

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de L'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique

Département Génie Minier

pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état

en génie minier

Thème:

**ETUDE DES PERFORMANCES DES MATRICES DE SOLIDIFICATION UTILISEES DANS LE
TRAITEMENT DE BOURBIER DE FORAGE PETROLIER**

Proposé par :

Dr. KHODJA Mohamed

Dirigé par :

M^r. AKKAL Arezki

Réalisé par :

BELAKEHAL Yassine

BENLAMOUDI Ali

Année Universitaire 2011/2012

ENP: 10, Avenue Hacén Badi, El-Harrach, Alger

Dédicace :

Je dédie ce travail

À

Mes chers parents :

Qui m'ont toujours supporté par leurs prières, qui sont le meilleur gage pour ma réussite.

À mes frères :

MedAmine et sa femme, Ahmed, Djafer

Ma sœur et son mari Mekki

Et tous ses enfants

Pour leur amour et leurs encouragements.

À mes amis

Pour le soutien inépuisable.

Que le bon Dieu les protège

À mes oncles, mes tantes, mes cousins et cousines

*À tous mes ami(e)s et à tous ceux qui m'aiment et tous ceux qui m'ont aidé tout au long de
mes études*

Merci à vous tous

À tous ceux qui m'aiment.

Yassine 2012

Dédicace :

Louange à ALLAH Tout-Puissant qui m'a donné la force et la patience à achever ce travail

Je dédie ce travail

A

Mes chers parents :

Qui m'ont toujours supporté par leurs prières qui sont le meilleur gage pour ma réussite.

A mes chers frères et sœurs :

Zineb, Zoubir, Taha, Nourellyakine, Younes, Sara Et Karim

A mes deux grandes-mères que le dieu les maintient sous son patronage

A mes oncles, mes tantes, mes cousins et cousines

Pour leur amour et leurs encouragements.

A la mémoire de mes tantes Karima et Hayat

A mes amis durant tout mon cycle universitaire, et plus précisément mon cher éducateur spirituel Salah et mon bien-aimé Abdelaziz

Pour le soutien et l'accompagnement inépuisable.

Que le bon Dieu les protègent

A monsieur Niboue Noureddine, mon premier Maître à l'école primaire

A tous mes ami(e)s et à tous ceux qui m'aiment et tous ceux qui m'ont aidé tout au long de ma vie.

Merci à vous tous

A tous ceux qui m'aiment.

Ali 2012

REMERCIEMENTS:

Nous remercions de tous nos cœurs tous ceux et celles qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail celui-ci provient d'une collaboration entre le Centre de Recherche et de Développement (CRD), le Laboratoire Centrale des Travaux Publics (LCTP) et le laboratoire de Ministère de l'Environnement.

Nous remercions vivement monsieur AKKAL Arezki, pour avoir accepté d'encadrer ce travail.

Nous exprimons également nos vifs remerciements nos enseignants de Département de Génie Minier, spécialement, monsieur SAADA Abdel-hafid, pour avoir accepté de poursuivre notre encadrement.

Nos sincères remerciements et notre profonde gratitude vont également à notre Co-promoteur, Monsieur KHODJA Mohamed, pour avoir proposé ce sujet et suivi notre travail durant plus de trois mois. Ses capacités intellectuelles et sa modestie ont grandement contribué à l'aboutissement de ce mémoire.

Mes remerciements s'adressent aussi à toute l'équipe du LCTP, et très exceptionnellement à madame LAAZOUNI, le chef du laboratoire géotechnique, qui a été compréhensive avec nous, en nous aidant à travailler pendant une période de deux mois.

Sans oublier monsieur BOUTEMINE, que nous remercions, pour son aide durant toute la durée de notre travail.

Nous adressons ici nos vifs remerciements aux membres du jury, qui ont accepté d'examiner ce mémoire.

RESUME :

L'activité de forage et de production génèrent des volumes importants de rejets (bourbiers), composés de fluides de forage contaminés par les solides des formations géologiques traversées.

Le volume est estimé à plus de 1500 m³ par puits foré. Au niveau national, actuellement, on utilise la technique de solidification/stabilisation et la technique de traitement thermique.

La première technique consiste à encapsuler les solides contaminés dans des matrices composées essentiellement de ciment, chaux et silicates. La dureté et la durabilité des matrices sont des propriétés importantes pour la réussite de cette technique. concernant cet objectif, le travail proposé portera sur la caractérisation mécanique des matrices préparées selon des formulations préalablement optimisées.

Mots clé: fluides de forage, borbier, pollution, hydrocarbures, confinement, stabilisation/solidification, propriétés mécanique, lixiviation.

.....

SUMMARY:

Drilling activity and production generate large volumes of waste (sloughs) compounds of drilling fluids contaminated by solid geological formations traversed.

The volume is estimated at more than 1500 m³ per well drilled. At the national level, currently using the technique of solidification/stabilization and thermal treatment technique.

The first technique is to encapsulate the contaminated solid matrices composed essentially of cement, lime and silicates. The hardness and durability properties of matrices are important to the success of this technique. In this objective, the proposed work will focus on the mechanical characterization of matrices prepared according to formulations previously optimized.

Keywords: drilling fluids, mud, pollution, oil, containment, stabilization / solidification, mechanical properties, leaching.

.....

ملخص:

نشاط الحفر والإنتاج يولد كميات كبيرة من مركبات (قشور) النفايات ، يتكون من سوائل الحفر الملوثة بواسطة التكوينات الجيولوجية الصلبة .
ويقدر حجم النفايات أكثر من 1500 م3 لكل بئر حفر . على الصعيد الوطني، تستخدم حالياً تقنية التصلب/التثبيت وتقنية المعالجة الحرارية .
التقنية الأولى تركز على حصر الملوثات الصلبة داخل المصفوفات، و تتألف أساساً من الاسمنت والجير والسيليكات .
الصلابة والمتانة من خصائص المصفوفات التي تعتبر هامة لنجاح هذه التقنية . من أجل هذا الهدف، فإن العمل المقترح يركز على الخصائص الميكانيكية لمصفوفات أعدت سابقاً وفقاً لصيغ مثلى

كلمات البحث: سوائل الحفر والطين، التلوث، النفط، والاحتواء، تثبيت / التصلب و الخصائص الميكانيكية، الرشح

Sommaire

Dédicaces

Remerciements

Résumé

Liste des figures et tableaux

Abréviations utilisées

INTRODUCTION.....(01)

CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1 ETUDE ENVIRONNEMENTALE

I.1.1 La notion de la pollution(02)

I.1.1.1 Définition(02)

I.1.1.2 Les différentes sources et nature de la pollution.....(02)

I.1.1.3 La pollution par les hydrocarbures et les métaux lourds.....(04)

I.1.1.3.1 Métaux lourds.....(04)

I.1.1.3.2 Hydrocarbures.....(05)

I.1.2 Généralités sur les bourbiers de forage pétrolier.....(05)

I.1.2.1 Définition.....(05)

I.1.2.2 Composition et caractéristiques.....(06)

I.1.3 Impact sur l'environnement et la santé publique.....(06)

I.1.4 Les différentes méthodes de traitement.....(08)

I.1.4.1 Méthodes mécaniques.....(08)

I.1.4.1.1 Procédé de stabilisation par liant hydraulique..... (08)

I.1.4.1.2 Procédé de stabilisation par liant hydrocarboné..... (09)

I.1.4.1.3 La vitrification.....(10)

I.1.4.1.4 La fixation physique.....(11)

I.1.4.2 Méthodes thermiques.....(11)

I.1.4.3 Méthodes physico-chimiques.....(12)

I.1.4.4 Méthodes biologiques.....(13)

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| I.1.5 Généralités sur le procédé de stabilisation/solidification par un liant hydraulique..... | (13) |
| I.1.5.1 Objectifs..... | (13) |
| I.1.5.2 Principe de la méthode..... | (14) |
| I.1.5.3 Les facteurs agissant sur la méthode..... | (14) |
| I.1.5.3.1 La nature du ciment..... | (14) |
| I.1.5.3.2 La cendre..... | (15) |
| I.1.5.3.3 Le silicate de sodium..... | (16) |
| I.1.5.3.4 La chaux..... | (16) |

I.2 ETUDE ECONOMIQUE

| | |
|-------------------------------------------------------------------------|------|
| I.2.1 Politique de gestion des bourbiers et textes réglementaires..... | (17) |
| I.2.1.1 stratégies de gestion des bourbiers..... | (17) |
| I.2.1.2 critères d’admissibilité de bourbier en centre de stockage..... | (19) |
| I.2.1.3 règlementation des bourbiers en Algérie..... | (20) |
| I.2.1.4 facteurs financiers de la gestion des bourbiers..... | (21) |
| I.2.2 coût du procédé de traitement de bourbier..... | (21) |
| I.2.2.1 modalités de financement..... | (21) |
| I.2.2.2 coût du procédé de traitement et valorisation..... | (22) |
| I.2.2.3 Traitement fiscal des déchets (TGAP et TVA)..... | (23) |

I.3 UTILISATION DES DECHETS DANS LE DOMAINE DES TRAVAUX PUBLIQUE

| | |
|----------------------------------------------------------|------|
| I.3.1 Recyclage et valorisation du bourbier ultime..... | (24) |
| I.3.2 Utilité dans les domaines des travaux publics..... | (25) |
| I.3.2.1 Trottoirs..... | (25) |
| I.3.2.2 Routes..... | (26) |

CHAPITRE II: ETUDE EXPERIMENTALE

II.1 Etude physico-chimique:

| | |
|--------------------------------------------------------|------|
| II.1.1 Essai diffractométrique des rayons X (DRX)..... | (27) |
| II.1.1.1 Principe d’analyse..... | (27) |
| II.1.1.2 Conditions expérimentales..... | (27) |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| II.1.2 Modes opératoires des Caractéristiques physico-chimiques du borbier (humide)..... | (28) |
| II.1.2.1 Hygrométrie (humidité à 105°C)..... | (28) |
| II.1.2.2 Mesure du pH par électrométrie..... | (28) |
| II.1.2.3 Dosage du nitrate (Méthode HACH)..... | (29) |
| II.1.2.4 Dosage des nitrites (méthode HACH)..... | (30) |
| II.1.2.5 Dosage du phosphore (Méthode HACH)..... | (30) |
| II.1.2.6 Détermination de la demande chimique en oxygène DCO (méthode HACH)..... | (31) |
| II.1.2.7 Evaluation de la DBO ₅ par respirométrie (Méthode HACH)..... | (32) |
| II.1.2.8 Dosage du calcium par complexométrie..... | (33) |
| II.1.2.9 Dosage de la somme calcium-magnésium par complexométrie..... | (34) |
| II.1.3Essai de lixiviation..... | (34) |
| II.1.3.1Définition..... | (34) |
| II.1.3.2But de l'essai..... | (35) |
| II.1.3.3Mode opératoire..... | (35) |
| II.1.3.4Analyse du lixiviat..... | (35) |
| II.2 Etude mécanique: | |
| II.2.1Caractéristiques des matériaux utilisés..... | (36) |
| II.2.1.1 Ciment..... | (36) |
| II.2.1.2 Eau de gâchage..... | (37) |
| II.2.1.3 Déblai réel..... | (37) |
| II.2.2 Préparation des éprouvettes..... | (37) |
| II.2.3Essais sur la résistance mécanique..... | (38) |
| II.2.3.1 Description de l'essai..... | (38) |

CHAPITRE III: RESULTATS ET INTERPRETATION

| | |
|----------------------------------------------------------------------------|------|
| III.1 Le diffractogramme de borbier..... | (39) |
| III.2 Caractéristiques physico-chimiques du borbier (humide)..... | (41) |
| III.3 La lixiviation..... | (42) |
| III.4 La résistance à la compression..... | (43) |
| III.5 Détermination du pourcentage optimal de ciment pour le stockage..... | (44) |

CONCLUSION.....(46)

ANNEXES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Liste des figures:

Figure I.1: stratigraphie du champs de Hassi Massoud(6)

Figure II.1: la rétention des hydrocarbures par le CCl₄ (L /L).....(35)

Figure II.2 appareil de dosage par infrarouge (HORIBA).....(35)

Figure II.3: préparation des éprouvettes(37)

Figure II.4 : malaxeur(37)

Figure II.5: moule 4*4*16(38)

Figure II.6: la table vibrante(38)

Liste des tableaux:

Tableau II.1: Valeurs d'évaluation de la DBO5(32)

Tableau II.2 : La proportion des constituants du ciment CEM I(36)

Tableau II.3: Les principaux hydrates du ciment Portland CEM I.....(37)

Tableau III.1 Caractéristiques physico-chimiques du borbier(41)

Tableau III.2 Les valeurs de TPH après opération de solidification(42)

