

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد الصديق بن يحيى - جيجل

Université Mohammed Seddik Benyahia - Jijel

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département : des Sciences de la Terre et de
l'Univers



كلية علوم الطبيعة والحياة
قسم: علوم الأرض والكون

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme : **Master Académique en Géologie**

Option : **Géologie de l'Ingénieur et Géotechnique**

Thème

**Caractérisation des sols du Centre d'Enfouissement
Technique (C.E.T) de Demina, Taher-Wilaya de Jijel
(Nord-Est algérien).**

Membres de Jury

Président : KHERROUBA Hassiba

Examineur : BOUAZI Rekia

Encadrant : BOUROUDI Nihad

Présenté par :

CHABBI Hanane

BENZAID Ghada

Année Universitaire 2020-2021

Numéro d'ordre (bibliothèque) :

Remerciements

Au terme de la rédaction de ce mémoire, c'est un devoir agréable d'exprimer en quelques lignes la reconnaissance que nous devons à tous ceux qui ont contribué de loin ou de près à l'élaboration de ce travail.

Nous remercions ALLAH le Tout Puissant qui nous a donné tant de courage, de santé, de volonté, de patience et d'abnégation pour mener à terme ce mémoire.

La première personne que nous tenons à saisir notre profonde gratitude est notre encadrante Mme, BOUROUDI Nihad, enseignante au département des Sciences de la Terre et de l'Univers d'avoir accepté de nous encadrer, pour son aide, ses précieuses recommandations, et pour sa disponibilité durant toute la période de notre travail.

Nos vifs remerciements s'adressent aussi aux membres de jury ; Melle KHERROUBA Hassiba, et Mme BOUAZI Rekia, pour l'intérêt qu'ils ont prêté à cette étude en acceptant de juger ce travail.

Un merci tout spécial à Mr ROUIKHA Youcef, ancien enseignant au département des Sciences de la Terre et de l'Univers qui était comme un père de tous les étudiants, et qui n'a épargné aucun effort pour assurer notre apprentissage, et qui n'a pas refusé notre demande de sortir avec nous sur terrain. Puisse ALLAH le Tout Puissant le récompense sur terre et sur cieux.

Nous tenons aussi à remercier toutes les personnes qui ont permis la bonne tenue de cette expérience, en particulier ; Melle KHERROUBA Hassiba, Mr DEBIECHE Taha. Hocine, Mr LAHMAR et Melle HADEF Selma.

Nos remerciements vont également à tous nos enseignants pour leur participation à notre formation, qu'ils trouvent ici l'expression de nos sentiments les plus respectueux et notre profonde gratitude, pour leur gentillesse, disponibilité et soutien durant les années de notre formation

Nous remercions dans ce mémoire nos parents, qui sans leur soutien et leur amour, nous ne serions pas arrivées à ce que nous sommes.

Un grand merci à Mr. HAMZA M., directeur du Laboratoire des Travaux publiques Est (L.T.P.E), de nous avoir permis la réalisation d'essais expérimentaux ainsi que tout le personnel, particulièrement Mr. Hafid.

Nos remerciements vont également à Mr. GUESSAB, directeur du C.E.T de Demina, ainsi que tout le personnel.

Nous remercions s'adressent aussi à notre collègue BENAZIZA Walid, BENHAMOUDA H. et à Mr. SGHIRI H. qui nous ont beaucoup aidé dans ce mémoire. Qu'ALLAH leur bénie.

Nous tenons aussi à remercier toute la classe de Master II sans exception pour les bons moments qu'on avait passés ensemble durant ces cinq ans.

A tous merci

Dédicace

Louanges à ALLAH Seigneur de tout, sans lui rien de tout ça ne serait possible

Je dédie ce modeste travail :

A mon chère père « CHABBI Maâmer » pour son amour, sa tendresse et son soutien
tout au long de mes études.

A la source de tendresse, ma chère mère « ZOUAOUI Hadda » dont je suis le fruit
de ses sacrifices et de son grand amour

A ma chère sœur « Souâd » qui est deuxième moitié de moi-même.

A tous mes chers amis sans exception, Assya, Aida, Itiraf, Nassima, Nour, Islem,
Rokaia, Khaoula, Nihed, Chaima, Samia, Fateh, Walid, Khaled.

A tous mes collègues de promotion de Master 2 GIG, Hydrogéologie, RMG, et les
étudiants Master1 GIG.

A ma collègue de travail « Ghada »

A tous ceux que j'aime et ceux qui m'aiment.

Hanane

Dédicace

Tout d'abord je tiens à remercier mes très chers parents Bachir et Dahbia, de m'avoir permis d'arriver à ce stade de mon éducation, de m'avoir encouragé à aller de l'avant et de m'avoir donné tout leur amour pour prendre mes études.

Auxquels je dois ce que je suis. Que dieu les protège.

Je leur dédie ce modeste travail et je leur exprime mon grand amour et ma gratitude

Je dédie ce modeste travail :

A mes frères Tarek, Khalil, Ayman, Nassim, Al Moatasim Billah

A mes sœurs Assia, Fahima, Amira

A mon mari Bilal

A mes amies Souaad, Chahrazed, Karima, Inase, Amal, Rahima, widade

A ma collègue de travail Hanane

A tous mes collègues de la promotion 2020/2021

Ghada

Résumé

La pollution de l'environnement en Algérie est l'un des problèmes les plus graves pour la diversité naturelle et animale et la vie humaine, car elle est la principale source des diverses maladies et toxines dont souffre l'humanité.

Dans le cadre de la protection et de la préservation de l'environnement, nous avons pris l'étude de cas d'un centre d'enfouissement technique situé à la wilaya de Jijel, plus précisément dans la commune de Taher à Machtat Demina. La wilaya de Jijel dispose de trois centres d'enfouissement technique, dont fait partie celui de Demina, il constitue alors une destination appropriée pour les différentes municipalités de la wilaya de Jijel de jeter des déchets, et cela indique la possibilité de polluer l'environnement avec diverses toxines, en particulier la pollution des sols, avec divers minéraux chimiques nocifs.

Dans ce projet de fin d'étude, nous avons caractérisé le Centre d'Enfouissement Technique (C.E.T.) de Demina, d'un point de vue géologique, puis nous avons prélevé des échantillons du sol de la zone d'enfouissement en amont et en aval du talus, sous différentes profondeurs. Par la suite nous avons mené une série d'expériences en laboratoire afin d'étudier les propriétés physiques et chimiques du sol, à savoir sa teneur en eau, son degré de pH, sa conductivité électrique, ses classes granulométriques, ses limites d'Atterberg, sa valeur de Bleu de Méthylène, sa teneur en minéraux en terme d'oxydes, et enfin la concentration des différents métaux lourds (cadmium, cuivre, zinc) pouvant avoir un potentiel toxique sur l'environnement.

Toutes ces expériences ont pour but d'étudier la pollution résultant des résidus de déchets, en particulier les métaux lourds, qui affectent directement la vie humaine et l'environnement à la fois.

D'après les résultats de l'étude, nous avons constaté que le sol a un pourcentage de pollution qui peut affecter négativement l'environnement en général.

Mots clés :

Machtat Demina, Centre d'Enfouissement Technique, caractérisation, métaux lourds

Abstract

Environmental pollution in Algeria is one of the most serious problems for natural and animal diversity and human life, as it is the main source of the various diseases and toxins that affect humanity.

As part of the protection and preservation of the environment, we took the case study of a technical landfill located at the the province of Jijel, more precisely in the commune of Taher in Machtat Demina. The province of Jijel has three centers of technical burial, of which is part that of Demina, it is then an appropriate destination for the different municipalities of the wilaya of Jijel to throw waste, and this indicates the possibility of polluting the environment with various toxins, especially soil pollution, with various harmful chemical minerals.

In this end-of-study project, we characterized the Demina Technical Landfill Centre (T.L.C), from a geological point of view, then we collected soil samples from the landfill area upstream and downstream of the slope, under different depths. We then conducted a series of laboratory experiments to study the physical and chemical properties of the soil, namely its water content, its pH, its electrical conductivity, its particle size classes, its Atterberg limits, its value of Methylene Blue, its mineral content in terms of oxides, and finally the concentration of various heavy metals (cadmium, copper, zinc) that may have a toxic potential on the environment.

All of these experiments are in order to study soil pollution resulting from waste residues, especially heavy metals, which directly affect human life and the environment at the same time.

From the results of the study, we found that the soil has a percentage of pollution that may negatively affect the environment in general.

Key words

Machtat Demina, Technical Landfill Center, characterization, heavy metals.

ملخص

يعتبر التلوث البيئي في الجزائر من أخطر المشاكل التي تواجه التنوع الطبيعي والحيواني والحياة البشرية حيث انه المصدر الرئيسي لمختلف الامراض والمواد السامة التي تؤثر على البشرية. ولاية جيجل تحتوي على ثلاث مراكز ردم تقنية من بينها مركز الدمينة الذي يكون وجهة رئيسية لمختلف البلديات لولاية جيجل لأجل رمي النفايات هذا يؤشر على احتمالية تلويث البيئة بمختلف المواد السامة خاصة تلوث التربة بمختلف المعادن الكيميائية الضارة في هذا المشروع الخاص بنهاية الدراسة قمنا بتحديد خصائص ارضية مركز الردم التقني للدمينة من وجهة نظر جيولوجية ثم جمعنا عينات من التربة من منطقة الردم في اعلى واسل المنحدر على اعماق مختلفة. بعدها اجرينا سلسلة من التجارب المخبرية لدراسة الخواص الفيزيائية والكيميائية على سبيل المثال قياس بنية الماء، قياس درجة الحموضة، قياس درجة الناقلية، اصناف حبيبات التربة، حدود اتربارغ، قيمة ازرق الميثيلين. محتواها من المعادن على شكل اكاسيد واخيرا تركيز مختلف المعادن الثقيلة (الزنك، النحاس، كادميوم) التي لها تأثير سام على البيئة. كل هذه التجارب من اجل دراسة تلوث التربة الناتج عن مخلفات النفايات وخاصة المعادن الثقيلة التي تؤثر بشكل مباشر على الحياة البشرية والبيئية في ان واحد حيث من نتائج الدراسة وجدنا ان التربة بها نسبة من التلوث التي قد تؤثر سلبا على البيئة بصفة عامة

الكلمات المفتاحية

مشتة الدمينة، المركز التقني لردم النفايات، المعادن الثقيلة.

Table des matières

Remerciements.....	i
Dédicaces.....	ii
Résumé.....	iv
Abstract.....	v
ملخص.....	vi
Liste des figures	vii
Listes des tableaux.....	ix
Introduction générale.....	1
Chapitre I : Synthèse Bibliographique	
I.1. Généralités sur les sols	3
I.2. Éléments constitutifs d'un sol	4
I.2.1. Phase liquide	4
I.2.2. Phase gazeuse.....	4
I.2.3. Phase solide.....	4
I.2.3.1. Fractions minérales	5
A- Silicates.....	5
B- Oxydes et hydroxydes.....	5
C- Carbonates.....	5
I.2.3.2. Fractions organiques	5
I.3. Différents horizons d'un sol	5
I.3.1. Horizon A.....	6
I.3.2. Horizon B.....	6
I.3.3. Horizon C.....	6
I.3.4. Horizon D.....	6
I.4. Structure des sols.....	6
I.4.1. Structure des sols grenus (sols pulvérulents)	6
I.4.2. Structure des sols fins.....	7
I.4.3. Structure des sols organiques.....	7
I.5. Problématique liée aux sites pollués	8
I.6. Divers types de pollutions.....	8
I.6.1. Pollution organique.....	8
I.6.2. Pollution minérale par les métaux lourds.....	8

I.6.2.1. Sources des métaux dans les sols.....	8
A. Sources naturelles de contamination	9
B. Sources anthropiques de contamination	9
I.6.2.2. Comportement des métaux lourds dans les sols	8
I.6.2.3. Caractéristiques principales des métaux lourds	10
A. Cadmium (Cd).....	10
B. Cuivre (Cu).....	10
C. Zinc (Zn).....	10
I.6.2.4. Impact des métaux lourds sur la santé	10
Chapitre II : Matériel et Méthodes	
II.1. Présentation de la région d'étude.....	12
II.2 Hydrographie.....	13
II.3 Description géologique du site.....	13
II.3.1. Géologie du bassin.....	15
II.3.1.1. Marnes bleues du Miocène.....	15
II.3.1.2. Molasses conglomératiques du Pliocène.....	16
II.3.1.3. Dépôts détritiques du Quaternaire.....	16
A. Alluvions anciennes.....	16
B. Alluvions marécageuses.....	16
C. Alluvions récentes.....	16
D. Dunes anciennes.....	16
E. Dunes récentes.....	16
II.3.2. Géologie du substratum.....	17
II.3.2.1. Formations de l'Oligo-Miocène kabyle et les Olistostromes.....	17
A. Oligo-Miocène Kabyle.....	17
B. Olistostromes.....	17
II.3.2.2. Socle kabyle.....	17
II.4. Echantillonnage et méthodes expérimentales.....	18
II.4.1. Échantillonnage.....	18
II.4.1.1. Description des échantillons.....	19
II.4.1.2. Conservation des échantillons.....	19
II.4.2. Méthode de Quartage.....	20
II.4.3. Caractérisation physico-chimique.....	20
II.4.3.1. Teneur en eau du sol (norme NF P94-050).....	20
A. Principe.....	20

B. Mode opératoire.....	20
II.4.3.2. Masse volumique humide (norme NF P94-053).....	21
A. Principe.....	21
B. Mode opératoire.....	21
II.4.3.3. pH du sol (norme NF X31-103).....	21
A. Principe.....	21
II.4.3.4. Conductivité électrique CE (norme NF X 31-113).....	22
A. Principe.....	22
II.4.3.5. Granulométrie par tamisage par voie sèche (norme NF X31-101).....	22
A. Principe.....	22
II.4.3.6. Analyse granulométrique par sédimentométrie (norme NF P94-057).....	23
A. Principe.....	23
II.4.3.7. Limites d'Atterberg (norme NF P 94-051).....	24
A. Principe.....	24
B. Limite de liquidité W_L	25
C. La limite de plasticité W_P	25
D. Détermination de l'indice de consistance I_c	27
II.4.3.8. Essai au bleu de Méthylène.....	27
A. Principe.....	27
B. Mode opératoire.....	28
II.4.3.9. Spectrométrie de fluorescence des rayons X (FRX).....	29
A. Principe de la méthode.....	29
B. Interactions des rayons X avec la matière.....	29
II.4.3.10. Spectrométrie d'absorption atomique (SAA).....	30
A. Principe.....	30
B. Mise en solution par attaques acides (Eau régale).....	30
C. Mode opératoire	31
Chapitre III : Résultats et discussion	
III.1. Paramètres d'identification physique.....	32
III.2. pH du sol.....	33
III.3. Conductivité électrique CE.....	35
III.4. Analyse granulométrique.....	36
III.5. Limite d'Atterberg.....	39
III.6. Bleu de méthylène.....	40
III.7. Spectrométrie par fluorescence des rayons X (FRX).....	41

III.8. Spectrométrie par absorption atomique (SAA).....	42
III.8.1. Cadmium(Cd).....	42
III.8.2. Cuivre(Cu).....	43
III.8.3. Zinc (Zn).....	44
Conclusion générale.....	46
Références bibliographiques.....	xi
Liste des normes	xiii
Les sites Web consultés.....	xiii
Annexe	I-IV

Liste des figures

Fig I.1. Représentation conventionnelle des différentes phases du sol.....	4
Fig I.2. Classification des particules solides d'un sol	5
Fig.I.3. Structure des sols grenus.	6
Fig.I.4. Structure des sols fins-Orientation des particules	7
Fig.II.5. Situation géographique du site d'étude.....	12
Fig.II.6. Carte de réseau hydrographique	13
Fig.II.7. Esquisse géologique de l'extrémité de la Petite Kabylie.....	14
Fig.II.8. Colonne litho-stratigraphique synthétique du remplissage du bassin néogène de Jijel.....	15
Fig.II.9. Coupe géologique au sein du bassin néogène Jijel (zone sud de Taher) montrant le site d'implantation du centre d'enfouissement technique (CET).....	17
Fig.II.10. Localisation des points d'échantillonnage.....	18
Fig.II.11. Surface d'échantillonnage dégagée de la terre végétale.....	19
Fig.II.12. Méthode de quartage.....	20
Fig.II.13. Méthode de mesure de la masse volumique humide par immersion.....	21
Fig.II.14. pH-mètre du type HANNA HI 8424.....	22
Fig.II.15. Conductivimètre.....	22
Fig.II.16. Tamiseuse avec série de tamis emboîtés.....	24
Fig.II.17. Eprouvettes d'analyse granulométrique par sédimentation.....	24
Fig.II.18. Représentation schématique des limites d'Atterberg	24
Fig.II.19. Dispositif d'essai de la limite de liquidité.....	25
Fig.II.20. Détermination des limites d'Atterberg.....	26
Fig.II.21. Diagramme de Casagrande.....	26
Fig.II.22 Essai au Bleu de Méthylène.....	28
Fig.II.23. Dispositif d'essai FRX.....	30
Fig.II.24. Instruments de base pour la spectrométrie d'absorption atomique.....	31
Fig.III.25. Histogramme représentatif des valeurs de pH du sol.....	34
Fig.III.26. Histogramme représentatif les valeurs de conductivité électrique du sol.....	36
Fig.III.27. Courbes granulométriques.....	38
Fig.III.28. Représentation des points sur le diagramme de Casagrande.....	40
Fig.III.29. Représentation des résultats de l'analyse FRX.....	41
Fig.III.30. Concentrations du Cadmium Cd en fonction de la profondeur	43
Fig.III.31. Concentrations du Cuivre Cu en fonction de la profondeur.....	44
Fig.III.32. Concentrations du Zinc Zn en fonction de la profondeur.....	45

Liste des tableaux

Tab.I.1. Symptômes et maladies causés par les métaux lourds	11
Tab.II.2. Classification des sols selon la teneur en eau (W).....	21
Tab.II.3. Calcul des pourcentages des fractions passantes (tamisat).....	23
Tab II.4. Classification de sol selon la limite de liquidité W_L	25
Tab II.5. Classification de sol selon l'indice de plasticité.....	26
Tab.II.6. Etat du sol en fonction de l'indice de consistance.....	27
Tab II.7. Valeur du bleu de méthylène associé à chaque type de sol.....	27
Tab.III.8. Paramètres d'identification physique.....	33
Tab.III.9. Valeurs de pH du sol pour les deux points d'échantillonnage (P1 ; P2).....	34
Tab.III.10. Statut acido-basique des sols.....	34
Tab.III.11. Valeurs de conductivité électrique.....	35
Tab.III.12. Résultats de l'analyse granulométrie par tamisage pour l'échantillon global P1.....	36
Tab.III.13. Résultats de l'analyse granulométrie par tamisage pour l'échantillon global P2.....	37
Tab.III.14. Résultats de l'essai sédimentométrie pour l'échantillon global P1.....	37
Tab.III.15. Résultats de l'essai sédimentométrie pour l'échantillon global P2.....	38
Tab.III.16. Limites d'Atterberg pour l'échantillon global P1.....	39
Tab.III.17. Limites d'Atterberg pour l'échantillon global P2.....	39
Tab.III.18. Résultats de l'essai au Bleu de Méthylène.....	41
Tab.III.19. Résultats d'analyse Spectrométrique par fluorescence des rayon X pour l'échantillon P2 à la profondeur 20cm.....	41
Tab.III.20. Dosage du Cadmium Cd par spectrométrie d'absorption atomique.....	43
Tab.III.21. Dosage du Cuivre Cu par spectrométrie d'absorption atomique.....	44
Tab.III.22. Dosage du Zinc Zn par spectrométrie d'absorption atomique.....	44

Introduction Générale

Introduction générale

La gestion des déchets en Algérie rencontre de très nombreuses difficultés, tant du point de vue technique, économique, que méthodologique et organisationnel. Les décharges sont devenues l'unique moyen pour l'élimination des déchets. La mise en décharge présente l'avantage d'éliminer d'importants volumes à des coûts raisonnables. Mais malheureusement, elle se limite souvent dans les pays sous — développés à un simple trou mal géré. La solution technique retenue par l'Algérie pour le traitement des déchets ménagers est l'enfouissement. Une centaine de centres d'enfouissement technique des déchets ménagers ont été réalisés à travers le territoire national. Cependant, les CET à peine construits, sont déjà dépassés et des problématiques se profilent : fuite de lixiviats, contamination des nappes phréatiques, et inadéquation des méthodes de traitement à la typologie des déchets.

Dans ce mémoire, nous étudierons le Centre d'Enfouissement Technique C.E.T. de Beni Hmed (Wilaya de Jijel), nous n'avons trouvé aucune information à ce sujet ; alors nous avons décidé d'étudier le centre d'enfouissement Technique de Demina situé à Taher (Wilaya de Jijel) qui depuis sa construction souffrait de malfaçons et de non-conformité de réalisation dénoncées à l'époque par l'équipe en charge de la commune. Nous rappelons également que les habitants de Demina, ont protesté contre le déversement du lixiviat (liquide résiduel qui provient de la percolation de l'eau à travers un matériau) qui a un impact néfaste sur la santé et sur l'environnement, et ont dénoncé aussi selon leurs déclarations, un risque de pollution dûe à une mauvaise gérance des déchets. Notons que le C.E.T. de Demina recoit non seulement les déchets de la commune de Taher, mais aussi d'autres environnantes comme Emir Abdelkader, Chekfa, El Kennar, Oudjanna et Chahna

A travers notre étude dans ce mémoire, nous allons étudier le Centre d'Enfouissement Technique (C.E.T.) de Demina afin de définir les caractéristiques physiques et chimiques en vue de limiter les mauvais impacts environnementaux.

