, retenu au tamis de 1,6 mm.

*Appareillage nécessaire* : appareil de Los Angeles conforme à la norme EN 932-5 qui contient un cylindre en tôle d'acier ferme aux deux extrémités, monté de façon à tourner au tour d'un axe horizontal, une série de tamis, une balance, une étuve, la charge abrasive (boulets d'acier ayant chacune un diamètre compris entre 45 mm et 49mm), et un tamis de 1,6 mm.

**Mode opératoire :**

- Tamiser l'échantillon sur des tamis : 4 mm, 6,3 mm, 10 mm, 14 mm, 16 mm, 25 mm, 31,5 mm afin de constituer des fractions [ 4 - 6,3 ], [ 6,3 - 10 ], [ 10 - 14 ], [ 10 - 25 ] et [ 16 - 31,5 ]
- Sécher les fractions à l'étuve pendant 24 heures
- Vérifier que le tambour soit propre avant d'y mettre l'échantillon
- Placer avec précaution les boulets dans la machine de nombre différent selon les fractions :

| Fraction (mm) | Nombre de boulets |
|---------------|-------------------|
| 16 - 31,5     | 12                |
| 10 - 25       | 11                |
| 10 - 14       | 9                 |
| 6,3 - 10      | 9                 |
| 4 - 6,3       | 7                 |

- Introduire une prise d'essai de 5000g dans le cylindre
- Remettre le couvercle et faire 500 tours à la machine, à une vitesse constante.
- Verser le granulat sur un plateau placé sous l'appareil en veillant à éviter toute perte de matériau
- Laver le matériau sous un jet d'eau propre après les avoirs séparer des billes
- Sécher le matériau à 105 C
- Tamiser l'échantillon au tamis 1,6 mm
- Déterminer la masse de refus à 1,6mm

**Formule de calcul :**  $LA = (5000 - m) \times 100 / 5000$  ;  
 où LA : coefficient Los Angeles ; m : masse du refus du tamis 1,6 mm

**Résistance à l'usure par frottement ( micro Deval):** Référence : NF EN 10/97-1

Méthode pour mesurer la résistance à l'usure d'un échantillon de granulats, l'échantillon est soumis à l'essai en présence d'eau, mais l'essai peut s'effectuer à sec.

*Principe* : L'essai consiste à mesurer l'usure produite par frottements réciproques des granulats dans un cylindre en rotation avec une charge abrasive .Lorsque la rotation est achevée, on calcule le coefficient micro Deval à partir du pourcentage de granulat retenus au tamis de 1,6mm.

*Appareillage nécessaire* :

Un appareil de Micro Deval conforme à la norme EN-932-5. Cylindres en acier inoxydable, creux fermés à une extrémité. ils sont posés sur deux supports cylindriques d'axe horizontal ; une étuve ; une série de tamis, une balance,

Une charge abrasive constituée de billes sphériques en acier inox conforme à la norme ISO 3290, les billes sont de diamètre (10 ± 0,5) mm et un tamis de 1,6mm.

*Mode opératoire* :

- Tamiser l'échantillon sur des tamis 4(mm),6,3(mm),10(mm),14(mm), afin de constituer des fractions [ 4 - 6,3 ] [ 6,3 - 10 ] [ 10 - 14 ].
- Sécher les fractions à l'étuve pendant 24 heures .
- Introduire dans chaque cylindre d'essai 500g de la fraction à analyser .
- Ajouter un nombre suffisant de billes d'acier de masse différente selon les fractions utilisée :

| Fraction (mm) | poids des billes (g) |
|---------------|----------------------|
| 4 - 6,3       | 2000                 |
| 6,3 - 10      | 4000                 |
| 10 - 14       | 5000                 |

- Chaque fraction est effectuée à sec et en présence d'eau.
- Mettre les cylindres en rotation à une vitesse de  $(110 \pm 5)$  Min-1 pendant  $(12000 \pm 10)$ .
- Après avoir, recueillir le granulat et les billes dans un bac en ayant soin d'éviter les pertes de granulat.
- Laver les matériaux sous un jet d'eau propre après les avoirs séparer des billes.
- Sécher les granulats à l'étuve à  $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- Tamiser les granulats au tamis 1,6 (mm).
- Déterminer la masse de refus à 1,6(mm).

Formule de calcul :  $\text{MDV} = ((500 - m) \times 100) / 500$

Avec : MDV : coefficient micro Deval ; m : masse du refus de tamis

**Résistance à la flexion** : référence NFP198-405

Appareillage nécessaire: une presse normalisée, une tronçonneuse, une étuve, un dispositif de montage des prises (deux appuis à la base et un appui en haut) et une meule.

*Préparation des éprouvettes :*

- Découpage au moyen d'une tronçonneuse à disque moyen (les éprouvettes sont découpées à des dimensions  $L * L * L/5$ ).
- Rectification à l'aide d'une meule, s'il y a de grands écarts.

*Mode opératoire :* Réceptionner les éprouvettes et appliquer la charge. La résistance à la flexion se calcule par la formule :

$$R_F = 1,8 F L / A^3$$

Où :  $R_F$  : résistance à la flexion ( $\text{Kgf/cm}^2$ ),

F : force de rupture (Kgf),

L : longueur d'éprouvette (cm),

A : la moyenne de la largeur et l'épaisseur (cm).

**Analyse granulométrique des sables** : référence NF EN 933 - 1

*Principe :* L'essai consiste à classer les différents grains constituant l'échantillon en utilisant une série de tamis emboîtes les uns sur les autres, dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas.

Appareillage nécessaire: une tamiseuse électrique, une étuve, une série de tamis d'ouvertures : (2,5 - 1,25 - 0,63 - 0,315 - 0,16 - 0,08 ) mm et des capsules.

**Détermination du module de finesse (MF)** : Il correspond à la somme des pourcentages des refus cumulés sur les tamis d'ouverture : ( 0,16 – 0,315 – 0,63 – 1,25 – 2,5 ) mm.

**Friabilité des sables** : Référence norme P18-576 (sables contenus dans les granulats d'origine naturelle ou artificielle.)

*Principe:* L'essai consiste à mesurer l'évolution granulométrique des sables produite par fragmentation dans un cylindre en rotation à l'aide d'une charge abrasive en présence d'eau. L'évolution granulométrique est caractérisée par la quantité d'éléments inférieurs à 0,1mm produits au cours de l'essai.



*Appareillage nécessaire:*

un appareil de Micro Deval conforme à EN-932-5, une charge abrasive constituée par des billes sphériques en acier inox Z30 C13 de diamètre : (30, 18, 10) mm, une série de tamis d'ouvertures (4 – 0,2 – 0,1) mm et une étuve.

*Mode opératoire :*

- tamiser par voie humide le matériau sur les tamis 0,2 mm et 4 mm.
- sécher à l'étuve à 105°C, jusqu'à masse constante.
- homogénéiser et peser l'échantillon pour essai qui doit être de 500g.
- introduire dans le cylindre d'essai, le matériau et la charge abrasive de 2,5Kg.
- ajouter 2,5 l d'eau.
- mettre le cylindre en rotation à la vitesse de 100 tr / mn pendant 15 mn.
- verser le matériau sur un tamis de 0,1 mm et le laver sous un jet d'eau.
- sécher le refus au tamis 0,1 mm à l'étuve à 105° C.
- tamiser à sec le refus à 0,1 mm.
- peser le refus de tamis 0,1mm.

Formule de calcul : **Coefficient de friabilité = (( 500 – m<sub>r</sub>) x 100) / 500**

où m est la masse du refus au tamis 0,1 mm.

**Equivalent de sable (E S) :** Référence : NF EN 933-8

Cette caractéristique est nécessaire lors des choix et contrôles des sables à béton, des granulats pour les enrobés hydrocarbonés et des sols en stabilisation chimique et mécanique.

*Principe :* L'essai Equivalent de sable s'effectue sur la fraction des sables passant au tamis de 5 mm (module 38-norme AFNOR NFX- 11501) il rend compte globalement de la quantité et des éléments les plus fins contenus dans cette fraction.

*Appareillage nécessaire :*

- une éprouvette cylindrique transparente en matière plastique
- un flacon transparent en verre d'environ 5l, muni d'un système de siphon
- un tube laveur
- un tube de plastique de 1,5ml, 5mm de diamètre
- une machine d'agitation manuelle
- un tamis de 5 mm d'ouverture
- entonnoir à larve ouvertures
- une balance
- un thermomètre gradué en degré
- un régllet de 500 mm.

*Produits utilisés :*

- Solution concentrée composés des éléments suivants :
- Chlorure de Calcium cristallin Ca Cl<sub>2</sub>
- Glycérine à 99% de glycérol de qualité
- Formaldéhyde en solution 40%
- Eau distillée.

*Mode opératoire :*

- tamiser le matériau au tamis 5(mm).
- effectuer l'essai sur une quantité inférieure à 5(mm) égale à 120 g
- remplir de solution lavante jusqu'au repère inférieure.
- verser la prise d'essai, on laisse reposer pendant 10 Min
- boucher l'éprouvette à l'aide d'un bouchon en caoutchouc.

- agiter l'éprouvette à la main : 90cycles en 30 secondes
- procéder au lavage du tube et au sable à l'aide du tube laveur
- retirer le tube laveur lorsqu'on atteint le repère supérieur
- laisser reposer pendant 20 minutes

**RESULTATS OBTENUS DETAILLES Site de Tidjelabine**

**Poids et pourcentages des échantillons :**

| BETON      |       | PARPAING |       | BRIQUE |      |
|------------|-------|----------|-------|--------|------|
| poids (Kg) | (% )  | poids    | (%)   | poids  | (%)  |
| 62         | 45,65 | 46       | 33,85 | 27,86  | 20,5 |

Tableau T1 : Poids et pourcentage selon composition des échantillons de Tidjelabine

**Composition minéralogique :**

| Quartz (%) | Micas (%) | Ciment (%) |
|------------|-----------|------------|
| 60         | <5        | 35         |

Tableau T2 : composition minéralogique des échantillons de Tidjelabine

**Caractéristiques physiques :**

*Humidité naturelle :*

| Echantillon | Masse humide (g) | Masse sèche (g) | Humidité (%) | Moyenne |
|-------------|------------------|-----------------|--------------|---------|
| 1           | 1239             | 1176,1          | 2,19         | 2,84    |
| 2           | 597,7            | 592,8           | 0,08         |         |
| 3           | 300,8            | 284,5           | 0,57         |         |

Tableau T3 : Humidité naturelle des échantillons de Tidjelabine

*Masse volumique apparente, masse volumique absolue, porosité et absorption pour le béton, le parpaing et la brique*

| N° d'éprouvettes | poids sec (g) | poids humide (g) | poids dans l'eau (g) | masse volumique apparente (g/cm <sup>3</sup> ) | masse volumique absolue (g/cm <sup>3</sup> ) | porosité (%) | absorption (%) |
|------------------|---------------|------------------|----------------------|--|--|--------------|----------------|
| 1                | 114,5         | 123,2            | 69,5                 | 2,13   | 2,66   | 19,92        | 7,6            |
| 2                | 116,5         | 126,1            | 69,6                 | 2,06   | 2,66   | 22,55        | 8,43           |
| 3                | 114,1         | 123,2            | 68,3                 | 2,08   | 2,66   | 21,43        | 7,98           |
| <b>Moyenne</b>   |               |                  |                      | 2,09   | 2,66   | 21,3         | 8,00           |