Abréviations Utilise

AFNOR: Association Française de Normalisation

DIS: Déchet industriel spécial

DTQD: Déchets Toxiques en Quantité Dispersée

DMS: Déchets Ménagers Spéciaux

CSDU: Centre de Stockage des Déchets Ultimes

EPA: l'Agence national de la Protection de l'Environnement

RCRA: Agrément de l'acte de Récupération et Conservation des Ressources

CPA: Ciment Portland Artificiels

PET: Polyéthylène Téréphtalate

PVC: Polychlorure de Vinyle

PEHD: Polyéthylène Haute Densité

EMAS: Système communautaire de Management Environnemental et d'Audit

TGAP: Taxe Générale sur les Actives Polluants

TVA: Taxe sur la Valeur Ajoutée

PDF-ICDD: Powder Diffraction File - International Center for Diffraction Data

RIR: Reference Intensity Ratio

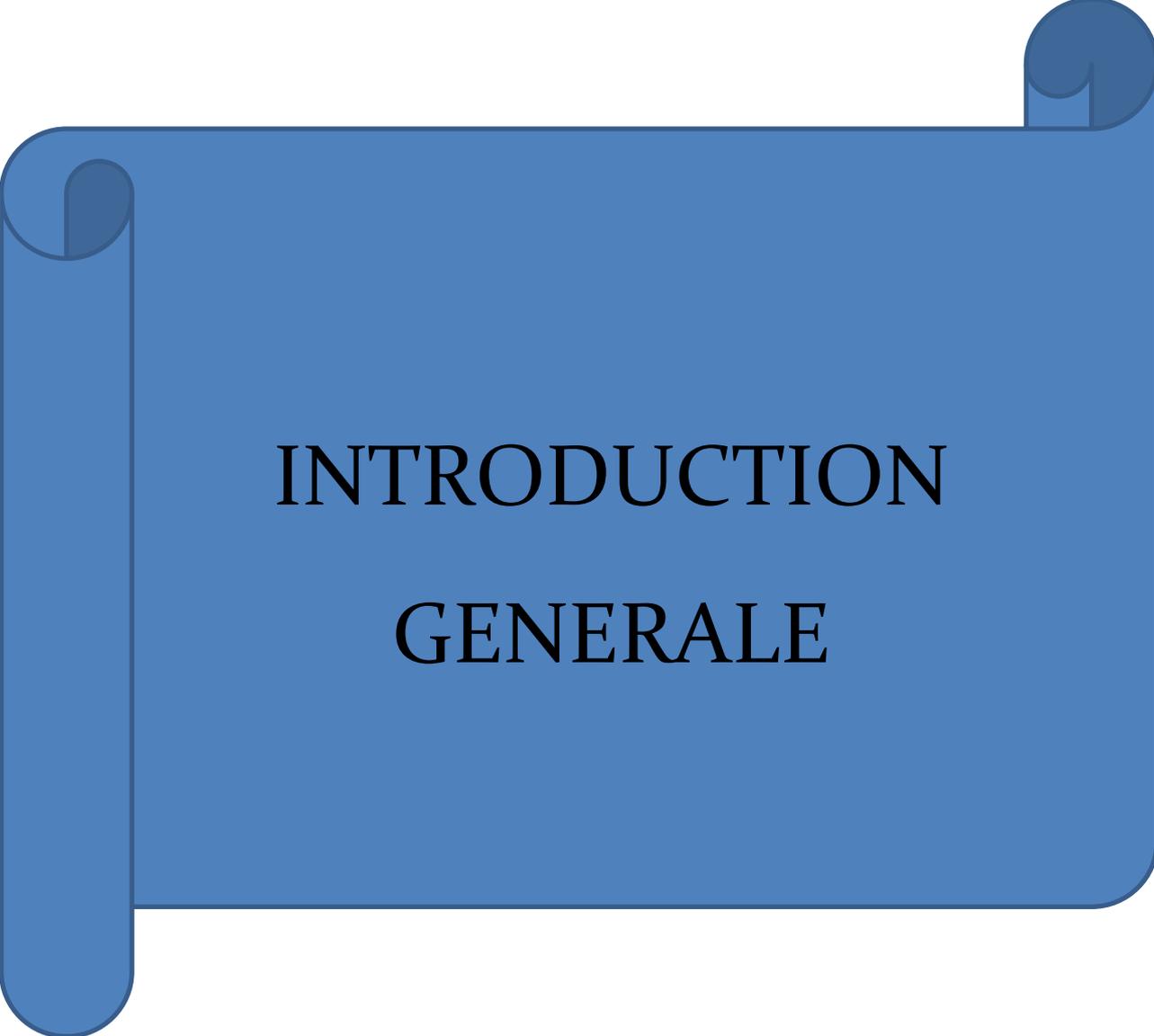
DCO: Demande Chimique en Oxygène

DBO: Demande Biochimique en Oxygène

TEA: Triéthanolamine

EDTA: Acide Ethylène Diamine Tétracétique

P.C.I. : Pouvoir Calorifique Inférieur



INTRODUCTION
GENERALE

INTRODUCTION GENERALE:

L'opération de forage pétrolier à Hassi Massoud engendre énormément de quantités de borbier, composé essentiellement de boue à l'huile, contaminé par des solides, provenant de différentes structures traversées par les puits. Une quantité de 1500 m³ par puits est un important facteur de pollution dans la biosphère, suite à l'émission de gaz toxiques, ainsi qu'au dégagement des poussières dangereuses.

L'atténuation de la pollution générée par cette opération semble être indispensable pour la préservation de l'écosystème et spécialement la santé humaine. Pour cette raison, l'utilisation de la technique de solidification/stabilisation, qui a consisté à encapsuler les solides contaminés dans des matrices, composées essentiellement de ciment. La dureté et la durabilité des matrices sont des propriétés importantes pour la réussite de cette technique. De plus, la pratique de l'opération de lixiviation a permis de contrôler l'efficacité de confinement du polluant dans les matrices solidifiées.

Le plan de travail de cette étude s'est déroulé comme suit:

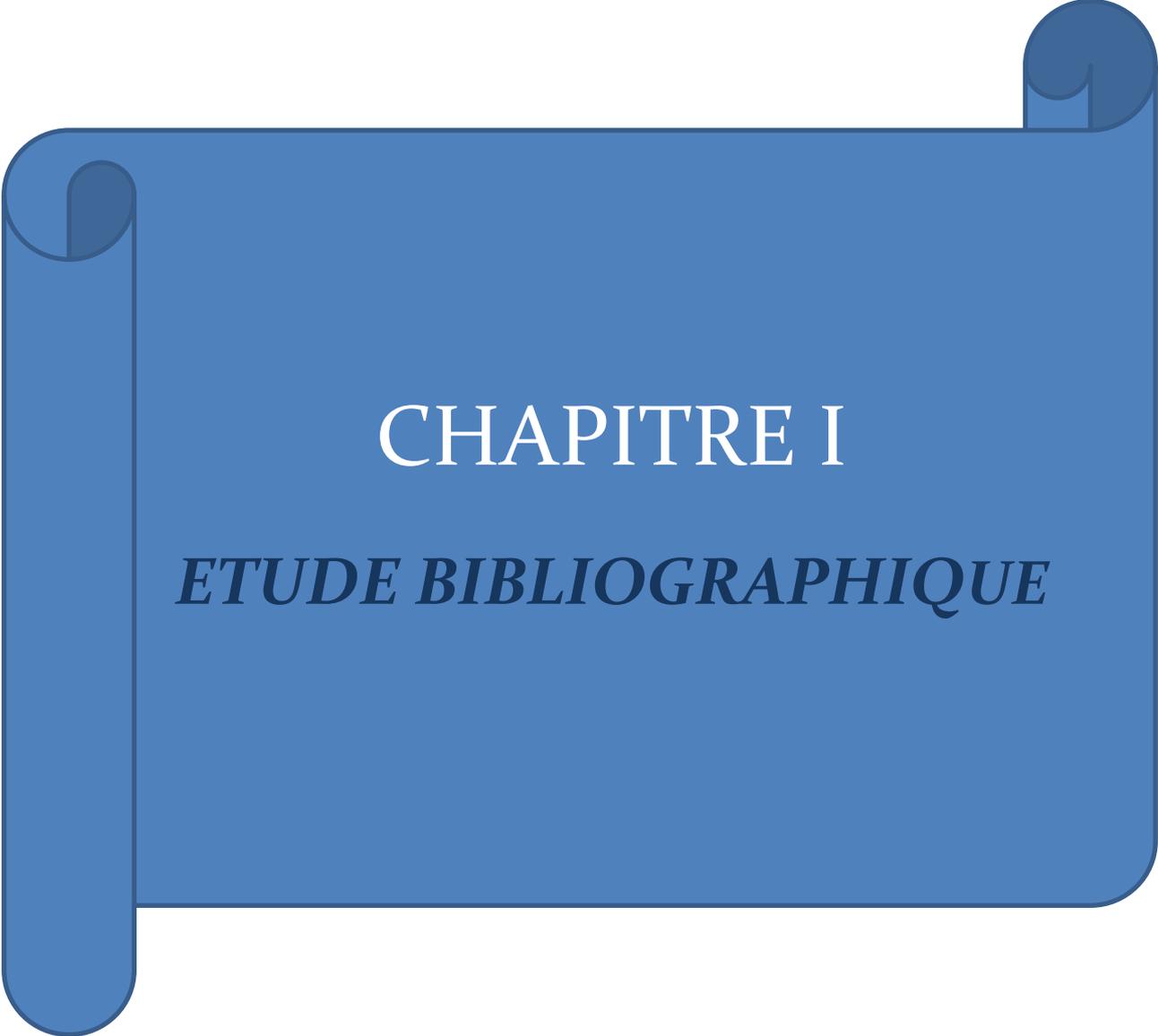
Dans le premier chapitre, on a procédé à une étude bibliographique, contenant trois parties: l'une étude environnementale, dans laquelle on a indiqué la dangerosité de rejeter le borbier directement sur les surfaces sans passer par aucun traitement ; une étude concernant l'économie des déchets et leur gestion dans les centres de stockage, selon la réglementation en Algérie; une étude de valorisation des déchets et ses utilisations dans les travaux publics.

Le second chapitre est une partie purement pratique, dans laquelle on a appliqué la diffraction des rayons X (DRX), étudié les procédés physico-chimiques pour la caractérisation de l'échantillon de borbier ; on a pratiqué l'essai de solidification/stabilisation avec différents pourcentages en ciment; la pratique de l'essai de lixiviation a été appliquée à deux pourcentages de ciment.

Le troisième chapitre a finalisé cette investigation expérimentale, répertorié tous les résultats obtenus, au vu des essais précédents, pour aboutir à des résultats pratiques, utilisables à l'échelle industrielle.

La finalité de ce travail a abouti à des recommandations sur l'utilisation du procédé de solidification/stabilisation dans le traitement de borbier de forage pétrolier.

En d'autres termes, la question est de savoir quelles sont les réponses, que l'on peut donner pour, qu'entre le profit (intérêt économique) et le respect de l'environnement, dans les entreprises pétrolières, l'aptitude des générations futures à couvrir ses besoins, ne soit pas compromise.



CHAPITRE I

ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1.1. La notion de la pollution :

I.1.1.1 Définition de la pollution:

Polluer signifie étymologiquement profaner, souiller, salir, dégrader. Ces termes ne prêtent pas à équivoque et nous paraissent tout aussi adéquats que les longues définitions données par les experts. ». [1]

Il existe une autre définition correspondant aux normes françaises « AFNOR » :
« La pollution consiste en l'introduction dans les milieux de trop grandes quantités d'agents chimiques, physiques ou biologiques, entraînant une altération de l'environnement, de nature à mettre en danger la santé humaine, à endommager les ressources alimentaires, biologiques et les écosystèmes ou encore à détériorer les biens matériels ». [2]

Une autre définition de la pollution a été rédigée par le comité scientifique officiel de la Maison blanche aux Etats-Unis pour la protection de l'environnement.

« La pollution est une modification défavorable du milieu naturel, qui apparaît en presque totalité ou en partie comme le sous-produit de l'action humaine, au travers d'effet direct ou indirect, altérant les modalités de répartition des flux d'énergie, des niveaux de radiation, de la constitution physico-chimique du milieu naturel et de l'abondance des espèces vivantes. [3]

I.1.1.2 Les différentes sources et nature de la pollution:

La pollution est généralement caractérisée par :

- _ son origine (sa source) ;
- _ la nature des polluants ;
- _ la nature des nuisances ;[4]

Les déchets sont à l'origine de toute pollution écologique; un déchet se définit comme suit:
«Tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou plus généralement tout bien meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon». [5]

D'après cette définition, on peut effectuer une première classification des déchets, basée sur l'origine des déchets:

-les déchets des collectivités locales:

Les déchets des collectivités locales correspondent à l'ensemble des déchets produits par les collectivités. Ils correspondent aux déchets de voirie, les déchets issus des marchés, la production de boues (épuration notamment) ainsi que les déchets verts.

-les déchets des ménages:

Les déchets des ménages se répartissent en deux sous- catégories : les encombrants et déchets verts, d'une part, et les ordures ménagères au sens strict, d'autre part.

-les déchets industriels:

(Ils sont constitués par les résidus des procédés de production et de transformation (les déchets chimiques, les emballages souillés, impuretés, copeaux, solvants, rebuts,...). [6]

-les déchets d'activités de soins:

Ils proviennent des activités des secteurs de la médecine humaine et vétérinaire, ainsi que les activités de recherche et d'enseignement associées.