Pour atteindre ces objectifs de recherche, notre mémoire est subdivisé en trois chapitres répartis comme suit :

Dans le premier chapitre nous présentons une synthèse bibliographique qui est portée essentiellement sur les sols et ces composants, problématique liée à la pollution de sol, principaux types de polluants et leur impact sur la santé.

Le deuxième chapitre sera consacré à la partie expérimentale nous présentons d'abord la région d'étude d'un point de vue géographique et géologique ; puis nous exposons la méthodologie de caractérisation suivie, commençant par l'échantillonnage, la teneur en eau du sol, la masse volumique du sol, le pH et la conductivité électrique, l'analyse granulométrique, les limites

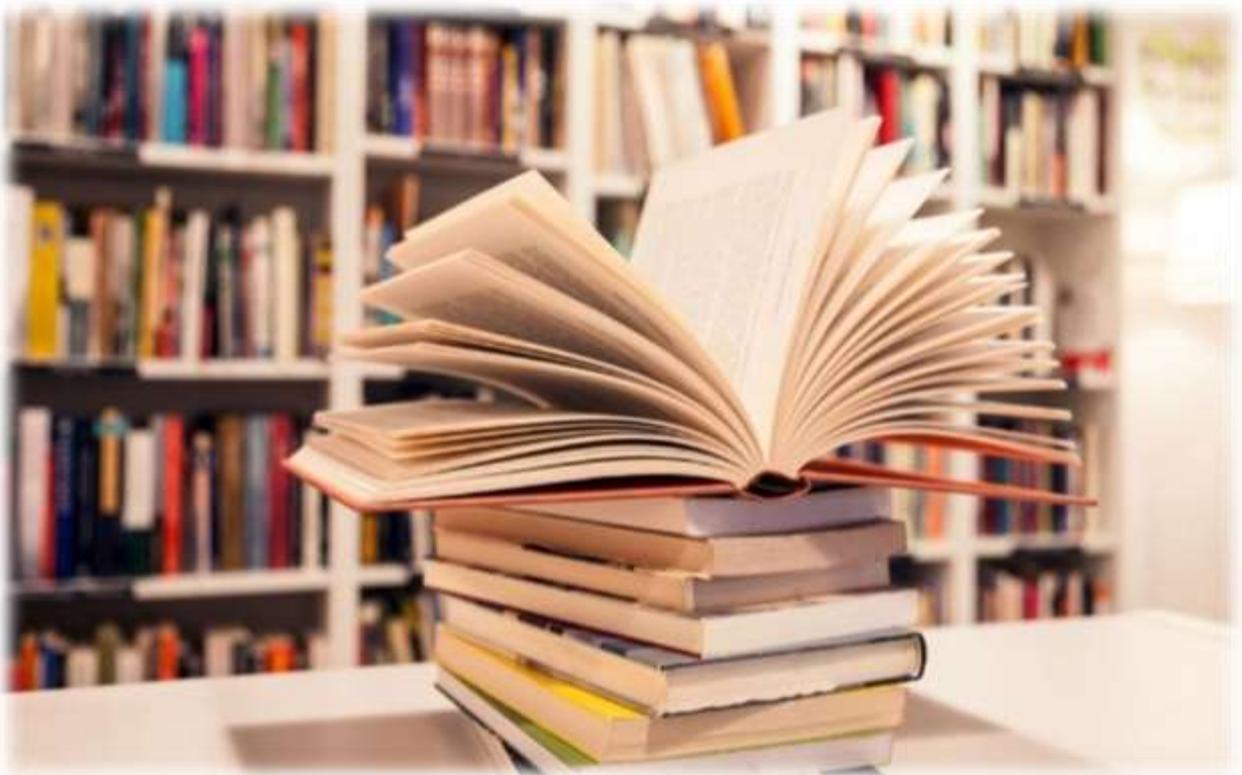
d'Atterberg, le bleu de méthylène, spectrométrie de fluorescence des rayons X, spectroscopie d'absorption atomique.

Le troisième chapitre est consacré à la présentation l'ensemble des résultats et leurs interprétations

Enfin, nous terminons cette étude par une conclusion qui rappelle les objectifs et les principaux résultats obtenus.

Dans ce mémoire, toutes les études et les essais en vigueur afin de connaître le pourcentage de pollution atteint par le centre d'enfouissement technique C.E.T de Demine, et qu'il s'agisse d'une étude à l'avenir pour réduire la pollution résultant des déchets et développer des solutions pour maintenir l'environnement.

CHAPITRE I
Synthèse
bibliographique



Introduction

La caractérisation et la réhabilitation des sites contaminés sont devenus aujourd'hui un problème majeur pour tous les pays du monde. En effet, depuis ces dernières décennies, ce problème a été effectivement pris en considération. Les métaux lourds tels que le Plomb, le Cadmium, le Cuivre, le Zinc et le Mercure, etc. ne peuvent pas être biodégradés et donc persistent dans l'environnement pendant de longues périodes. De plus ils sont continuellement rajoutés dans les sols par diverses activités. Ils peuvent même se propager aux sols environnants et contaminer les nappes phréatiques.

Les métaux lourds possèdent un effet néfaste qui peut se répercuter sur l'environnement. Ceci n'est pas sans conséquence sur la santé des êtres humains et des animaux.

Pour cela, le développement de techniques efficaces pour décontaminer les sites pollués est devenu indispensable.

I.1. Généralités sur les sols

Le sol est un milieu poreux très complexe. Il est considéré comme un système ouvert où se déroulent des échanges d'énergie et de matière avec les autres composantes des écosystèmes : atmosphère, biosphère, hydrosphère. Le sol est composé de trois phases : solide, liquide et gazeuse. La phase solide est essentiellement inorganique.

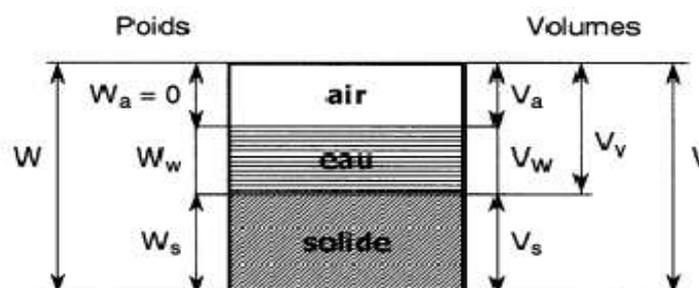
C'est aussi un milieu de transit, de stockage et de transport de nombreuses substances, quelle que soit leur nature, organique ou inorganique, résultant de processus naturels ou d'activités domestiques (Calvet. 2000).

Les cinq principaux facteurs impliqués dans la formation du sol sont la roche mère, le climat, la topographie, l'activité biologique et le temps (Atlas et Bartha.1992). Les sols résultent de l'altération des roches mères, due à différents agents agressifs. La végétation pionnière s'installe dans les fissures et la matière organique s'accumule. Le matériau s'altère et se transforme alors en ce qu'on appelle sol.

Le sol a de nombreuses fonctions, il est un milieu biologique dans et sur lequel se développent des organismes vivants. Ce développement dépend de la qualité de ce sol ou fertilité (quantité de carbone, d'azote, capacité d'échange ionique, etc.). Il est aussi un acteur déterminant du cycle de l'eau (stockage et régulation) et de la qualité de cette eau (source de pollution, capacité de rétention des polluants mais aussi biodégradation de ceux-ci). Mais le sol joue aussi un rôle prédominant dans tous les cycles biogéochimiques (Quénéa. 2004).

I.2. Éléments constitutifs d'un sol

Un sol est un mélange de particules minérales ou organiques, souvent hétérogènes dont les formes et les dimensions sont essentiellement variable, constituant le squelette solide et laissant entre eux des vides remplis d'eau et/ou d'air. Il est donc, constitué de trois phases (Fig I.1)



Légende : V : volume total de l'élément considéré ; V_s : volume des particules solides. V_w : volume de la phase liquide ; V_a : volume de la phase gazeuse (air) ; V_v : volume des vides ; W : poids total ; W_s : poids de la phase solide ; W_w : poids de la phase liquide ; W_a : poids de la phase gazeuse (air).

Fig I.1. Représentation conventionnelle des différentes phases du sol (Léreau. 2005).

I.2.1. Phase liquide du sol

La phase liquide du sol est souvent désignée par le terme « solution du sol », occupe une partie plus ou moins importante de la porosité du sol, est constituée d'eau où se trouvent diverses substances organiques et minérales dissoutes et des particules en suspension. Un sol est dit saturé quand tous les vides sont remplis d'eau. La composition de la solution du sol varie selon : le climat, les apports anthropiques et l'activité biologique du sol.

I.2.2. Phase gazeuse du sol

Dans un sol non saturé une partie des vides de l'ensemble des minéraux est remplis par des gaz essentiellement de l'air.

Dans un sol bien aéré, les gaz qui règnent dans l'atmosphère du sol sont : l'azote (78 à 80%) ; l'oxygène (18 à 20%) ; et le dioxyde de carbone (0,2 à 3%), (Sahnoune. 2013)

I.2.3. Phase solide du sol

C'est le squelette solide du sol (grains solides) constituée par des particules minérales et/ ou organiques. On en distingue les sols grenus et les sols fins (Fig I.2). Suivant la taille des grains on définit les catégories de sols suivantes (basées sur le nombre 2 et la progression géométrique de rapport 10).

La phase solide contient deux fractions intervenant principalement dans la sorption des polluants à savoir les fractions organiques et minérales.

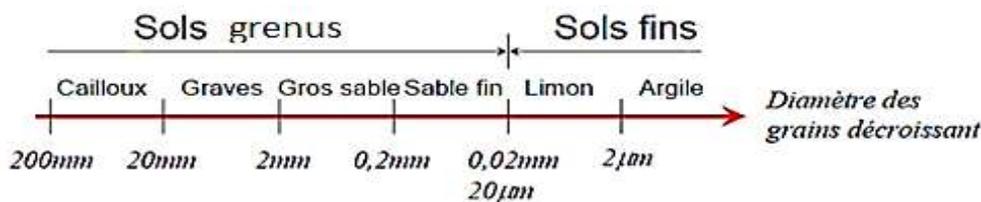


Fig I.2. Classification des particules solides d'un sol.

I.2.3.1. Fractions minérales

Les minéraux constituent, en général, de 95 à 99% du sol. La composition minérale dépend de la nature de la roche-mère. La nature des minéraux peut être extrêmement diverse avec des tailles granulométriques différentes. Il existe trois catégories majoritaires dans le sol (Quénéa.2004).

A- Silicates : sont des minéraux dont le squelette est essentiellement formé par des tétraèdres(SiO_4) de silicium (atome Si au centre) et d'oxygène (des atomes O aux quatre sommets) additionnés d'aluminium, magnésium et autres éléments. Les silicates représentent 92% du poids total des minéraux formant la croûte terrestre. (Sahnoune. 2013).

B- Oxydes et hydroxydes : les plus importants dans les sols sont : l'oxygène dans les oxydes ; exp : oxydes de fer ((FeO-OH), (Fe_2O_3)), le radical OH^- dans les hydroxydes ; exp : (oxyde d'aluminium $\text{Al}(\text{OH})_3$).

C- Carbonates : les plus abondants sont les carbonates de calcium (Calcite) et les carbonates de magnésium (Dolomite (Ca, Mg) (CO_3)₂). Ceux-ci peuvent Co-précipiter avec d'autres métaux (ex: calcite magnésienne) ou former un revêtement sur d'autres minéraux en changeant ainsi leurs propriétés de surfaces. (Sposito. 2008).

I.2.3.2. Fractions organiques

La fraction organique d'un sol est constituée à plus de 80% de matière organique morte, principalement composé de résidus de plantes et d'animaux en état de décomposition naturelle (Paul et Clark.1996).

I.3. Différents horizons d'un sol

De la surface vers la profondeur, le sol s'organise en couches appelées horizons, différenciées par la couleur, la structure, la teneur en matière organique, la texture, la quantité de cailloux, etc.

On distingue quatre horizons majeurs (Baize et Jabiol. 1995) :

I.3.1. Horizon A : c'est un horizon majeur occupant la partie supérieure du profil (0-25 cm) et présentant une quantité importante de matière organique et une faible quantité en argile, fer et aluminium. Cette matière organique provient des plantes en phase de décomposition.

I.3.2. Horizon B : situé au-dessous de l'horizon A (25-60 cm) est le lieu d'altération des minéraux primaires, de libération d'Oxyhydroxydes de fer, de décarbonatation, etc.

I.3.3. Horizon C : est situé au-dessous de B (60-85 cm), il est caractérisé par des teneurs en argile, fer et humus plus élevées que les autres horizons. La matière organique présente dans cet horizon est plus âgée et provient de l'horizon supérieur (A). Elle est adsorbée sur les argiles et les oxydes de fer et d'aluminium.

I.3.4. Horizon D : situé au-dessous de C (en dessous de 85 cm) est un horizon minéral avec une faible teneur en matière organique.

I.4. Structure des sols

La structure d'un sol est définie comme étant la façon dont les particules sont disposées. C'est un état du sol qui varie avec le temps selon la texture mais aussi selon le taux d'humidité, l'état des colloïdes et la présence de matière organique, (Gobat et al.1998).

I.4.1. Structure des sols grenus (sols pulvérulents) ($D > 20 \mu\text{m}$)

Les grains se détachent les uns des autres sous leur poids. Les principales forces intervenant dans l'équilibre de la structure sont les forces de pesanteur. C'est par des réactions de contact grain à grain qu'un ensemble stable peut exister, cette stabilité sera d'autant meilleure que le nombre de contacts sera élevé c'est le cas d'un sol bien gradué. (Léreau. 2005).

Dans le cas de sols humides non saturés (Fig.I.3a) : l'eau est retenue sous forme de ménisques au voisinage des points de contacts entre les grains, par des forces de capillarité ; elle crée entre ces derniers des forces d'attraction. Le matériau présente une cohésion capillaire (châteaux de sable). Les forces capillaires sont négligeables devant les forces de pesanteur. (Léreau. 2005)

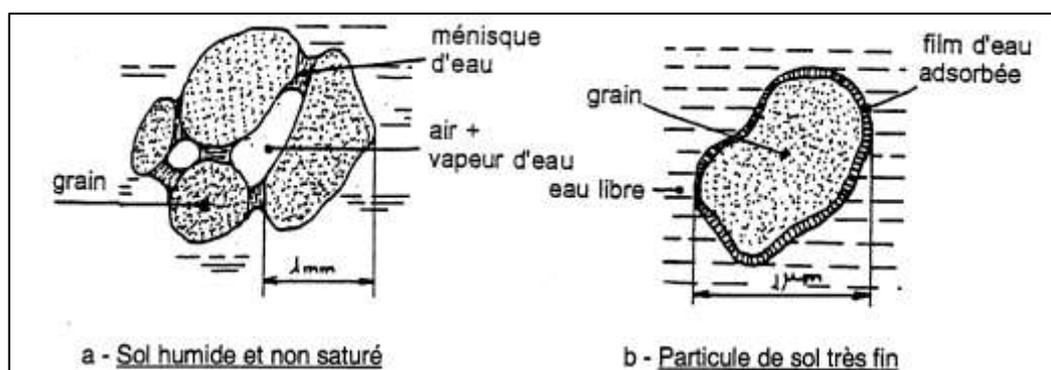


Fig.I.3. Structure des sols grenus. (Léreau. 2005)

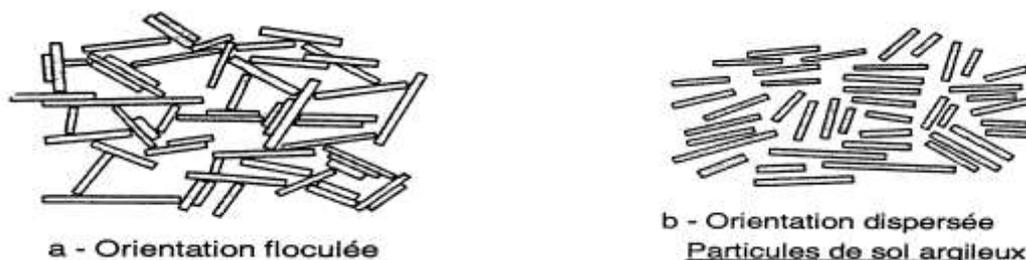
I.4.2. Structure des sols fins ($D < 20 \mu\text{m}$)

Le sol a l'apparence d'un solide et ne se désagrège pas sous l'effet de la pesanteur ou d'autres forces appliquées (la cohésion). Les particules sont formées par un empilement de feuillets de la forme de plaquettes.

La surface des plaquettes étant chargée négativement, les particules sont soumises à des forces d'attraction inter-granulaires diverses : forces électriques, forces de Van der Waals. Ces forces sont en général faibles et diminuent rapidement lorsque la distance augmente, on admet qu'elles sont négligeables à partir d'une distance de $0,4 \mu\text{m}$. Pour qu'elles puissent avoir une influence sur le comportement du sol il est nécessaire que les grains de ce sol aient des dimensions très petites. Il se crée autour des particules de sol une pellicule d'eau adsorbée ou eau liée d'épaisseur à peu près constante ($\approx 0,01 \mu\text{m}$) (Fig.I.3b). Elle est maintenue à la surface des grains par des forces d'attraction moléculaires (Léreau. 2005).

La couche d'eau adsorbée joue un rôle de lubrifiant entre les grains. Son influence est considérable sur les propriétés mécaniques du sol.

Les particules des sédiments argileux naturels ont une orientation plus ou moins floculée suivant qu'elles se sont déposées en milieu marin (structure plus ouverte) ou en eau douce (structure moins ouverte). La consolidation et les efforts de cisaillement tendent à orienter les particules suivant l'arrangement dispersé. (Léreau. 2005).



Légende : (Fig.I.4a). Orientation floculée (bord contre face), structure en "château de cartes" ; (fig.I.4b) orientation dispersée (face contre face).

Fig.I.4. Structure des sols fins-Orientation des particules (Léreau. 2005).

I.4.3. Structure des sols organiques

Lorsque les grains sont constitués de matière organique, le sol est dit organique. La présence dans les sols de matières organiques, qui sont à l'origine de textures lâches et d'une importante rétention d'eau, confèrent à ceux-ci une grande plasticité et une grande compressibilité. (Léreau.2005).

I.5. Problématique liée aux sites pollués

La pollution et la contamination sont deux expressions couramment employées pour désigner l'accumulation anormale et exogène, généralement due à une activité humaine, d'éléments ou de composés minéraux, organiques ou d'agents pathogènes dans un milieu donné dont la qualité se trouve affectée. (Chassin, et al.1996).

Une substance toxique désigne une substance naturelle ou de synthèse, minérale ou organique, présentant une nocivité pour les organismes vivants et pour la vie humaine. (Ramade.2000).

I.6. Divers types de pollutions

I.6.1. Pollution organique

Les polluants organiques renferment une large gamme de composés qui peuvent être classés selon leur origine, leur structure chimique et leur propriétés chimiques ou physiques (Sahnoune.2013).

I.6.2. Pollution minérale par les métaux lourds

On appelle métaux lourds les éléments métalliques naturels dont la masse volumique dépasse 5g/cm³. Ceux-ci sont présents le plus souvent dans l'environnement sous forme de traces : mercure, plomb, cadmium, cuivre, arsenic, nickel, zinc, cobalt, manganèse etc. (Arris. 2008).

D'un point de vue chimique, les éléments de la classification périodique formant des cations en solution sont des métaux.

D'un point de vue physique, le terme « métaux lourds » désigne les éléments métalliques naturels, métaux ou dans certains cas métalloïdes (environ 65 éléments), caractérisés par une forte masse volumique supérieure à 5 g/cm³ (Adriano. 2001).

Parmi la variété de polluants du sol, les métaux lourds posent un problème particulier dans la mesure où ils sont non biodégradables : ils s'accumulent donc dans le sol tant que perdure la source de contamination ; cette période peut durer plusieurs dizaines d'années.

I.6.2.1. Sources des métaux lourds dans les sols

Les métaux lourds sont naturellement présents dans la croûte terrestre, ils suivent un cycle géochimique qui conduit à une distribution hétérogène de leurs concentrations à la surface du globe (Le Goff et Bonnomet. 2004). Les métaux sont présents dans tous les compartiments de l'environnement, mais en général en quantités très faibles (en traces). Le développement industriel et technologique a provoqué l'augmentation de concentration dans le milieu environnemental.

A. Sources naturelles de contamination

Les métaux lourds sont présents naturellement dans les roches, ils sont libérés lors de l'altération de celles-ci pour constituer le fond géochimique (Bourrelier et Berthelin. 1998).

B. Sources anthropiques de contamination

Due à l'activité humaine qui intervient sur une échelle de temps beaucoup plus courte, de l'ordre de la décennie, voire moins.

Les métaux provenant d'apports anthropiques sont présents sous des formes chimiques assez réactives et entraînent de ce fait des risques très supérieurs aux métaux d'origine naturelle qui sont le plus souvent immobilisés sous des formes relativement inertes (Weiss et al. 1999).

I.6.2.2. Comportement des métaux lourds dans les sols

Le comportement des polluants dans le sol est déterminé par leurs propriétés telles que leurs dégradabilité chimique, leurs coulabilités sous leurs facilités à être absorbés. Les polluants peuvent se répartir sur les parties solides du sol ou dans l'eau qu'il contient, ou être amenés par lessivage jusque dans la nappe phréatique (Lemiere. 2001).