Tableau T4 : Masse volumique apparente, masse volumique absolue, porosité et absorption pour le béton des échantillons de Tidjelabine

| N° d'éprouvettes | poids sec (g) | poids humide (g) | poids dans l'eau (g) | masse volumique apparente (g/cm <sup>3</sup> ) | masse volumique absolue (g/cm <sup>3</sup> ) | porosité (%) | absorption (%) |
|------------------|---------------|------------------|----------------------|--|--|--------------|----------------|
| 1                | 195           | 208,0            | 111,8                | 2,02   | 2,60   | 22,3         | 6,66           |
| 2                | 188,1         | 203,2            | 107,5                | 1,96   | 2,60   | 24,61        | 8,02           |
| 3                | 196,1         | 210,1            | 111,4                | 1,99   | 2,60   | 23,46        | 7,13           |
| <b>Moyenne</b>   |               |                  |                      | 1,99   | 2,60   | 23,46        | 7,27           |

Tableau T5 : Masse volumique apparente, masse volumique absolue, porosité et absorption pour le parpaing des échantillons de Tidjelabine

| N° d'éprouvettes | poids sec (g) | poids humide (g) | poids dans l'eau (g) | masse volumique apparente (g/cm <sup>3</sup> ) | masse volumique absolue (g/cm <sup>3</sup> ) | porosité (%) | absorption (%) |
|------------------|---------------|------------------|----------------------|--|--|--------------|----------------|
| 1                | 99,6          | 108,5            | 57,3                 | 1,94   | 2,7  | 28,15        | 8,93           |
| 2                | 116,8         | 127,5            | 57,1                 | 1,93   | 2,7  | 28,51        | 9,16           |
| <b>Moyenne</b>   |               |                  |                      | 1,94   | 2,7  | 28,32        | 9,04           |

Tableau T6 : Masse volumique apparente, masse volumique absolue, porosité et absorption pour la brique des échantillons de Tidjelabine

**Formules de pondération :**

$$\rho = \frac{\rho(\text{béton})\%(\text{béton}) + \rho(\text{parpaing})\%(\text{parpaing}) + \rho(\text{brique}) * \%(\text{brique})}{100}$$

$$Ms = \frac{Ms(\text{béton})\%(\text{béton}) + Ms(\text{parpaing})\%(\text{parpaing}) + Ms(\text{brique}) * \%(\text{brique})}{100}$$

$$\text{Porosité} = \frac{\text{Porosité}(\text{béton})\%(\text{béton}) + \text{porosité}(\text{parpaing})\%(\text{parpaing}) + \text{porosité}(\text{brique})\%(\text{brique})}{100}$$

$$\text{Abs} = \frac{\text{Abs}(\text{béton})\%(\text{béton}) + \text{Abs}(\text{parpaing})\%(\text{parpaing}) + \text{Abs}(\text{brique})\%(\text{brique})}{100}$$

**Valeurs pondérées caractéristiques physiques :**

| Echantillon       | $\rho$ apparente (g/cm <sup>3</sup> ) | $\rho$ absolue (g/cm <sup>3</sup> ) | Porosité (%) | Absorption (%) |
|-------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|--------------|----------------|
| Béton             | 2,09                                  | 2,66                                | 21,3         | 8,00           |
| Parpaing          | 1,99                                  | 2,60                                | 23,46        | 7,27           |
| Brique            | 1,94                                  | 2,7                                 | 28,32        | 9,04           |
| Valeurs pondérées | 2,02                                  | 2,64                                | 23,47        | 7,45           |

Tableau T7 : Valeurs pondérées des caractéristiques physiques des échantillons de Tidjelabine.

**Caractéristiques mécaniques**

*Résistance à la compression du béton, du parpaing et de la brique des échantillons de Tidjelabine*

| N° d'éprouvettes | Diamètre (mm) | Surface (cm <sup>2</sup> ) | Force de rupture sec (Kgf) | Force de rupture humide (Kgf) | Résistance sec (Kgf/cm <sup>2</sup> ) | Résistance humide (Kgf/cm <sup>2</sup> ) |
|------------------|---------------|----------------------------|----------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|--|
| 1                | 40,58         | 12,93                      | 1750                       | -----                         | 164                                   | -----                                    |
| 2                | 40,66         | 12,98                      | 2375                       | -----                         | 183                                   | -----                                    |
| 3                | 40,52         | 12,89                      | 1750                       | -----                         | 164                                   | -----                                    |
| 4                | 40,28         | 12,74                      | -----                      | 1875                          | -----                                 | 147                                      |
| 5                | 40,42         | 12,83                      | -----                      | 1625                          | -----                                 | 127                                      |
| 6                | 40,32         | 12,76                      | -----                      | 2250                          | -----                                 | 176                                      |
| Moyenne          |               |                            |                            |                               | 170                                   | 150                                      |

Tableau T8 : Résistance à la compression du béton des échantillons de Tidjelabine

| N° d'éprouvettes | Diamètre (mm) | Surface (cm <sup>2</sup> ) | Force de rupture sec (Kgf) | Force de rupture humide (Kgf) | Résistance sec (Kgf/cm <sup>2</sup> ) | Résistance humide (Kgf/cm <sup>2</sup> ) |
|------------------|---------------|----------------------------|----------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|--|
| 1                | 47,17         | 22,25                      | 3250                       | ----                          | 146,06                                | -----                                    |
| 2                | 47,14         | 22,22                      | 2500                       | ----                          | 112,51                                | -----                                    |
| 3                | 47,21         | 22,29                      | 3875                       | ----                          | 173,84                                | -----                                    |
| 4                | 47,77         | 22,82                      | -----                      | 2250                          | -----                                 | 98,60                                    |
| 5                | 47,91         | 22,95                      | -----                      | 2000                          | -----                                 | 87,14                                    |
| 6                | 47,66         | 22,71                      | -----                      | 2125                          | -----                                 | 93,57                                    |
| Moyenne          |               |                            |                            |                               | 144,13                                | 93,10                                    |

Tableau T9 : Résistance à la compression du parpaing des échantillons de Tidjelabine

| N° échantillon | Longueur (mm) | Largeur (mm) | Epaisseur (mm) | Force *20 | Résistance à la flexion | Résistance à la compression (Kgf/cm <sup>2</sup> ) |
|----------------|---------------|--------------|----------------|-----------|-------------------------|--|
| 1              | 73,24         | 13,86        | 14,01          | 4         | 21,65                   | 281,4  |
| 2              | 73,04         | 14,37        | 14,12          | 4         | 20,21                   | 262,78   |
| 3              | 72,38         | 14,02        | 14,37          | 4         | 32,4                    | 421  |
| 4              | 72,65         | 14,07        | 13,97          | 4         | 33,74                   | 438,67   |
| 5              | 72,83         | 13,93        | 14,04          | 4         | 34,08                   | 443,04   |
| <b>Moyenne</b> |               |              |                |           | <b>28,41</b>            | <b>369,04</b>                                      |

Tableau T10 : Résistance à la flexion et à la compression de la brique des échantillons de Tidjelabine

*Résistance globale à la compression :*

Formule de pondération :

$$\mathbf{Rc\ pondéré} = [ \mathbf{Rc(béton) \% (béton) + Rc(parpaing) \% (parpaing) + Rc(brique) \% (brique) } ] / 100$$

|  |       |          |        |
|--|-------|----------|--------|
|  | Béton | Parpaing | Brique |
| Résistance, Kgf/cm <sup>2</sup>          | 170   | 144,13   | 369,04 |
| Résistance pondérée, Kgf/cm <sup>2</sup> | 202   |          |        |

Tableau T11 : valeur pondérée de la résistance à la compression des débris de Tidjelabine.

*Résistance à l'usure par fragmentation (los Angeles) :*

$$\mathbf{LA\ pondéré} = [ \mathbf{LA (béton) \% (béton) + LA (parpaing) \% (parpaing) + LA (brique) \% (brique) } ] / 100$$

| Fraction (mm) | Béton  |       | Parpaing |       | Brique |       | Los Angeles pondéré, % |
|---------------|--------|-------|----------|-------|--------|-------|------------------------|
|               | Poids  | LA, % | Poids    | LA, % | Poids  | LA, % |                        |
| 4 – 6,3       | 532,5  | 29,35 | 937,3    | 21,25 | 32621  | 34,75 | <b>27,71</b>           |
| 6,3 - 10      | 3156   | 36,88 | 446,2    | 31,07 | 3299   | 32,54 | <b>34,02</b>           |
| 10 - 14       | 2970   | 40,6  | 3500     | 35,4  | 246,65 | 30,5  | <b>35,07</b>           |
| 10 -25        | 2898,7 | 42,02 | 74,7     | 38,5  | 3109   | 27,38 | <b>37,82</b>           |
| 16 – 31,5     | 2627,7 | 47,44 | 2922     | 41,56 | 3729   | 25,42 | <b>40,93</b>           |

Tableau T12 : valeur pondérée du coefficient LA par catégorie de débris et par classe. Tidjelabine

*Résistance à l'usure par frottement (Micro Deval) :*

$$\mathbf{MD\ pondéré} = [ \mathbf{MD (béton) \% (béton) + MD (parpaing) \% (parpaing) + MD (brique) \% (brique) } ] / 100$$

| Fraction (mm) | Béton   |       |       |       | Parpaing |       |       |       | Brique  |       |       |       | Micro Deval pondéré, % |              |
|---------------|---------|-------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|------------------------|--------------|
|               | Poids g |       | MD %  |       | Poids g  |       | MD, % |       | Poids g |       | MD %  |       |                        |              |
|               | humide  | Sec   | MDE   | MDS   | humide   | Sec   | MDE   | MDS   | humide  | Sec   | MDE   | MDS   | MDE                    | MDS          |
| 4-6.3         | 171,6   | 238,4 | 55,68 | 52,32 | 278,3    | 270,3 | 44,34 | 45,94 | 156,87  | 252,9 | 49,2  | 49,42 | <b>55,01</b>           | <b>49,65</b> |
| 6.3-10        | 199,3   | 314,1 | 50,14 | 37,18 | 284,2    | 370,3 | 43,16 | 25,94 | 296,8   | 388,0 | 40,64 | 22,4  | <b>50,35</b>           | <b>30,34</b> |
| 10-14         | 230     | 364,3 | 54    | 27,14 | 276,4    | 372,2 | 44,72 | 25,56 | 332,7   | 414,5 | 33,46 | 17,1  | <b>46,63</b>           | <b>24,54</b> |

Tableau T13 : Valeur pondérée des coefficients Micro Deval par catégorie de débris et par classe ; Tidjelabine.