-les déchets agricoles:

Il s'agit des déchets, provenant des élevages, des cultures, ainsi que de l'exploitation des forêts. Il est à noter que la majeure partie des déchets de l'agriculture est valorisée par retour au sol directement dans l'exploitation productrice.

Mais ce premier tri ne donne qu'une vision incomplète de ce que sont les déchets. Ainsi un autre classement peut également être fait, mais selon cette fois vis-à-vis de la nature physico-chimique des déchets:

Les déchets inertes:

Un déchet se définit comme inerte, s'il ne subit au cours du temps aucune modification physique, chimique, biologique importante. Il ne se décompose pas, ne brûle pas et ne produit aucune réaction physique ou chimique. Ils ne sont pas biodégradables et ne détériorent pas de matière, avec laquelle ils entrent en contact. Ils ne sont en aucune manière susceptible d'entraîner une pollution de l'environnement ou de nuire à la santé humaine; les déchets inertes sont donc pour la plupart assimilables au substrat naturel. Ils proviennent principalement des chantiers des bâtiments et des travaux publics et de certains secteurs industriels.

-Les déchets organiques:

Ces déchets sont composés de matière organique caractérisée par la présence de carbone, issu d'organismes vivants, végétaux ou animaux. Ces déchets peuvent subir un phénomène de biodégradabilité. Ce caractère fermentescible leur confère un caractère évolutif dans le temps. Ils sont d'origines diverses: animale, espace verts... les ordures ménagères, par exemple, contiennent une fraction fermentescible, représentant environ 30% de leur poids humide.

- les déchets banals:

Des déchets regroupent les déchets municipaux au sens large du terme et les déchets banals des entreprises, qui peuvent être valorisables par recyclage, par fermentation ou par

incinération avec récupération d'énergie. Ils ne sont, par définition, ni toxique, ni dangereux.

-les déchets toxiques ou dangereux:

Cette famille regroupe les déchets essentiellement d'origine industrielle (DIS), mais également produits par de petites entreprises ou structures (DTQD), par les ménages (DMS) ou par le monde agricole (produits phytosanitaires). Ils contiennent des substances toxiques ou dangereuses en concentration plus ou moins forte. Leur traitement doit faire l'objet de précautions particulières. Certains d'entre eux, du fait de leur toxicité reconnue, sont soumis à des contrôles et des réglementations spécifiques.

Les déchets ultimes:

Comme nous l'avons déjà évoqué, il s'agit des déchets, qui ne sont plus valorisables, ni par recyclage, ni par valorisation énergétique. A ce titre, ils sont réglementairement les seuls à pouvoir être stockés (enfouis) dans un centre de stockage des déchets ultimes (CSDU). [5]

I.1.1.3 La pollution par les hydrocarbures et les métaux lourds :

L'industrie constitue la source de pollution la plus connue. Les polluants industriels ont la redoutable particularité de contenir parfois des produits nouveaux ou mal connus, dont la redoutable particularité soit de contenir parfois des produits nouveaux ou mal connus. Cette dangerosité pour le milieu (donc pour l'homme) n'est pas évidente de prime abord. En effet, les rejets industriels souvent polluants, renferment des substances toxiques, parmi lesquelles nous citerons particulièrement les métaux lourds et les hydrocarbures.

I.1.1.3.1 Métaux lourds :

Il existe différents métaux, potentiellement toxiques, utilisés dans l'industrie, on peut en citer :

1. le sélénium.
2. le cadmium.
3. le chrome.
4. le cuivre.
5. le plomb.
6. le mercure.
7. le nickel. 8. le zinc.
9. le fer. [7]

I.1.1.3.2 Hydrocarbures :

Du point de vue chimique, l'hydrocarbure désigne un produit pur, bien défini, constitué de carbone et d'hydrogène. Au sens plus large, ce mot désigne un mélange hétérogène de composés chimiques, contenant du carbone, de l'hydrogène avec, parfois, des atomes d'oxygène, d'azote et de soufre, et qui est synonyme dans ce dernier cas, d'huile et de produits pétroliers issus essentiellement des matières organiques (végétales et animales), ayant subi des transformations à des pressions et températures élevées, lors de leur enfouissement.

« Compte tenu de la tétravalence de l'atome de carbone et de la monovalence de l'atome d'hydrogène, les hydrocarbures peuvent être classés en trois (03) familles :

- Les hydrocarbures aliphatiques (alcanes, alcènes et alcynes);
- Les hydrocarbures naphéniques (cyclo-alcanes, cyclènes et cyclanes);
- Les hydrocarbures aromatiques. ». [4]

« On peut montrer la toxicité de ces hydrocarbures, comme suit :

- Les alcanes et les cyclanes ne sont généralement pas toxiques. Sous forme gazeuse, et à forte concentration, ils pénètrent dans les poumons et donnent des sensations de crampes et une irritation de la muqueuse nasale.
- Le benzène et ses dérivés présentent à faible dose des effets neurotropes (ivresse et puis narcose)
- Deux doses plus élevées provoquent des tremblements musculaires, des convulsions et des dilatations de la pupille chez les animaux. ». [8]

I.1.2. Généralités sur les borbiers de forage pétrolier

I.1.2.1 Définition

Les cuttings sont des petits fragments de roches asymétriques, de diamètre allant de quelques dizaines de microns jusqu'à 1-2 cm, générés par l'action du trépan lors du forage des formations rocheuses, pour atteindre les réservoirs d'huile ou de gaz.

Ils diffèrent dans leurs tailles et textures, et leurs types varient de celui des grains de sable jusqu'au gravier, selon la formation rocheuse atteinte et le type de boue utilisée; pour éviter l'entassement des cuttings au fond du puits foré, ils sont remontés en surface par la boue de forage. [9]

I.1.2.2 Composition et caractéristiques

Les déblais de forage ont des caractéristiques variables et elles diffèrent, selon :

a) La boue de forage utilisée:

La composition de la boue de forage est modifiée selon la formation rocheuse atteinte, et cette modification intervient essentiellement dans le type de l'émulsion, le rapport gasoil/eau et la composition des additifs. Plus la concentration en un composé est élevée dans la boue, plus on en retrouve dans les déblais extraits. Donc, ces ajustements changeront les taux de contamination des cuttings par les éléments utilisés dans la composition de la boue de forage.

b) **La formation géologique atteinte:**

La nature de la formation est aussi importante, parce qu'elle est la source de ces déblais et de leurs contaminants. Donc, les caractéristiques, à un moment précis du forage, proviennent aussi des informations connues sur la formation atteinte.

Le réservoir de Hassi Messaoud est du type granuleux. Il comprend plusieurs séries sablonneuses d'âge Cambrien. Le Cambrien de Hassi Messaoud est composé à sa base d'argile. La granulométrie diminue vers le haut et la teneur en argile augmente en se dirigeant vers le bas. le réservoir producteur est localisé à 3.300 m, consistant en quatre formations distinctes (Ri, Ra, R2, R3).

Le réservoir sablonneux de Hassi Messaoud est constitué de quartz à l'origine; cet élément représente plus que 2/3 formé de roc, et est généralement accompagné par d'autres minéraux à savoir les silico-aluminates.

La série stratigraphique du champ de Hassi Messaoud est représentée de haut en bas par les formations suivantes. **(Figure I.1).** [9]

I.1.3. Impact sur l'environnement et la santé publique:

Les impacts environnementaux des activités de forage seraient minimales si les contaminants des déchets demeuraient à leurs points de dégagement. Malheureusement, ces déchets ou leurs contaminants peuvent être transportés d'un point à un autre, selon certaines voies de migration telles que définies ci-dessous:

a) **Évaporation:**

Les polluants chimiques, notamment les hydrocarbures contenus dans le borbier s'évaporent à des taux divers, sont transportés et dilués par les processus atmosphériques. L'évaporation

est généralement le principal processus de migration au cours des premiers jours qui suivent le déversement des déblais.

b) Solubilisation:

La plupart des contaminants des déblais sont solubles dans l'eau. Ainsi, quand des volumes élevés d'eaux usées sont déchargés sur le sol ou quand les eaux de pluie s'abattent sur le site, Ces liquides se déplacent selon le drainage naturel et topographique, jusqu'à ce qu'ils se mélangent avec les eaux de surface existantes dans la région. Ils sont difficiles à éliminer et sont absorbés par la faune et la flore.

c) l'infiltration:

Quand les déchets sont vidés dans le borbier, la fraction liquide y compris tous les produits chimiques dissous, risquent de pénétrer dans le sol en cas de détérioration de la géo membrane isolatrice, et à se déplacer de trois manières :

- Une phase liquide non aqueuse peut traverser les pores ;
- Des contaminants peuvent se dissoudre dans les eaux souterraines et être transportés par ses eaux ;
- Des solides très petits peuvent également être transportés avec l'eau.

d) Les voies entropiques:

Cette voie de migration du site contaminé se fait essentiellement lors du transport des déblais vers les sites de traitement in-situ.

L'impact des déblais sur l'environnement dépend du type de boue utilisée et des principales conditions environnementales. En mer, les boues à base d'eau sont généralement moins nuisibles que les boues à base d'huile. En revanche, les rejets des déblais dans les borbiers ou sur terre ont différents types d'effets. Un sol pollué représente trois types de risques environnementaux:

- mise en contact direct des polluants avec l'occupant du sol ;
- Lessivage des polluants par les eaux d'infiltration et transfert des polluants vers les eaux souterraines et superficielles (pollution possible des ressources en eaux) ;
- Réintroduction des polluants dans la chaîne alimentaire par les végétaux et les organismes vivants du sol environnant le lieu de décharge des cuttings.

L'impact primaire des déchets de forage sur l'environnement est l'exposition des organismes à la toxicité de ces déchets. La toxicité d'une substance est rapportée, comme étant sa concentration dans l'eau résultant en la mort de la moitié des organismes en une durée

donnée. La toxicité de divers produits chimiques utilisés pendant les activités de forage change de manière significative, de non toxique à extrêmement toxique.

La contamination du sol par les contaminants cités auparavant peut engendrer le changement de ces caractéristiques physico-chimiques, car les sols du désert sont fragiles et leur capacité à se réhabiliter est très faible. Les températures élevées, le manque de végétation et de précipitation aggravent le problème.

Le risque de contamination des aquifères dépend de leur profondeur et des caractéristiques du sol (perméabilité, porosité, etc...). Pour des aquifères plus profonds, le risque de contamination est réduit selon la longueur du chemin à parcourir par le polluant.

Cependant, les eaux souterraines sont très près de la surface, d'où un très haut risque de contamination. [9]

I.1.4. Les différentes méthodes de traitement

I.1.4.1 Méthodes mécaniques

1.1.4.1.1 Procédé de stabilisation par liant hydraulique

La stabilisation-solidification à l'aide des liants hydrauliques/ pouzzolaniques est une technique relativement peu coûteuse, facile à mettre en œuvre pour de larges familles de déchets industriels (particulièrement les boues et les résidus de procédés thermiques), parfaitement adaptée à la filière d'élimination des déchets industriels lorsqu'elle est directement intégrée au centre de stabilisation et de stockage de déchets dangereux. La sécurité à long terme peut alors être garantie par un suivi méthodique des déchets traités, de leur réception au stockage des solidifiats.

Les solidifiats obtenus peuvent être considérés comme des mortiers ou des bétons, suivant la taille des granulats qu'ils contiennent.

Ces matériaux sont massifs et poreux.

L'historique du procédé de solidification/stabilisation date seulement de 1970, avec l'établissement de l'Agence nationale de la protection de l'environnement (EPA) aux USA, dont les données ont fourni, après l'agrément de l'acte de récupération et conservation des ressources (RCRA) en 1976, cependant l'implantation réelle ne fut qu'en 1980, lorsque le système de management des déchets dangereux-toxiques était régularisé et promulgué sous le titre C de RCRA.

De 1990 jusqu'à présent, cette période est considérée comme période de maturation pour ce procédé. [6]

Stabilisation :

Ce sont des techniques qui réduisent le potentiel toxique ou dangereux par transformation des espèces toxiques (cation métalliques, anions, sels) présentes dans le déchet en espèces insolubles.

Solidification :

Ce sont des techniques permettant la transformation du déchet, qui sera entouré d'une enveloppe imperméable et chimiquement inerte (ceci réduit la migration des éléments toxiques vers le milieu extérieur) en un solide compact. La solidification n'induit pas nécessairement une réaction chimique entre le déchet et l'agent de solidification. [6]

1.1.4.1.2 Procédé de stabilisation par liant hydrocarbonés

Principe

Les bitumes ont été utilisés pour l'enrobage des déchets solides faiblement radioactifs. Les déchets enrobés sont alors contenus dans des futs métalliques. Le prix relativement bas des bitumes et leurs caractéristiques physico-chimiques et mécaniques peuvent les rendre intéressants pour des procédés de solidification de déchets solides, autres que d'origine nucléaire. Le principe de la solidification consiste alors à disperser de manière homogène le déchet granulaire dans la matrice de bitume. La viscosité du bitume, très élevée à la température ambiante, permet d'obtenir un matériau relativement solide et imperméable, où les polluants contenus dans les déchets sont confinés.

Propriétés du bitume

Le bitume est un mélange complexe d'hydrocarbures aliphatiques, naphténiques et aromatiques de masses molaires élevées, obtenu pendant la distillation des pétroles bruts.