L'étude de la répartition d'un élément trace métallique entre les composants solides s'appelle la spéciation appréhendée par une technique qui porte le nom « d'extraction séquentielle ».

La variable déterminante de cette répartition est le degré de solubilité du métal.

- Si le métal est soluble, il va passer dans les nappes ou dans la plante.
- S'il est insoluble, il va rester dans le sol.

La solubilité va dépendre de plusieurs facteurs, le plus important est l'acidité du sol : un sol acide facilite la mobilisation. Les métaux lourds ne s'accumulent pas. Ils sont transférés vers les nappes phréatiques et les fleuves ou absorbés par les plantes et présentent alors un risque pour la santé.

Un sol calcaire contribue à l'immobilisation de certains métaux. Certains éléments réagissent différemment, notamment l'arsenic, plus mobile dans un sol calcaire.

Il n'y a donc pas de risque immédiat pour la santé, mais le sol est contaminé durablement et la concentration en métaux lourds augmente avec les années. Ces derniers sont susceptibles d'être relégués quand l'environnement est modifié. Au niveau des sols, les risques sont divers (transfert vers les nappes phréatiques, biodisponibilité, écotoxicité), et dépendent principalement de la spéciation (degré d'oxydation, mode de complexations avec les macromolécules organiques et les constituants minéraux du sol). (Arris. 2008).

I.6.2.3. Caractéristiques principales des métaux lourds

Les caractéristiques générales données ne concernent que les métaux lourds retenus dans cette étude, à savoir : cadmium (Cd), cuivre (Cu) et zinc (Zn). Ces métaux ont été retenus en raison de leurs disponibilités dans le laboratoire d'analyse par absorption atomique.

A. Cadmium (Cd) C'est un métal rare qui n'existe pas à l'état natif il est stable à une température ordinaire mais s'oxyde lentement à l'air en présence d'humidité, il est présent en faible quantité dans la biosphère (0,1-0,2 ppm). En milieu aquatique se trouve sous diverses formes (dissoute, colloïdale, particulaire). Les formes dissoutes (< 1 nm) de cet élément sont des espèces libres (Cd^{2+}) et formées par des associations (complexations) de cadmium avec des composés minéraux ou organiques, l'ion libre du cadmium se trouve majoritairement dans le milieu marin. Ce dernier influencé par la salinité (Plus la salinité augmente, plus la concentration en Cd^{2+} diminue). En zone côtière, lors du mélange des eaux douces avec l'eau de mer, le cadmium forme des complexes très stables avec les chlorures. (Casas. 2005).

B. Cuivre (Cu) Le Cu est un métal largement répandu dans la nature sa concentration moyenne dans la croûte terrestre serait comprise entre 45 et 70 mg/kg selon les auteurs, (Baize. 2002) elle est de l'ordre de 50ppm. (Adriano. 2001) On peut le trouver dans la nature soit sous forme libre dans la cuprite (88,8%) soit sous forme d'oxyde de sulfure. Il est particulièrement abondant dans les roches mafiques et intermédiaires. Les teneurs les plus élevées (>80 mg/kg) seraient observées dans les roches magmatiques basiques riches en minéraux ferromagnésiens. Les roches granitiques contiennent en général beaucoup moins de Cu. (Bourrelier et berthelin. 1998). Parmi les roches sédimentaires, argiles et schistes présentent des concentrations plus fortes que les roches détritiques (grés, sable). (Sanders et al. 1986) Il est au contraire très peu représenté dans les roches carbonatées.

C. Zinc (Zn) C'est un métal blanc de dureté faible à température ambiante qui devient malléable vers 100-150 °C et fragile cassant, essentiel pour la croissance et le développement normal d'espèces animales et végétales, mais devient nuisible quand il est en excès. Il n'existe pas à l'état métallique dans la nature, il n'est présent qu'à l'état divalent (Zn II). Dans l'eau de mer il se trouve en diverse formes : ion hydraté ($\text{Zn}(\text{H}_2\text{O})_{2+n}$), zinc complexé par les ligands organiques (acides fulviques et humiques) et adsorbé sur de la matière solide. (Casas. 2005 ; Noppe. 1996).

I.6.2.4. Impact des métaux lourds sur la santé

Certains éléments sont nécessaires à la vie en très faible quantité : ce sont les oligo-éléments. À trop faible dose ils provoquent des carences dans l'organisme, mais ils deviennent toxiques à haute dose

Tab.I.1 : Symptômes et maladies causés par les métaux lourds (Touze, Chartier, Gaboriau. 2004).

Métal	Maladies organiques
Cadmium	Lésions rénales et pulmonaires, fragilisation des os, anémies, augmentation du risque de cancer en cas d'inhalation
Zinc	Toxique pour la plupart des êtres ; les interférences de cet élément avec les métabolismes du cuivre et du fer principalement d'où des signes d'anémie.
Cuivre	Peu toxique, Irritation et inflammation du nez et de gorge, baisse de la production végétale
Aluminium	Douleurs articulaires, décalcification des os, anémie, possible cancérigène
Arsenic	Diabète de type 2
Mercure	Lésions du cerveau, maladies auto- immunes (arthrite rhumatique, lupus, Sclérose en plaques), maladies cardiovasculaires (hypertension et autres), cancer du foie
Nickel	Allergies, dermatites, eczémas
Plomb	Effets hématologiques et cardiovasculaires (hypertension), atteintes rénales

CHAPITRE II

Matériel et méthodes



Introduction

La caractérisation physico-chimique des sols pollués est un procédé complexe de par la variété des paramètres à mesurer pour analyser complètement un échantillon : teneur en eau, granulométrie, pH, conductivité électrique, concentration en métaux, etc. Pour mieux réaliser cette tâche une description du site, ainsi qu'un plan d'essais géotechniques ont été élaboré afin de déterminer l'ensemble des caractéristiques physiques et chimiques des sols.

II.1. Présentation de la région d'étude

Le centre d'enfouissement technique (C.E.T.), objet de notre étude est situé dans la région de Demina et se trouve à environ 5Km au sud de l'agglomération de Taher.

La commune de Taher présente la deuxième ville de la wilaya après Jijel. Cette dernière occupe une superficie de 2577 km² et compte 636 951 habitants depuis le dernier recensement (RPGH) de l'année 2008. La densité de population de la Wilaya de Jijel est donc de 1 103,6 habitants par km². Face à cette densité de population élevée, la wilaya de Jijel ne dispose que de trois centres d'enfouissements techniques réellement opérationnels, le premier est celui de Beni Ahmed, situé à Kaous, le deuxième est celui de Demina et enfin celui de Zarzour situé à El-Milia.

La région de Demina est accessible par biais d'un chemin carrossable en très mauvais état d'une longueur approximative de 3à4 Km qui aboutit à la route bitumée reliant Taher à Oudjanna au Sud



Fig.II.5. Situation géographique du site d'étude. (Google Earth).

II.2 Hydrographie

Le secteur d'étude est caractérisé par un réseau hydrographique dense faisant partie du bassin versant de l'oued Nil. Il est situé à environ une vingtaine de kilomètres au Sud-Est de la ville de Jijel.

Le bassin est limité par les coordonnées (Fig.II.6) :

Longitude. $5^{\circ}52'$ et $5,86666667''$ Nord ; $6^{\circ}02'$ et $6,0333333''$ Est.

Latitude. $36^{\circ}50'$ et $36^{\circ}8333333''$ Nord., $36^{\circ}36'$ et $36,6''$ Est.

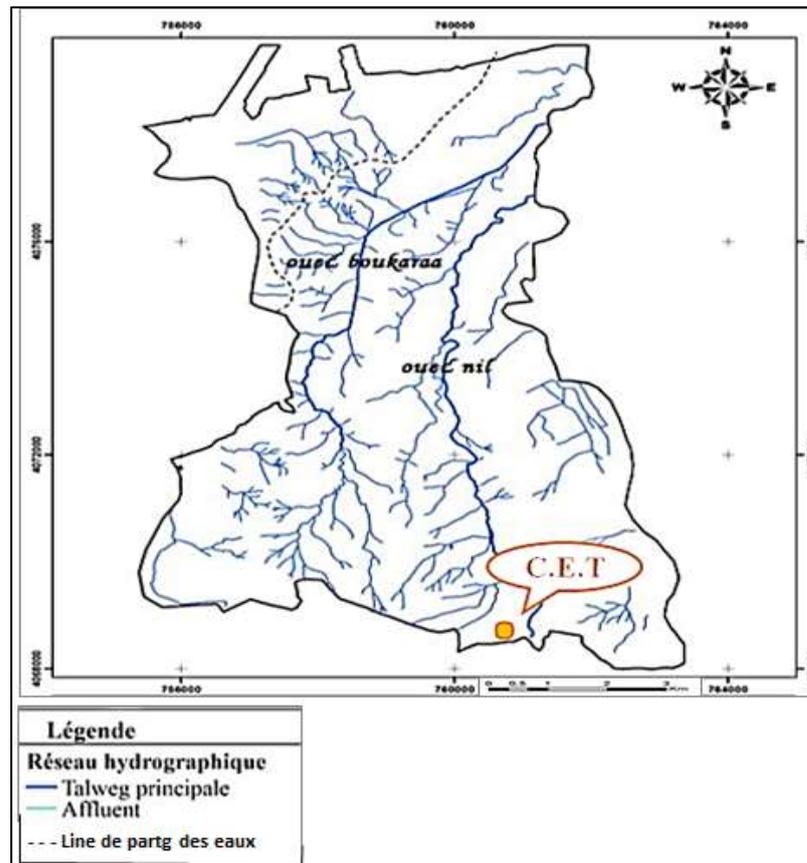


Fig.II.6. Carte de réseau hydrographique (Amira et Boudanouf. 2017)

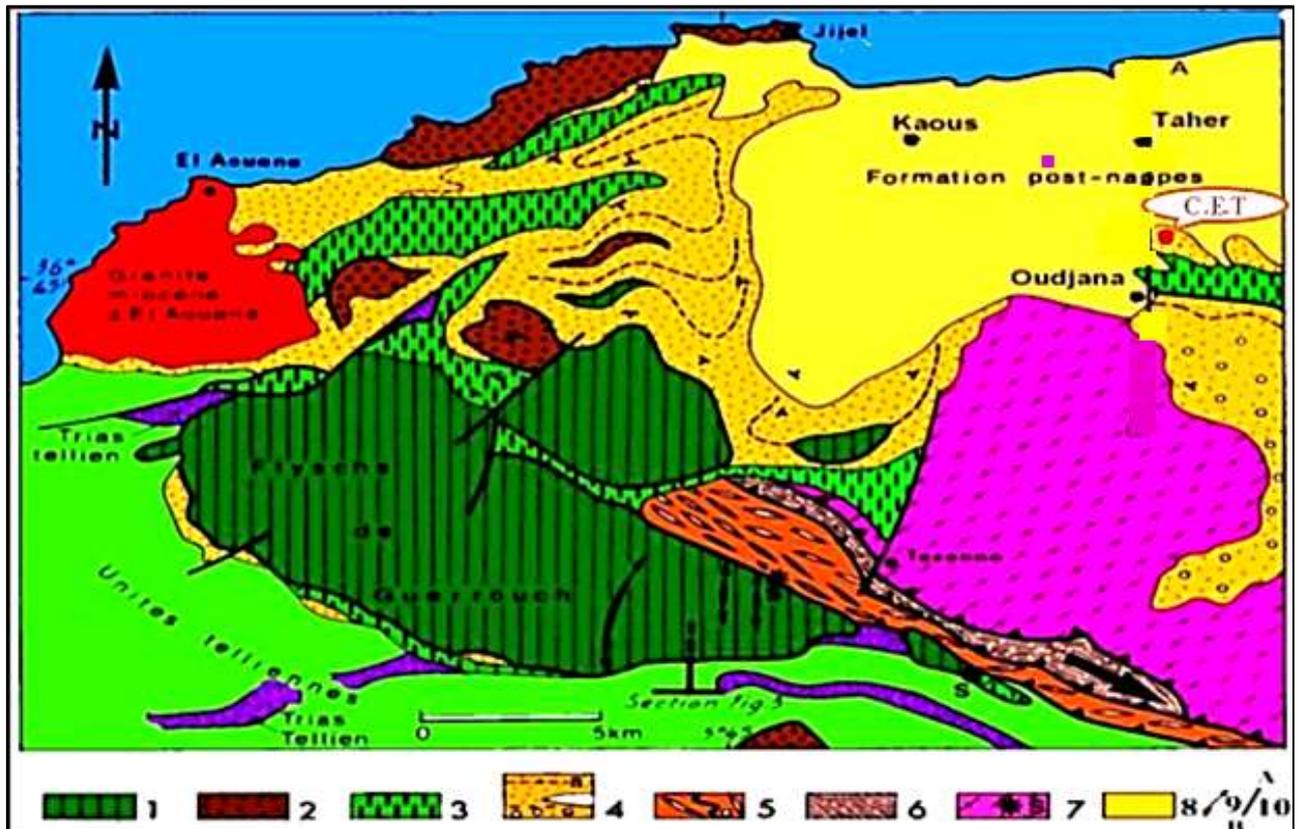
II.3 Description géologique du site

Le centre d'enfouissement technique (C.E.T.) de Demina fait partie, géologiquement, du substratum du bassin néogène de Jijel, plus précisément le C.E.T. est implanté sur les molasses olistostromiques de l'O.M.K.

La dépression néogène de Jijel est située au Nord-Est de l'Algérie. La partie orientale de cette dépression s'étend de la ville de Jijel jusqu'à la région de Kennar à l'Est de Jijel et du littoral jusqu'au massif de Beni- Khettab (Fig.II.7). La surface occupée par cette portion du bassin est estimée à environ 220 Km^2 , avec un périmètre de $73,5 \text{ Km}$ (Bouroudi et Boussioud. 2011)

Le substratum est constitué de formations appartenant à l'Oligo-Miocène Kabyle, incluant les molasses olistostromiques, ou au socle kabyle. (Fig.II.7 et Fig.II.8).

Il apparaît principalement au niveau des limites méridionale et septentrionale (Fig.I.carte). Au Sud, il est représenté par les roches métamorphiques du socle kabyle localement surmontées par les conglomérats de base de l'OMK (Oudjana) ou par les molasses olistostromiques du Miocène (Texenna). Au Nord, il est représenté par les alternances argilo-gréseuses parfois microconglomératiques attribués à l'OMK (Bouroudi et Boussioud. 2011).



Légende : Unité supra-kabyle : 1-nappe de Guerrouch ; 2-Numidien ; 3-unité du flysch dissocié ; 4-Oligo-miocène kabyle (a, stratification ; b, Olistolite majeur). Unités infra-kabyle ; 5-unité du Flysch Chisto-gréseux (a, Cénomano-Turonien) ; 6-unité volcano-sédimentaire (La flèche dans cette unité indique la direction de cisaillement) ; 7-socle kabyle (S, copeaux de socle à la base des unités supra-kabyles) ; 8- formation post-nappes ; 9-plis N-S dans la nappe de Guerrouch.

Fig.II.7. Esquisse géologique de l'extrémité de la Petite Kabylie (Andrieux et Djellit. 1989). (in Amira et Boudanouf. 2016).

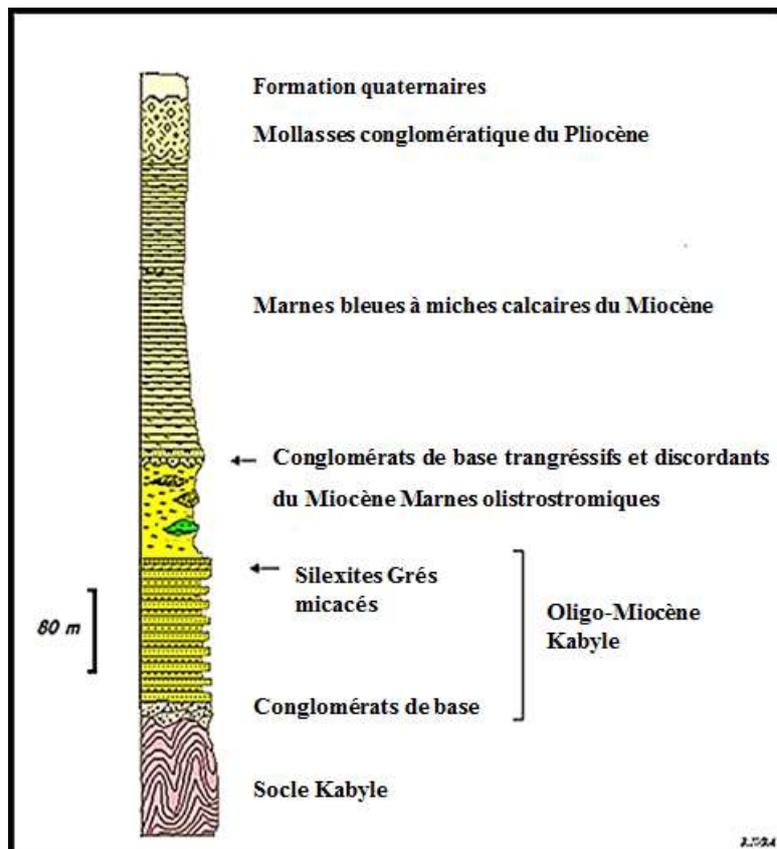


Fig.II.8. Colonne litho-stratigraphique synthétique du remplissage du bassin néogène de Jijel établie à partir des descriptions de Durand Delga, (1955) et Djellit (1987). (In Bouroudi et Boussioud, 2011).

II.3.1. Géologie du bassin néogène de Jijel

Les formations « post-nappes » en remplissage de la partie orientale du bassin néogène de Jijel ; sont principalement représentées par (Fig.II.8) :

- Dépôts détritiques du Quaternaire.
- Marnes bleues du Miocène
- Molasses conglomératiques du Pliocène.

II.3.1.1. Marnes bleues du Miocène

Les marnes bleues constituent la majorité des zones situées dans les régions de Taher, Emir Abdelkader et Kaous. Ces marnes montrent des intercalations de niveaux carbonatés jaune ocre (miches calcaires) qui soulignent la stratification, avec parfois de minces lits gypseux. L'épaisseur de ces marnes peut aller jusqu'à 300 m (Durand Delga. 1955).

Ces marnes bleues ou grises sont datées du Burdigalien inférieur (Durand Delga. 1955) ou du Tortono-Messinien (Djellit. 1987).

A leur base, les marnes bleues du Miocène deviennent plus détritiques avec un niveau conglomératique du Miocène inférieur marquant la discordance entre ces marnes et les formations Olistostromiques sous-jacentes. (Djellit. 1987).

Les intercalations calcaires montrent des pendages de quelques 30° vers le Nord.

II.3.1.2. Molasses conglomératiques du Pliocène

Les molasses conglomératiques affleurent au Sud de Kaous, à Cheddia, et forment parfois des chapelets au sommet de quelques collines du bassin (Aadouane, Z'biria, Bouhamdoune, Beni Siar) (Rouikha. 2008).

Ces formations sont constituées de dépôts continentaux détritiques avec des éléments divers provenant de roches plus anciennes préexistantes. Elles sont discordantes sur les marnes du Miocène et présentent des épaisseurs réduites variant entre 30 et 50 m. Elles ont été datées du Pliocène (Durand Delga. 1955).

II.3.1.3. Dépôts détritiques du Quaternaire

A. Alluvions anciennes Les alluvions ou terrasses anciennes se limitent principalement aux anciennes vallées de l'oued Djendjene et l'oued Mencha. Elles sont constituées de dépôts détritiques essentiellement des galets, des graviers et des cailloux, à matrice sableuse, avec parfois des intrications limoneuses et argileuses. Elles peuvent être confondues aux molasses du Pliocène lorsqu'elles sont légèrement consolidées (Bouroudi et Boussioud. 2011).

B. Alluvions marécageuses Les alluvions marécageuses sont les dépôts de dépressions fermées de la région de Kennar.

C. Alluvions récentes Elles forment les dépôts des oueds actuels, (Oued Saïoud, Oued Nil, Oued Boukaraa, oued Djendjene, Oued Mencha, et Oued Kentara). Elles sont constituées principalement de graviers, galets, sables, argiles, ... etc.

D. Dunes anciennes Elles constituent des affleurements discontinus tout au long du littoral. Elles peuvent être observées dans les régions de Tassoust et Kennar. Ces dunes anciennes sont formées de sables jaunes à rouges souvent consolidés.

E. Dunes récentes Elles longent le littoral et constituent un cordon continu. Elles sont formées de sables grossiers gris.

II.3.2. Géologie du substratum

Le substratum englobe les formations du socle et sa couverture Olistostromique représentée par les formations appartenant à l'Oligo-Miocène Kabyle.