*Analyse granulométrique des sables :*

| Tamis (mm)   | Béton        |            |                | Parpaing     |            |                | Brique       |            |                |
|--------------|--------------|------------|----------------|--------------|------------|----------------|--------------|------------|----------------|
|              | poids (g)    | Refus %    | refus cumulé % | Poids (g)    | refus %    | refus cumulé % | poids (g)    | refus %    | refus cumulé % |
| 2,5          | 129,2        | 25,83      | <b>25,83</b>   | 190          | 29,7       | <b>29,7</b>    | 120,7        | 20,1       | <b>20,1</b>    |
| 1,25         | 130          | 26         | <b>51,83</b>   | 150,9        | 23,56      | <b>53,26</b>   | 116,8        | 19,44      | <b>39,54</b>   |
| 0,63         | 86,8         | 17,4       | <b>69,23</b>   | 110,3        | 17,24      | <b>70,5</b>    | 100,5        | 16,72      | <b>56,26</b>   |
| 0,315        | 69,6         | 13,91      | <b>83,14</b>   | 97,9         | 15,33      | <b>85,83</b>   | 98           | 16,33      | <b>72,59</b>   |
| 0,16         | 39,6         | 7,92       | <b>91,06</b>   | 75,5         | 11,8       | <b>97,63</b>   | 110          | 18,33      | <b>90,92</b>   |
| 0,08         | 19,8         | 3,94       | <b>95</b>      | 11,5         | 1,81       | <b>99,44</b>   | 35           | 5,83       | <b>96,75</b>   |
| <0,08        | 25           | 5          | <b>100</b>     | 3,5          | 0,56       | <b>100</b>     | 19,5         | 3,25       | <b>100</b>     |
| <b>Total</b> | <b>500,2</b> | <b>100</b> |                | <b>639,6</b> | <b>100</b> |                | <b>600,5</b> | <b>100</b> |                |

Tableau T15 : Analyse granulométrique des sables par catégories de débris, Tidjelabine

**Friabilité, équivalent de sable et module de finesse des sables Tableau:**

| Echantillon | friabilité (%) | MF (%) | E S (%) |
|-------------|----------------|--------|---------|
| Béton       | 33,46          | 3,2    | 85      |
| Parpaing    | 31,5           | 3,34   | 83      |
| brique      | 42             | 2,79   | 65      |

Tableau T16 : Valeur de la friabilité, équivalent de sable et module de finesse des sables de Tidjelabine

**RESULTATS OBTENUS DETAILLES Site de Figuer**

Poids et pourcentages des échantillons :

| échantillon     |            | Poids (Kg) | Pourcentage (%) |       |
|-----------------|------------|------------|-----------------|-------|
| <b>Béton</b>    | <b>F 1</b> | 16         | 23,35           | 64,62 |
|                 | <b>F 2</b> | 23         | 33,57           |       |
|                 | <b>F 3</b> | 29,5       | 43,06           |       |
| <b>Parpaing</b> |            | 38         | 35,38           |       |

Tableau F1: Poids et pourcentage des échantillons de Figuer par rapport à leur composition.

Composition minéralogique :

| Echantillon | Quartz % | Feldspath % | Hydroxyde de fer % | Carbonates % | Micas % | Amphibole % | Muscovite % | Ciment % |
|-------------|----------|-------------|--------------------|--------------|---------|-------------|-------------|----------|
| <b>F 1</b>  | 30       | 15          | 5                  | 30           | <5      | <1          | //          | 15       |
| <b>F 2</b>  | 30       | 10          | 10                 | 10           | <5      | //          | //          | 35       |
| <b>F 3</b>  | 25       | 15          | 5                  | <5           | 5       | 1           | <5          | 39       |

Tableau F2 : Composition minéralogique des échantillons de béton de Figuer

Caractéristiques physiques :

Humidité naturelle :

| Echantillon | Masse humide (g) | Masse sèche (g) | Humidité (%) | Moyenne     |
|-------------|------------------|-----------------|--------------|-------------|
| 1           | 634,7            | 623,7           | 0,57         | <b>1,84</b> |
| 2           | 1138,7           | 1116,7          | 1,15         |             |
| 3           | 172,8            | 170,5           | 0,12         |             |

Tableau F3 : Humidité naturelle des échantillons de Figuer.

Masse volumique apparente, masse volumique absolue, porosité et absorption :

| N° Eprovette parpaing | Poids sec (g) | Poids humide (g) | Poids dans l'eau (g) | Masse volumique apparente (g/cm <sup>3</sup> ) | Masse volumique absolue (g/cm <sup>3</sup> ) | Porosité (%) | Absorption (%) |
|-----------------------|---------------|------------------|----------------------|--|--|--------------|----------------|
| 1                     | 308,9         | 333,8            | 180                  | 2,00   | 2,58   | 22,48        | 8,06           |
| 2                     | 188,9         | 206,5            | 111,9                | 1,99   | 2,58   | 22,86        | 9,32           |
| <b>Moyenne</b>        |               |                  |                      | 1,99   | 2,58   | 22,67        | 8,69           |

Tableau F4 : Propriétés physiques des échantillons de parpaing, Figuer.

| N° Eprovette béton F1 | Poids sec (g) | Poids humide (g) | Poids dans l'eau (g) | Masse volumique Apparente (g/cm <sup>3</sup> ) | Masse volumique absolue (g/cm <sup>3</sup> ) | Porosité (%) | Absorption (%) |
|-----------------------|---------------|------------------|----------------------|--|--|--------------|----------------|
| 1                     | 115,5         | 126,2            | 70,6                 | 2,08   | 2,66   | 21,8         | 9,26           |
| 2                     | 116,6         | 126,1            | 71,3                 | 2,13   | 2,66   | 19,92        | 8,15           |
| 3                     | 117,1         | 127,1            | 71,5                 | 2,11   | 2,66   | 20,68        | 8,54           |
| <b>Moyenne</b>        |               |                  |                      | <b>2,10</b>                                    | <b>2,66</b>                                  | <b>20,80</b> | <b>8,65</b>    |

Tableau F5 : Propriétés physiques des échantillons de béton, Figuer.

| N° Eprouvette Béton F2 | poids sec (g) | poids humide (g) | poids dans l'eau (g) | Masse volumique apparente (g/cm <sup>3</sup> ) | Masse volumique absolue (g/cm <sup>3</sup> ) | Porosité % | Absorption % |
|------------------------|---------------|------------------|----------------------|--|--|------------|--------------|
| 1                      | 115,2         | 125,1            | 70,3                 | 2,10   | 2,757  | 23,83      | 8,59         |
| 2                      | 118,3         | 129              | 72,5                 | 2,09   | 2,757  | 24,20      | 9,04         |
| 3                      | 118,0         | 128,2            | 71,8                 | 2,09   | 2,757  | 24,26      | 8,64         |
| <b>Moyenne</b>         |               |                  |                      | 2,092  | 2,757  | 24,09      | 8,75         |

Tableau F6 : Propriétés physiques des échantillons de béton F2, Figuier

| N° Eprouvette Béton F3 | Poids sec (g) | Poids humide (g) | Poids dans l'eau (g) | Masse volumique apparente (g/cm <sup>3</sup> ) | Masse volumique absolue (g/cm <sup>3</sup> ) | porosité % | absorption % |
|------------------------|---------------|------------------|----------------------|--|--|------------|--------------|
| 1                      | 116,5         | 124,6            | 71,0                 | 2,17   | 2,66   | 18,42      | 6,95         |
| 2                      | 108,9         | 119,2            | 66,3                 | 2,06   | 2,66   | 22,56      | 9,46         |
| 3                      | 111,0         | 119,5            | 67,1                 | 2,12   | 2,66   | 20,30      | 7,66         |
| <b>Moyenne</b>         |               |                  |                      | 2,12   | 2,66   | 20,43      | 8,02         |

Tableau F7 : Propriétés physiques des échantillons F3 de béton, Figuier

| Echantillon              | Masse volumique apparente (g/cm <sup>3</sup> ) | Masse volumique absolue (g/cm <sup>3</sup> ) | Porosité (%) | Absorption (%) |
|--------------------------|--|--|--------------|----------------|
| F1                       | 2,10   | 2,66   | 20,80        | 8,65           |
| F2                       | 2,092  | 2,757  | 24,09        | 8,75           |
| F3                       | 2,12   | 2,66   | 20,43        | 8,02           |
| <b>Valeurs pondérées</b> | <b>2,10</b>                                    | <b>2,70</b>                                  | <b>21,74</b> | <b>8,41</b>    |

Tableau F8 : Valeurs pondérées des propriétés physiques des échantillons de béton Figuier.

**Formules de pondération :**

$$\rho = \frac{\rho(\text{béton})\%(\text{béton}) + \rho(\text{parpaing})\%(\text{parpaing})}{100}$$

$$Ms = \frac{Ms(\text{béton})\%(\text{béton}) + Ms(\text{parpaing})\%(\text{parpaing})}{100}$$

$$\text{Porosité} = \frac{\text{porosité}(\text{béton})\%(\text{béton}) + \text{porosité}(\text{parpaing})\%(\text{parpaing})}{100}$$

$$\text{Abs} = \frac{\text{Abs}(\text{béton})\%(\text{béton}) + \text{Abs}(\text{parpaing})\%(\text{parpaing})}{100}$$

| Echantillon              | Masse volumique apparente (g/cm <sup>3</sup> ) | Masse volumique absolue (g/cm <sup>3</sup> ) | Porosité (%) | Absorption (%) |
|--------------------------|--|--|--------------|----------------|
| <b>Béton</b>             | 2,10   | 2,70   | 21,74        | 8,41           |
| <b>Parpaing</b>          | 1,99   | 2,58   | 22,67        | 8,69           |
| <b>Valeurs pondérées</b> | <b>2,06</b>                                    | <b>2,65</b>                                  | <b>22,06</b> | <b>8,5</b>     |

Tableau F9 : Valeurs pondérées de caractéristiques physiques des échantillons de Figuier.

**Caractéristiques mécaniques :**

**Résistance à la compression :**

| N° d'éprouvette Béton F1 | Diamètre (mm) | Surface (cm <sup>2</sup> ) | Force de rupture sec (Kgf) | Force de rupture humide (Kgf) | Résistance sec (Kgf/cm <sup>2</sup> ) | Résistance humide (Kgf/cm <sup>2</sup> ) |
|--------------------------|---------------|----------------------------|----------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|--|
| 1                        | 41,28         | 13,37                      | 4500                       |                               | 337                                   |  |
| 2                        | 41,43         | 13,47                      | 5000                       |                               | 371                                   |  |
| 3                        | 41,35         | 13,42                      | 3750                       |                               | 279                                   |  |
| 4                        | 41,37         | 13,44                      |                            | 3125                          |                                       | 233                                      |
| 5                        | 41,01         | 13,20                      |                            | 3875                          |                                       | 294                                      |
| 6                        | 39,67         | 12,35                      |                            | 1875                          |                                       | 152                                      |
| <b>Moyenne</b>           |               |                            |                            |                               | <b>329</b>                            | <b>226</b>                               |

Tableau F10: résistance à la compression de l'échantillon béton F1 Figuier

| N° d'éprouvette béton F2 | Diamètre (mm) | Surface (cm <sup>2</sup> ) | Force de rupture sec (Kgf) | Force de rupture humide (Kgf) | Résistance sec (Kgf/cm <sup>2</sup> ) | Résistance humide (Kgf/cm <sup>2</sup> ) |
|--------------------------|---------------|----------------------------|----------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|--|
| 1                        | 41,42         | 13,47                      | 5000                       |                               | 371                                   |  |
| 2                        | 41,39         | 13,49                      | 4875                       |                               | 361                                   |  |
| 3                        | 41,36         | 13,43                      | 3125                       |                               | 233                                   |  |
| 4                        | 41,32         | 13,40                      |                            | 2750                          |                                       | 205                                      |
| 5                        | 41,40         | 13,45                      |                            | 4000                          |                                       | 297                                      |
| 6                        | 41,38         | 13,44                      |                            | 3250                          |                                       | 242                                      |
| <b>Moyenne</b>           |               |                            |                            |                               | <b>322</b>                            | <b>248</b>                               |

Tableau F11: résistance à la compression de l'échantillon béton F2 Figuier

| N° d'éprouvette béton F3 | Diamètre (mm) | Surface (cm <sup>2</sup> ) | Force de rupture sec (Kgf) | Force de rupture humide (Kgf) | Résistance sec (Kgf/cm <sup>2</sup> ) | Résistance humide (Kgf/cm <sup>2</sup> ) |
|--------------------------|---------------|----------------------------|----------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|--|
| 1                        | 41,04         | 13,22                      | 1875                       |                               | 142                                   |  |
| 2                        | 36,59         | 10,51                      | 1875                       |                               | 178                                   |  |
| 3                        | 36,36         | 10,38                      | 1250                       |                               | 120                                   |  |
| 4                        | 36,91         | 10,69                      |                            | 1375                          |                                       | 129                                      |
| 5                        | 36,18         | 10,27                      |                            | 875                           |                                       | 85                                       |
| <b>Moyenne</b>           |               |                            |                            |                               | <b>147</b>                            | <b>107</b>                               |