Utilisation du bitume:

Le bitume peut être utilisé pour le confinement des déchets, grâce à son faible coût, à sa facilité de mise en œuvre et aux qualités suivantes:

- bon pouvoir agglomérant, car il adhère à la majorité des matériaux ;
- bonne stabilité physico-chimique vis- à -vis de la plupart des agents chimiques usuels ;
- très faible perméabilité et hydrophobie, qui permettent un bon confinement par rapport à l'eau.

Cependant l'enrobage dans le bitume présente des inconvénients :

- comme toute matière organique, le bitume peut être sensible à l'oxydation, à certaines agressions microbiologiques et sa présence dans un centre de stockage présenterait un risque grave en cas d'incendie ;
- l'élimination de l'eau contenue dans les déchets est nécessaire avant ou pendant leur incorporation dans le bitume chaud, avant refroidissement et durcissement ;
- les températures requises pour la fluidisation du bitume peuvent rendre nécessaire un traitement des gaz et fumées ;
- la quantité de bitume nécessaire pour un bon enrobage des déchets peut être importante et entraîner une augmentation du volume de matériau à éliminer ;
- le devenir à long terme des enrobés de bitume est difficile à prévoir : le matériau composite constitué d'une gangue organique, contenant des inclusions minérales solubles, peut connaître des évolutions dé structurantes, sous l'action de l'eau ou dans le cas de processus thermiques ou oxydants.

Mise en œuvre

Le principe du traitement est simple. Les déchets préchauffés (60 à 90°C) sont incorporés progressivement dans le bitume préalablement rendu fluide par chauffage (190°C). Un malaxage est alors effectué pendant environ 8 h. L'enrobé est alors coulé dans des colis d'environ 1 m³, puis stocké temporairement pour refroidissement avant d'être éliminé. La réglementation n'autorise cependant pas le stockage de ces matériaux, qui contiennent une forte proportion de matière organique. [10]

1.1.4.1.3 La vitrification

La vitrification consiste à retenir physico-chimiquement des polluants dans une matrice vitreuse obtenue par traitement à haute température du déchet. Cette technique aussi appelée "procédé à chaud" est utilisée principalement pour les déchets nucléaires à haute activité et pour les déchets d'amiante. Elle consiste à porter les déchets et les additifs à environ 1400°C, pour obtenir un verre en fusion, qui sera ensuite coulé en bloc, de relative petite taille, afin de limiter le temps de refroidissement. Plusieurs technologies, comme les torches à plasma ou les fours à arc, sont utilisées.

Les différentes techniques de vitrification mises en œuvre sont : la fusion électrique, la fusion par induction, la fusion par torche à plasma et par oxy-combustion. Son principal atout est la réduction importante du volume du déchet, lorsque celui-ci est auto-vitrifiable. La première barrière à son utilisation est son coût (très élevé du fait d'une installation importante

et complexe et d'une forte consommation d'énergie). Ce procédé de vitrification est très peu utilisé pour les déchets à l'exception des déchets nucléaires.

Les avantages et les inconvénients de stabilisation par vitrification sont:

| ATOUPS | LIMITES |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> ➤ Importante réduction de volume (environ 50 %) ➤ Produit obtenu très stable | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Coût élevé (gros apport énergétique) ➤ Production d'un gaz riche en polluant qu'il faut récupérer et traiter ➤ Mal adapté pour les déchets à fort P.C.I |

[11]

1.1.4.1.4 La fixation physique

La fixation physique consiste à encapsuler, c'est-à-dire à enrober les polluants du déchet. Cette technique dite "tiède" n'est pas basée sur une réaction chimique, elle consiste simplement à enrober le déchet dans une capsule bitumineuse ou plastique étanche. Ce procédé est effectué à une température d'environ 200°C, pour fluidifier le liant organique.

Les avantages et les inconvénients de stabilisation par liant organique sont :

| ATOUPS | LIMITES |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> ✓ Coût acceptable ✓ Installation technique peu encombrante ✓ Bonne étanchéité du produit obtenu | <ul style="list-style-type: none"> ✓ Incompatible avec les déchets aqueux ✓ Pas de retour d'expérience sur la tenue du produit à long terme ✓ Temps de refroidissement du déchet stabilisé assez long ✓ Mal adapté pour stabiliser des polluants chimiques (acide, déchets chlorés...) |

[11]

I.1.4.2 Méthodes thermiques:

L'analyse d'une dizaine d'échantillons de cuttings après traitement thermique montre que cette technique permet de traiter une variété de fluides et de récupérer la totalité des huiles utilisées (99%), avec un maximum d'élimination des hydrocarbures (teneur résiduelle ne dépassant souvent pas 0,1% seulement). Elle est très recommandée dans le cas des

bourbiers, contenant des OBM, de même qu'elle peut réduire la mobilité des composés inorganiques, tels que les métaux et les sels. Un traitement additionnel est recommandé, en fonction de la finalité des déchets. Le coût du traitement thermique est évalué entre 75 \$ et 150 \$/t.

Cependant, cette technique contribue à la présence des métaux lourds dans les aérosols. Leur comportement dépend des conditions thermiques et chimiques de l'environnement. Les métaux à l'état de traces sont émis après sous forme de fines particules dans la phase gazeuse. Les études de santé et d'environnement ont montré que les nanoparticules de As, Cr, Pb et Se posent de sérieux problèmes pour la santé humaine. L'augmentation de la solubilité et de la réactivité des métaux, sous forme de nanoparticules favorise l'absorption par les tissus pulmonaires. Plusieurs pays ont établi de strictes réglementations pour le contrôle de ces métaux. [12]

I.1.4.3 Méthodes physico-chimiques:

Dans le cas d'une stratégie d'élimination, on cherchera à transformer un déchet de composition complexe en deux flux séparés :

- un effluent de pollué qui pourra être rejeté dans l'environnement ;
- une fraction minérale de préférence, très peu soluble, qui pourra être acceptée au centre de stockage de déchets.

Exemple : pour un déchet aqueux, la fraction organique étant oxydé, il est possible de séparer la fraction minérale sous forme d'un solide concentré et de le stabiliser avec un liant hydraulique, avant de l'entreposer dans une décharge de déchets dangereux. Tous ces traitements font appel à des réactions chimiques d'oxydation, de réduction, de précipitation, de neutralisation et de stabilisation chimique. & Dans le cas d'une stratégie de valorisation, différents objectifs peuvent être visés :

- obtenir un produit ayant les mêmes caractéristiques que le produit neuf (régénération) ;
- extraire une ou plusieurs matières premières minérales ou organiques ;
- aboutir à des matériaux plus complexes mais valorisables. [13]

I.1.4.4 Méthodes biologiques:

La voie biologique est actuellement en plein essor et suscite de nombreux travaux. Sur le plan technique, un des problèmes fréquemment soulevé était celui de la croissance des micro-organismes sur les hydrocarbures. Sur un site de forage, il est possible d'utiliser les techniques biologiques en continu. Par exemple, le procédé de landfarming est de conception

simple, ne nécessitant pas un appareillage encombrant, ni une intervention importante de main d'œuvre. Les premiers essais pilotes réalisés sur les chantiers de forage en Algérie entraînent un coût attractif de 40 \$/t de sol avec un temps de traitement de 5 mois. Les fluides de forage : Etude des performances et Considérations environnementales Page : 176 Le taux de biodégradation est alors de 88 %. C'est une méthode écologiquement propre : on élimine presque totalement la pollution et les produits finaux issus du métabolisme microbien sont des composés, tels que le CO₂, l'eau et les sels inorganiques. Les travaux reportés par **Portier et al. (1995)** ont démontré une réduction de 70– 85% de la concentration en constituants hydrocarbonés sur chantier durant 120 jours. La vitesse attendue d'élimination des TPH (Total Petroleum Hydrocarbons) est de $36 \pm 3,5 \text{ mg.kg}^{-1}\text{sol.jour}^{-1}$. Les travaux de **McMillen et al. (2001)** résument l'expérience d'une dizaine d'années dans le domaine du biotraitement de la pollution causée par les activités d'exploration et de production. [12]

I.1.5. Généralités sur le procédé de stabilisation/solidification par un liant hydraulique:

I.1.6.1 Objectifs:

Un matériau liant est utilisé pour atteindre les objectifs de stabilisation/solidification. La matrice liante permet, outre la solidification, la réduction de la surface de contact entre le déchet et l'environnement. Elle agit ainsi comme élément de stabilisation du déchet dans la mesure où, en réduisant l'interface déchet-environnement, elle réduit la mobilité de ses contaminants. Cependant le terme de stabilisation est plus souvent retenu pour les matrices qui interagissent chimiquement avec le déchet en immobilisant les polluants.

Donc le procédé de S/S par un liant hydraulique doit répondre aux exigences suivantes :

- L'immobilisation des polluants au sein de la matrice solide.
- Diminuer la surface d'exposition du matériau à caractère massif résultant du procédé de solidification aux contacts avec l'eau.
- La limitation des risques environnementaux par le bon confinement des matrices de solidification.
- Empêcher les phénomènes de fissuration et interdire le transport des particules contenant des polluants.
- Limiter la solubilité des contaminants en cas de contact avec un fluide lixiviant.

I.1.6.2 Principe de la méthode:

La stabilisation-solidification des déchets peut être obtenue par l'ajout d'un ciment ou d'un mélange de réactifs ayant des propriétés pouzzolaniques (capacité de former à température ordinaire des matériaux stables par réaction avec la chaux et l'eau). Le ciment joue alors le rôle de liant hydraulique. Certains déchets possèdent par eux-mêmes des propriétés pouzzolaniques et sont donc susceptibles d'entrer dans la composition de ciments commerciaux (comme les laitiers de haut-fourneau ou les cendres volantes de centrales thermiques, par exemple).

Ces déchets peuvent aussi intervenir dans la formulation de mélanges réactifs pour les procédés de stabilisation-solidification. Les procédés de stabilisation-solidification en exploitation visent la substitution des matières premières (ciments, eau, etc.) par des produits/résidus issus d'autres procédés (cendres, solutions polluées, etc.). Les matériaux obtenus ont des propriétés similaires, mais permettent d'atteindre des bilans globaux plus favorables : réduction de consommation d'énergie, bilans de masse plus favorables, réduction d'émissions de CO₂, impact environnemental réduit, etc. [10]

I.1.6.3 Les facteurs agissant sur la méthode:

I.1.6.3.1 La nature du ciment

Le terme générique ciment désigne en fait différentes catégories de produits. Une catégorie est définie par sa composition et des classes caractérisant les résistances mécaniques atteintes à des échéances données.

Le ciment dit Portland, du fait de l'analogie de sa composition avec celle de la pierre de Portland, est le plus courant. Il est constitué principalement de clinker, résultant de la cuisson jusqu'à fusion partielle (vers 1450°C) puis du broyage d'un mélange de roches calcaires et argileuses. On distingue : les ciments Portland artificiels ou CPA-CEM I, contenant au moins 97% de clinker et du sulfate de calcium (gypse) comme régulateur de prise; les ciments Portland à constituants secondaires ou CPJ-CEM II, contenant plus de 65% de clinker (les constituants secondaires, de fines poudres issues de roches, sont inertes ou actifs du point de vue hydraulique). [14]

I.1.6.3.2 La cendre:

Les cendres volantes constituent un produit minéral pulvérulent, résultant du dépoussiérage des fumées rejetées par les centrales thermiques, qui utilisent du charbon broyé comme combustible. Elles possèdent la propriété d'être pouzzolaniques (cendres volantes silico-alumineuses) provoquant, en présence de la chaux, la formation de composés ayant des propriétés liantes comparables à celles d'un liant hydraulique.

Pour avoir un débouché à ces déchets, plusieurs pays (USA, pays d'Europe, Inde, ...), les valorisent dans la construction routière, notamment en :

- en terrassements (remblais et couches de forme) ;
- couches de chaussées (fondation et base) ;
- enrobés hydrocarbonés (comme filler) ;
- amélioration des sols (stabilisation mécanique ou chimique) [15]

Les avantages à long terme de la cendre volante, comme constituant du béton: elle augmente la résistance du béton. Des études ont indiqué que le béton aux cendres volantes continue d'acquérir de la résistance après 28 jours. D'une ouvrabilité améliorée, le béton aux cendres volantes nécessite moins d'eau et présente un faible rapport eau/liant, ce qui lui permet d'atteindre des niveaux de résistance élevés et de prolonger sa durabilité.

Il Diminue le retrait au séchage À l'état plastique, le béton aux cendres volantes conserve son ouvrabilité et est moins sujet aux effets de retrait lors du séchage, même s'il affiche une diminution de 10% de sa teneur en eau.

Perméabilité réduite ; l'effet de tassement des particules sphériques de la cendre volante contribue à diminuer sa perméabilité. La cendre volante réagit chimiquement avec la chaux pour former des chaînes (C-S-H) supplémentaires qui bloquent les canaux de ressuage et obturent les pores du béton.

Résistance à l'attaque des sulfates : la cendre volante se combine à l'hydroxyde de calcium libre, ce qui l'empêche de réagir avec les sulfates. Elle permet de créer une structure moins perméable et, de ce fait, augmente la résistance du béton aux agressions des solutions de sulfates solubles et en prolonge la durabilité.