A. Oligo-Miocène Kabyle

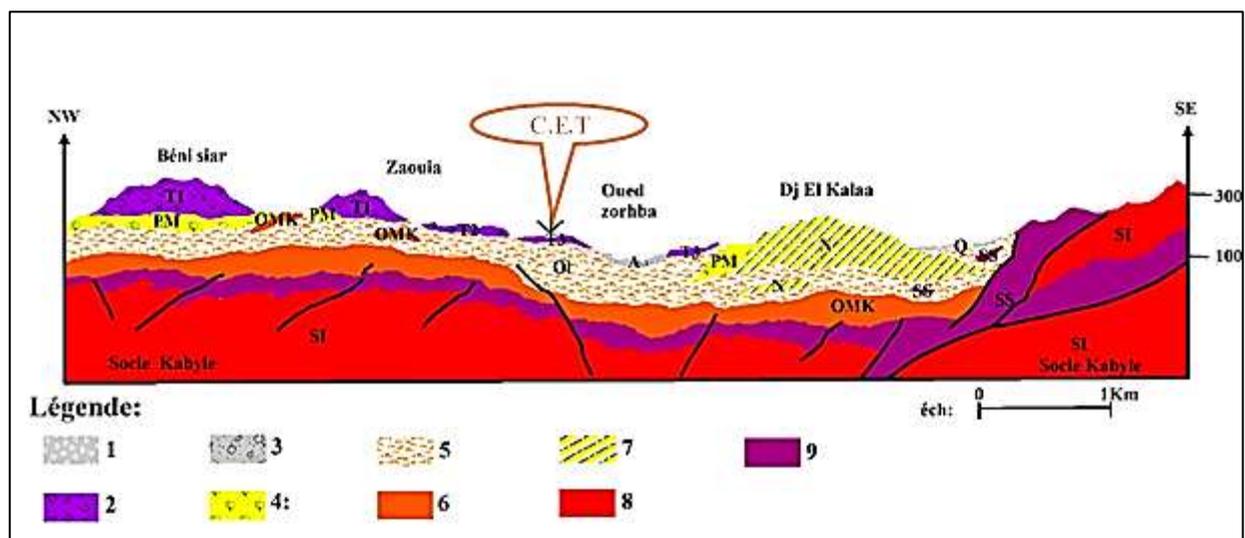
Constitué de formations détritiques comportant trois termes : des conglomérats de base reposant en discordance sur le socle Kabyle, surmontés par des grès micacés et enfin des Silexites (Raoult. 1974, Bouillin. 1977 in Djellit. 1987).

B. Olistostromes

Ce sont des formations Tectono-sédimentaires de nature et de taille diverses (blocs de flysch Maurétanien, Massylien et numidien, aussi des blocs du tellien et du flysch dissocié). Ces formations Olistostromiques se sont mises en place dans le bassin de l'OMK (Djellit. 1987).

II.3.2.2. Socle kabyle

Le socle de « Petite Kabylie » comprend deux ensembles : un ensemble inférieur gneissique et un ensemble supérieur Phylladique moins métamorphique (Djellit. 1987).



Légende : 1 : Quaternaire ; 2 : Terrasses étagées plio-quaternaires ; 3 : Alluvions récentes ; 4 : Poste-nappes marneux du miocène sup ; 5 : Olistostromes : Miocène moyen (Aquitano serravalien) ; 6 : Oligo-Miocène Kabyle grésos-conglomératique ; 7 : Bloc Numédien (Olistolite) ; 8 : Série inf gneissique ; 9 : Série sup phylladique

Fig.II.9. Coupe géologique au sein du bassin néogène Jijel (zone sud de Taher) montrant le site d'implantation du centre d'enfouissement technique (CET) réalisé par Rouikha. Y.

Remarque importante : le post-nappes marneux pliocène ne couvre pas le site du CET lequel est implanté sur l'Olistostrome érodé et couvert en partie par des lambeaux reliques d'une terrasse suspendue au relief penté ($P > 30\%$) où l'érosion régressive du talus est active. La prise en charge d'une canalisation de drainage des eaux de ruissellement et des rejets d'exsudat du CET assurera une protection de l'ouvrage des risques naturelles d'érosion notamment.

II.4. Echantillonnage et méthodes expérimentales

L'analyse des sols est un procédé complexe déterminée par la mesure des multiples paramètres afin de caractériser d'une manière complète un échantillon telsque : teneur en eau, granulométrie, pH, conductivité, concentration en métaux...etc.

II.4.1. Échantillonnage

L'échantillonnage est le prélèvement d'échantillons selon une procédure spécifiée. Il est utilisé pour faire des déclarations fiables sur la qualité, l'état ou la composition d'une matière particulière. Le but est d'analyser et de générer un échantillon aussi reproductible que possible.

Notre échantillonnage a été effectué au niveau du centre d'enfouissement technique C.E.T. de Demina. Nous nous sommes fixés des règles strictes de prélèvement.

Vu que le C.E.T. objet de notre étude est situé sur une pente d'un talus, dont la valeur de la pente moyenne est estimée égale à 15%. Nous avons alors choisi d'effectuer deux stations d'échantillonnage ; une station P1 située vers l'amont du talus, et une station P2 en aval du talus (Fig.II.10). La localisation de la station d'échantillonnage est nécessaire pour pouvoir associer le résultat analytique à un emplacement précis sur le site dans le but ultime de gérer adéquatement les sols. Les coordonnées des stations d'échantillonnage nommés P1 et P2, sont respectivement :
 E5°55'10,12044" ; N36°43'32,45484" ;
 E5°55'14,07648" ;N36°43'29,86284" ;



Fig.II.10. Localisation des points d'échantillonnage (Google Earth)

Après décaissage à la pelle d'une surface de 1m² et évacuation de la terre végétale situé à environ 5 cm de la surface (Fig.II.11), trois prélèvements de faible profondeur pour chacune des stations d'échantillonnage ont été réalisés, à l'aide d'une tarière manuelle, dont les profondeurs sont les suivantes : 20 cm, 50 cm, et 1 mètre.



Fig.II.11. Surface d'échantillonnage dégagée de la terre végétale (02 Mai 2021).

La tarière est enfoncée manuellement (≈ 10 cm) dans le sol par un mouvement de rotation dans le sens des aiguilles d'une montre. Une fois il enfoncé sur toute sa longueur, en renversant la tarière avec l'échantillon remanié. Cependant l'utilisation de la tarière est plus difficile dans les sols compacts ou rocailleux.

II.4.1.1. Description des échantillons

Chaque échantillon doit être décrit sur le terrain au moment du prélèvement, en notant la composition granulométrique du sol selon la dimension des particules estimée visuellement. Une description pertinente de l'échantillon tels que la couleur du sol, la présence d'indices visuels de contamination, la présence de toute matière autre que du sol ou tout autre élément jugé approprié.

La description de l'environnement dans lequel l'échantillon a été prélevé est également notée. Pour chaque échantillon prélevé, une fiche descriptive est remplie les données concernant la profondeur de prélèvement sont aussi ajoutées. (E5°55'10,12044" ; N36°43'32,45484" ; E5°55'14,07648" ; N36°43'29,86284" ;)

II.4.1.2. Conservation des échantillons

Une fois prélevés, les échantillons de sols doivent être conservés dans des contenants conformes et hermétiques de façon à assurer l'intégrité de l'échantillon et, dans la mesure du possible, à l'abri de la lumière. Ils doivent être emballés adéquatement puis transportés au laboratoire dans les plus brefs délais.

II.4.2. Méthode de Quartage

Après réception des échantillons au laboratoire, un quartage a été effectué. Le quartage est la réduction de la taille d'un échantillon en formant un tas conique qui est étalé en une galette plate circulaire. La galette est divisée en quatre quarts (d'où son nom). Deux quarts opposés sont mis au rebut. Les deux autres quarts sont combinés pour former le sous-échantillon. Le processus est répété autant de fois que nécessaire pour obtenir la quantité désirée pour une utilisation finale (par exemple en tant qu'échantillon de laboratoire ou en tant qu'échantillon d'essai).

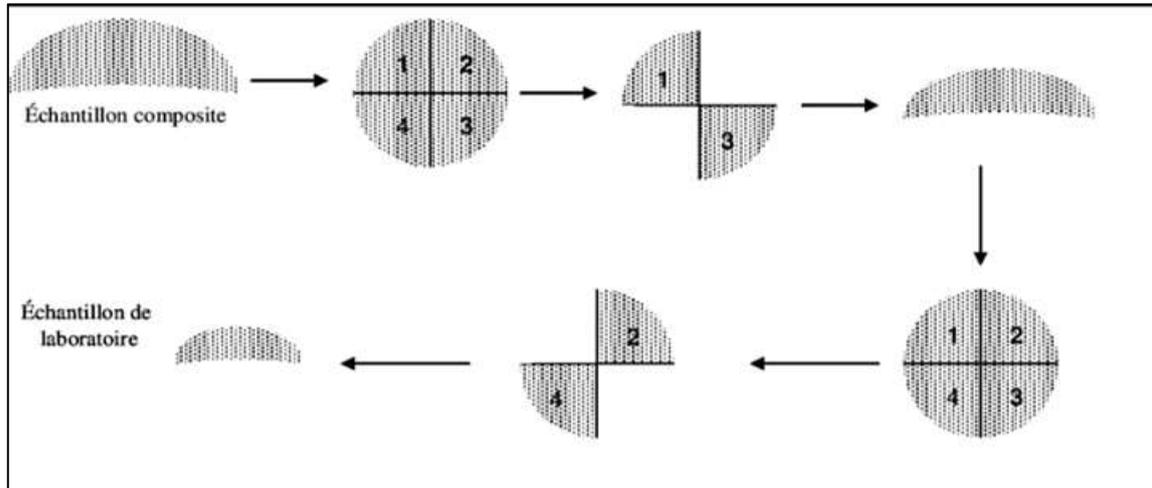


Fig.II.12. Méthode de quartage.

II.4.3. Caractérisations physico-chimiques

II.4.3.1. Teneur en eau du sol (norme NF P94-050)

On désigne par la teneur en eau ou l'humidité la quantité d'eau liquide contenu dans un échantillon de sol.

A. Principe

L'humidité du sol est définie comme étant la proportion pondérale de l'eau contenue dans un échantillon. Elle se détermine simplement par deux pesées, une pesée à l'état humide et une deuxième à l'état sec après séchage à 105°C.

B. Mode opératoire

Peser le matériau dans l'état humide, on obtient alors la masse humide m_h , puis le sécher à l'étude jusqu'à masse constante à une température de 105°C, on obtient alors la masse sèche m_s .

Le taux d'humidité ou ce qu'on appelle la teneur en eau s'exprime en pourcentage et est définie par la formule :

$$W = 100. (m_h - m_s) / m_s$$

Tab.II.2. de classification des sols selon la teneur en eau (W)

W	Etat
01-25%	Légèrement humide
25-50%	Humide
50-75%	Mouillé
75-90%	Détrempé
100%	Saturé

II.4.3.2. Masse volumique humide (norme NF P94-053)

La masse volumique est définie comme le quotient de la masse totale (m_t) du sol par le volume (V_t) qu'il occupe (y compris les fluides qu'il contient). $\gamma_h = m_h/v_t$

A. Principe L'essai consiste à mesurer successivement les paramètres masse et volume qui caractérisent un même échantillon de sol.

B. Mode opératoire

La masse de l'échantillon est obtenue par pesage, le volume est obtenu par immersion de l'échantillon dans l'eau.

L'échantillon soumis à essai doit avoir une forme simple afin de pouvoir être paraffiné facilement. Au besoin, il est taillé, afin d'avoir une masse comprise entre 0.1 et 0.5 kg.

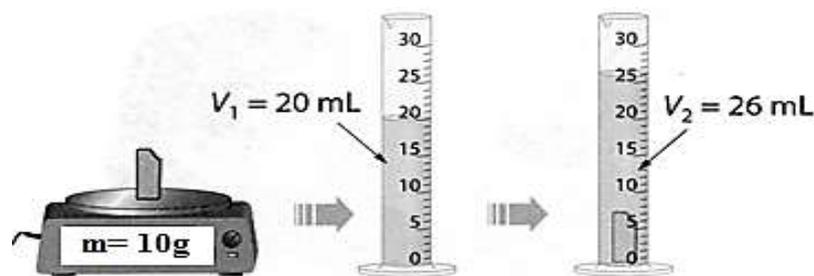


Fig.II.13. Méthode de mesure de la masse volumique humide par immersion.

II.4.3.3. PH du sol (norme NF X31-103).

Le PH fait partie d'une des plus importantes caractéristiques physico-chimiques des sols, car la spéciation, et donc la mobilité et la biodisponibilité des éléments traces métalliques sont liées à sa valeur.

La norme Afnor X 31-103 préconise la détermination du pH du sol dans l'eau.

A. Principe : Une suspension de sol est préparée dans cinq fois son volume d'eau ; on met par exemple $10 \pm 0,005$ g de sol en suspension dans $50 \pm 0,1$ ml d'eau distillée, agités pendant 1 heure sur une plaque d'agitation. Puis laisser au repos pendant 2 heures.

Le PH est ensuite mesuré à l'aide d'un pH-mètre. (Fig.II.14).

II.4.3.4. Conductivité électrique (norme NF X 31-113)

La conductivité électrique d'une solution du sol est un indice des teneurs en sels solubles dans ce sol, elle exprime approximativement la concentration des solutés ionisables présentes dans l'échantillon, c'est-à-dire son degré de salinité (Clément et Pieltain. 2009).

A. Principe : basé sur l'extraction des sels d'un échantillon, solubles dans l'eau, dans des conditions bien définies et dans un rapport sol sec/eau égal à 1/5 (m/m). Deux électrodes en platine maintenues en parallèle dans une colonne d'extrait aqueux de sédiment permettent de mesurer le courant conduit par les ions présents.

On pèse 10 g d'échantillon de sol préparé pour essai qu'on transvase dans un flacon en polyéthylène, on y ajoute 50 ml d'eau distillée, on ferme le flacon et on le place dans l'agitateur mécanique à mouvement horizontal, on agite pendant 30min. Après filtration, on mesure la conductivité de la solution obtenue.



Fig.II.14. pH-mètre de type HANNA HI 8424.



Fig.II.15. Conductivimètre.

II.4.3.5. Granulométrie par tamisage par voie sèche (norme NF P94-056)

C'est la détermination de la distribution dimensionnelle des particules du sol dont le diamètre des grains est supérieur à 80 μm .

A. Principe : L'essai consiste à fractionner au moyen d'une série de tamis un matériau séché en plusieurs classes granulaires de tailles décroissantes. La pesée des refus des tamis permet de tracer la courbe granulométrique.

Le calcul des pourcentages des fractions passantes (tamisat) se fait selon la formule indiquée dans le tableau II.3.

Tab.II.3. Calcul des pourcentages des fractions passantes (tamisat).

Ouverture des tamis (mm)	Masse des refus partiels Ri (g)	Masse des refus cumulés Rn (g)	Pourcentage des refus cumulés Rn/ P 100 %	Pourcentage des tamisats cumulés 100 – (Rn/ P) %
5	m1	m1	$R1 = 100 * (m1 / M)$	$T1 = 100 - R1$
2	m2	m1+m2	$R2 = 100 * (m1 / M)$	$T2 = 100 - R2$
1	m3	m1+m2+m3	$R = 100 * (m / M)$	$T = 100 - R3$
0.4	m4	.....	$R4 = 100 * (m4 / M)$	$T4 = 100 - R4$
0.2	m5	.....	$R5 = 100 * (m5 / M)$	$T5 = 100 - R5$
0.1	m6	.....	$R6 = 100 * (m6 / M)$	$T6 = 100 - R6$
0,08	m7	.....	$R7 = 100 * (m7 / M)$	$T7 = 100 - R7$
<0,08(fond)	m8	.....	$R8 = 100 * (m8 / M)$	$T8 = 100 - R8$

II.4.3.6. Analyse granulométrique par sédimentométrie (norme NF P94-057)

L'analyse granulométrique par sédimentométrie, complète la granulométrie par tamisage pour déterminer la répartition selon le diamètre des grains de la fraction fine de sol inférieur à 80µm.

La méthode, basée sur la loi de Stokes, consiste à mesurer le temps de sédimentation dans un liquide visqueux, c'est-à-dire la vitesse de chute des particules de diamètre (D), et de poids volumique (γ_s).

A. Principe : Une prise d'essai de 30 ± 10 grs de la fraction fine <80µm, versée dans une solution de 120cm³ du mélange : 100cm³ eau distillée ou déminéralisée +20cm³ défloculant. Laisser imbiber pendant 24heurs. La mise en agitation est effectuée à l'aide d'un agitateur mécanique pendant 5min à 10000 tr/min au moins, puis on complète la solution par de l'eau distillée ou déminéralisée à la température ambiante jusqu'à 1000cm³

On mesure après un temps de décantation donné en progression géométrique (30 s, 1min, 2 min, 5,10 ,20 ,40 ,80min ,4h ,24h) la densité de la suspension à l'aide d'un densimètre. La densité indique le nombre de grains qui ont la même vitesse donc à un temps donné on a une concentration de grains ayant le même diamètre (% en poids des grains) ceux-ci est équivalent de tamis de la granulométrie grâce à la formule de stocks. On peut calculer les diamètres correspondants.



Fig.II.16. Tamiseuse avec série de tamis emboîtés



Figure II.17. Eprouvettes d'analyse granulométrique par sédimentation

II.4.3.7. Limites d'Atterberg (norme NF P 94-051)

Les limites d'Atterberg sont des caractéristiques géotechniques conventionnelles d'un sol mesuré sur la fraction de sol passant au travers du tamis 0,4mm qui marquent les seuils entre Le passage d'un sol de l'état liquide à l'état plastique : limite de liquidité (W_L), le passage d'un sol de l'état plastique à l'état solide : limite de plasticité (W_p). La différence entre la limite de liquidité et de plasticité qui définit l'étendue du domaine plastique est particulièrement importante, c'est l'indice de plasticité. I_p (%) = $W_L - W_p$ (Costet et Sanglerat. 1981 ; Dupain et al. 2000) :

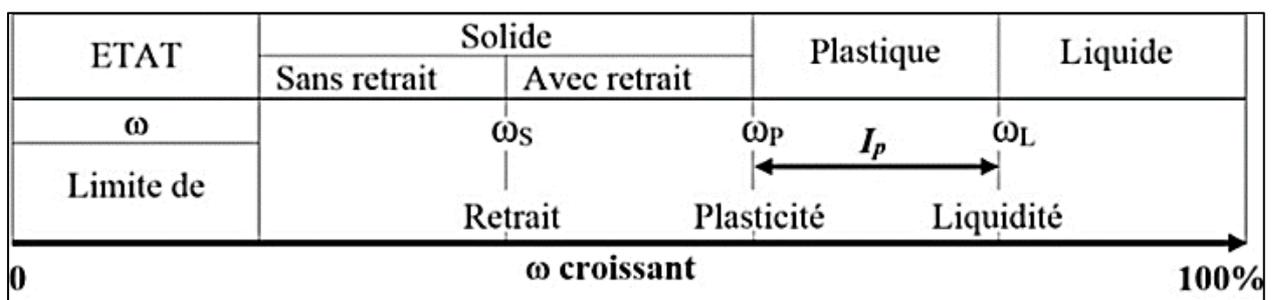


Fig.II.18. Représentation schématique des limites d'Atterberg (Léreau. 2006).

A. Principe : l'essai s'effectue en deux phases :

- Recherche de la limite de liquidité W_L à l'aide de l'appareil de Casagrande.
- Recherche de la limite de plasticité W_p par la déformation de rouleaux de 3mm de diamètre.



Fig.II.19. Dispositif d'essai de limite de liquidité

B. Limite de liquidité : c'est la teneur en eau du matériau qui correspond à fermeture d'un cm (1cm) des lèvres de la rainure à 25chocs (Boutouche. 2017).

La limite de liquidité se détermine à l'aide de l'appareil de Casagrande qui est constitué d'une coupelle dans laquelle on met l'échantillon et d'une came munie d'une manivelle qui soulève la coupelle et la laisse brusquement retomber sur un socle rigide. On étale environ 70g de sol dans la coupelle puis avec l'outil à rainure on creuse au milieu de la coupelle un sillon dans la pâte. On soumet alors la coupelle à un certain nombre de chocs jusqu'à ce que le sillon se referme sur un cm.

Tab II.4. Classification de sol selon la limite de liquidité W_L (Berthaud et al. 2013).

Sol	W_L
Sable argileux	15-40
Vase	300-100
Limon	50-100
Marne	40-90
Argile sableuse	50-150
Argile	80-180
Tourbe	120-150
Colloïdes	250-600

C. Limite de plasticité : On prélève une portion d'échantillon préparée auparavant et asséché afin de former une boule. Celle-ci est roulée à la main sur une plaque lisse, le but d'obtenir un rouleau qui est aminci progressivement jusqu'à ce qu'il atteigne 3 mm de diamètre. Au moment où il atteint 3 mm de diamètre, le rouleau doit mesurer environ 10 à 15 cm de longueur La limite de plasticité est obtenue lorsque simultanément le rouleau se fissure et que son diamètre est de $3\text{mm} \pm 0.5\text{mm}$ (Boutouche. 2017).



Fig.II.20. Détermination des limites d'Atterberg.

Une fois les fissures apparues, le central du rouleau est prélevé et placé dans une boîte et peser immédiatement et l'introduire dans l'étuve, afin de déterminer sa teneur en eau. Effectuer un deuxième essai sur une nouvelle boulette.

Selon la valeur de la limite de liquidité W_L et de l'indice de plasticité W_p , on peut calculer un indice de plasticité I_p qui est égal à la différence entre W_L et W_p (Tab.II.5).

Le diagramme de Casagrande conduit à une classification des sols en fonction de I_p et W_L (Fig.II.21).

Tab II.5. Classification de sol selon l'indice de plasticité (Berthaud et al. 2013).