Tableau F12: résistance à la compression de l'échantillon béton F3 Figuier

| N° d'éprouvette parpaing | Diamètre (mm) | Surface (cm <sup>2</sup> ) | Force de rupture sec (Kgf) | Force de rupture humide (Kgf) | Résistance sec (Kgf/cm <sup>2</sup> ) | Résistance humide (Kgf/cm <sup>2</sup> ) |
|--------------------------|---------------|----------------------------|----------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|--|
| 1                        | 54,62         | 29,83                      | 3625                       |                               | 122                                   |  |
| 2                        | 47,00         | 22,09                      | 1500                       |                               | 68                                    |  |
| 3                        | 47,13         | 22,21                      |                            | 875                           |                                       | 40                                       |
| 4                        | 55,23         | 30,52                      |                            | 3625                          |                                       | 119                                      |
| <b>Moyenne</b>           |               |                            |                            |                               | <b>95</b>                             | <b>79</b>                                |

Tableau F13 : Résistance à la compression de l'échantillon parpaing Figuier

**Résistance globale à la compression**

Formule de pondération  $R_c \text{ pondéré} = R_c(\text{béton}) \%(\text{béton}) + R_c(\text{parpaing}) \%(\text{parpaing})$

100

| Fraction                                   | Béton      | Parpaing |
|--|------------|----------|
| resistance (Kgf/cm <sup>2</sup> )          | 248        | 95       |
| résistance pondérée (Kgf/cm <sup>2</sup> ) | <b>194</b> |          |

Tableau F14 : résistance pondérée globale des échantillons de Figuier



**Résistance à l'usure par fragmentation (LosAngeles)**

Formule de pondération :

$$\text{LA pondéré} = \frac{\text{LA (béton)} * \% (\text{béton}) + \text{LA (parpaing)} * \% (\text{parpaing})}{100}$$

| Fraction (mm) | Béton  |       | Parpaing |       | Los Angeles pondéré% |
|---------------|--------|-------|----------|-------|----------------------|
|               | Poids  | LA, % | Poids    | LA, % |                      |
| 4 - 6,3       | 3422,9 | 31,54 | 3808,4   | 23,83 | <b>22,76</b>         |
| 6,3 - 10      | 3086,4 | 38,27 | 3330,8   | 33,38 | <b>36,54</b>         |
| 10 - 14       | 3017,6 | 39,64 | 3022,2   | 39,56 | <b>39,61</b>         |
| 10 -25        | 2729,4 | 45,41 | 3224,4   | 35,51 | <b>41,91</b>         |
| 16 -31,5      | 2431,5 | 51,37 | 3059,7   | 38,80 | <b>46,92</b>         |

Tableau F15 : Résistance à l'usure par fragmentation (LosAngeles) pondérée des échantillons de Figurier

**Résistance à l'usure par frottement (Micro Deval)**

Formule de pondération :

$$\text{MD pondéré} = \frac{\text{MD (béton)} * \% (\text{beton}) + \text{MD (parpaing)} * \% (\text{parpaing})}{100}$$

| Fraction mm | Béton    |       |       |       | Parpaing |       |      |       | Micro Deval pondéré, % |              |
|-------------|----------|-------|-------|-------|----------|-------|------|-------|------------------------|--------------|
|             | Poids, g |       | MD %  |       | Poids, g |       | MD % |       | MDE                    | MDS          |
|             | Humide   | Sec   | MDE   | MDS   | Humide   | Sec   | MDE  | MDS   |                        |              |
| 4-6.3       | 212,1    | 258,8 | 57,58 | 48,44 | 287,5    | 280,3 | 42,5 | 43,94 | <b>46,84</b>           | <b>52,4</b>  |
| 6,3-10      | 251,8    | 343,8 | 49,64 | 49,64 | 308,9    | 366   | 38,2 | 26,8  | <b>41,55</b>           | <b>45,60</b> |
| 10-14       | 292,7    | 380,3 | 41,46 | 23,94 | 331,1    | 400,9 | 33,8 | 19,82 | <b>38,73</b>           | <b>22,72</b> |

Tableau F16 : Résistance à l'usure par frottement (Micro Deval) pondérée des échantillons de Figurier

**Analyse granulométrique des sables :**

| TAMIS (mm)    | Béton      |            |                | Parpaing     |            |                |
|---------------|------------|------------|----------------|--------------|------------|----------------|
|               | Refus (g)  | Refus %    | Refus cumulé % | Refus (g)    | Refus %    | Refus cumulé % |
| 2,5           | 180        | 30         | 30             | 246,1        | 36,71      | 36,71          |
| 1,25          | 120        | 20,04      | 50             | 100          | 14,94      | 51,65          |
| 0,63          | 116        | 19,34      | 69,34          | 120          | 17,91      | 69,56          |
| 0,315         | 70         | 11,66      | 81             | 99,4         | 14,81      | 84,37          |
| 0,16          | 79         | 13,16      | 94,16          | 90           | 13,42      | 97,79          |
| 0,08          | 20         | 3,33       | 97,49          | 10           | 1,52       | 99,3           |
| <0,08         | 15         | 2,51       | 100            | 4,6          | 0,7        | 100            |
| <b>Totale</b> | <b>600</b> | <b>100</b> |                | <b>670,1</b> | <b>100</b> |                |

Tableau F17 : Analyse granulométrique des sables des échantillons de Figurier.

**Friabilité, équivalent de sable et module de finesse des sables :**

| Echantillon | Friabilité % | MF % | E S % |
|-------------|--------------|------|-------|
| Béton       | 30,5         | 3,24 | 82    |
| parpaing    | 29,2         | 3,4  | 85    |

Tableau F18 : Friabilité, équivalent de sable et module de finesse des sables Figurier.

**ANNEXE B : METHODES D'ANALYSES EAU et SOL**

**EAU**

Méthodes de prélèvement :

- Avant l'échantillonnage de l'eau, on laisse couler l'eau pendant quelques minutes pour éviter le dépôt qui se trouve au niveau de la pompe et des conduites.
- Pour l'eau destinée à l'analyse des hydrocarbures, on utilise une bouteille en verre sombre lavée au préalable avec du CCl<sub>4</sub>, pour les autres analyses on utilise des bouteilles en polyéthylène.
- Les échantillons sont protégés du soleil et dès l'arrivée au laboratoire, les échantillons d'eau destinés à l'analyse des hydrocarbures seront analysés immédiatement, sinon ils sont conservés dans un réfrigérateur à une température de 4°C. Les autres échantillons sont conservés à une température de 22°C.

**Les conditions requises pour la conservation des échantillons :**

Les conditions requises pour la conservation d'échantillons afin d'obtenir des résultats fiables, sont résumés dans les tableaux ci-dessus.

Tableau n°2 conditionnement pour l'analyse des indicateurs de pollution organique

| indicateur                | flaconnage  | Type de conservation   | Lieu de l'analyse | Durée de conservation | observation  |
|---------------------------|---|--|-------------------|-----------------------|--|
| DBO                       | P ou V<br>(le verre est préférable dans le cas de faible DBO) | Réfrigération entre 2 et 5°C   | laboratoire       |                       |  |
|                           |   | Congélation à -20°C  | laboratoire       | 1 mois                |  |
| DCO                       | P ou V<br>(le verre est préférable dans le cas de faible DCO) | Réfrigération entre 2 et 5°C et maintien à l'obscurité   | laboratoire       | 24h                   | L'acidification est particulièrement recommandée quand la DCO est due à la présence de matières organiques |
|                           |   | Acidification à P <sup>H</sup> <2 avec H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>                                | Laboratoire       | 2 jours               |  |
|                           |   | Congélation à -20°C  | laboratoire       | 1 mois                |  |
| Azote ammoniacal et azote | P ou V  | Acidification à P <sup>H</sup> <2 avec H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> et conservation entre 2 et 5°C | Laboratoire       | 24h                   |  |

|                                |                             |  |             |     |  |
|--------------------------------|-----------------------------|--|-------------|-----|--|
| Kjeldahl                       |                             | réfrigération entre 2 et 5°C   | Laboratoire | 6h  |  |
| Nitrites                       | P ou V                      | Réfrigération entre 2 et 5°C   | laboratoire |     |  |
| Nitrates                       | P ou V                      | Acidification à $p^H < 2$ avec $H_2SO_4$ et réfrigération $> 2$ et $< 5^\circ C$ | laboratoire | 24h |  |
| Phosphore total                | P ou V                      | Acidification à $p^H < 2$ avec $H_2SO_4$   | laboratoire | 24h |  |
| Graisses, Huiles Hydrocarbures | Verreries lavées au solvant | Acidification à $p^H < 2$ , extraction sur place si possible                     | laboratoire | 24h | Il est recommandé d'ajouter juste après le prélèvement l'agent d'extraction utilisé par la méthode |

Tableau n° 3 conditionnement pour l'analyse des éléments métalliques toxiques et indésirables

| Paramètres à étudier   | Nature du récipient | Technique de conservation  | Lieu de l'analyse | Durée de conservation |
|--|---------------------|--|-------------------|-----------------------|
| Manganèse, Zinc, Cuivre, Nickel, Plomb, Cobalt, Chrome total, et Cadmium | Polyéthylène        | Filtration sur le lieu du prélèvement et acidification à $p^H < 2$ | laboratoire       | 1 mois                |

### **DOSAGE DES METAUX LOURDS PAR SPECTROPHOMETRIE D'ABSORPTION ATOMIQUE**

**Principe :** Lorsque les atomes d'un élément ont été excités, leur retour à l'état fondamental s'accompagne de l'émission de photons de fréquence  $F$  bien définie et propre à cet élément. L'utilisation de ce phénomène constitue la base de la spectrophotométrie d'émission.

Le même élément, dispersé à l'état atomique dans une flamme, possède également la propriété d'absorber tout rayonnement de même fréquence  $F$ , et il en résulte une absorption du rayonnement incident liée à la concentration de l'élément considéré.

## Matériel

Un générateur de photons, un générateur d'atomes et Un récepteur constitué de photomultiplicateur associé à un amplificateur linéaire ou logarithmique.

## DOSAGE DES SULFATES PAR TURBIDIMETRIE

1- Référence : Méthode HACH

2- Objet et domaine d'application :

Ce document décrit une colorimétrie pour la détermination des sulfates dans les eaux douces, eaux de mer et eaux résiduaires pour les teneurs comprises entre 0 et 70 mg/lSo<sub>4</sub>

3- Principe :

Les ions sulfates présents dans l'eau réagissent avec le baryum contenu dans le réactif sulfa ver 4 et produisent une turbidité due aux sulfates de baryum insoluble. La quantité de turbidité formée est proportionnelle à la concentration en sulfate.

4- Réactifs : Réactif sulfa veru en gellules.

5- Appareillages :

Cellules en verre de 25ml de capacité et un spectrophotomètre UV/visible (type DR2000)

## DOSAGE DES CHLORURES PAR VOLUMETRIE

1- Référence : API Recommended Practice for Analysis of Oil-Field

2- Objet et domaine d'application :

méthode volumétrique des ions chlorures, elle s'applique à des eaux qui présentent des concentrations supérieures à 5mg/l et dont l'aspect ne gêne pas le virage.

3- Principe :

Il consiste à doser les ions chlores combinés à l'état de chlorure d'argent (AgCl) par le nitrate d'argent (AgNO<sub>3</sub>) et en présence d'un indicateur coloré : le chromate de potassium (K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub>).