Elle atténue la réaction alcalis-granulats La cendre volante réagit avec les alcalis présents dans la matrice de ciment durci, ce qui a pour effet d'atténuer leur réactivité avec les granulats.

Elle réduit la chaleur d'hydratation, habituellement, une masse importante de béton génère une température interne très élevée qui entraîne des fissures thermiques. Le béton aux cendres volantes produit beaucoup moins de chaleur, que le béton au ciment portland.

Coût concurrentiel Employé judicieusement, le béton à la cendre volante est concurrentiel au plan des coûts. Il est facile et rapide à mettre en place, requierant moins de matériel et de main d'œuvre, ce qui permet parfois de raccourcir la durée des travaux.

Facteurs environnementaux : en incorporant des cendres volantes aux mélanges à béton, les fabricants de ciment et de béton peuvent réduire les émissions de gaz à effet de serre, qui accompagnent la fabrication du ciment portland et du béton. L'emploi accru des cendres volantes dans la fabrication du béton assure une protection durable de l'environnement, en évitant l'aménagement de nouveaux lieux d'enfouissement, d'économiser d'autres ressources naturelles et par ailleurs de conserver cette précieuse ressource pour une utilisation éventuelle. [16]

I.1.6.3.3 Le silicate de sodium:

Les silicates solubles ont une fonction d'immobilisation des agents métalliques et des adaptations intéressantes comparant à utilisation 50% de chaux.

Le système est basé sur la réaction entre le ciment/silicates solubles, pour produire un matériau solide et moins poreux. Le procédé le plus connu est celui de 'CHEMFIX'.

Le procédé de 'CHEMFIX' fait partie des procédés de traitement des boues expérimentés depuis de nombreuses années. Le matériau CHEMFIX, produit de durcissement, obtenu par solidification, est pratiquement insoluble dans les conditions écologiques normales et peut être stocké sur un terrain géologiquement adapté ou être utilisé comme matériau de remblai ou matériau d'amélioration de décharge. [4]

I.1.6.3.4 La chaux:

La chaux grasse a été l'un des premiers liants utilisés un peu partout dans le monde. On distingue plusieurs catégories de chaux :

- La chaux vive ou éteinte;
- La chaux hydraulique naturelle;
- Les chaux hydrauliques artificielles.

Le traitement par chaux/cendres volantes est largement utilisé dans le traitement des déchets huileux, boues inorganiques et déchets de mines, stabilisation routière, boue usée. [4]

I.2 ETUDE ECONOMIQUE :

Introduction :

Comme nous l'avons cité précédemment, les rejets présents dans le borbier, générés par le forage, présentent un risque potentiel pour la santé humaine et les écosystèmes.

Pour éviter la diffusion des contaminants vers les profondeurs des sols, des mesures doivent être prises. Beaucoup de paramètres sont à considérer, avant de faire le choix d'une méthode de dépollution particulière : diversité des conditions locales (nature du sol, de la nappe, accessibilité, disponibilité de surface utilisable à proximité, zone urbaine ou non), pollution récente ou ancienne, étendre ou non. De plus, des exigences économiques et administratives sont à prendre en considération.

I.2.1 politique de gestion de borbier et textes réglementaires :

I.2.1.1 stratégies de gestion de borbier : [17]

Il existe cinq stratégies de gestion des déchets :

➤ Arrêt de la production de déchets :

Les problèmes, souvent liés à l'impact sur l'environnement ou la santé humaine, peuvent conduire à la nécessité de cesser l'activité, à l'origine de la production de tel ou tel déchet.

➤ Optimisation et innovation technologique :

Réduire les quantités de déchets produits et leur toxicité, cet objectif peut- être atteint progressivement au niveau de la minimisation des rejets de l'optimisation de l'utilisation des matières premières et de l'énergie par le recours à la dépollution dans un premier stade et à la non-pollution dans un second stade. La non-pollution peut être le résultat de l'optimisation du procédé, de sa modification, voire d'un changement de procédé.

➤ Mise en œuvre d'une politique de recyclage, de valorisation et de réutilisation des déchets de la production et de la consommation :

C'est dans ce domaine, que se situe l'essentiel des possibilités de gestion et de traitement des déchets.

➤ Rejet (éco-compatible) des déchets :

Cette stratégie est fondamentale. Dès lors qu'aucune des trois premières stratégies n'est plus envisageable, il y a lieu d'assurer un retour (acceptable) des déchets produits dans un milieu naturel. L'acceptabilité ou éco-compatibilité, peut être définie par le fait que des déchets sont intégrés aux cycles biogéochimiques sans entraîner de dysfonctionnement, prévisibles ou identifiables. Cet objectif peut être atteint soit par des voies de valorisation (réutilisation du déchet comme amendement en agriculture par exemple), soit après transformation chimique ou conditionnement.

➤ Stockage :

Il arrive, et c'est le cas des déchets ultimes, que la solution de stockage sur, dans ou sous le sol, demeure le recours inévitable.

Avant de procéder aux différentes filières de traitement des déchets, nous allons schématiser le cycle des déchets et sous-produits issus d'un processus industriel.

On peut répartir ces cinq stratégies en deux catégories : les stratégies préventives (arrêt de la production et innovation) et les stratégies curatives (valorisation, rejet éco-compatible, stockage), ces dernières étant désignées habituellement par le mot traitement.

Les cinq stratégies ne constituent pas intrinsèquement des solutions au problème des déchets. Ce n'est qu'en les confrontant aux deux objectifs

- réduction des nuisances et des impacts ;
- diminution des pertes de valeur.

Que l'on peut établir véritablement leur pertinence. Ainsi, l'arrêt de la production peut se révéler négatif, si le produit de substitution ou l'absence de la fonction remplie anciennement par le produit entraîne des effets négatifs imprévus sur l'environnement.

Tout en considérant qu'il est nécessaire de prendre en compte les performances effectives de la solution technique mise en œuvre dans le cadre d'une stratégie et que la résolution d'un problème de déchets peut faire intervenir plusieurs stratégies, on peut néanmoins établir une hiérarchie fondée sur les potentialités de chacune d'entre elles. Ainsi, les deux stratégies préventives offrent-elles la possibilité de réduire les impacts et d'éviter la perte de valeur due au rejet du déchet. La stratégie de valorisation, à condition d'avoir défini ses objectifs de manière cohérente et de la

mener dans le respect des contraintes environnementales, peut aussi permettre d'atteindre les deux buts. En revanche, le rejet co-compatible et le stockage n'ont aucun effet positif sur la limitation des pertes. Enfin le stockage, même s'il est pratiqué selon les règles, ne constitue pas intrinsèquement une action en faveur de la réduction des impacts.

I.1.2.2 critères d'admissibilité de boubier au centre de stockage :

Les objectifs fixés par le cahier des charges d'un procédé de stabilisation-solidification dépendent essentiellement des modes de gestion prévue pour les solidifiats. Une filière parfaitement définie est celle de l'élimination vers un centre de stockage de déchets ultimes stabilisés après inertage. Dans ce cas, le test mis en œuvre, pour caractériser le potentiel polluant des déchets, est effectué par trois lixiviations successives sur un échantillon broyé du matériau, selon la norme XP X31-210. L'arrêté du 18 Décembre 1992, définit les valeurs limites, qui représentent les critères d'admission des déchets.

La législation française fixe comme suit les critères d'admission des déchets ultimes en centre de stockage :

« Les déchets admissibles sont essentiellement solides, minéraux, avec un potentiel polluant constitué de métaux lourds peu mobilisables. Ils sont très peu réactifs, très peu évolutifs, très peu solubles. De plus, ces déchets doivent être stabilisés à court terme. Un déchet est considéré comme stabilisé, quand sa perméabilité à l'eau et sa fraction lixiviable ont été réduites et quand sa tenue mécanique a été améliorée de façon que ses caractéristiques satisfassent aux critères d'acceptation des déchets stabilisés fixés ».

Les résultats des tests sont exprimés, en fonction des modalités de calcul proposé dans l'annexe de la norme XP X31-210. Ils expriment le total des quantités extraites par les lixiviations rapportées à la masse des matériaux.

Un projet de modification de l'arrêté du 18 Décembre 1992 prévoit d'ajouter des tests de caractérisation physique, pour vérifier la résistance mécanique des déchets et les classer en tant que solides massifs, solides granulaires ou bien dans aucune de ces deux catégories. Il est alors prévu des tests de lixiviation spécifiques (norme XP X31-211NORME AFNOR X31-211. « Déchet : essai de lessivage d'un déchet solide

initialement massif ou généré par un procédé de solidification », Aout 1994, XP X31-410 ou XP X31-210), adaptés à chacune des catégories définies. [18]

I.2.1.3 Règlementation de borbier en Algérie :

Sur le plan législatif et réglementaire, plusieurs lois ont été promulguées :

- **Loi N°83-03 du 05 février 1983**, relative à la protection de l'environnement, dont certains articles ont pour objet la protection des milieux récepteurs (Article 47), et la nécessité d'éliminer les déchets (Article 90).
- **Décret N° 84-378 du 15 Décembre 1984**, fixant les conditions de nettoyage, d'enlèvement et de traitement des déchets solides urbains.
- **Le décret exécutif N° 94-43 du 30 Janvier 1994**, fixant les règles de la conservation de gisements d'hydrocarbures et de la protection des aquifères associés (Article 185,178).
- **Loi N° 01-19 du 12 Décembre 2001**, relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets.
- **Loi N° 01-20 du 12 décembre 2001**, relative à l'aménagement du territoire dans le cadre du développement durable.
- **Loi N° 02-02 du 05 Février 2002**, relative à la protection et à la valorisation de littoral.
- **Décret N° 02-372 du 11 Novembre 2002**, relatif aux déchets des emballages.
- **Loi N° 03-10 du 19 Juillet 2003**, relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable.
- **Loi N° 04-03 du 23 Juin 2004**, relative à la protection des zones de montagnes dans le cadre du développement durable.
- **Loi N° 04-09 du 14 Aout 2004**, relative à la promotion des énergies renouvelables dans le cadre du développement durable.
- **Loi N° 04-20 du 25 décembre 2004**, relative à la prévention des risques majeurs et à la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable
- Ratification par l'Algérie du Protocole de Kyoto
- Entrée en application de la fiscalité écologique en Janvier 2005, le montant de la taxe est de 24.000 DA/tonne de déchet liés aux activités de soins des hôpitaux et cliniques et de 10.500 DA/tonne de déchets industriels dangereux stockés. [19]

I.2.1.4 Facteurs financiers de la gestion du borbier :

Le traitement le plus répandu en Algérie, actuellement, est celui par solidification /stabilisation ; Ce traitement qui se fait par le biais de sociétés sous-traitantes coûte énormément aux entreprises de forage. Ainsi, le prix s'élève à 100 US\$/m³ de cuttings.

Sachant que le nombre de puits forés annuellement est au minimum de 200 ; chaque opération de forage produit en moyenne 3000 m³ ; on peut estimer les dépenses annuelles pour le traitement de déblais de forage à 60 millions US\$, équivalant à 4,32 milliards de DA. La solidification/stabilisation, quant à elle, doit ramener cette teneur à une valeur inférieure à 2% en poids.

Dans le cas du rejet des déblais sans traitement, ou bien leur confinement avant le traitement, la loi exige le paiement d'une taxe fixée à 1000 DA/m³ par mois.

D'où la nécessité de chercher une autre méthode de traitement, qui nécessite le moins possible de matériels, de produits, et qui s'effectuera online sans confinement des déblais.

I.2.2 Coût du procédé de traitement du borbier :

Observé au niveau de la protection d'une activité, de la collecte, du transport, du traitement ou du stockage, cela correspond au coût d'utilisation des facteurs de production, indépendamment de leur financement. Il s'agit donc des charges directes engagées par l'acquisition et le fonctionnement des moyens de production. Cette notion est utilisée, soit pour l'aide à la décision du choix d'une technologie ou des leviers techniques d'organisation des activités sur une filière, soit pour l'optimisation des moyens de production, soit pour identifier et estimer les déterminants des coûts. Ces coûts de production sont exprimés en €/tonne ou \$/tonne. Le coût de production est un coût que l'on peut qualifier de « coût technique », il est donc nécessaire d'en exclure les charges financières, contrairement à la pratique courante des techniciens.

I.2.2.1 Modalité de financement :

La fourniture du service met en œuvre les trois fonctions essentielles de l'autorité organisatrice, que sont :

- ✓ La fonction de production de la collecte, de transport, de traitement et de stockage des flux des déchets ;

- ✓ La fonction de financement du capital ;
- ✓ La fonction de gestion et d'animation de l'autorité organisatrice

I.2.2.2 Coût du procédé de traitement et valorisation :

Collecte unitaire : 35 à 80 €/t, en fonction de la fréquence de collecte et des configurations locales ; 1 à 2 emplois pour 1 000 t/an.