Indice de plasticité	Degré de plasticité
$0 < IP < 5$	Sol non plastique
$5 < IP < 30$	Sol peu plastique
$30 < IP < 50$	Sol plastique
$< IP < 50$	Sol très plastique

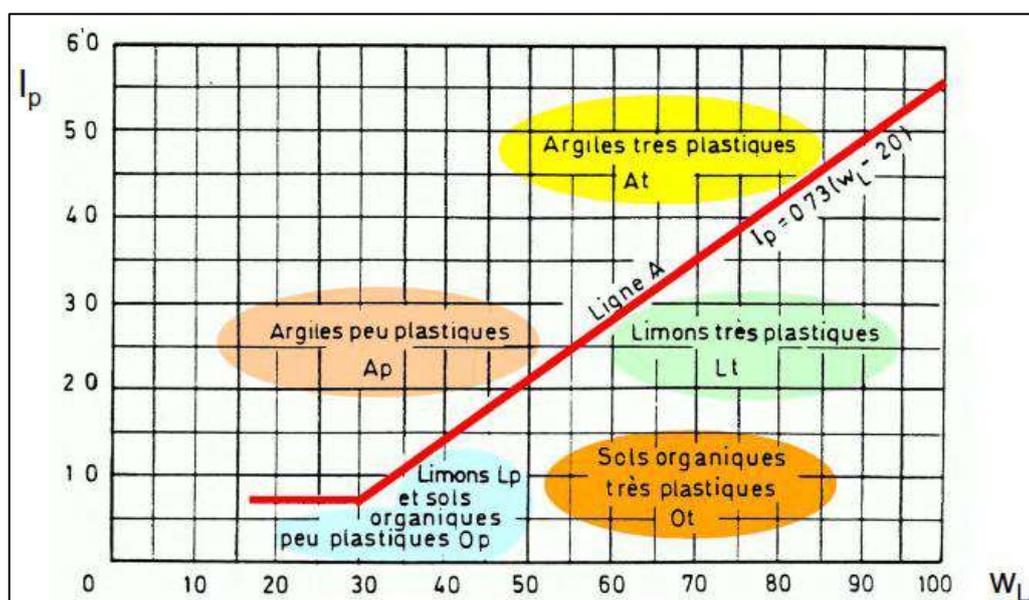


Fig.II.21. Diagramme de Casagrande.

D. Détermination de l'indice de consistance I_c : L'indice de consistance permet de caractériser l'état de sol étudié, cet indice est calculé par la formule suivante (Boutouche. 2017) :

$$I_c = \frac{WL - W}{I_p}$$

Avec : **W** : est la teneur en eau naturelle d'un sol

Tab.II.6. Etat du sol en fonction de l'indice de consistance, (Berthaud et al. 2013).

Indice de consistance I_c	Etat du sol
$I_c > 1$	Solide
$0 < I_c < 1$	Plastique
$I_c < 0$	Liquide

II.4.3.8. Essai au bleu de Méthylène (Norme NF P94-068)

C'est un essai d'usage courant en géotechnique pour évaluer la fraction argileuse d'un sol ou d'un granulat, mais également dans l'industrie des bentonites. Le résultat de l'essai dépend directement de la nature minéralogique des argiles et de leur quantité dans le sol. Cette mesure permet d'évaluer rapidement l'activité colloïdale des matériaux argileux (Sahnoune. 2014).

La quantité de bleu de méthylène adsorbé par un échantillon augmente lorsque sa surface spécifique augmente. La valeur de bleu de méthylène (VBS) représente ainsi la quantité de bleu de méthylène pouvant s'adsorber sur les surfaces externes et internes des particules de sol. Etant donné que dans un sol c'est avant tout, la surface spécifique de particule argileuse qui détermine sa surface spécifique totale, on peut considérer que la VBS (Tab II.7) exprime globalement la quantité et l'activité de l'argile contenue dans ce sol (Sahnoune. 2014).

Tab II.7: Valeur du bleu de méthylène associé à chaque type de sol.

Valeur du bleu du sol (cm^3g)	Nature du sol
< 0,2	Sol sableux
0,2 – 2,5	Sol limoneux
2,5 – 6	Sol limoneux- sableux
6 -8	sols argileux
>8	sols très argileux

A. Principe : La VBS se détermine à partir de l'essai au bleu de méthylène à la tache sur la fraction 0/5mm. Le dosage s'effectue en ajoutant successivement différentes quantités de bleu de méthylène. A chaque ajout on contrôle l'adsorption en prélevant une goutte de la suspension que l'on dépose sur un papier filtre normalisé pour faire une tâche (Fig.II.22). L'adsorption maximale est atteinte lorsqu'une auréole bleu clair persistante apparaît à la périphérie de la tâche (Sahnoune. 2014).

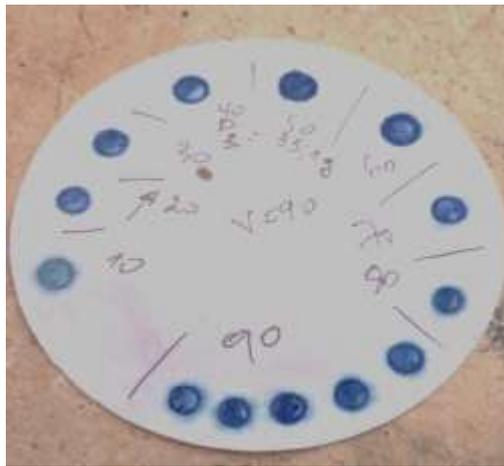


Fig.II.22. Essai au Bleu de Méthylène.

B. Mode opératoire

Introduire dans la prise d'essai mise en agitation à (400tr/min \pm 100tr/min) 5 à 10 cm³ de solution (suivant l'Argilosité du matériau). Au bout d'une minute \pm 10s, procéder à l'essai à la tache sur papier filtre, poser le papier filtre sur un support adapté non absorbant et prélever à l'aide de la baguette de verre une goutte en suspension la déposer sur le papier filtre jusqu'à l'apparition de l'auréole bleu claire dans la zone périphérique de la tache.

La goutte prélevée doit former un dépôt central compris entre 8 et 12 mm de diamètre.

Laisser poursuivre absorption de la solution de bleu et effectuer des essais à la tache de minute en minute (sans ajout de solution)

L'essai est positif si l'auréole persiste au bout de 5 taches

Si l'auréole disparaît à la 5^{ème} tache ou avant procéder à de nouvelles injections de bleu avec des pas de 2 à 5 cm³ selon l'Argilosité

Reprendre l'essai à la tache jusqu'à ce que l'essai soit positif.

Prendre le volume total soit : (V) de solution de bleu

Laver le récipient et les accessoires en contact avec la suspension de bleu.

La valeur de bleu de méthylène du sol est calculée selon la formule suivante :

La masse de bleu introduite (solution à 10g/L) ($B = V_x \times 0,01$) cm³

Si $D_{\max} < 5\text{mm}$ ($VBS = \frac{B}{M_0} \times 100$) g/100g

Avec : M_0 : la masse sèche de la prise d'essai (grs).

V_x : volume du bleu introduit (cm³).

II.4.3.9. Spectrométrie de fluorescence X

A. Principe de la méthode

La spectrométrie de fluorescence X (FRX ou XRF en anglais) est une méthode d'analyse élémentaire utilisant une propriété physique de la matière : « La fluorescence des rayons X ». En effet, lorsqu'un échantillon est bombardé par un rayonnement primaire émis par une source d'excitation énergétique, un ou plusieurs électrons peuvent être éjectés de leurs orbitales atomiques (ou couches électroniques). Ainsi, un électron d'une couche électronique supérieure vient remplacer l'électron éjecté et libère à son tour de l'énergie sous forme de rayons X. Ce rayonnement secondaire constitue le phénomène de « Fluorescence ». (Bayouli. 2016).

Chaque élément chimique est caractérisé par un spectre de fluorescence X spécifique. L'analyse de ce spectre permet d'identifier les éléments présents dans un échantillon et de déterminer leurs concentrations. Un spectromètre XRF est constitué principalement de deux parties : une source de rayonnement primaire et un détecteur (Bayouli. 2016).

B. Interactions des rayons X avec la matière

Lorsqu'un rayonnement X primaire bombarde les atomes de la matière, différents types de rayonnement peuvent avoir lieu : (I) Un rayonnement secondaire caractéristiques des éléments chimiques et qui représente la "Fluorescence X" (II) Un rayonnement rétrodiffusé divisé en diffusion cohérente ou diffusion de Rayleigh qui se fait sans modification d'énergie et une diffusion incohérente appelée "Effet Compton" et se fait avec perte d'énergie.

La diffusion de Rayleigh est plus importante pour les éléments ayant un numéro atomique Z élevé alors que la diffusion Compton est plus importante pour les éléments de Z faible.

Ces deux phénomènes, la diffusion de Rayleigh et l'effet Compton, sont à l'origine du "Bruit de fond" du signal représenté par le fond continu des spectres. Le Bruit de fond peut être causé aussi par deux autres phénomènes liés à l'échantillon : la diffraction des rayons X lorsqu'il s'agit d'un échantillon cristallisé et le rayonnement continu créé par le ralentissement de charges électriques lorsque les électrons sont éjectés. (Bayouli. 2016).



Fig.II.23. Dispositif d'essai FRX.

II.4.3.10. Dosage des métaux lourds par spectroscopie d'absorption (SAA) :

L'absorption atomique est une technique incontournable dans le dosage des espèces métalliques. Elle est définie comme un processus qui se produit lorsqu'un atome appartenant à l'état fondamental passe à l'état excité par l'absorption d'une énergie, sous la forme d'un rayonnement électromagnétique, qui correspond à une longueur d'onde spécifique.

A. Principe : Le principe consiste à aspirer l'échantillon sous forme liquide dans une flamme, de sorte qu'il se forme une vapeur atomique (atomes neutres, libres et à l'état fondamental). On irradie cette vapeur avec une lampe spectrale à cathode creuse. Ces lampes émettent des raies de transition des atomes recherchés.

Seuls les atomes recherchés absorbent la radiation excitatrice. Ce qui nous permet de lier l'absorption lumineuse à la concentration des atomes étudiées. Cependant il y a toujours une absorption non spécifique si minime soit-elle. Cette dernière est significativement diminuée par l'emploi d'une lampe au Deutérium (correcteur de bruit de fond).

B. Mise en solution par attaques acides (Eau régale)

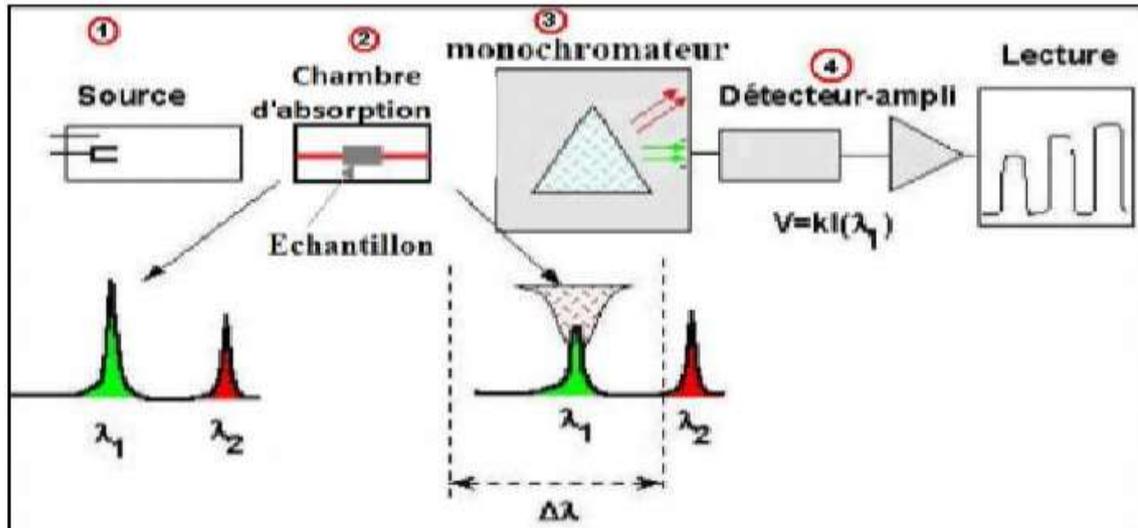
Pour la mise en solution de la plupart des métaux et pour l'oxydation des matières organiques. Le mélange $\text{HNO}_3\text{-HCl}$ dans un rapport 1 de nitrates ; 3 de HCl est appelé eau régale et présente des applications spécifiques dans la dissolution de l'or et des éléments du groupe du platine.

L'essai consiste à introduire une masse connue d'échantillon dans une fiole, cette dernière est placée dans un mélange d'acide nitrique 65% et d'acide chlorhydrique 38% dans un rapport (1 :3) L'ensemble est chauffé doucement (à 160°C environ) et laissé évaporer à sec. Le résidu est dissout par ajout d'acide chlorhydrique ou d'acide nitrique. La solution obtenue sera ensuite filtrée (filtre

de 45 μ m) et analysée par la technique de la SAA pour déterminer la composition chimique élémentaire de l'échantillon analysé.

C. Mode opératoire :

Le faisceau lumineux issu de la source (1) traverse la chambre d'absorption (flamme ou four) (2) dans laquelle l'élément se trouve porté à l'état atomique, avant d'être focalisé sur la fente d'entrée d'un monochromateur (3) qui sélectionne un intervalle très étroit de longueurs d'onde. Le trajet optique se termine sur la fenêtre d'entrée du détecteur (4) (Fig.II.24)



FigII.24. Les instruments de base pour la spectrométrie d'absorption atomique. (Pradyt P. 2004)

CHAPITRE III
Résultats et
discussions



Introduction

Après réception des échantillons au laboratoire, un quartage a été effectué, afin d'obtenir un échantillon le plus représentatif que possible. Pour les essais d'identification physiques (teneur en eau (w), poids volumique (γ), nous avons pris des échantillons tels que provenus du terrain. Pour les essais suivants (analyse granulométrique, limites d'Atterberg, Bleu de Méthylène) nous avons procédé à un lavage des échantillons afin de récupérer les fractions de sol préconisés par les normes décrites en chapitre II. Cependant, pour les analyses chimiques (pH du sol, Conductivité électrique, spectrométrie par fluorescence des rayons X, spectrométrie par absorption atomique) la préparation des échantillons de sol et la réalisation des essais doit se faire sur des échantillons non lavés, afin de ne pas perdre d'éléments chimiques. Les échantillons sont séchés à $105 \pm 5^\circ\text{C}$ puis concassés à l'aide du mortier, puis broyés en poudres fines, selon la norme de chaque essai. Dans cette partie nous exposons les principaux résultats issus du programme expérimental suivi.

III.1. Paramètres d'identification physique

Identifier un sol, c'est déterminer un ensemble de propriétés physiques qui permettent de le caractériser. Ces propriétés sont déterminées par des essais simples et rapides, appelés « essais d'identification ».

Les essais d'identification conduisent à une description précise et chiffrée, et non seulement descriptive, du sol. Une définition chiffrée est nécessaire car des sols d'aspects très voisins peuvent présenter des comportements très différents. Les essais d'identification sont aussi un outil de base aux divers systèmes de classification des sols.

Les essais d'identification des sols ont été réalisés au laboratoire des matériaux du département des Sciences de la Terre et de l'Univers de l'Université Mohamed Seddik Benyahia-Jijel. Le Tableau III.8 regroupe les caractéristiques physiques des deux points de prélèvements.

Tab.III.8. Paramètres d'identification physique.

Paramètres	Paramètres	
	P1	P2
Points d'échantillonnage		
Teneur en eau W (%)	18	20
Poids volumique total γ_t (KN /m ³)	20	20
Poids volumique sec γ_s (KN /m ³)	27	27
Poids volumique de l'eau γ_w (KN /m ³)	10	10
Poids volumique du sol sec γ_d (KN /m ³)	16,94	16,66
Poids volumique déjaugé γ' (KN /m ³)	10,71	10,54
Degré de saturation S_r (%)	82	87
La porosité n (%)	37	38
Indice des vides e	0,59	0,62
La densité humide ρ_h	2	2
La densité sèche ρ_d	1,69	1,66

La teneur en eau du sol est un facteur déterminant dans la répartition du polluant dans les trois phases du sol. En effet, lorsque la teneur en eau du sol augmente, cela entraîne une baisse de l'adsorption des polluants (Sayyad, G. et al. 2010).

Les taux de la teneur en eau des échantillons de sol varient entre 18 % à 20 %. Selon la classification des sols basée sur le taux de la teneur en eau, le sol est dit alors légèrement humide. Cette valeur dépend fortement des conditions climatiques au moment des prélèvements au printemps, ainsi que la présence des matières organiques dans le sol qui empêche l'évaporation de l'eau.

Les poids volumiques humides trouvés pour les deux points d'échantillonnage sont égale à 20 KN/cm³ ; Alors, le sol est classé comme un sol dense.

Le degré de saturation est estimé compris entre 82 % et 87%, le sol est donc assez saturé. La porosité trouvée pour les deux points d'échantillonnage est de l'ordre de 37,5%, le sol est moyennement poreux.

III.2. pH du sol

La mesure du pH (potentiel d'hydrogène) d'un sol permet de définir son état d'acidité ou d'alcalinité. Le pH fait donc partie d'une des plus importantes caractéristiques physico-chimiques des sols, car la mobilité et la disponibilité des éléments traces métalliques sont liées à la valeur du pH.

Nous rappelons que le pH du sol et la conductivité électrique ont été mesuré au laboratoire de Génie Géologique de l'Université Mohamed Seddik Ben Yahia- Jijel.

Afin de mieux suivre la variation du pH, nous avons analysé les échantillons sur des profondeurs de 20 cm, 50 cm et 1 mètre.

Les résultats obtenus sont présentés dans les tableaux (tab III.9, tab III.10) et la figure (fig III.25).

Tab.III.9. Les valeurs de pH du sol pour les deux points d'échantillonnage (P1 ; P2).

Points profondeur	P2	P1
20cm	8,75	7,43
50cm	8,8	6,93
1m	8,53	7,24

Tab.III.10. Statut acido-basique des sols

Echelle	0	2	3	4	5	6			
pH	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7 7.5 8 8.5		
Degré	Très acide		Acide		Peu acide		Neutre	Peu alcalin	Alcalin

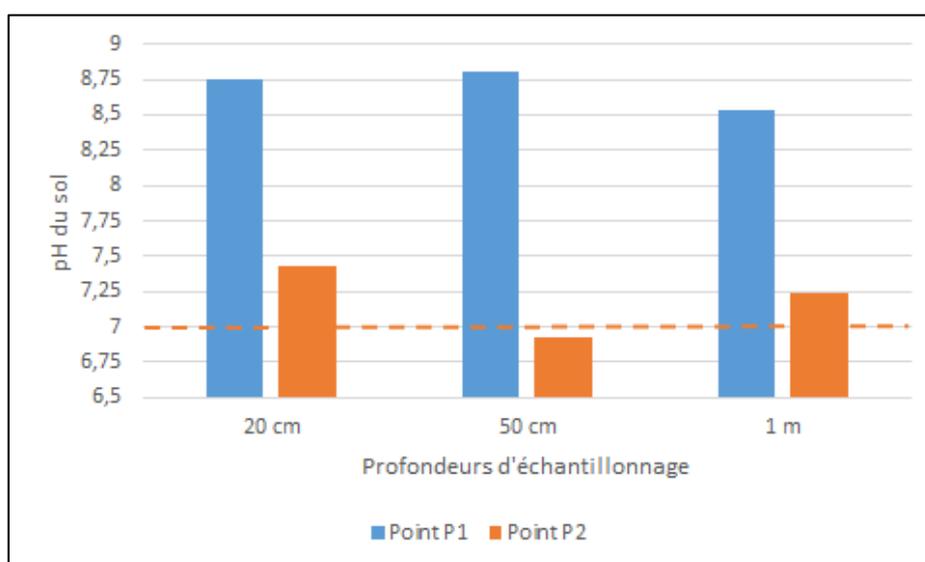


Fig.III.25. Histogramme représentatif des valeurs de pH du sol.

La valeur du pH détermine les comportements surtout chimiques du sol. La solubilité va dépendre de plusieurs facteurs, le plus important est l'acidité du sol. Si le métal est soluble, il va passer dans les nappes ou dans la plante, donc va influencer sur la santé humaine. S'il est insoluble, il

va rester dans le sol D'après les valeurs des pH enregistrées dans le tableau III.8, et la figure III.25, il ressort que ces valeurs sont comprises entre 6.93 et 8,8.

En comparant nos résultats, nous avons trouvé que les valeurs du pH du point de prélèvement P2 (situé en aval du talus) est beaucoup plus faible que celles du point de prélèvement P1 (situé en amont du talus).

Selon la classification des sols basée sur le statut acido-basique, le sol du point P2 présente donc un pH peu acide à neutre, variable avec la profondeur. En milieu acide, certains éléments chimiques deviennent toxiques grâce à une augmentation de leur solubilité.

Cependant le pH du point P1, variable aussi avec la profondeur, est peu alcalin, cette alcalinité peut être attribuée à la présence des carbonates. Des études similaires ont montré que les sols ayant des valeurs de pH très élevées présentent de fortes teneurs en carbonates, favorisant ainsi l'ensemble des modes de fixation des métaux. (Chiou C. T. et Shoup T. D. 1985) ; (Moral R. et al. 2002).

III.3. Conductivité électrique CE

La conductivité électrique permet de mesurer la concentration en ions de la phase liquide d'un matériau en utilisant la propriété d'une solution aqueuse de conduire l'électricité proportionnellement à sa concentration en ions, d'où l'appellation "conductivité".