4- Réactifs :

- Solution titrée de nitrate d'argent AgNO<sub>3</sub> à 0.1N ; Cette solution obtenue par dissolution de 17g de AgNO<sub>3</sub> dans un litre d'eau distillée. Des solutions standard appelées Titrisol peuvent être également utilisées pour la préparation de solutions titrées.
- Indicateur coloré : La solution de chromate de potassium est préparée par la dissolution de 100g de K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub> dans un litre d'eau distillée.
- Bicarbonate de sodium.
- Acide nitrique à 0.1 N.

5- Appareillages :

Un dosimètre, une pipette de 20 ou 25 ml et un agitateur.

## DOSAGE DES NITRATES PAR COLORIMETRIE

1- Référence : Méthode HACH

2- Objet et domaine d'application :

Deux méthodes colorimétriques pour la détermination des nitrates pour des gammes moyennes comprises entre 0 et 4.5 mg/l et fortes comprises entre 0 et 30 mg/l. Elles s'appliquent aux eaux de surface, eaux usées et eaux de mer.

3- Principe :

Le cadmium métallique contenu dans les gellules de réactifs réduit les nitrates présents dans l'échantillon en nitrites. Les nitrites réagissent en milieu acide avec l'acide sulfanilique pour former un sel de diazonium, ce sel réagit avec l'acide gentisique pour former un complexe coloré ambre. L'intensité de la coloration est proportionnelle à la concentration en nitrates.

4- Réactifs : Gellules de nitra ver 5.

5- Appareillages :

Cellules en verre de 25 ml de capacité, un spectrophotomètre (type DR2000).

## DETERMINATION DU PHOSPHORE REACTIF (HACH)

1- Référence: Méthode HACH standard method for the examination of water and wastewater

2- Objet et domaine d'application :

Méthode colorimétrique pour la détermination du phosphore réactif contenu dans les eaux de surface, eaux usées et eaux de mer à des teneurs comprises entre 0 et 2.5 mg/l.

3- Principe :

Le phosphore dans les eaux naturelles et usées se trouve uniquement sous forme de phosphates. La seule forme de phosphate susceptible d'être déterminée directement est l'orthophosphate. Toutes les autres formes requièrent un prétraitement pour les transformer en orthophosphates et les analyser. L'orthophosphate réagit avec le molybdate en milieu acide pour produire un complexe phosphomolybdate, l'acide ascorbique réduit le complexe donnant une coloration intense de bleu de molybdène.

4- Réactifs : Gellules phos ver 3 contenant le molybdate et l'acide ascorbique.

5- Appareillages : Spectrophotomètre (type DR2000) et cellules en verre de 25 ml de capacité.

## DOSAGE DES NITRITES PAR COLORIMETRIE

1- Référence : Méthode HACH

2- Objet et domaine d'application :

Deux méthodes pour la détermination des nitrites pour de faibles teneurs comprises entre 0 et 0.3mg/l et de fortes teneurs comprises entre 0 et 15mg/lN-No<sub>2</sub> pour les eaux douces, eaux résiduaires et eaux de mer.

3- Principe :

- Pour les faibles teneurs, le principe consiste en la réaction des nitrites présents dans l'échantillon avec l'acide sulfurique pour former un sel de diaonium qui réagit avec l'acide chromotrope pour produire un complexe coloré rosé dont la coloration est proportionnelle à la quantité de nitrites présents.
- Pour les fortes concentrations, la méthode utilise le sulfate ferreux en milieu acide pour réduire les nitrites en oxyde nitreux, l'ion ferreux se combine avec l'oxyde nitreux pour former un complexe brun-verdâtre dont la coloration est proportionnelle aux nitrites présents.

4- Réactifs : Gélules nitri ver 3; Gélules nitri ver 2.

5- Appareillages : Cellules en verre de 25 ml de capacité et Spectrophotométrie (type DR2000).

## DOSAGE D'AZOTE AMMONIACAL PAR COLORIMETRIE

1- Référence : Méthode HACH

2- Objet et domaine d'application :

méthode colorimétrique aux salicylates pour la détermination de l'azote ammoniacal, dans les eaux douces, eaux de mer et eaux résiduaires pour des teneurs comprises entre 0 et 0.5 mg/l de N-NH<sub>3</sub>.

3- Principe :

Les composés ammoniacaux se combinent avec le chlore pour former le monochloramine, ce dernier réagit avec le salicylate pour former l'5-aminosalicylate. Ce composé est oxydé en présence d'un catalyseur au nitroprussiate pour former un complexe coloré bleu. La coloration est masquée par la coloration jaune du réactif en excès pour donner solution finale colorée en vert dont l'intensité est proportionnelle à la concentration en azote ammoniacal présent dans l'eau.

4- Réactifs : Réactif salicylate en gélules, réactif cyanurate en gélules et eau bi-distillée.

5- Appareillage : Cellules en verre de 25 ml de capacité et spectrophotomètre UV/visible de type DR2000.

## METHODE D'EVALUATION DE LA D/305 PAR RESPIROMETRIE

1- Référence : Méthode HACH

2- Objet et domaine d'application :

Méthode manométrique (respirométrique) d'évaluation de la demande biochimique en oxygène mesurée pendant cinq jours, elle est appliquée aux eaux usées industrielles et domestiques ainsi qu'aux eaux de consommation.

3- Principe :

En fonction de la valeur de la DCO mesurée et de la valeur de DBO suspectée, il est introduit une quantité connue d'eau dans un flacon de mesure qui est relié au système manométrique. L'oxygène qui est absorbé par les micro-organismes pour dégrader la matière organique est remplacé par l'air au-dessus de l'échantillon dans le flacon. Le CO<sub>2</sub> produit est absorbé par la soude ; la différence de pression est directement affichée à l'échelle manométrique en mg/l de DBO.

4- Réactifs : Pastilles de soude caustique et Mercure liquide.

5- Appareillages : Flacons d'échantillons bruns en verre de 500 ml de capacité ; barreau magnétique d'agitation, armoire thermostatée à 20°C, flacon avec pastille de soude et dispositif d'agitation

## DETERMINATION DE LA DEMANDE CHIMIQUE EN OXYGENE

1- Référence : Méthode HACH (adaptée de Jirka,A.M., Carter, M.J., 1975)

2- Objet et domaine d'application :

Méthode de détermination de la demande chimique en oxygène par digestion, à 150°C en reacteur, et lecture colorimétrique aux eaux de surface, souterraines et résiduares.

3- Principe :

Le test de la DCO consiste en la mesure de l'oxygène équivalent à la quantité de matières organiques oxydables par le dichromate de potassium K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, dans une solution d'acide sulfurique à 50%. Un composé d'argent est ajouté comme catalyseur, un composé mercurique est ajouté pour réduire les interférences dues à l'oxydation des ions chlorures par le dichromate. L'oxydation s'effectue à une température de 150°C pendant deux heures, la lecture se fait par colorimétrie. Pour la gamme de DCO de 0 à 150 mg/l (à 420mm), la méthode consiste en la mesure de la concentration en chrome hexavalent restante qui est caractérisée par une coloration jaune. Pour la gamme de 0 à 150 mg/l (à 620mm), la coloration obtenue est verte, elle correspond à la quantité de chrome trivalent produite.

Réaction :  $MO + yK_2Cr_2O_7 + zH_2SO_4 \longrightarrow CO_2 + vH_2O + nCr_2(SO_4)_3 + mK_2SO_4$

4- Réactifs :

- Tubes DCO (0 à 150 mg/l) pour les faibles concentrations ;
- Tubes DCO (0 à 150 mg/l) pour les fortes concentrations ;
- Eau déminéralisée.

5- Appareillage :

- Pipette jaugée à 2 ml ;
- Adaptateur de tube DCO sur DR/2000 ;
- Portoir tube DCO ;
- Réacteur à 150°C (DCO 120/240 V) ;
- Spectrophotomètre HACH type DR/2000

**DOSAGE DES HYDROCARBURES : Norme NFT90-114 ou équivalent**

Méthode d'échantillonnage

Les échantillons d'eaux sont prélevées dans des flacons en verre de 1l (ou 2l), et acidifiés avec 1ml HCl concentré l'analyse est effectuée le plutôt possible.

Principe :

Les hydrocarbures sont extraits dans le CCl<sub>4</sub>, la séparation des hydrocarbures des autres matières organiques se fait sur un agent adsorbant déterminé. On mesure des adsorbantes à 4 longueurs d'ondes correspondants aux vibrations de valence les plus intenses, pour les liaisons CHANGE (3040 cm<sup>-1</sup>) des hydrocarbures aromatiques, CH<sub>3</sub> (2160 cm<sup>-1</sup>), et CH<sub>2</sub> (2920 cm<sup>-1</sup> à 2850 cm<sup>-1</sup>) des hydrocarbures aliphatiques.

Equipements et matériaux requis :

- spectrophotomètre. FTIR de marque Nicolet, type MAGNA ESP560
- logiciel OMNIC
- logiciel C<sub>x</sub>H<sub>x</sub> pour le dosage des hydrocarbures
- compresseur d'air et sécheur
- onduleur
- Etuve pouvant atteindre la température de 100+°C.
- p<sup>H</sup> mètre
- balance analytique précision +0,01g
- thermomètre : 0 à 60°C, précision +1°C
- réfrigérateur

Accessoire et verrerie du laboratoire

- ballon en verre de 2l
- ampoule à décanter de 1l
- erlen meyers de 50ml
- éprouvettes graduées de 50ml ou de 100ml
- Fioles de 100ml et de 50ml
- Flacon en verre de 1l ou 2l
- Cuve rectangulaire en quartz de 10mm d'épaisseur
- Barreaux magnétiques



Les réactifs utilisés :

- Agent adsorbant : Florisil
- CCl<sub>4</sub> de qualité analytique pour IR
- Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, anhydre
- NaCl
- HCl
- NaOH pastilles
- Solution tampon pour p<sup>H</sup>mètre (p<sup>H</sup>(4-7)).

**SOL**

**Zone de prélèvement des échantillons de sol**

D'après la définition du sol et du sous sol (schéma ci dessous), les échantillons proviennent de la zone non saturée du sol qui peut être estimée dans cette région à moins d'une dizaine de mètres. Les piézomètres pris en compte dans cette étude sont des puits domestiques dont la profondeur varie de 2 à 8 mètres de profondeur.