Traitements :

Incinération (conforme à la réglementation, y compris dioxines $< 0,1 \text{ ng/Nm}^3$) : 60 (cas de grosses installations) à 120 €/t. L'investissement (amortissement) représente 40 à 50 % du coût total, les coûts de fonctionnement fixes 20 à 30 %, les frais de personnel 10 % ; 0,3 emploi pour 1 000 t/an.

Les recettes (énergie, le cas échéant mâchefers) peuvent représenter 20 % du coût brut. À défaut de valorisation, les mâchefers (environ 25 % du tonnage entrant) sont mis en CET2 et les résidus de traitement des fumées (refioms) en CET1.

Stockage (CET2 conforme à la réglementation) : 40 à 100 €/t (notamment suivant la taille), dont l'investissement (amortissement) : 10 %, fonctionnement fixe : 65 à 75 %, fonctionnement variable : 10 à 15 %, et taxe générale sur les activités polluantes (TGAP) : 10 €/t ; il s'agit de coûts hors garanties financières, mais y compris coûts associés à la phase de post exploitation.

Fractions fermentescibles (hors coûts de collecte), compostage :

- Déchets verts seuls : 30 à 80 €/t ;
- Plus largement, fraction fermentescible des ordures ménagères : 40 à 100 €/t, notamment suivant le tonnage annuel, et y compris la recette liée au compost produit (0 à 10 €/t).

Méthanisation : 50 à 70 €/t.

Collectes sélectives de fractions sèches :

• Apports volontaires à des conteneurs :

- Verre : 30 à 40 €/t ; part des charges en main-d'œuvre : 25 à 30 % ; 0,2 à 1,7 emploi pour 1 000 t/an + activité en aval des « traiteurs » ;
- Journaux, magazines ou corps plats : 30 à 50 €/t ;
- Bouteilles plastiques (seules) : coût de collecte (par aspiration notamment) et séparation PET/PVC/PEHD : 220 à 300 €/t ;

Environ 5 emplois pour 1 000 t/an.

PET : polyéthylène téréphtalate.

PVC : polychlorure de vinyle.

PEHD : polyéthylène haute densité.

- Multimatériaux en porte-à-porte : vis-à-vis des collectes sélectives par apports en conteneurs, les coûts à la tonne sont plus élevés, mais généralement, le « taux de captage » est aussi plus élevé.

Les coûts (et les emplois associés) sont variables, notamment suivant que la collecte sélective est réalisée en substitution (qui nécessite cependant une fréquence de base du service de collecte relativement élevée, à savoir au moins 3 jours par semaine), en simultané ou en addition.

L'accroissement de l'emploi de la collecte est d'environ 10 % dans le cadre de collectes par substitution, 20 % en simultané, 25 à 30 % en addition. Ces chiffres s'entendent hors emplois relatifs à la communication (ambassadeurs du tri, etc.).

Au-delà, le produit de la collecte sélective est acheminé vers un centre de tri.

Le coût de tri est de 110 à 250 €/t entrante ; la part du personnel dans les charges d'exploitation est de 50 à 60 % (le tri reste largement manuel) ; il y a 3,2 emplois en moyenne (1,2 à 12 suivant les flux sélectionnés) pour 1 000 t entrantes. [20]

I.2.2.3 Traitement fiscal des déchets (TGAP et TVA) :

❖ TGAP :

Selon le gouvernement, la création de la TGAP réoriente la politique fiscale en matière de déchets, en permettant d'encourager le tri sélectif et de réduire les avantages des prix de la mise en décharge. La déclaration et la feuille de calcul doivent être adressées à la recette des douanes de Nice Port. Cette taxe s'applique :

- à tous les déchets réceptionnés dans une installation de stockage de déchets ménagers et assimilés autorisée au titre premier du livre V du code de l'environnement pour ladite réception. Le taux de cette taxe est de 9,15 € la tonne, ou de 7,5 € si l'installation de stockage a fait l'objet d'un enregistrement dans le cadre du système communautaire de management environnemental et d'audit (EMAS), défini par le règlement (CE) N° 761/2001 du Parlement européen et du Conseil, du 19 mars 2001, ou dont le système de management environnemental a été certifié conforme à la norme internationale ISO 14001 par un organisme accrédité ;

- à tous les déchets réceptionnés dans une installation de stockage des déchets ménagers et assimilés non autorisée au titre premier du livre V du code de l'environnement pour ladite réception.

Le taux de cette taxe est de 36 € la tonne pour les déchets réceptionnés après le 1er janvier 2006 ;

- à tous les déchets industriels spéciaux réceptionnés dans une installation d'élimination de déchets industriels spéciaux. Le taux de cette taxe est de 9,15 € la tonne ;

- à tous les déchets réceptionnés dans une installation de stockage de déchets industriels spéciaux. Le taux de cette taxe est de 18,29 € la tonne.

Par ailleurs, le montant minimal de versement est de 450 € par installation.

Cette TGAP s'applique à un certain nombre de lubrifiants, dont l'usage normal généré des huiles usagées et aux autres huiles et préparations lubrifiantes, lorsque leur usage particulier généré des huiles usagées. Cette taxe est due pour ces huiles à l'occasion de la réalisation de l'un des trois faits générateurs suivants :

- première livraison après fabrication nationale ;

- livraison sur le marché intérieur à la suite d'acquisition intracommunautaire ;

- mise à la consommation.

Pour les huiles de base, la taxe est due, lorsque l'utilisation de ces huiles a généré des huiles usagées. Le taux de cette taxe est fixé à 38,11 € la tonne.

❖ **TVA :**

Par ailleurs, la TVA sur la collecte, le tri sélectif et la valorisation des ordures ménagères s'élève au taux réduit de 5,5 %. [20]

I.3 UTILISATION DES DECHETS DANS LE DOMAINE DES TRAVAUX PUBLICS :

I.3.3 Recyclage et valorisation du borbier ultime :

Le recyclage est un procédé de traitement des déchets industriels et des déchets ménagers qui permet de réintroduire, dans le cycle de production d'un produit, des matériaux qui le composent.

Le recyclage a deux conséquences écologiques majeures : la réduction du volume de déchets et la préservation des ressources naturelles. C'est une des activités économiques de la société

de consommation. Certains procédés sont simples et bon marché mais, à l'inverse, d'autres sont complexes, coûteux et peu rentables.

Dans ce domaine, les objectifs de l'écologie et ceux des consommateurs se rejoignent mais parfois divergent ; c'est alors le législateur qui intervient. Ainsi, en particulier depuis les années 70, le recyclage est une activité importante de l'économie et des conditions de vie des pays développés.

Le recyclage s'inscrit dans la stratégie de traitement des déchets dite des trois R :

- réduire, qui regroupe tout ce qui concerne la réduction de la production de déchets,
- réutiliser, qui regroupe les procédés permettant de donner à un produit usagé un nouvel usage.
- recycler, qui désigne le procédé de traitement des déchets par recyclage.

Le recyclage apporte une contribution importante à la baisse des quantités de déchets à éliminer par enfouissement et par incinération, mais il n'est pas suffisant pour contrer l'augmentation de la production des déchets ou y suffit à peine. [21]

I.3.4 Utilité dans les domaines de travaux publics:

Avant de valoriser un déchet, il faut connaître son origine, l'analyser, caractériser son état actuel et son comportement dans le temps et évaluer sa traitabilité. Il s'agit donc de «mesurer pour connaître et connaître pour agir».

L'approche globale du déchet permettra d'en définir son devenir, à savoir quel type de valorisation choisir.

Nous décrivons le contexte de la gestion des différents types de déchets et les principales techniques de traitement ou d'élimination à travers le monde ; ainsi le recyclage et la réutilisation des déchets dans le domaine des travaux publics.

Mais en Algérie, le processus d'industrialisation et de développement urbain du pays s'est effectué jusqu'à récemment sans que les précautions environnementales ne soient réellement prises en considération.

I.3.2.1 Trottoirs :

Dans un premier temps, des tests de caractérisation physico-chimique ont été appliqués au déchet. Il a ainsi été mis en évidence grâce à l'analyse granulométrique du déchet, que ce dernier peut être considéré comme un sable, cette caractéristique a des implications directes dans la formulation de leur traitement.

L'analyse chimique a montré que le déchet utilisé contient des éléments polluants, d'où la nécessité de lui faire subir un traitement. Le premier traitement par solidification/stabilisation a été réalisé avec un liant hydraulique; le déchet est alors incorporé en substitution au sable dans la formulation du béton élaboré, l'objectif étant d'optimiser cette incorporation (ou ajout).

Les essais mécaniques réalisés sur des éprouvettes de boubier à deux âges différents (14 et 28 jours) ont montré que les résistances à la compression et à la traction mesurées diminuaient par rapport au témoin avec l'augmentation du pourcentage d'ajout du déchet.

L'ensemble du travail permet de distinguer deux paramètres prépondérants dans le traitement par un liant hydraulique de notre déchet. Ils correspondent à deux étapes dans la détermination de la formulation du procédé à adopter.

La première consiste à sélectionner le liant le plus efficace pour la stabilisation.

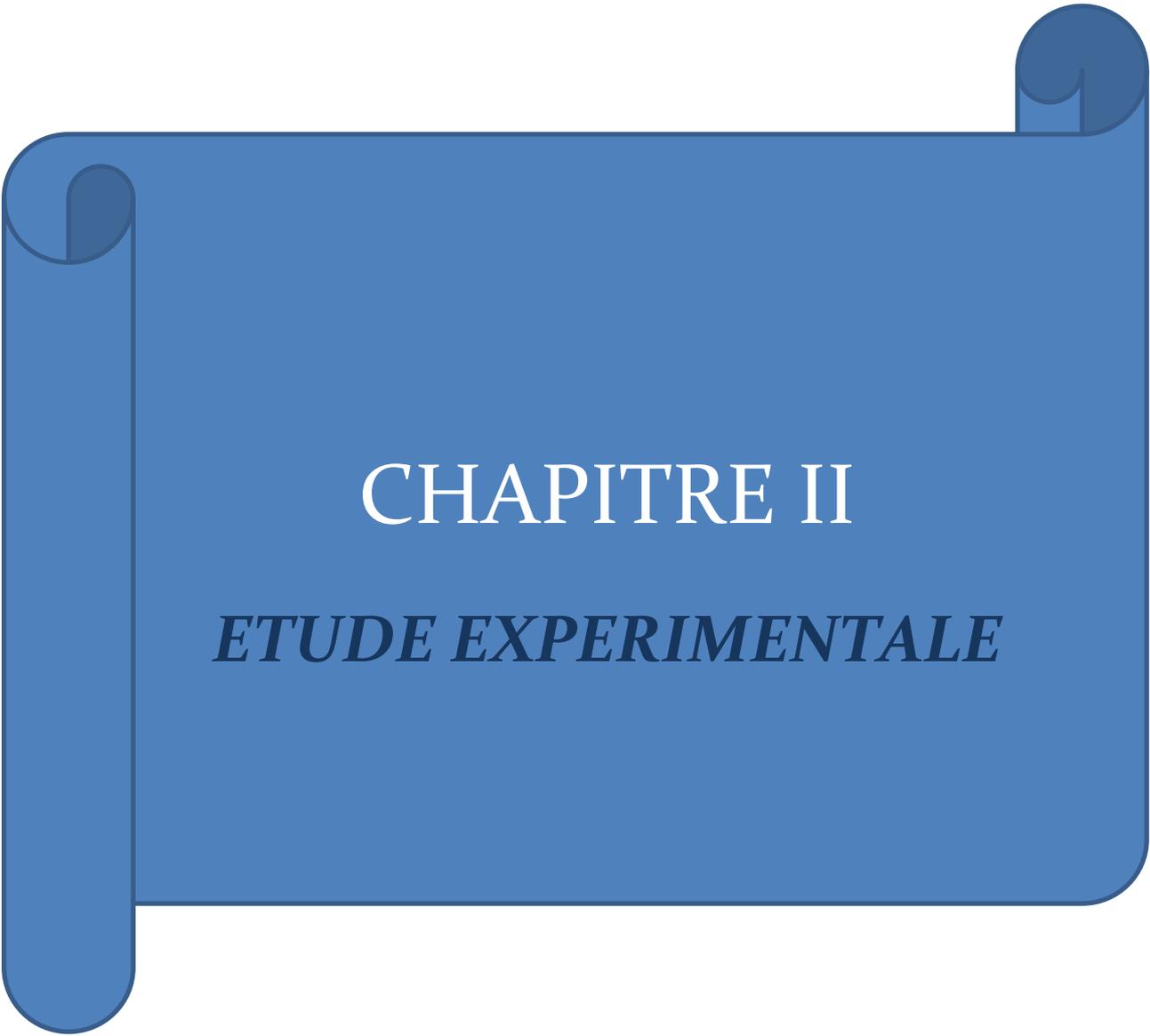
Ensuite la comparaison de la solubilisation du déchet brut dans des lixiviats. Le traitement de notre déchet par le liant hydraulique a permis d'obtenir un matériau solide et assez résistant, Pour cela, nous avons envisagé une valorisation du produit obtenu, en tant qu'élément de la construction. Il pourrait ainsi être employé dans la fabrication d'éléments secondaires, tels que les bordures de trottoir. [11]

I.3.2.2 **Route:**

L'indice du gel calculé, variant de 400 °c à 1000 °c par jour, en conséquence, il arrive que l'épaisseur calculée de la structure des chaussées, bien que satisfaisante à la charge due au trafic, ne suffise pas pour protéger la chaussée contre les effets du gel. Une couche de basse isolation thermique est apte à satisfaire à cette condition sans qu'il soit nécessaire d'augmenter l'épaisseur de la structure.