Les résultats issus de la mesure de la conductivité électrique sont représentés dans le tableau.III.11 et la figure III.26

Tab.III.11. Valeurs de conductivité électrique (CE)

Points profondeur	P1 ($\mu\text{S/cm}$)	P2 ($\mu\text{S/cm}$)
20cm	225	455
50cm	188	804
1m	271	530

Les valeurs de la conductivité électriques, des échantillons de sols, enregistrées dans le tableau III.10 sont comprises entre 188 et 804 $\mu\text{S/cm}$). Elles révèlent une forte force ionique. Ces valeurs élevées indiquent une présence de sels soluble et un caractère minérale dans le sol. Cependant, les conductivités électriques mesurés au niveau du point d'échantillonnage P2 (situé en aval) en fonction de la profondeur sont beaucoup plus fortes que celles du point P1 (situé en amont). Ces résultats préliminaires, peuvent dès lors indiqués la présence des polluants minéraux concentrés en aval de la décharge objet de notre étude.

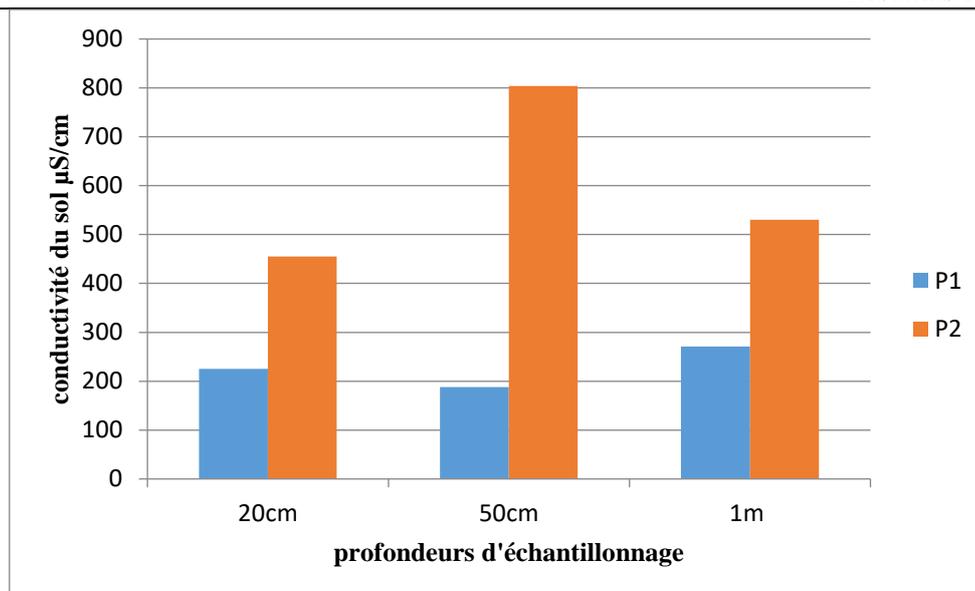


Fig.III.26. Histogramme représentatif les valeurs de la conductivité électrique du sol

III.4. Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique a pour objectif de mesurer la distribution par taille de particules d'un échantillon. L'identification des différentes familles granulométriques qui constituent un échantillon permet par ailleurs de définir sa texture.

Dans le but de montrer les résultats de l'analyse granulométrique effectuée au sein du Laboratoire des Travaux Publics Est (L.T.P.E). Nous avons présenté les calculs relatifs à l'analyse par tamisage sous forme de tableaux (Tab.III.12, Tab.III.13), et celle de l'analyse par sédimentation sous forme de tableaux (Tab.III.14, Tab.III.15) puis sous forme de courbes granulométrique (Fig.III.27).

Tab.III.12. Résultats de l'analyse granulométrique pour les échantillon global P1.

Tamis (mm)	Masse des refus mesurés r_i en grs	Masse refus R cumulé en grs	Refus cumulé r (%)	Tamisat cumulé (%)
5	24,6	5,85	94,14	94
2	42,9	10,21	89,78	89
1	55,1	13,11	86,88	87
0,4	84	20	80	80
0,2	109,1	25,97	74,02	74
0,1	134,8	32,09	67,90	68
0,08	148,8	35,42	64,57	65

Tab.III.13. Résultats de l'analyse granulométrique pour les échantillon global P2.

Tamis (mm)	Masse des refus mesurés ri en grs	Masse refus R cumulé en grs	Refus cumulé (%)	Tamisat cumulé (%)
5	32,0	7,61	92,38	92
2	47,4	11,28	88,71	89
1	55,2	13,14	86,85	87
0,4	73,5	17,5	82,5	83
0,2	96,8	23,04	76,95	77
0,1	124,9	29,73	70,26	70
0,08	138,4	32,95	67,04	67

Tab.III.14. Résultats de l'analyse granulométrique par sédimentométrie pour les échantillons global P1

h	min	s	R Lecture densimètre	Température (C°)	C _t Correction température	P% sur tamis à 80µm	P2% sur tamis à 50mm	D(µm)
-	-	30	12,50	2,2	-0,5	12,00	-	82
-	1	-	12,00	2,2	-0,5	11,50	62	60
-	2	-	09,00	2,2	-0,5	08,50	46	45
-	5	-	06,50	2,2	-0,5	06,00	32	29
-	10	-	06,00	2,2	-0,5	05,50	30	21
-	20	-	06,00	2,2	-0,5	05,50	30	15
-	40	-	06,00	2,2	-0,5	05,50	30	10
-	80	-	05,50	2,2	-0,5	05,00	27	7,8
4	-	-	04,50	2,2	-0,5	04,00	22	4,3
24	-	-	04,50	2,2	-0,5	04,00	22	1,8

Tab.III.15. Résultats de l'analyse granulométrique par sédimentométrie pour les échantillons global P2

h	min	s	R Lecture densimètre	Température (C°)	C _t Correction température	P% sur tamis à 80µm	P2% sur tamis à 50mm	D(µm)
-	-	30	12,50	2,2	-0,5	12,00	-	82
-	1	-	12,00	2,2	-0,5	11,50	62	60
-	2	-	09,00	2,2	-0,5	08,50	56	48
-	5	-	06,50	2,2	-0,5	06,00	46	29
-	10	-	06,00	2,2	-0,5	05,50	38	21
-	20	-	06,00	2,2	-0,5	05,50	32	15,5
-	40	-	06,00	2,2	-0,5	05,50	29	10,5
-	80	-	05,50	2,2	-0,5	05,00	21	8
4	-	-	04,50	2,2	-0,5	04,00	19	4,5
24	-	-	04,50	2,2	-0,5	04,00	13	1,9

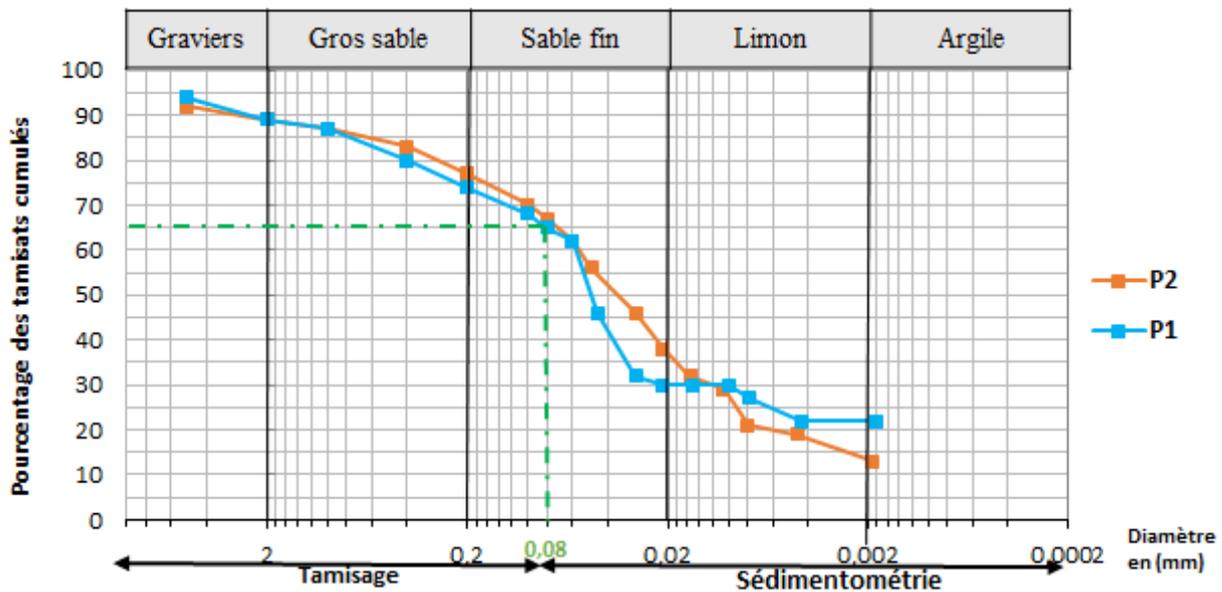


Fig.III.27. Courbes granulométriques.

A la lumière de ces résultats, on peut dire que les deux échantillons de sols ont des profils semblables. Ils sont majoritairement composés de la fraction de taille 0.002 mm et plus avec 65% du sol est constitué de la fraction supérieure à 0.08 mm.

La classe granulométrique de ces échantillons, la plus pondérale est la classe des sables fins (fraction 0.02-0.2 mm). Elle représente 45% en poids de l'échantillon P1, et 40% en poids de l'échantillon P2.

Tandis que, les proportions pondérales des tranches granulométriques 0.002-0.02 mm (celle des limons) et 0.2-2 mm (celle des gros sables) représentent respectivement des pourcentages de 8 % et 15 % en poids pour l'échantillon P1 et des pourcentages de 25% et 12 en poids pour l'échantillon P2.

Les argiles représentent respectivement pour les points P1 et P2 un pourcentage de 22 % et 12%. Donc leurs textures d'après les données de la littérature correspondent à un sable argileux.

III.5. Limite d'Atterberg

Afin d'atteindre l'objectif de caractérisation des sols de la décharge du C.E.T., nous avons réalisé l'essai des limites d'Atterberg pour les deux échantillons P1 ; P2.

Cette partie expérimentale a été effectuée au sein du laboratoire des matériaux, du département des Sciences de la Terre et l'Univers de l'Université Mohammed Seddik Ben Yahia –Jijel.

Les résultats obtenus sont représentés sous forme de tableaux (Tab.III.16 ; Tab.III.17).

Tab.III.16. Limites d'Atterberg pour l'échantillon global P1

N° d'essai	LIMITE DE LIQUIDITE			LIMITE DE PLASTICITE	
	1	2	3	1	2
Nombre de coups	21	28	30	/	/
poids total humide (sol +tare)	17,47	15,06	15,51	10,59	11,27
poids total sec (sol +tare)	15,54	13,76	14,15	10,46	11,09
poids de la tare	10,02	9,94	10,03	9,69	10,04
poids de l'eau	1,93	1,3	1,36	0,13	0,18
poids du sol sec	5,52	3,82	4,12	0,77	1,05
Teneur en eau w%	34,96	34,03	33,01	16,88	17,14

Limite de liquidité W_L	34,15
Limite de plasticité W_p	17,00
Indice de plasticité I_p	17,15
Indice de consistance I_c	0,94

Tab.III.17. Limites d'Atterberg pour l'échantillon global P2

N° d'essai	LIMITE DE LIQUIDITE			LIMITE DE PLASTICITE	
	1	2	3	1	2
Nombre de coups	18	21	29	/	/
poids total humide (sol +tare)	18,13	15,48	15,79	11,26	11,16
poids total sec (sol +tare)	16,27	14,26	14,49	11,07	10,98
poids de la tare	10,07	10,08	10,02	10,08	9,99
poids de l'eau	1,86	1,22	1,3	0,19	0,18
poids du sol sec	6,2	4,18	4,47	0,99	0,99
Teneur en eau w%	30,00	29,19	29,08	19,19	18,18

Limite de liquidité W_L	29,74
Limite de plasticité W_p	10,00
Indice de plasticité I_p	19,74
Indice de consistance I_c	0,49

A partir des valeurs obtenues de l'essai des limites d'Atterberg, limite de liquidité (WL) obtenu pour l'échantillon P1 est égal à 34. Toutefois limite de liquidité pour l'échantillon P2 est égal à 29. A partir de ces valeurs on peut dire que le sol objet de notre étude est classé dans la catégorie des sables argileux, notons que cette classification ne tient pas compte des sables limoneux, donc en combinant ce résultat à celui précédent de l'analyse granulométrique, on peut confirmer la nature sablo-limoneuse du sol, chose qui est confirmée aussi à partir des observations visuelles des échantillons.

Les valeurs d'indices de plasticité (Ip) obtenus pour les échantillons P1 et P2 sont respectivement égales à 17 et 19. Donc on constate que le sol est peu plastique.

A partir des valeurs de l'indice de consistance (Ic) le sol est estimé dans un état plastique. A partir du diagramme de Casagrande, les deux échantillons sont classés comme une argile peu plastique (Ap).

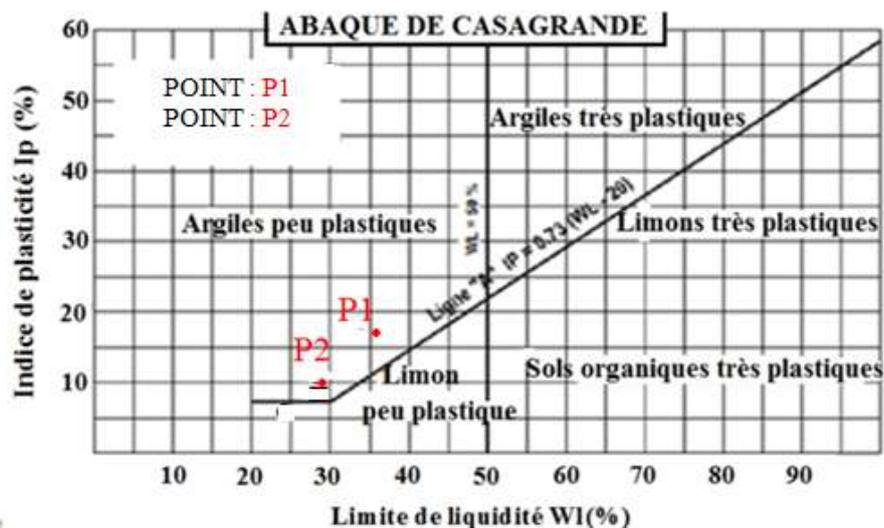


Fig.III.28. Représentation des points sur le diagramme de Casagrande.

A partir du diagramme de Casagrande, notre sol est classé comme un Argiles peu plastiques (Ap).

III.6. Bleu de méthylène

L'essai au bleu de méthylène permet d'évaluer la surface spécifique d'échange d'un matériau argileux, ce qui constitue un bon indicateur de sa susceptibilité au phénomène de retrait-gonflement. Il consiste à mesurer la capacité d'adsorption en bleu de méthylène, c'est-à-dire la quantité de ce colorant nécessaire pour recouvrir d'une couche mono-élémentaire les surfaces externes et internes de toutes les particules argileuses présentes dans le sol.

Cet essai a été effectué au sein du Laboratoire des Travaux Publics Est (L.T.P.E). Nous avons présenté les résultats relatifs sous forme de tableaux (Tab.III.18).

Tab.III.18. Résultats de l'essai de Bleu de Méthylène.

	P1	P2
Masse sec de la deuxième prise d'essai (ms ₂) (g)	34,3	35,1
Masse de bleu introduite B= Vx0.01 (cm ³)	0,65	0,9
$VBS = \frac{B}{m_0} \times 100$ (g/100g)	1,89	2,56

Les deux sols ont révélé des valeurs du Bleu de méthylène qui sont inclus dans la famille des sols limoneux-sableux. Confirment le résultat déjà trouvés dans la section granulométrique.

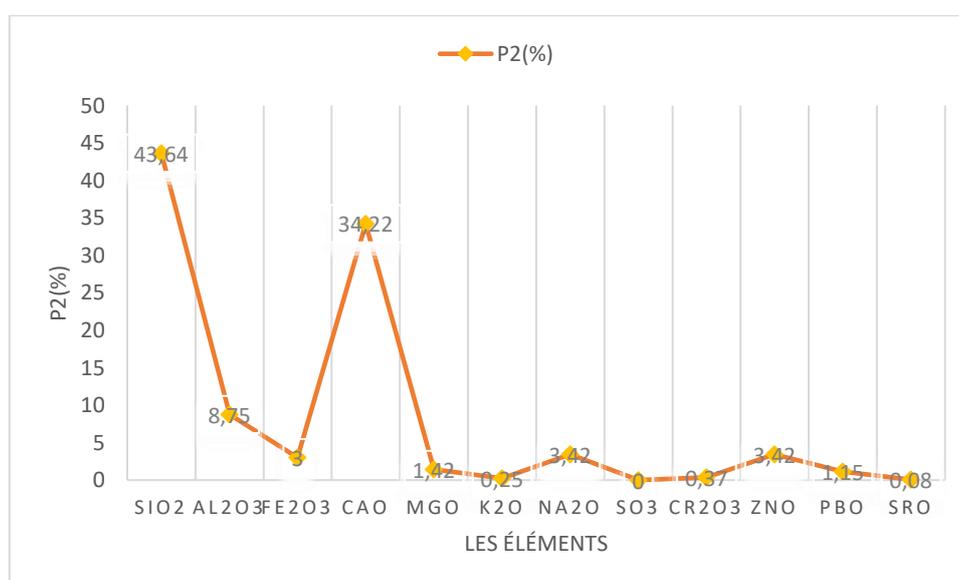
III.7. Spectrométrie par fluorescence des rayons X

La spectrométrie de fluorescence des rayons X est une technique analytique chimique basée sur une propriété physique de la matière, soit la fluorescence des rayons X. sous l'effet d'un bombardement avec des rayons X, la matière émet de l'énergie sous cette même forme. Le spectre des rayons X émis par la matière est caractéristique de la composition chimique de l'échantillon. A partir de l'analyse de ce spectre, il devient possible d'en déduire la composition élémentaire ainsi que les concentrations massiques des éléments.

Tab.III.19. Analyse spectrométrique par fluorescence des rayon X pour l'échantillon P2 à la profondeur de 20cm.

Elément	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	Cr ₂ O ₃	ZnO	PbO	SrO
P2=20Cm (%)	43.64	8.75	3	34.22	1.42	0.25	3.42	n d	0.57	3.42	1.15	0.08

n d : not detected

**Fig.III.29.** Représentation des résultats de l'analyse FRX.

La caractérisation des sols de point P2 à l'état brut (granulométrie $<100\mu\text{m}$) par la technique de fluorescence X (FRX) est consignée dans le tableau III.19, et la figure III.29. Les résultats enregistrés montrent que le sol est constitué principalement de la silice SiO_2 et de CaO , ces pourcentages montrent que le sol étudié est de nature hétérogène. L'interprétation des résultats du tableau et de la figure montre la présence des métaux lourds (Zn, Cr et Pb), le zinc en grande proportion puis par ordre décroissant le chrome et le plomb. Ces métaux lourds dépassent de très loin les normes exigées par la réglementation en vigueur. De ce fait, ce sol est alors classé comme un sol pollué et doit subir une caractérisation de la concentration des métaux lourds par technique de spectrométrie d'absorption atomique SAA.

III.8. Spectrométrie par absorption atomique (SAA)

Au laboratoire de spectrométrie par absorption atomique (SAA) de la faculté des Sciences de la Nature et de la Vie de l'université de Jijel, les échantillons qui ont été prélevés ont fait l'objet d'une étude par SAA. Trois éléments (Cd, Cu, Zn) parmi l'ensemble des métaux lourds ont été choisis du fait de leur disponibilité dans le laboratoire sus-cité.

Cette étude a été précédée par un traitement préparatoire des échantillons qui comporte une opération de quartage, une opération de séchage, une opération de concassage et broyage, et une opération de mise en solution par attaque acide décrite dans le chapitre II (l'eau régale).

Les solutions issues des six échantillons sont introduites dans un spectrophotomètre à absorption atomique avec flamme.

La concentration des métaux lourds a été effectuée sur 6 échantillons de sol qui sont les suivants : P1 (à 20 cm, 50 cm et 1 mètre de profondeur) ; P2 (à 20 cm, 50 cm et 1 mètre de profondeur).

Afin de faciliter la lecture et l'interprétation, les résultats obtenus sont représentés sous forme de tableaux et d'histogrammes dans ce qui suit.

III.8.1. Cadmium(Cd)

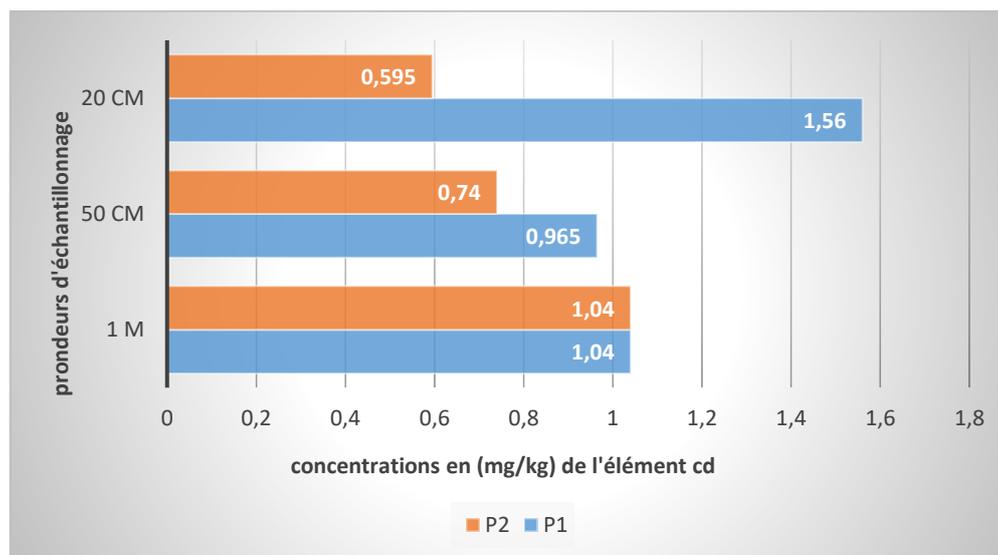
Dans la nature, le cadmium est l'un des rares éléments de la biosphère. Même à de faibles concentrations, le cadmium présent est considéré comme toxique. Le cadmium est alors considéré comme l'un des métaux les plus préoccupants pour la santé humaine.