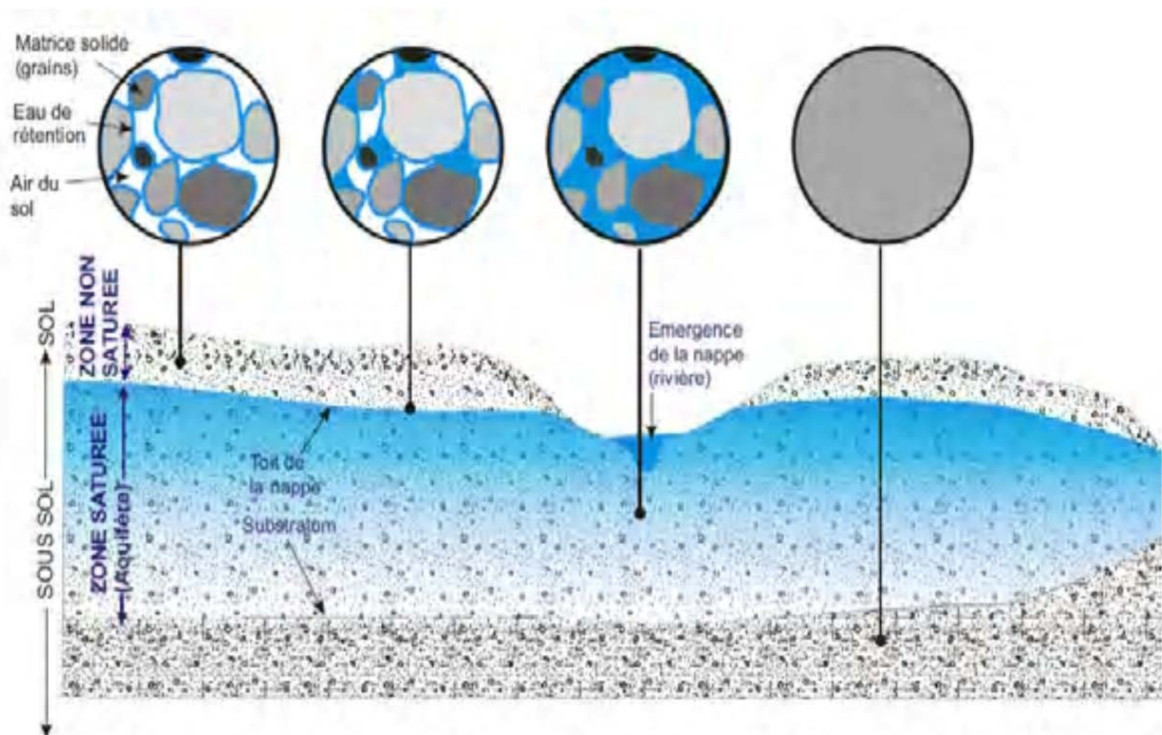


Schéma montrant la relation entre sol, sous sol, zone non saturée et zone saturée. (Source Guide sur le Comportement des Polluants dans le sol et le sous sol).

**Méthodes de prélèvements d'échantillons de sol**

- Les échantillons de sol ont été prélevés à une profondeur de 1m, à l'aide d'une carotteuse manuelle ;
- L'échantillon prélevé est mis dans du papier aluminium puis enchâssé ;
- Chaque échantillon est ensaché, étiqueté numéroté avec indications sur la date, le point, et la profondeur du carottage. Les sachets sont soigneusement enfermés pour le transport.
- Dès l'arrivée au laboratoire les sachets sont ouverts de manière à amorcer le séchage de la terre à l'air libre.

- Quartage de l'échantillon : bien mélanger la terre avec une petite pelle ou autre outil propre jusqu'à parfaite homogénéisation. Dans le cas où la terre serait trop mouillée, un séchage au préalable à l'air libre s'impose afin de la rendre plus malléable. Entasser l'échantillon sous forme de cône, le diviser en quatre parties équivalentes selon deux axes perpendiculaires. Rejeter à l'aide de la petite pelle deux quartiers opposés et refaire un cône avec ce qui reste, en recommençant l'opération jusqu'à ce que la quantité désirée soit obtenue (échantillon pour laboratoire environ 200 g).

#### **Analyse des métaux lourds dans les échantillons de sol:**

Pour conduire ces analyses, il est nécessaire de procéder à la préparation physique et chimique des échantillons de sol.

La préparation physique consiste à :

- Peser 10 g de chaque échantillon de sol dans des creusets en verre lavés à l'eau distillée et sécher à l'étuve à 105°C au préalable ;
- Sécher les échantillons à l'étuve à 105°C pendant 16h ;
- Après séchage retirer les échantillons et les mettre dans un dessiccateur pour refroidir ;
- Broyer les échantillons le plus finement possible à l'aide d'un pilon ;
- Peser 1g de chaque échantillon et mettre dans des creusets en platines au préalable laver à l'eau distillée et à l'acide chlorhydrique et sécher à 950°C ;
- Mettre les échantillons dans un four à 950°C pendant 1h pour éliminé la matière organique.

La préparation chimique consiste en une attaque des échantillons par de l'acide chlorhydrique de la manière suivante :

- On ajoute un peu d'eau aux sédiments de terre et on les met se sécher dans des creusets sur une plaque chauffante (on prend 1g de terre séchée au préalable dans les creusets en verre) ;
- On ajoute 10 ml de HCl à 0.5 N à sec ; on remet sur la plaque chauffante pour sécher (juste un peu, il ne faut pas que ça se dessèche) ; on les retire lorsque la vapeur commence) ;
- On fait la filtration sur un filtre sans cendre ;
- On récupère le filtre et on le remet le dans le bécher, ensuite on ajoute 10 ml de HCl et 10 ml de HF et on met le bécher sur la plaque chauffante et on laisse sécher jusqu'à ce que ça sèche ;
- On ajoute de nouveau 10 ml de HCl et 10 ml d'HF et on remet à sécher sur la plaque.
- On ajoute 5 ml de HCl et on laisse chauffer jusqu' à la première évaporation, on la retire du bécher et on fait une filtration sur un filtre sans cendre dans une fiole de 250 ml ;
- On rince le bécher et on verse le contenu dans la fiole.

## ANNEXE C : PROTOCOLE DE L'ANALYSE PAR GC/MS

Les analyses ont été réalisées sur le chromatographe Agilent 6890N. La séparation chromatographique s'est effectuée sur une colonne d'une longueur de (25 mètres). Le débit du gaz vecteur a été réglé à 1 mL.min<sup>-1</sup> en sortie de colonne et la programmation de température du four de chauffage de la colonne était la suivante : après un plateau d'une minute à 60°C, la colonne est chauffée jusqu'à 128°C avec une vitesse de 6°C.min<sup>-1</sup>, puis maintenue à cette température pendant 18 minutes avant d'appliquer un nouveau chauffage jusqu'à 315°C avec une rampe en température de 5°C.min<sup>-1</sup>. La durée totale de l'analyse chromatographique est de 36 minutes.

Le spectromètre de masse Agilent 59/73 a été réglé en mode full scan entre 10 et 660 unités de masse atomique à une vitesse de scan de 0,5 scan.s<sup>-1</sup>. Le mode d'ionisation par impact électronique (IE) et l'énergie d'ionisation des électrons était de 70 eV avec un courant d'émission de 10 µA.

L'identification des produits s'est effectuée en utilisant la base de données des spectres de masse présents dans la librairie du National Institute of Standards and Technology (NIST), les spectres de masses obtenus en ionisation électronique pour la détermination des masses moléculaires et aussi en comparant les temps de rétention à ceux de produits commerciaux en cas d'incertitudes sur les attributions.

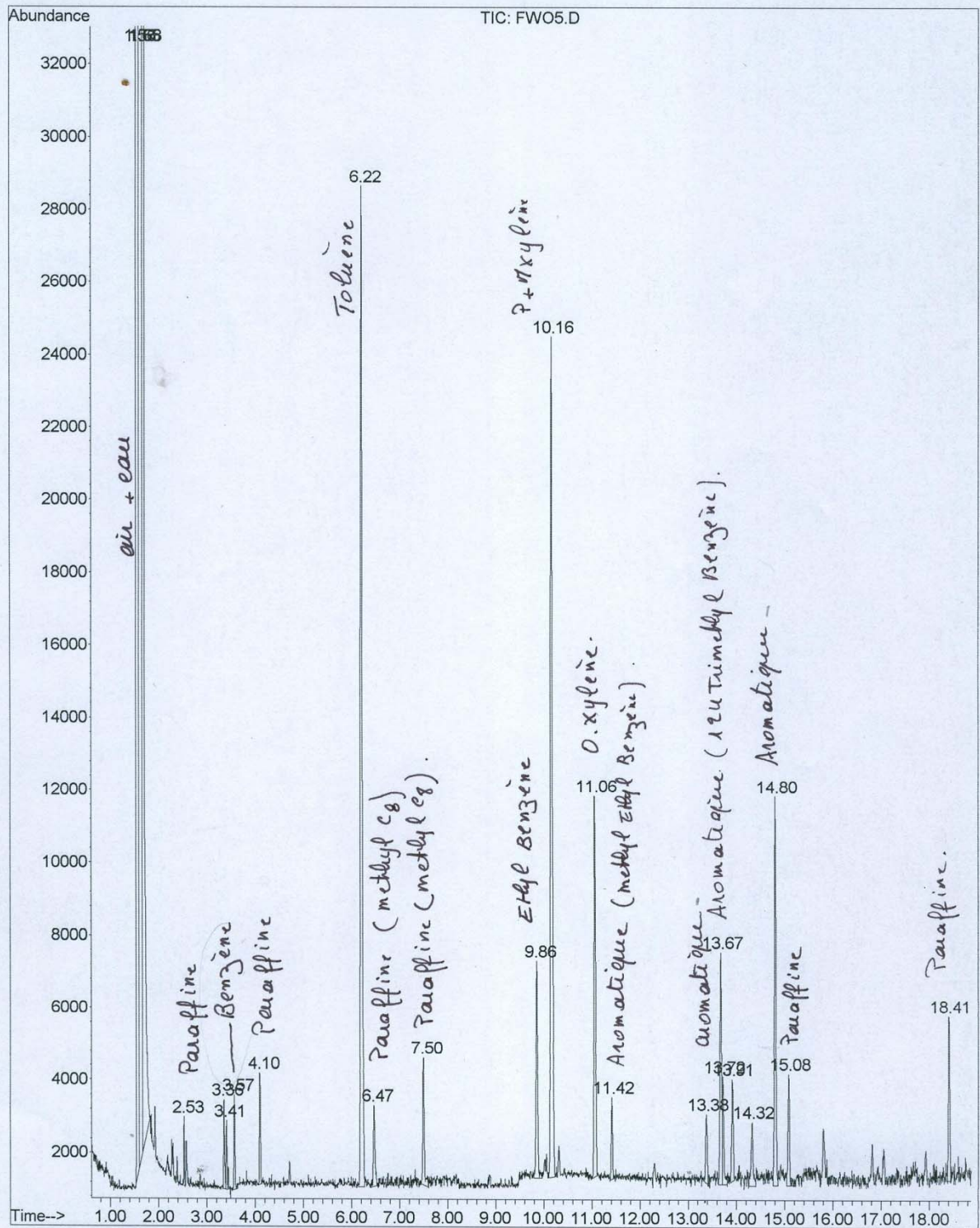
Les figures ci-dessous reportent les chromatogrammes obtenus après analyse GC/MS des vapeurs d'huile usée. Les deux chromatogrammes diffèrent remarquablement pour des temps de rétention plus grands.

Les pics observés à des temps de rétention inférieurs à 15 minutes sont attribués à certains produits aromatiques, initialement présents dans les échantillons et qui résultent principalement de produits de dégradation des huiles et de la présence de certains composés issus du carburant, avec une prédominance des dérivés benzéniques et naphthaléniques substitués ayant un nombre variable de groupements méthyles (C2 à C5).

A des temps de rétention compris entre 15 et 22 minutes on relève la présence d'hydrocarbures paraffiniques dont l'origine est liée à la composition de l'huile de base. Par ailleurs, les pics observés à des temps de rétention supérieurs à 22 minutes sont identifiés comme étant des siloxanes provenant de la dégradation de l'huile et en majeure partie de la bentonite utilisée dans le procédé de traitement de l'huile usée par contact à la terre de la FWO.