Une telle couche peut être réalisée avec des déchets comme le boubier, la cendre volante.

Au point de vue granulométrie, le boubier se place dans la classe granulométrique « Poussière » 0,002-0,63 mm. Elle se présente comme une matière, ayant une forte teneur en vide, même après compactage. L'air contenu dans les vides est un isolant excellent. [22]



CHAPITRE II

ETUDE EXPERIMENTALE

II.1 Etude physico-chimique:

II.1.1 Essai diffractométrie des rayons X (DRX):

II.1.1.1 Principe d'analyse :

Les échantillons solides finement broyés, sont montés sur un porte échantillon adéquat, est soumis à un faisceau des rayons X, pour être diffractés par les plans réticulaires des phases cristallines ; en effet, il existe une relation entre l'angle du faisceau diffracté et la distance réticulaire, séparant les plans d'atomes au sein d'un réseau cristallin ; celle-ci est régie par la loi de Bragg $n \lambda = 2d \sin \theta$ (où λ =longueur d'onde en angströms, d = distance réticulaire en angströms et θ = angle de diffraction ou de réflexion en degrés).

Un diffractogramme est obtenu à l'aide d'un diffractomètre à rayon X. Les positions et les intensités de pics observés sont comparés aux fichiers de référence PDF-ICDD (Powder Diffraction File - International Center for Diffraction Data) pour l'identification des phases minéralogiques présentes. Eventuellement l'utilisation de RIR (Reference Intensity Ratio) inclus dans le logiciel HighScore Plus du fichier PDF-ICDD pour l'estimation semi quantitative des phases correspondantes quand celle-ci est requise et/ou possible.

II.1.1.2 Conditions expérimentales :

- Diffractomètre X'Pert PRO, tube radiogène céramique à anticathode de cuivre
- Logiciel d'acquisition des data analytique : DataCollector de PANalytical
- Logiciel pour traitement des données : HighScore Plus de PANalytical
- Longueur d'onde $\text{CuK}\alpha$ [Å]: 1,5418
- Angle de départ [$^{\circ}2\text{Th.}$]: 2,0000
- Angle final [$^{\circ}2\text{Th.}$]: 70,0000
- Taille du pas [$^{\circ}2\text{Th}^{\circ}$: 0,0170
- Temps du pas [s] : 336
- Puissance du générateur à RX : 45 kV & 40 Ma

II.1.2 Modes opératoires des Caractéristiques physico-chimique du bourbier (humide):

II.1.2.1 Hygrométrie (humidité à 105°C) (Norme NF ISO 1146) :

Nous avons procédé à la détermination de la teneur pondérale en eau du sol par la méthode gravimétrique, qui s'exprime en pourcentage d'humidité par rapport à la matière sèche.

Mode opératoire :

- Tarer les creusets après refroidissement dans un dessiccateur ;
- Peser dans chaque creuset 1g d'échantillon ;
- Placer les creusets remplis d'échantillon dans l'étuve à 105°C pendant 3 heures ;
- Retirer les capsules de l'étuve, les placer dans le dessiccateur, jusqu'à l'obtention d'un poids constant(en réduisant la durée de séchage à 30 minutes, pour éviter la carbonisation de l'échantillon.

Résultat :

Le taux d'humidité s'exprime en % selon la formule suivante :

$$H\% = \frac{(P1 - P2). 100}{P0}$$

P₀ : masse de la prise d'essai ;

P₁ : poids du creuset + matière fraîche avant séchage en g ;

P₂ : poids de l'ensemble après séchage en g.

La matière sèche est calculée par la formule suivante : MS % = 100 – H%

Mesure des paramètres indicateurs de la pollution organique :

II.1.2.2 Mesure du pH par électrométrie : (Norme NF ISO 10390) :

Principe :

La détermination de la valeur du pH, consiste en la mesure d'une différence de potentiel; elle s'effectue à l'aide d'un dispositif potentiométrique.

Mode opératoire :

- Introduire dans un bécher 5 g de sol, ajuster avec de l'eau distillée jusqu'à 50 ml;
- Laisser agiter la solution pendant 30 minutes;
- Rincer abondamment l'électrode avec de l'eau distillée;
- Placer le bécher sous agitation magnétique;

- Introduire l'électrode dans la solution à analyser;
- Mettre en marche le potentiomètre.

Lecture :

Lire la valeur affichée par le potentiomètre après stabilisation, ainsi que la température de l'échantillon

➤ **Préparation du lixiviat :**

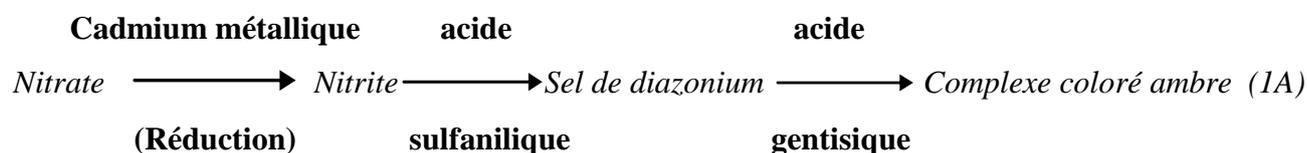
Selon la norme (**Normes NFX 31 160**), l'extraction est réalisée selon le protocole suivant:

- Introduire 10 g d'échantillon de sol dans un bécher, contenant 100 ml d'eau distillée ;
- Agiter pendant 1 heure et filtrer (à l'aide d'un papier filtre plissé) le filtrat, représentant le lixiviat à analyser.
- Vu les très fortes concentrations des lixiviats préparés, nous avons effectué des dilutions au 1/100, utilisés dans l'ensemble des dosages.

II.1.2.3 Dosage de nitrate (Méthode HACH) :

Principe:

Le dosage des nitrates nécessite une mise en œuvre préliminaire d'une réaction colorée spécifique de l'élément recherché selon la réaction suivante:



Le cadmium métallique contenu dans les gélules de réactifs réduit le nitrate présent dans l'échantillon en nitrites ; les nitrites réagissent en milieu acide avec l'acide sulfanilique pour former un sel diazonium. Ce sel réagit avec l'acide gentisique pour former un complexe coloré ambre, l'intensité de la coloration sera proportionnelle à la concentration en nitrate

Ce dosage au spectrophotomètre DR 2000 est effectué sous une longueur d'onde de 500 nm.

Mode opératoire :

- Remplir les deux cellules en verre chacune de 25 ml d'échantillon (lixiviat);
- verser le contenu d'une gélule de Nitra Ver 5 dans un flacon, qui constituera l'échantillon préparé ; un second servira de blanc;
- Agiter pendant une minute, laisser un temps de réaction pendant 5 minutes.

- Lorsque le temps de réaction est épuisé, l'affichage indique mg/l $N-NO_3^- H$, placer alors le blanc dans le puits de mesure et fermer le capot.
- effectuer la lecture, pour cela retirer d'abord le bouchon de l'échantillon préparé, en procédant de la même façon que pour le blanc.

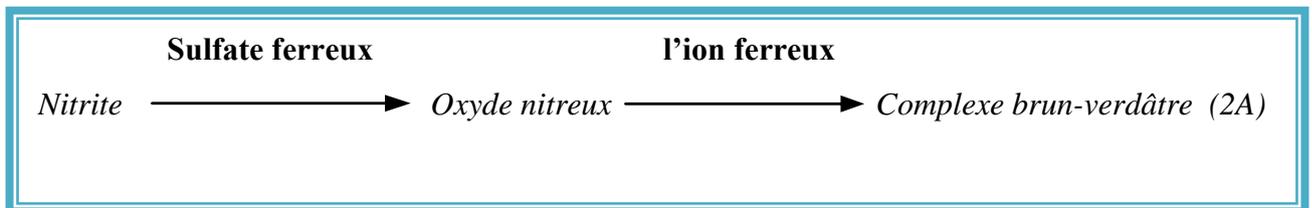
Lecture:

L'affichage indique le résultat en mg/l d'azote s'affiche.

II.1.2.4 Dosage des nitrites (méthode HACH) :

Principe:

Le dosage nécessite une mise en œuvre préliminaire d'une réaction colorée spécifique de l'élément recherché. Dans ce cas la réaction dépend de la teneur en nitrites. Pour les fortes concentrations, la réaction est:



- Régler la longueur d'onde à 585 nm.
- Prendre deux cellules en verre et remplir chacune d'elles de 25ml du lixiviat de sol ; ajouter le contenu d'une gélule de Nitri Ver 2 dans une cellule qui constituera l'échantillon préparé;
- Placer l'échantillon exempt de réactif dans le puits de mesure. L'affichage indique : 0,0 mg/l $NO_2^- H$;
- Agiter l'échantillon préparé, puis le placer dans le puits de mesure.

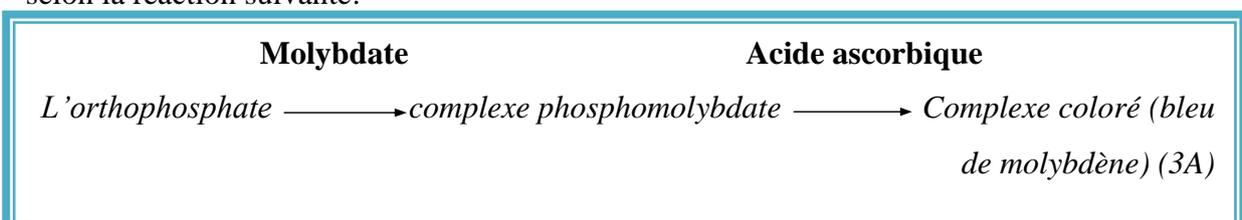
Lecture:

- La teneur en nitrites s'affiche en mg/l en nitrite s'affiche.

II.1.2.5 Dosage du phosphore (Méthode HACH) :

Principe:

Le phosphore en solution se trouve sous forme de phosphates. La seule forme de phosphate pouvant être détectée est l'orthophosphate. Toutes les autres formes doivent subir un prétraitement, afin d'être transformé en orthophosphate avant de les analyser. Le dosage de ce dernier nécessite une mise en œuvre d'une réaction colorée spécifique de l'élément recherché selon la réaction suivante:



Le dosage s'effectue à l'aide d'un spectrophotomètre (DR 2000), à une longueur d'onde de 890 nm ; l'intensité de la coloration sera proportionnelle à la concentration en phosphore.

Mode opératoire :

- Remplir un flacon colorimétrique avec 25ml de l'échantillon (lixiviat);
- Ajouter le contenu d'une gélule de réactif phos ver 3 (contenant le molybdate et l'acide ascorbique) au flacon puis agiter pour bien mélanger;
- Pour faire un blanc remplir un autre flacon avec 25ml d'échantillon.

Lecture:

Le résultat s'affiche en mg/l de PO_4^{3-} .

II.1.2.6 Détermination de la demande chimique en oxygène DCO (méthode HACH) :

Principe :

Le test de la DCO consiste en la mesure de l'oxygène, équivalent à la quantité de matière organique oxydable par le dichromate de potassium KCr_2O_7 , dans une solution d'acide sulfurique à 50%. Un composé à base d'argent est ajouté comme catalyseur, un autre composé mercurique est ajouté pour réduire les interférences dues à l'oxydation des ions chlorures par le dichromate.

L'oxydation s'effectue à une température de 150 °C pendant 2h ; la lecture se fait par colorimétrie

- Pour la forte gamme de 0 à 1500 mg/l (620 nm) ; la coloration obtenue est verte, elle correspond à la quantité de chrome trivalent produite.

Reaction:



- Homogénéiser le lixiviat à analyser en agitant pendant deux minutes ;
- Allumer le réacteur à DCO et préchauffer à 150 °C ;
- Tenir le tube incliné à 45°, prélever 2 ml de lixiviat à analyser et les introduire dans le tube ;
- Fermer hermétiquement le bouchon du tube, en tenant le tube par le bouchon au-dessus d'un évier, le retourner plusieurs fois pour mélanger le contenu, placer le tube dans le réacteur.
- Préparer un blanc, en remplaçant l'échantillon par de l'eau distillée.

- Chauffer les tubes dans un thermoréacteur pendant 2 h.
- Eteindre le réacteur, attendre environ 20 minutes, le refroidissement des tubes à 120 °C ou au-dessous.
- Retourner chaque tube plusieurs fois pendant qu'il est encore chaud, Placer les tubes sur un portoir, attendre que les tubes soient refroidis.

Lecture : Régler la longueur d'onde à 620 nm.

Résultat : Le résultat s'affiche en mg/l de DCO.