Les teneurs obtenues en cadmium sont comprises entre 0.9 et 1.5 mg/kg au niveau du point P1 et entre 0,5 et 1 mg/kg au niveau du point P2.

Les fortes teneurs en cadmium ont été obtenues au niveau du point P1 à une profondeur superficielle allant jusqu'à 20 cm. La source de cette teneur pourrait être anthropique.

Tab.III.20. Dosage du Cadmium Cd par spectrométrie d'absorption atomique SAA.

points	Profondeurs	Concentration en (mg/l)	Concentration en (mg/kg)
P1	20 cm	0.0312	1.56
	50 cm	0.0193	0.965
	1 m	0.0208	1.04
P2	20 cm	0.0119	0.595
	50 cm	0.0148	0.74
	1m	0.0208	1.04

**Fig.III.30.** Représentation graphique des concentrations du Cadmium Cd en fonction de la profondeur.

III.8.2. Cuivre(Cu)

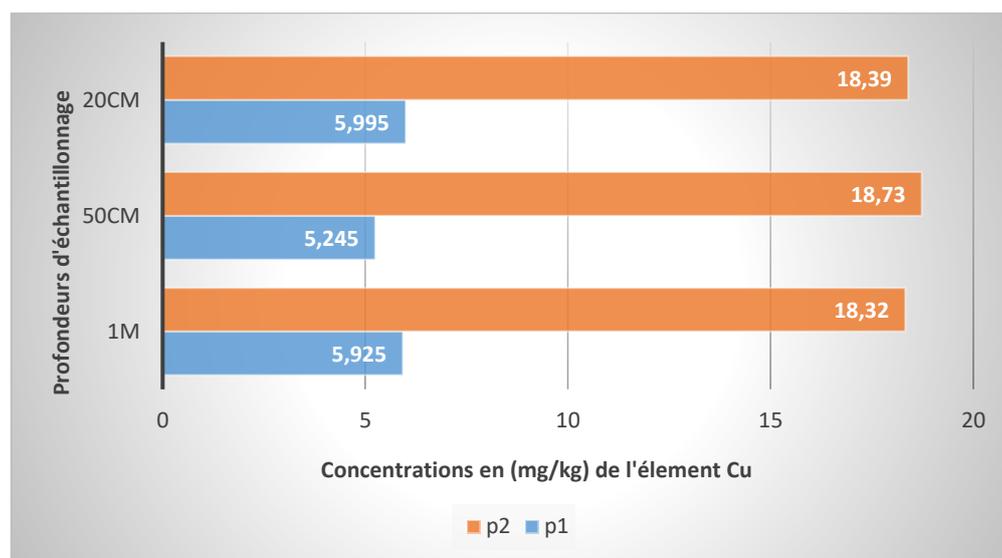
Le cuivre est un élément qui se trouve associé à des sulfures, avec le plomb, le cadmium et le zinc. Il est habituellement présent en petites quantités, mais à des fortes teneurs il sera considéré comme toxique.

Le cuivre, comme le plomb est adsorbé de manière importante par les sols, plus que les autres métaux étudiés.

Dans le C.E.T. de Demina, et à partir des résultats on constate une remarquable teneur en cuivre, relativement élevée située au niveau du point P2. Les concentrations dans les trois profondeurs sont de l'ordre de 18 mg/kg. Tandis que ces teneurs en cuivre restent modestes au niveau des trois profondeurs du point P1 qui sont de l'ordre de 5 mg/kg. La présence de cet élément est due essentiellement due aux rejets industriels et à la géologie.

Tab.III.21. Dosage du Cuivre Cu par spectrométrie d'absorption atomique SAA.

points	Profondeurs	Concentration en (mg/l)	Concentration en (mg/kg)
P1	20 cm	0.1199	5.995
	50 cm	0.1049	5.245
	1 m	0.1185	5.925
P2	20 cm	0.3678	18.39
	50 cm	0.3746	18.73
	1m	0.3664	18.32

**Fig.III.31.** Représentation graphique des concentrations du Cuivre Cu en fonction de la profondeur.

III.8.3. Zinc (Zn)

Le zinc est un élément naturellement présent dans l'écorce terrestre principalement sous forme de sulfure, dans les roches magmatiques, les sédiments argileux et les schistes.

Les émissions dans l'environnement peuvent avoir une origine naturelle par érosion, mais les principaux apports sont anthropiques.

Les résultats trouvés montrent que les teneurs en ce métal oscillent entre 22 et 24 mg/kg pour les trois échantillons du P1. Cependant on a enregistré une valeur importante du zinc au niveau du point P2 à la profondeur de 1 m.

Tab.III.22. Dosage du Zinc Zn par spectrométrie d'absorption atomique SAA.

points	Profondeurs	Concentration en (mg/l)	Concentration en (mg/kg)
P1	20 cm	0.4841	24.205
	50 cm	0.4517	22.585
	1 m	0.4430	22.15
P2	20 cm	0.1218	6.09
	50 cm	0.1339	6.695
	1m	0.9335	46.675

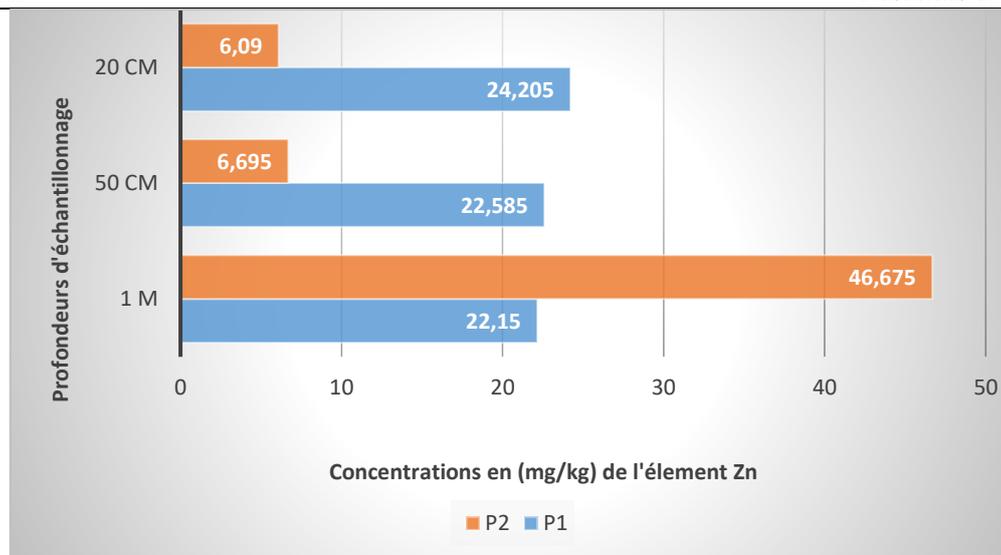


Fig.III.32. Représentation graphique des concentrations du Zinc Zn en fonction de la profondeur.

Conclusion générale

Conclusion Générale

Le travail réalisé à travers ce mémoire a eu pour objectif la caractérisation des sols du Centre d'Enfouissement Technique de Demina, à la commune de Taher, Wilaya de Jijel.

Dans une telle étude, l'outil géologique reste incontournable, puisque en effet c'est la nature géologique des sols qui définissent la possibilité d'une éventuelle contamination des sols par les nombreux déchets ; les sols détritiques sont autant plus aptes à recevoir et transférer une pollution vers les nappes phréatiques, par contre les sols calcaires fixent les polluants.

A l'issue de cette étude nous avons constaté que les sols du Centre d'Enfouissement Technique de Demina appartient aux formations géologiques du type molasses olistostromiques d'âge oligo-miocène kabyle OMK, qui sont représentés par des argiles et des limons sableux dans lesquels ce sont emballés divers blocs hétérotypes et hétérométriques.

Dans un second temps nous avons décrit les différentes méthodes adoptées pour atteindre l'objectif souligné au début du travail.

La caractérisation s'est effectuée selon deux (02) points de prélèvement. Le point(P1) situé vers l'amont du talus et le point (P2) en aval du talus. Pour chaque point de prélèvement nous avons pris trois profondeurs d'investigation (20 cm, 50 cm, et 1 m). A l'issue des résultats trouvés, nous avons abouti aux conclusions suivantes :

- Le taux d'humidité du sol ou ce qu'on appelle la teneur en eau indique que le sol est légèrement humide. La porosité calculée est estimée moyenne.
- La mesure du poids volumique humide a montré que le sol étudié est de nature dense.
- l'acidité favorise la solubilité des métaux lourds et leurs transferts dans le sol vers les nappes phréatiques, par contre l'alcalinité du sol favorise les phénomènes de fixation des métaux lourds. Les valeurs du pH sont variables de l'amont vers l'aval, et en fonction de la profondeur. Un pH peu acide a été estimé au niveau du point P2, certains minéraux alors deviennent plus toxiques grâce à l'augmentation de leur solubilité. Tandis qu'au niveau du point P1, le pH est peu alcalin, ceci peut être attribué à la présence des carbonates.
- La conductivité électrique, indice de minéralisations et donc indice de pollution a été mesuré aussi. Le résultat a montré des valeurs élevées de conductivité ce qui peut indiquer la présence des polluants minéraux concentrés en aval de la décharge, dû peut être à leur fixation dans le sol.
- L'analyse granulométrique par tamisage et sédimentométrie a indiqué que le sol traité est d'une classe granulométrique non homogène. D'après les données de la littérature, le sol est classé comme des sables argileux

- Les résultats trouvés de l'essai des limites d'Atterberg, sont cohérents avec ceux de l'analyse granulométrique, en effet l'indice de liquidité W_L nous a permis de confirmer la nature des sables argileux. Les valeurs de l'indice de plasticité et l'indice de consistance montre que la fraction argileuse contenue dans le sol est une argile peu plastique.

- A partir de l'analyse par spectrométrie de fluorescence des rayons X (FRX) le sol étudié est de nature hétérogène. Il est constitué de pourcentages élevés de la silice SiO_2 et de carbonates CaO . Cette étude a révélé aussi la présence de métaux lourds dans le sol ce qui a indiqué un potentiel de pollution pour cela nous sommes passés à la caractérisation des concentrations des métaux lourds suivants (Cd, Cu et Zn) par la technique de spectroscopie d'absorption atomique (SAA).

- Les résultats de la SAA confirment des taux relativement élevés des contaminants : Cadmium, Cuivre et Zinc

Les résultats atteints du étudier le sol de C.E.T Demina du côté de la pollution, on constate que le sol contient un pourcentage de matières polluantes (métaux lourds) qui peuvent menacer la vie humaine, et aussi les nappes phréatiques.

Liste Bibliographique

Bibliographie

- Adriano D. C. (2001).** Trace Elements In Terrestrial Environments. Biochemistry bioavailability and risks of Metals, 2nd Edition New York: Springer-Verilog.
- Amira S. et Boudanouf. H. (2016).** Approche SIG et Cartographie des zones à risques de glissement : cas de la commune de Taher – JIJEL. Mém. Master. Univ. Jijel.67p.
- Arris S. (2008).** Etude expérimentale de l'élimination des polluants organiques et inorganiques par adsorption sous-produits de céréale ». Thèse de doctorat de Univ de Constantine-Algérie. 187p.
- Atlas R. M. et Bartha R. (1992).** Microbialecology. Fundamentals and applications. 3rd édition. The Benjamin/Cummings publishing company. San Francisco, California (USA).563p.
- Baize D. (2002).** Examen critique des valeurs limites "Sols" de la réglementation française. In un point sur les éléments traces métalliques dans les sols approches fonctionnelles et spatiales. Editions Inra Paris.565p.
- Baize D. et Jabiol B. (1995).** Guide pour la description des sols, collection techniques et pratiques, Inra, Paris.
- Bayouli I. (2016).** Application de la spectrométrie de fluorescence X à l'analyse in situ des métaux dans les sols contaminés. Mém.de maîtrise avec Mém en Génie de l'Environnement M. SC. A. Univ Québec.142p.
- Berthaud, A., Anson, J., Klapper, L. F. et Singer, D. (2013).** Financial inclusion and the role of the post office. World Bank Policy Research Working Paper, (6630).
- Bouillin J.P. (1979).** Géologie Alpine de la Petite Kabylie dans les régions de Collo et d'El- Milia (Algérie), Thèse Doctorat. Univ Pierre et Marie Curie.511p.
- Bouroudi N. et Boussioud A. (2011).** Diagnostic des glissements de terrain du chemin de wilaya 135 entre Chekfa et Taher-Jijel- (Algérie nord orientale). Univ M.S.B.Y-Jijel.70p.
- Bourrelier P. H. et Berthelin G. (1998).** Contamination des sols par les éléments en traces : les risques et leur gestion. Rapport n°42, académie des sciences. (Ed). Lavoisier.300p.
- Boutouche S. (2017).** Stabilisation d'un sol argileux par traitement à la chaux et au ciment cas du site : lotissement Mokadam. Mém. De fin d'études. Univ Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou. Académique en génie civil option géotechnique.85p.
- Calvet R. (2000).** Le sol propriétés et fonctions, constitution et structure, phénomènes aux interfaces. Tome 1. Edition France agricole. Paris (France).90p.
- Casas S. (2005).** Modélisation de la bioaccumulation de métaux traces (hg, cd, Pb, Cu et Zn) chez la moule, *Mytilus Galloprovincialis*, en milieu méditerranéen. Thèse : Océanologie Biologique, environnement marin. Univ du Sud Toulon Var. 363 p.
- Chassin P. ; Baize D. ; Cambier P. et Sterckeman T. (1996).** Les éléments traces métalliques et la qualité des sols : impact à moyen et à long terme. Forum « le sol un Patrimoine Menacé ». Paris (France).303p.
- Costet J. et Sanglerat G. (1981).** « Cours pratique de mécanique des sols 1. Plasticité et calcul des tassements », Troisième Edition. Dunod.285p.

- Djellit H. (1987).** Évolution Tectono-Métamorphique de socle kabyle et polarité de mise en place des nappes de flysch en Petite Kabylie Occidentale (Algérie). Thèse doct., Univ Paris-Sud, Centre d'Orsay.206p.
- Dupain R. ; Lanchon R. et Saint-Arroman J-C. (2000).** Granulat, sols, ciments et bétons : caractérisation des matériaux de génie civil par les essais de laboratoire, 2ème Edition Conforme aux Normes Européennes. Editions Castilla, Paris.236p.
- Durand Delga M. (1969).** Mise au point sur la structure du Nord-Est de la Berberie. Bull Serv. Carte géol. Algérie.131p.
- Gobat J. M. M. ; Aragno W. et Matthey. (1998).** Le sol vivant. Bases de Pédologie Biologie des sols. Presses Polytechniques et Univ. Romandes, Lausanne.
- Goff F.et Bonnomet V. (2004).** Devenir et comportement des métaux dans l'eau : biodisponibilité et modèles BLM. Rapport Technique, Ministère de l'Ecologie et du développement durable direction de l'eau, Paris.
- Holtz R. et kavacs W. (1991).** Introduction à la géotechnique, (traduit en français par la Fleur, J). Édition de l'école Polytechnique de Montréal.808 p.
- Lemiere P. (2001).** Guide sur le comportement des polluants dans les sols et les nappes. Application dans un contexte d'évaluation détaillée des risques pour les ressources en eau. Brgm/rp-50662-FR.103 p.
- Léreau J. (2005).** Cours de 3ème année Ingénierie de la construction géotechnique. Chapitres1. Institut national des sciences appliquées de Toulouse. Département de Sciences et Technologies pour l'Ingénieur.19p.
- Léreau J. (2006).** Mécanique des sols 1. Polycopié de cours de l'institut national des sciences appliquées de Toulouse, Département de Sciences et Technologie pour l'Ingénieur, 3ème année Ingénierie de la Construction.
- Noppe K. (1996).** Contamination métallique des sédiments des cours d'eau du bassin Artoispicardie et son impact sur la contamination des chairs et des foies de poissons. Mém de fin de cycle : Hydrologie, Hydrogéologie, Géostatistiques et Géochimie. Univ pierre et Marie Curie - paris vi.92 p.
- Paul E. A. et Clark F. E. (1996).** Soil Microbiology and Biochemistry. 2nd edition. Academic press. San Diego, California (USA).340p.
- Pradyt P. (2004).** Dean's Analytical Chemistry Handbook (McGraw-Hill Handbooks). Second edition.1114p
- Quénéa K. (2004).** Etude structurale et dynamique des fractions lipidiques et organiques réfractaires de sols d'un chrono séquence foret/maïs (Cestas, Sud-Ouest de la France). Thèse de doctorat. Univ de Paris 6 (France).
- Raoult J. F. (1969).** Relation entre la dorsale Kabyle et les flysch sur la transversale de Dj. Rhédir, phase tangentielle Eocène, Paléogéographie (Nord Constantinois, Algérie). Bull. Soc. Géol. France (7), XI, Paris.543p.
- RNCan. (2010).** « Livret de renseignements sur la certification et la préparation relatives aux évaluations ».323p
- Sahnoune R. (2014).** Analyse et Caractérisation Physico-Chimique des sols d'entreposage de la station de pétrole (Bejaia). Mém de Master Univ. Bejaia.57p.

- Sanders J. R.; Mcgrath S. P. et Adams T. M. (1986).** Zinc, Copper and Nickel concentrations in Ryegrass Grown on Sewage Sludge-contaminated soils of different PH, J. SCI. Food AGR.968p.
- Sayyad G.; Afyuni M.; Mousavi S. F.; Abbaspour K. C.; Richards B. K. et Schulin R. (2010).** Transport of Cd, Cu, Pb and Zn in a calcar eousoil under wheat and safflower cultivation-A column study. Geoderma.320p,
- Sposito G. (2008).** The Chemistry of Soils. Press Oxford Univ , New York.
- Touze S. ; Chartier R. et Gaboriau H. (2004).** Etat de l'art sur les barrières perméables réactives (BPR) ». Réalisations, expériences, critères décisionnels et perspectives.131p.
- Weiss D. (1999).** Archives of Atmospheric Lead Pollution. Nature Wissenchaften.

Liste des normes

- NF X31-103. Qualité des sols – Mesure de pH dans l'eau. Méthode électrométrique.
- NF P94-056. Sols : Reconnaissance et essais. Analyse granulométrique. Méthode par tamisage à sec après lavage.
- NF P94-057. Sols : Reconnaissance et essais. Analyse granulométrique. Méthode par sédimentation.
- NF P94-051. Sols : Reconnaissance et essais. Détermination des limites d'Atterberg. Limite de liquidité à la coupelle-Limite de plasticité au rouleau.
- NF P 94-068. Sols : Reconnaissance et essais. Mesure de la capacité d'adsorption de bleu de méthylène d'un sol ou d'un matériau rocheux. Détermination de la valeur de bleu de méthylène d'un sol ou d'un matériau rocheux par l'essai à la tâche.

Les sites Web consultés

http://www.unit.eu/cours/geotechnique_routiere/3_ClassicationSols/res/image_1_ClassificationP_articlesSolides.gif.