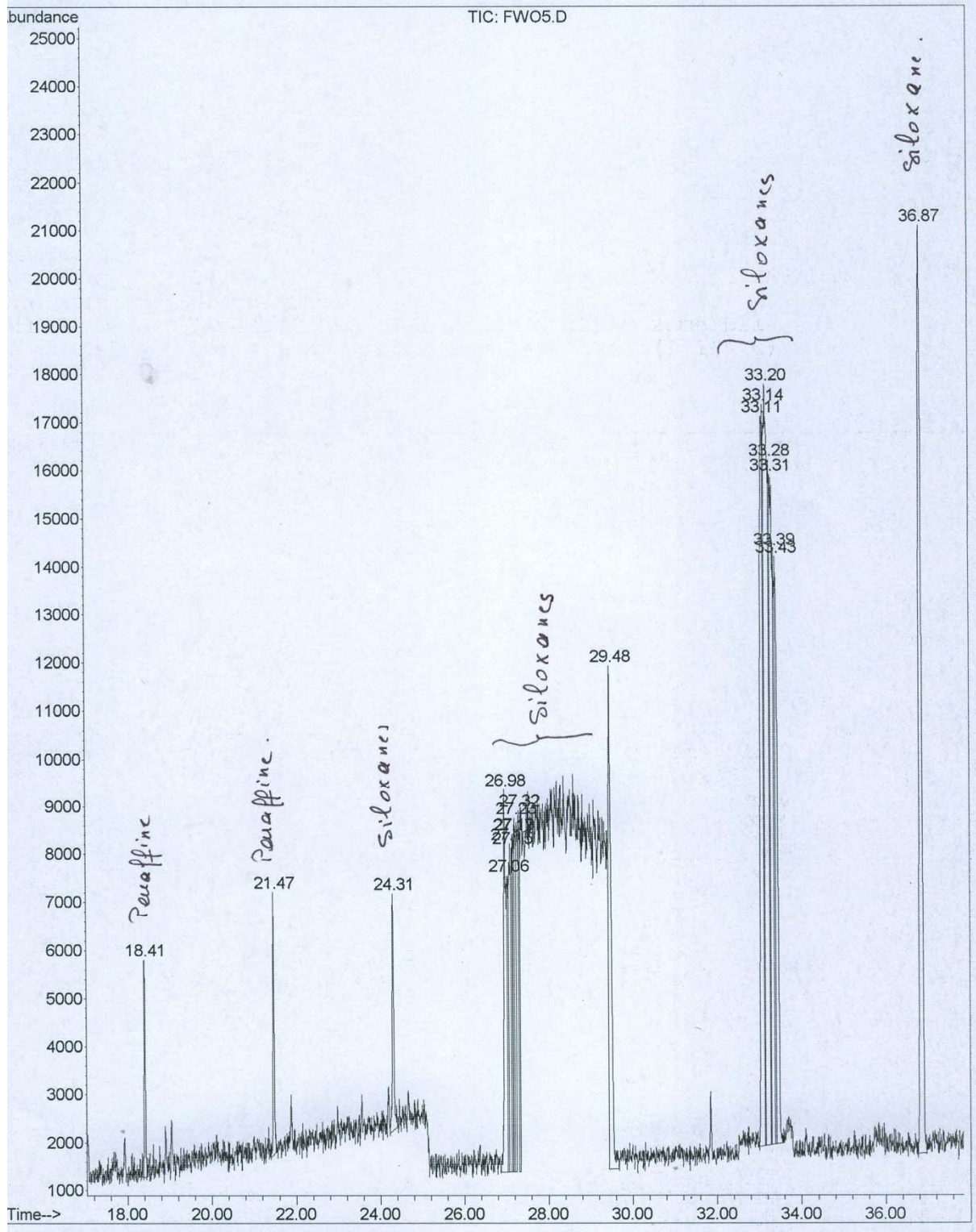
Les produits identifiés et présentés ci-dessous peuvent être classés en 4 familles de produits : les aromatiques, les cétones, les isoparaffines et les siloxanes.

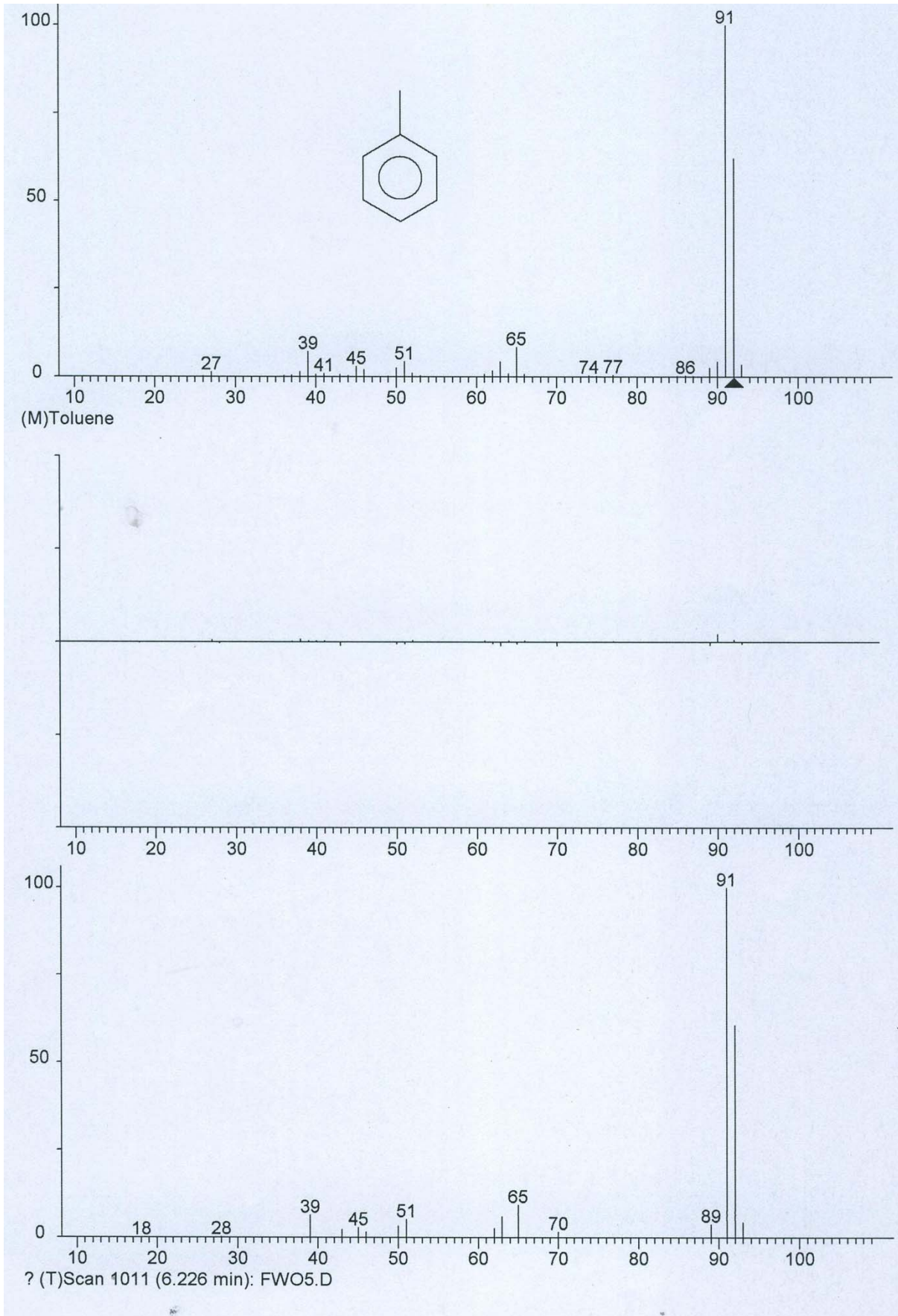
Sample Name: Vapeur d huile chauffee a 128 C 2eme bll  
 Misc Info : preleve au dessus du 2eme bac (T 165 C)  
 Vial Number: 1