Annexes



République Française
 Ministère de l'Énergie, de l'Industrie et des Technologies
 Direction Générale de l'Énergie, de l'Industrie et des Technologies
 Bureau de l'Énergie, de l'Industrie et des Technologies
 100 rue de la République - 93200 La Courneuve
 Téléphone : 01 49 30 30 30 - Fax : 01 49 30 30 31
 Site Internet : www.digit.fr



F5 dec 3

Structure		Feuille d'essai de laboratoire				Document de référence : NF P 94-056	
Dossier N°		SOLS Analyse granulométrique Tamisage à sec après lavage				Version	
Échantillon N°		Provenance du matériau				Date de prélèvement	
Pondage N°		Tours N°		Profondeur		Date d'essai	
Expression des résultats							
Matériau : $d_m =$ mm		Masse : $m =$ g		Partage au tamis de : mm		Masse sèche du refus au tamis de : $R_c =$ g	
Tamis (mm)	Masse des refus mesurés (g)		Masse refus R cumulé en g	Pourcentage massique		Masse passant au tamis de : $m_h =$ g	
	r_i	R_i		Refus cumulé r	Tamisat cumulé p		
100	/					Part 1 sur tamisât au tamis de	
80	/					Masse humide : $m_{h1} =$ g	
63	/					Masse sèche : $m_{s1} =$ g	
50	/					Part 2 sur tamisât au tamis de	
40	/					Masse humide : $m_{h2} =$ g	
31,5	/					Masse sèche : $m_{s2} =$ g	
20	/					Masse sèche totale	
16	/					$m_s = R_c + m_h \times m_{s1}/m_{h1}$	
12,5	/					$m_s =$ g	
10	/					Coefficient multiplicateur sur refus au tamis de 80 μ :	
5	/					$b = m_h/m_{h2}$ $b =$	
2	/					Refus cumulé : $R = R_c + b \times r_i$	
1	/					$m_{s4} =$ g	
0,4	/					$m_{s3} =$ g	
0,2	/					% refus : $r = 100 \times R/m_s$	
0,1	/					% tamisat : $100 (1 - R/m_s)$	
0,08	/						
Vérification : $(m_{s2} - m_{s4})/m_{s2} =$		$\leq 0,01$		NB : si $d_c = d_m$, $R_c = 0$, $b = 1$			
Mode opératoire							

Designations		Equipements	
		Matériel	N° identif
1) Choix de d_m : plus grande maille du tamis à utiliser.			
2) Procéder à une prise d'essai sur le matériau prélevé conformément aux indications du tableau ci-dessous :			
Masse minimale de tamisât nécessaire en fonction de la dimension des mailles du tamis			
Tamis d (mm)	5 6,3 8 10 12,5 16 20 25 31,5 40 50 63 80	Balance	
Masse de matériau m (kg)	0,3 0,4 0,5 0,8 1,2 2 3 5 8 12 20 30 50		
3) Eliminer les éléments de dimension $> d_m$ après broyage. Peser en notant la dimension approximative des plus gros éléments.			
4) Séparer par tamisage les éléments de dimension $< d_c$ des éléments de dimension $> d_c$, tel que : $5 \leq d_c < d_m$			
5) Traitement des refus au tamis d'ouverture d_c :		Série de tamis	
<ul style="list-style-type: none"> Laver le contenu du tamis à faible débit d'eau, jusqu'à ce qu'il ne reste que des éléments propres ; Recueillir le tamisât issu du lavage dans un récipient ; Rassembler dans un autre récipient les éléments de dimension $> d_c$ et sécher jusqu'à masse constante ; Tamiser à sec sur une colonne de tamis décroissants d'ouverture d_m à d_c avec un fond de tamis et peser les refus cumulés ; R_c est le refus cumulé au tamis d_c Ajouter le tamisât obtenu au tamis d_c aux éléments $< d_c$ 			
6) Traitement des passants au tamis d'ouverture d_c :		Etuve	
<ul style="list-style-type: none"> Laisser décanter et sécher à -50 °C le tamisât issu du lavage des éléments $> d_c$ Ajouter ce tamisât aux éléments $< d_c$ Malaxer la totalité du tamisât afin d'obtenir un mélange homogène puis peser (m_h) Prélever et peser une masse (m_{h1}), sécher et peser (m_{s1}) Prélever une masse (m_{h2}), tremper dans un récipient, laver sur le tamis 0.080 mm et sécher, peser (m_{s2}) Tamiser à sec sur une colonne de tamis décroissants d'ouverture $< d_c$ à 0.080 mm avec un fond de tamis et peser les refus cumulés ; (m_{s4}) est le refus cumulé au tamis 0.080 mm (m_{s3}) est le tamisât au tamis 0.080 mm s'il existe. 			
Observation		Charge d'essai Nom et Prénom Signature	
		Responsable Nom et Prénom Signature	



INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHES ET D'ÉTUDES
 EN GÉOLOGIE ET GÉOPHYSIQUE
 15, rue de la République - 93000 LA NOUVELLE DÉCAUVILLE
 FRANCE - Téléphone : 01 49 30 00 00 - Fax : 01 49 30 00 01
 Site Internet : www.inrgep.fr



F5.doc 6

Structure	Feuille d'essai de laboratoire		Document de référence NF P 94-068
Dossier N°	Détermination de la Valeur de Bleu de Méthylène d'un Sol		Version : Octobre 1998
Echantillon N° 02	Ou d'un Matériau Rocheux par l'essai à la tache VBS		
Provenance du matériau	Date de prélèvement		
Sondage N° Puits	Profondeur	Date d'essai	
Mode de prélèvement : <input type="checkbox"/> Ech intact <input type="checkbox"/> Ech Remanié <input type="checkbox"/> Ech reconstitué		% de la fraction 0/5 mm dans la fraction 0/50 mm du matériau sec :	
Expression des résultats			
Désignation		Essai 01	Essai 02
Masse humide de la première prise d'essai (mh ₁)	g		
Masse humide de la deuxième prise d'essai (mh ₂)	g		
Masse sec de la deuxième prise d'essai (ms ₂)	g	35,0	
Déterminer la proportion pondérale (C)	(%)		
Teneur en eau ($W = \frac{mh_2 - ms_2}{ms_2}$)	(%)		
Masse sèche de la prise d'essai ($m_0 = \frac{mh_1}{1+W}$)	g		
Volume du bleu introduit (V)	cm ³		
Masse de bleu introduite (solution à 10 g/l) B = Vx0.01	mg	0,6	
Si D _{max} < 5 mm; ($\gamma_{bl} = \frac{B}{m_0} \times 100$)	g/100g	1,71	
Si D _{max} > 5 mm; ($\gamma_{bl} = \frac{B}{m_0} \times C \times 100$)	g/100g		
Mode opératoire			

DESIGNATION	Norme de référence	EQUIPEMENT
Préparation de l'échantillon : le D max du matériau est sup à 50 mm prélever 10 Kg de sa fraction 0/50 mm Le D max du matériau est compris entre 5 mm et 50 mm, prélever une masse (m) du matériau humide telle que (m) > 200 D max Séparer par tamisage et si nécessaire par lavage la fraction 0/5mm contenu dans cet échantillon Déterminer la proportion pondérale (C) de la fraction 0/5 mm sèche contenu dans le matériau ou dans sa fraction 0/50 mm lorsque le D max > à 50 mm. Si le D max du matériau est < ou égal à 5 mm prélever une masse (m) du matériau humide telle que (m) > 200 D max	NFP 94-068	
Quater et homogénéiser la fraction 0/5 mm		Diviseur N Ident
Préparer trois prises d'essais de masses égales et de l'ordre de : De 30 à 60 gr : cas des sols très argileux De 60 à 120 gr : cas des sols moyennement à peu argileux		
Introduire la 1 ^{ère} prise d'essai soit (mh ₁) dans le récipient de 3000 cm ³ mise en suspension dans (500 ± 10) cm ³ d'eau déminéralisée et agiter à une vitesse de 700 tr/min ± 100 tr/min pendant 5 min		Chronomètre N Ident
Peser la 2 ^{ème} prise d'essai soit (mh ₂) humide pour déterminer la teneur en eau		Étuve N Ident
Peser la 3 ^{ème} prise d'essai soit (mh ₃) humide et conserver dans l'éventualité où l'essai doit être renouvelé		
Mode opératoire :		
Introduire dans la prise d'essai mise en imbition en agitation permanente à (400tr/min ± 100 tr/min) 5 à 10 cm ³ de solution (suivant l'argilosité du matériel). Au bout d'une minute ± 10 s, procéder à l'essai à la tache sur papier filtre		Agitateur à ailettes N Ident
Poser le papier filtre sur un support adapté non absorbant.		Burette graduée N Ident
Prélever à l'aide de la baguette de verre une goutte en suspension et la déposer sur le papier filtre jusqu'à l'apparition de l'aurole bleu clair dans la zone périphérique de la tache. la goutte prélevée doit former un dépôt central compris entre 8 et 12 mm de diamètre		
Laisser poursuivre absorption de la solution de bleu et effectuer des essais à la tache de minute en minute (sans ajout de solution) L'essai est positif si l'aurole persiste au bout de 5 taches Si l'aurole disparaît à la 5 ^e tache ou avant procéder à de nouvelles injections de bleu avec des pas de 2 à 5 cm ³ selon l'argilosité		Thermomètre N Ident
Reprendre l'essai à la tache jusqu'à ce que l'essai soit positif		
Prendre le volume total soit : (V) de solution de bleu		
Laver le récipient et les accessoires en contact avec la suspension de bleu		
Observation	Chargé d'essai Nom et Prénom Signature	Responsable Nom et Prénom Signature

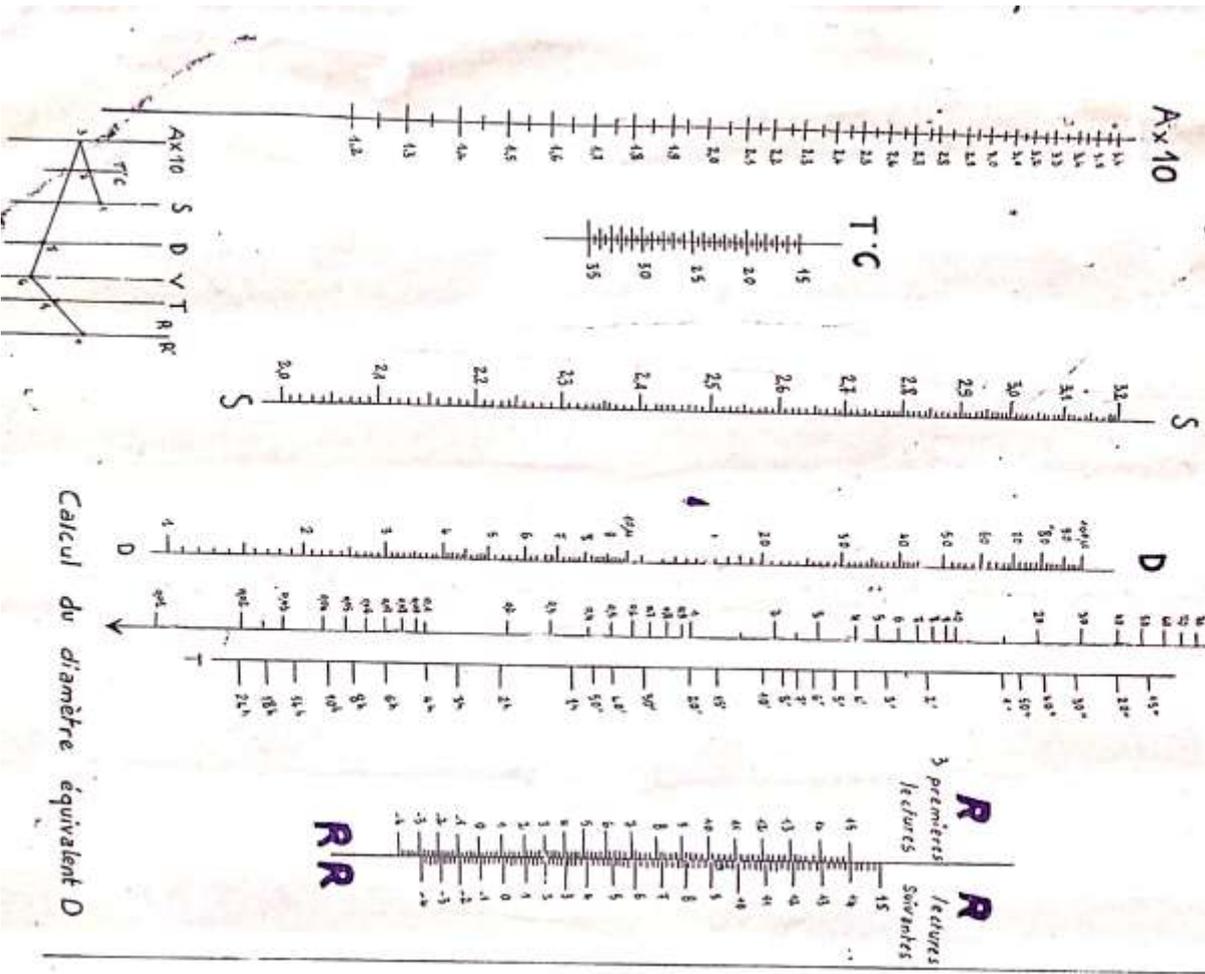


Centre de Recherches et d'Essais
 Laboratoire de Mécanique des Sols
 100000
 100000
 100000



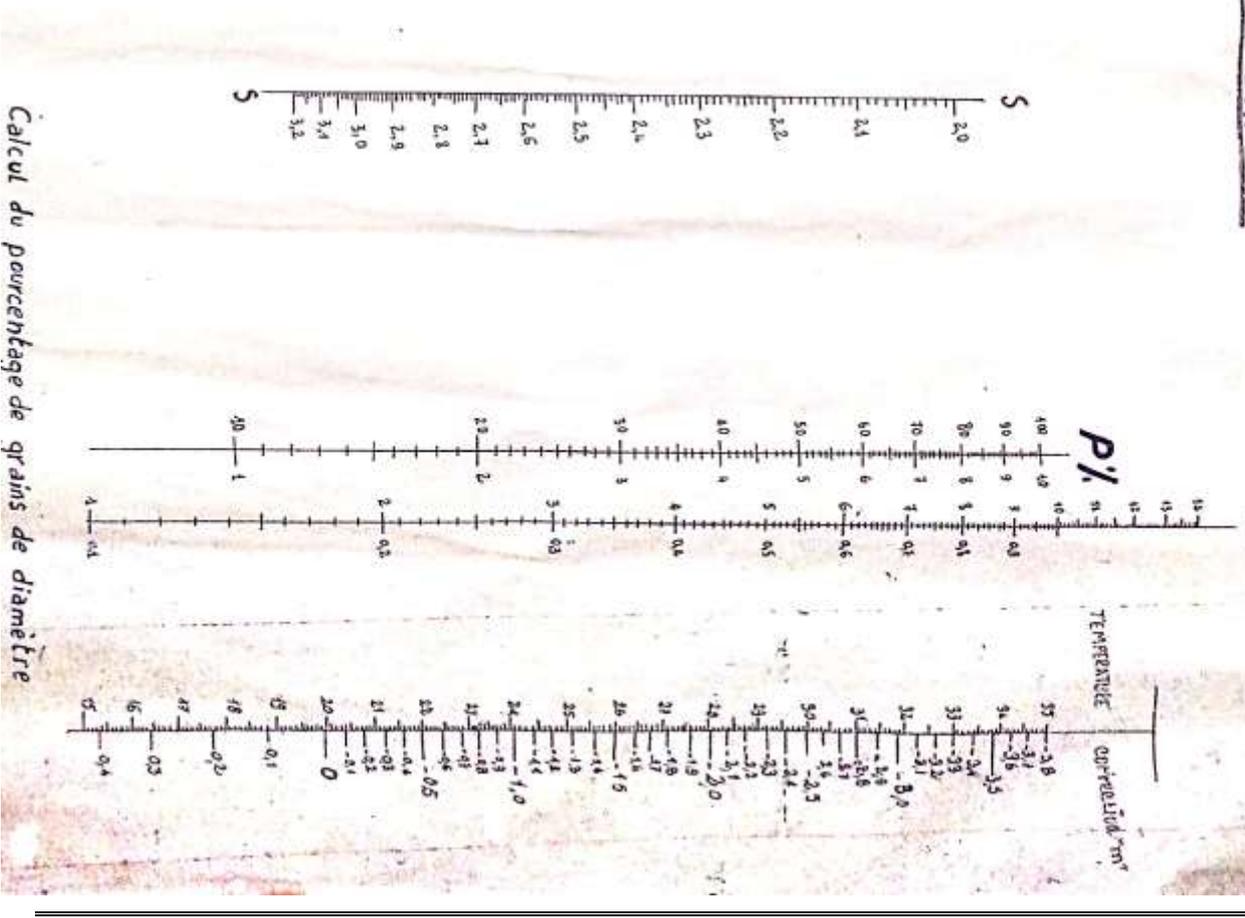
Structure		Feuille D'essai de laboratoire				Document de référence N° P 94 - 050			
Custodier P ^o		SOLS : Détermination des limites d'Atterberg				Version : Mars 1997			
Echantillon N°						FS.dor.7			
Provenance du matériau						Date de prélèvement			
Sondage N° / Puits N°		Profondeur				Date d'essai			
Expression des résultats									
Essai	Limite de liquidité				Limite de plasticité				
	1 ^{er} essai	2 ^{es} essai	3 ^{es} essai	4 ^{es} essai	1 ^{er} essai	2 ^{es} essai	3 ^{es} essai	4 ^{es} essai	
N° d'essai									
Nombre de coup									
Nombre de la tare									
Masse de l'ensemble (échantillon humide + tare) m ₁									
Tare m ₂									
Masse de l'échantillon humide m = m ₁ - m ₂									
Masse de l'échantillon sec m _s = m ₁ - m _{2s}									
Masse de l'eau m _e = m ₁ - m _{2s}									
Teneur en eau (W) = $\frac{m_e}{m_s} \times 100 = 100 \times \frac{m_e}{m_s}$ (%)									
Moyenne									
Limites d'Atterberg	W _L				W _p				
Indice de plasticité (I _p) = W _L - W _p	I _p								
Mode opératoire									
Désignations						Equipment			
						Désignation	N° Identif		
<i>Préparation du sol</i>									
Échantillonner le sol et homogénéiser le par brassage									
Imbiber dans un récipient d'eau à la température ambiante, pendant au moins 24 h, une masse de matériau gr > 2000									
Tamiser par voie humide au tamis de 400µm pour récupérer une masse > 200 g									
Recueillir l'eau de lavage et la tamiser dans un bac									
Siphonner sans entraîner de particules solides après une décantation d'au moins 12h									
Évaporer l'eau excédentaire à une température ne dépassant pas 50 °C									
<i>Détermination de la limite de liquidité</i>									
Vérification de l'appareil de Casagrande									
Mettre la totalité du tamisat afin d'obtenir une pâte homogène et presque fluide									
Partir avec la spatule, dans la coupelle propre et sèche une masse d'environ 70 g de matériau et l'étaler en plusieurs couches						BOUT DE CASAGRANDE			
Partager la pâte en deux au moyen de l'outil à rainurer									
Faire délicatement la coupelle sur le support métallique de l'appareil de Casagrande									
Actionner la came de façon à soumettre la coupelle à une série de choc à la cadence de 2 coups/seconde									
Noter le nombre N de chocs nécessaires pour que les lèvres de la rainure se rejoignent sur une longueur d'environ 1 cm									
Répéter l'essai que si N est compris entre 15 et 35 : si N < 15 ou N > 35 refaire l'essai									
Prélever environ 5 g de pâte de chaque côté des lèvres de la rainure et au voisinage de l'endroit où elles se sont refermées afin d'en déterminer la teneur en eau						NF P 94 - 050			
Placer le prélèvement dans une capsule de masse connue et peser immédiatement avant d'être introduit dans l'étuve pour dessiccation						BALANCE			
Effectuer au moins 4 fois la même opération complète sur la même pâte mais avec une teneur en eau différente à chaque fois						ETUVE			
<i>Détermination de la limite de plasticité</i>									
Former une boulette à partir de la pâte préparée									
Rouler la boulette sur une plaque lisse à la main ou éventuellement à l'aide d'une plaquette, de façon à obtenir un rouleau qui aminci progressivement jusqu'à ce qu'il atteigne un diamètre de 3 mm et une longueur d'environ 10 cm et ne doit être creux									
La limite de plasticité est obtenue lorsque, simultanément, le rouleau se fissure et que son diamètre atteint 3 mm ± 0,5mm									
Si aucune fissure n'apparaît, le rouleau est réintégré à la boulette et reformer à nouveau									
Prélever, une fois les fissures apparues, la partie centrale du rouleau et la placer dans une capsule de masse connue, la peser immédiatement et l'introduire dans l'étuve, afin de déterminer sa teneur en eau						NF P 94 - 050			
Effectuer un deuxième essai sur une nouvelle boulette									
Observation:		Chargé d'essai Nom et Prénom		signature		Responsable Nom et Prénom		signature	

NOMOGRAMME S POUR ANALYSE SEDIMENTOMETRIQUE
AVEC DENSIMETRE N° 1



Calcul du diamètre équivalent D

R1



Calcul du pourcentage de grains de diamètre

Résumé

La pollution de l'environnement est l'un des problèmes qui menacent le monde en raison des conséquences de son danger pour l'homme, les animaux et l'environnement, car elle est considérée comme la principale source de nombreuses maladies.

Pour cette raison, dans le projet de fin d'étude, nous avons caractérisé le Centre d'Enfouissement Technique (C.E.T.) de Demina, d'un point de vu géologique, puis nous avons prélevé des échantillons du sol de la zone d'enfouissement en amont et en aval du talus, sous différentes profondeurs. Par la suite nous avons mené une série d'expériences en laboratoire afin d'étudier les propriétés physiques et chimiques du sol dans l'objectif de déterminer son potentiel

Mots clés :

Machtat Demina, Centre d'Enfouissement Technique, caractérisation, métaux lourds

تلخيص

التلوث البيئي يعد من المشاكل التي تهدد العالم بسبب عواقبه الخطرة على الانسان والحيوان والبيئة حيث انه يعتبر المصدر الرئيسي للعديد من الامراض

ولهذا السبب في مشروع نهاية الدراسة قمنا بتحديد خصائص مركز الردم التقني للدمينة من وجهة نظر جيولوجية ثم جمعنا عينات من تربة مركز ردم النفايات في اعلى وأسفل المنحدر على اعماق مختلفة وبعد ذلك اجرينا سلسلة من التجارب المخبرية لدراسة الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة من اجل تحديد امكاناتها السامة على البيئة.

الكلمات المفتاحية

مشتة الدمينة، المركز التقني لردم النفايات، المعادن الثقيلة.

Abstract

Environmental pollution is one of the problems threatening the world because of the consequences of its danger to humans, animals and the environment, as it is considered to be the main source of many diseases.

For this reason, in the end-of-study project, we characterized the Demina Technical Landfill Centre (C.E.T.), from a geological point of view, then we collected soil samples from the landfill area upstream and downstream of the embankment, under different depths. Subsequently, we conducted a series of laboratory experiments to study the physical and chemical properties of the soil in order to determine its potential

Key words

Machtat Demina, Technical Landfill Center, characterization, heavy metals.