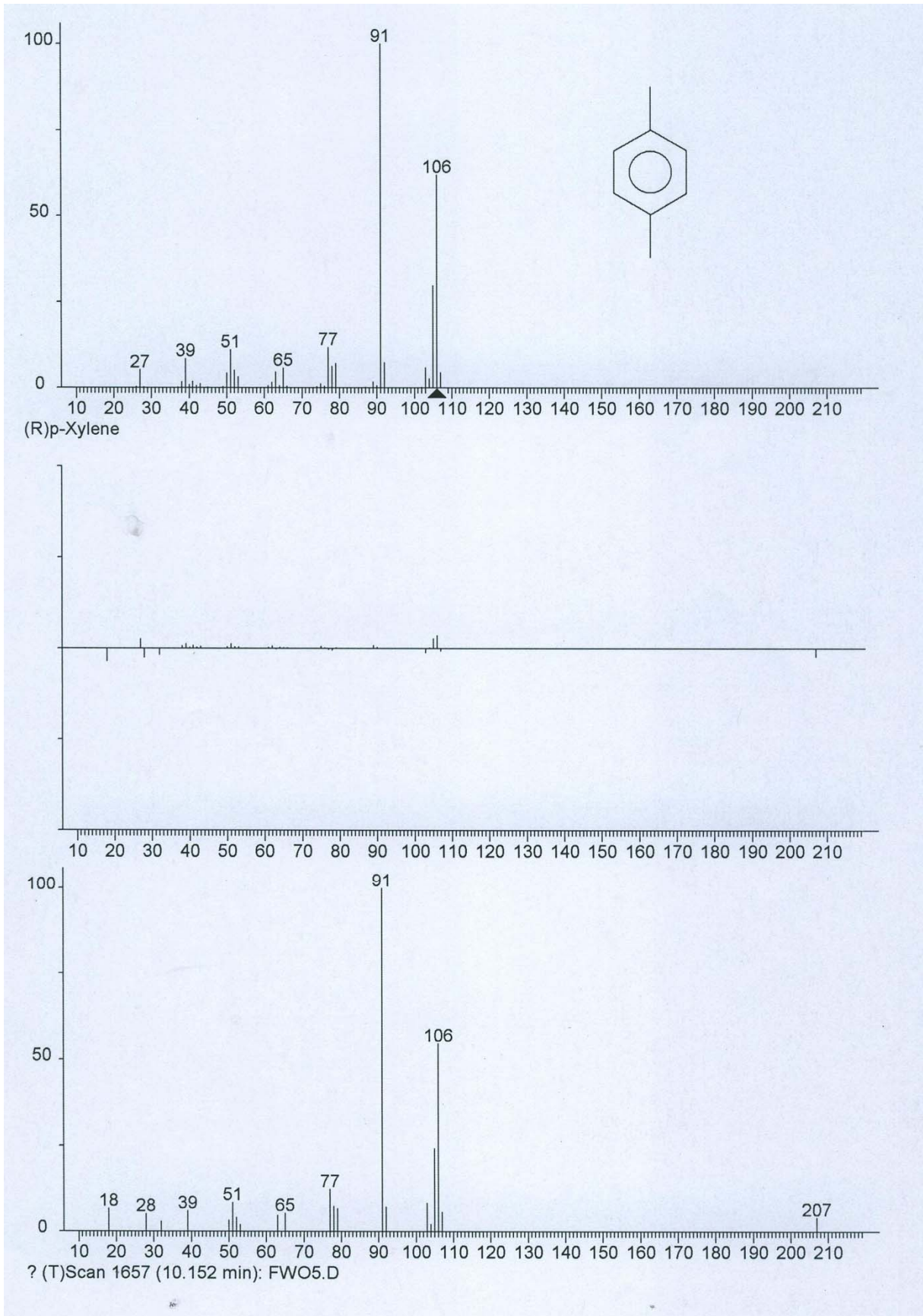


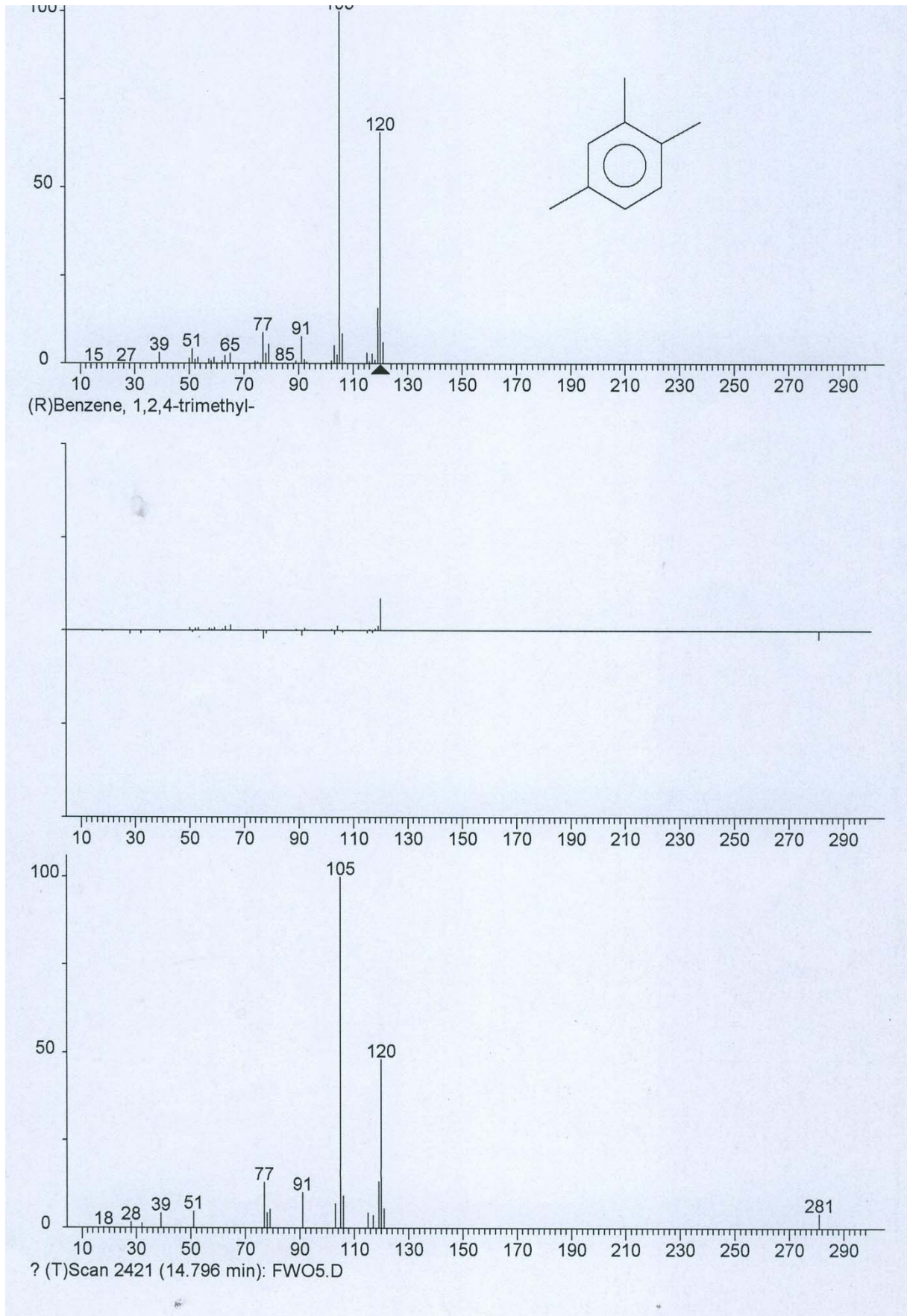
Sample Name: Vapeur d huile chauffee a 128 C 2eme bll  
 Disc Info : preleve au dessus du 2eme bac (T 165 C)  
 Vial Number: 1



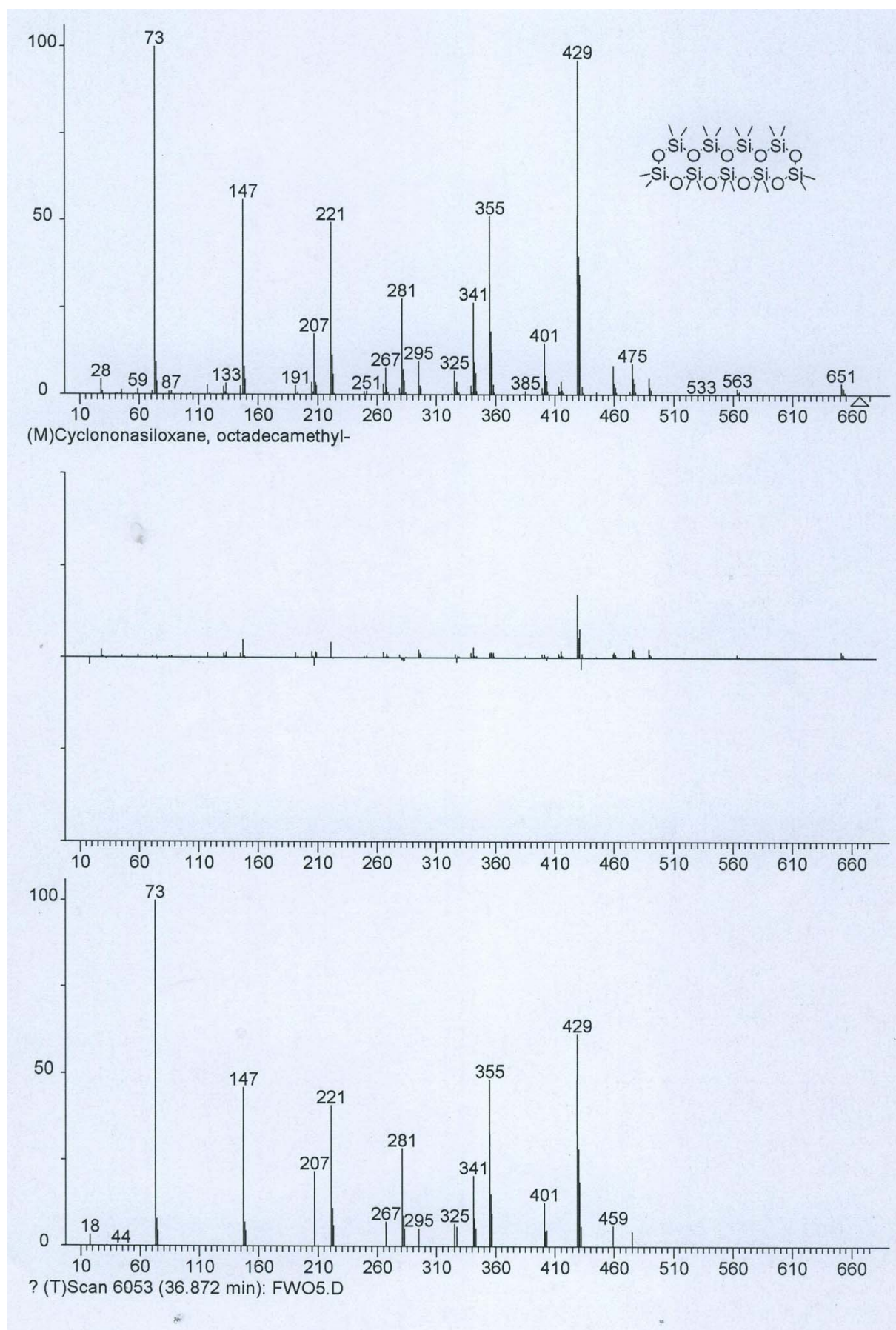




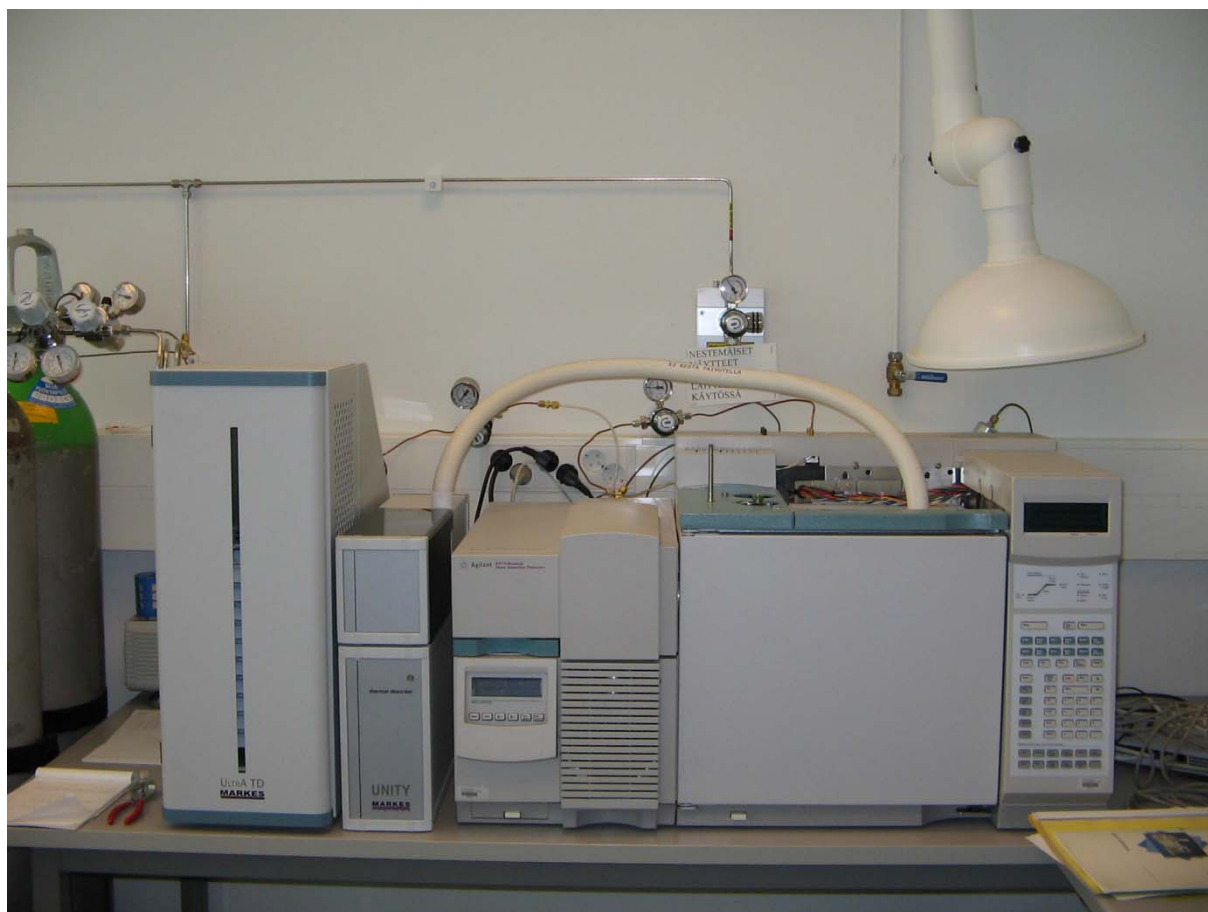








## AGILENT Technologies J&W GC/MS Columns



Agilent 6890 N GC-MS

Agilent J&W GC/MS columns are highly efficient, inert and bleed less than the competition, offering you uncompromised sensitivity. When used in conjunction with an optimized GC/MS system, these columns achieve the lowest possible detection limits for your most difficult analytes with excellent mass spectral clarity. Increased analytical sensitivity with resulting lower detection limits is a function of the ratio of signal-to-noise. Improvements to signal-to-noise are achieved by:

### **Increasing signal**

Highly efficient, inert GC/MS columns produce narrow and tall peaks for the most active analytes.

### **Decreasing noise**

- Low column bleed reduces baseline rise and the amount of noise contributed by the column, thereby reducing baseline interference.