II.1.2.7 Evaluation de la DBO₅ par respirométrie (Méthode HACH) :

En fonction de la valeur de la DCO mesurée et de la valeur de DBO suspectée, on introduit une quantité connue de lixiviat dans un flacon de mesure qui est relié au système manométrique.

| Marge de DBO | Volume d'eau en ml | Coefficient de conversion |
|---------------------|---------------------------|----------------------------------|
| 0 - 40 | 432 | 1 |
| 0 - 80 | 365 | 2 |
| 0 - 200 | 250 | 5 |
| 0 - 400 | 164 | 10 |
| 0 - 800 | 97 | 220 |
| 0 - 2000 | 43,5 | 50 |
| 0 - 4000 | 22,7 | 100 |

Tableau II.1: Valeurs d'évaluation de la DBO₅

L'oxygène qui est absorbé par les microorganismes pour dégrader la matière organique, est remplacé par l'air au-dessus de l'échantillon dans le flacon. Le CO₂ produit est absorbé par la soude.

La différence de pression est directement affichée à l'échelle manométrique en mg/l de DBO.

Mode opératoire :

- Mesurer la prise d'essai et introduire dans le flacon brun en verre de 500ml de capacité ;
- Introduire au barreau magnétique dans le flacon ;

- Placer dans le sol de la bouteille le support en caoutchouc qui contiendra une à deux pastilles de NaOH ;
- Mettre le bouchon, sans le serrer ;
- Enclencher l'agitation et pour équilibrer la température (à 20° C), agiter pendant une heure ;
- Fermer les bouchons des flacons et du réservoir (à mercure) ;
- Ajuster l'échelle au niveau du mercure dans le capillaire ;
- Noter la date et l'heure de la mise en marche ;
- Lire quotidiennement les valeurs indiquées sur l'échelle.

Résultat :

Après le cinquième jour, lire le résultat sur l'échelle, le multiplier par le coefficient de conversion, le résultat correspond à la consommation d'oxygène en mg/l.

II.1.2.8 Dosage du calcium par complexométrie: API

Principe:

Il consiste en la formation d'un complexe des ions Ca^{2+} par l'acide éthylène diamine tétraacétique (EDTA) en présence d'un indicateur colorée dans une zone de pH comprise entre 12 et 13.

Réactifs:

- Prélever 20 ou 25 ml d'eau à analyser et les introduire dans un bécher ;
- Ajouter dans le bécher 5 ml de solution de KOH ou NaOH à 20% et quelques gouttes de triéthanolamine (TEA) pour masquer l'effet du fer ;
- Introduire une pièce d'indicateur coloré (calcon) ;
- Mètre sous agitation et titrer avec la solution de KOH ou d'EDTA jusqu'au virage de la coloration du rose au bleu violet ;
- Noter le volume V1 affiché sur le dosimètre.

Expression des résultats:

La concentration en ions calcium est exprimée par :

$$[\text{Ca}^{2+}] \text{ en mg/l} = \frac{V1 \cdot 40,08 \cdot 1000}{PE}$$

V1 : volume d'EDTA versé en ml.

N : Normalité de la solution d'EDTA (0.1 N).

40,08 .10³ = masse volumique de calcium en mg.

PE : prise d'essai en ml.

II.1.2.9 Dosage de la somme calcium-magnésium par complexométrie : API

Principe :

Il consiste à mettre en complexe, le calcium et du magnésium, sous un pH=10 et en présence d'un indicateur coloré le noir d'Eriochrome.

Mode opératoire :

- prélever 20 ou 25 ml d'eau à analyser dans un bêcher ;
- ajouter quelques gouttes de TEA pour masquer le fer ;
- Verser dans le bêcher 5 ml de la solution tampon ;
- Ajouter 4 à 5 gouttes de l'indicateur coloré noir d'ériochrome et mettre sous agitation ;
- Titrer à l'aide de la solution d'EDTA jusqu'au virage de couleur rouge brunâtre au bleu, noter le volume V_2 d'EDTA versé.

Expression des résultats :

La teneur en ion magnésium est déduite de l'expression :

$$[\text{Mg}^{2+}] \text{ en mg/l} = \frac{(V_2 - V_1) \cdot 24,32 \cdot 1000 \cdot N}{PE}$$

V_2 : Volume en ml nécessaire au titrage de la somme Ca + Mg.

V_1 : Volume en ml nécessaire au titrage du calcium (Ca).

$24,32 \cdot 10^3$: Masse atomique du magnésium en milligramme.

N : Normalité de la solution d'EDTA.

PE : Prise d'essais de l'eau à analyser.

II.1.3 Essai de lixiviation:

Le risque majeur de pollution réside dans l'entraînement, par les eaux, d'éléments polluants contenus dans les déchets. L'évaluation du comportement environnemental de ces déchets/matériaux doit passer par l'étude des interactions entre l'eau et ces déchets/matériaux.

II.1.3.1 Définition:

La lixiviation est l'extraction par voie liquide d'élément ou des molécules inorganiques ou organiques contenus ou fixés sur une matrice solide, mettant en œuvre des mécanismes chimiques ou biologiques.

L'essai de lixiviation est actuellement l'outil le plus répandu pour apprécier l'impact des déchets sur l'environnement, à travers l'eau et juger de leur écocompatibilité, dans les conditions de scénarios prévus. Il permet également outre la caractérisation physico-chimique

des déchets sous forme granulaire ou massive et l'identification des principaux mécanismes contrôlant le relargage.

Il a ainsi été proposé et mis au point une boîte à outils de tests de lixiviation pour l'évaluation du flux de polluants émis d'un déchet solide.

Dans notre étude l'essai de lixiviation est effectué sur une éprouvette cubique (4*4*16) ayant un pourcentage de déchet de 20%, l'essai de lixiviation est effectué au sein du laboratoire de CRD (BOUMERDES). [11]

II.1.3.2 But de l'essai:

Le test Européen EN 12-457 (anciennement XP 31-210) a pour objectif d'étudier le relargage des éléments par les déblais de forage ou par le mortier concassé (parallèle fait avec le stockage en plein air, l'utilisation en fin de vie de gravats de matériaux cimentaire). Ces tests n'ont pas la prétention de simuler des scénarii réels mais simplement de situer le déchet par rapport à des seuils normalisés ou dans le cas échéant par rapport à d'autres matériaux.

II.1.3.3 Mode opératoire:

- Broyer le monolithe en granulométrie inférieure à 4 mm ;
- Mettre 100 g de matériau broyé en contact avec l'eau déminéralisé pour un ratio L/S égal à 10 L/kg ;
- Agiter la solution avec agitation mécanique continue (30tr/minute) pendant 24 heures ;
- Filtrer le lixiviat sous vide sur un filtre lent ($\Phi = 0,45\mu\text{m}$).

II.1.3.4 Analyse du lixiviat:

- On effectue la séparation liquide-liquide (L/L), en mélangeant la solution filtrée avec le tétra chlorure de carbone (CCl_4) pour assurer la rétention des hydrocarbures par ce dernier, puis on le laisse décanter jusqu'à ce que les deux liquides (l'eau et le CCl_4 mélangé avec les hydrocarbures) soient bien séparés. (**Figure II.1**).
- On filtre la solution à l'aide d'un entonnoir et le gel de silice pour éliminer l'eau totalement.
- On met une quantité de CCl_4 pure dans un tube, qu'on va le placé par la suite dans un appareil dosage (HORIBA) (**Figure II.2**) basé sur une extraction et un dosage Infra Rouge (selon une méthode normalisée AFNOR), pour la détection de TPH de CCl_4 ; la valeur détectée est considérée comme une valeur de référence.

- on répète le dernier point mais avec le CCl_4 mélangé avec les hydrocarbures, les valeurs des TPH sont données dans le tableau ci-dessous:

II.2 Etude mécanique:

II.2.1 Caractéristiques des matériaux utilisées:

II.2.1.1 Ciment:

C'est un liant qui est constitué de poudres fines, formant avec l'eau une pâte capable par hydratation de faire prise, puis de durcir.

Dans notre étude, on utilise le ciment portland CPA CEM I 42.5, obtenu à partir du clinker et d'autres constituants secondaires. Le clinker est accompagné de gypse pour régulariser la prise. Le ciment est obtenu en général par cuisson à haute température (environ 1450 °C) d'un mélange de calcaire et de l'argile.

| Clinker (% en masse) | Constituants secondaires (% en masse) |
|----------------------|---------------------------------------|
| 95 à 100 | 0 à 5 |

Tableau II.2 : La composition des constituants du ciment CEM I

La réaction chimique commence lorsque les grains de ciment sont mis au contact de l'eau de gâchage. Il s'agit de multiples mécanismes entre les deux phases solide-liquide : l'adsorption, l'hydrolyse, la dissolution, la solvatation et enfin la cristallisation.

Les principaux hydrates du ciment Portland CEM I sont indiqués dans le tableau suivant :

| Nom | Notation cimentière | Formules chimiques |
|---------------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| Silicate de calcium hydraté | CSH | $1,7 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 2,4 \text{ H}_2\text{O}$ |
| Portlandite | CH | Ca(OH)_2 |
| Ettringite | $\text{C}_3\text{a}3\text{CsH}_{32}(\text{AFt})$ | $3\text{CaO} \cdot \text{AL}_2\text{O}_3 \cdot 3(\text{CaSO}_4) \cdot 32\text{H}_2\text{O}$ |
| Monosulfo-aluminate | $\text{C}_3\text{ACsH}_{12}(\text{AFm})$ | $3\text{CaO} \cdot \text{AL}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ |
| Aluminate tricalcique cubique hydraté | C_3AH_6 | $3\text{CaO} \cdot \text{AL}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ |

Tableau II.3: Les principaux hydrates du ciment Portland CEM I

Les produits de l'hydratation du ciment Portland sont le résultat de l'hydratation du clinker. C'est une combinaison des constituants suivants : le silicate de calcium hydraté CSH, l'ettringite $\text{C}_3\text{A} \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$, le monosulfo-aluminate $\text{C}_3\text{A} \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, la portlandite Ca(OH)_2 , des phases AFt ($\text{C}_3(\text{A},\text{F}) \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$) et AFm ($\text{C}_3(\text{A},\text{F}) \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$), $\text{C}_3(\text{A},\text{F})\text{H}_6$ et $\text{C}_4(\text{A},\text{F})\text{H}_{13}$...et des anhydres (C3S, C2S...).[24]

II.2.1.2 Eau de gâchage:

L'eau de gâchage utilisée pour la confection de béton est une eau potable du robinet sans traitement supplémentaire.

II.2.1.3 Déblai réel:

L'analyse par radiocristallographie des dépôts a mis en évidence les phases minéralogiques montre que notre borbier contient beaucoup plus des argiles.

II.2.2 Préparation des éprouvettes: (Figure II.3)

1. Pour assurer une bonne hydratation du ciment, on met dans un malaxeur une quantité pesée de ce dernier avec de l'eau de robinet pesée précédemment, en respectant le rapport Eau/Ciment(E/C)=0.47, puis on enclenche le malaxeur (**Figure II.4**) en marche

pendant 5min, ensuite on verse la quantité de boubier sur le ciment hydraté et on mélange le tout 5min autre fois;

2. On remue le contenu à l'aide d'une truelle pour éviter le problème de ségrégation, ensuite on verse la moitié du mélange dans un moule de dimension (4*4*16) cm (**Figure II.5**) fixé sur une table vibrante (**Figure II.6**), on la met en marche jusqu'à 30 coups, puis on verse l'autre moitié dans le moule pour autres 30 coups;
3. On laisse le moule sécher 24 à l'air libre, puis on le démoule, et on couvre les éprouvettes confectionnés, on les laisse sur la paillasse pour les écraser le jour de l'essai;
4. On répète la même opération pour chaque moule.

II.2.3 Essais de la résistance mécanique:

II.2.3.1 Description de l'essai:

Les essais de compression seront effectués sur des éprouvettes prismatiques déjà confectionnées, de dimension (4*4*16), à l'aide d'une presse à deux plateaux :

La contrainte de la compression est donnée par la relation suivante:

$$\sigma = F / S \text{ [MPa]}$$

F : force appliquée sur l'éprouvette (lu directement sur l'écran de la presse).

S : surface de l'éprouvette.

Avant de réaliser cet essai, plusieurs conditions doivent être respectées:

- On met en contact les faces de l'éprouvette qui étaient du côté latéral dans le moule;
- Les faces de l'éprouvette qui sont au contact de la presse, doivent être bien planes, perpendiculaires à l'axe de l'éprouvette.
- La force doit être appliquée régulièrement, avec une vitesse très lente.

La valeur de la résistance à la compression est déduite par la moyenne d'écrasement des deux demi-éprouvettes pour chaque pourcentage et pour chaque âge.

Donc $\sigma_T = \sigma_1 + \sigma_2$; avec σ_1 et σ_2 sont calculés après chaque écrasement



CHAPITRE III

RESULTATS ET DISCUSSION

III.6 Le diffractogramme de bourbier:

L'analyse par radiocristallographie des dépôts a mis en évidence les phases minéralogiques suivantes, comme indiqué sur les diffractogrammes ci-dessous :

Echantillon N°1 : échantillon Bourbier

- Barite Ba S O₄
- Quartz Si O₂
- Calcite Ca C O₃
- Anhydrite Ca (S O₄)
- Halite NaCl
- Galène Pb S
- Dolomite Ca Mg (CO₃)₂
- Kaolinite Al₂ Si₂ O₅ (O H)₄
- Bassanite Ca S O₄ !0.5 H₂O

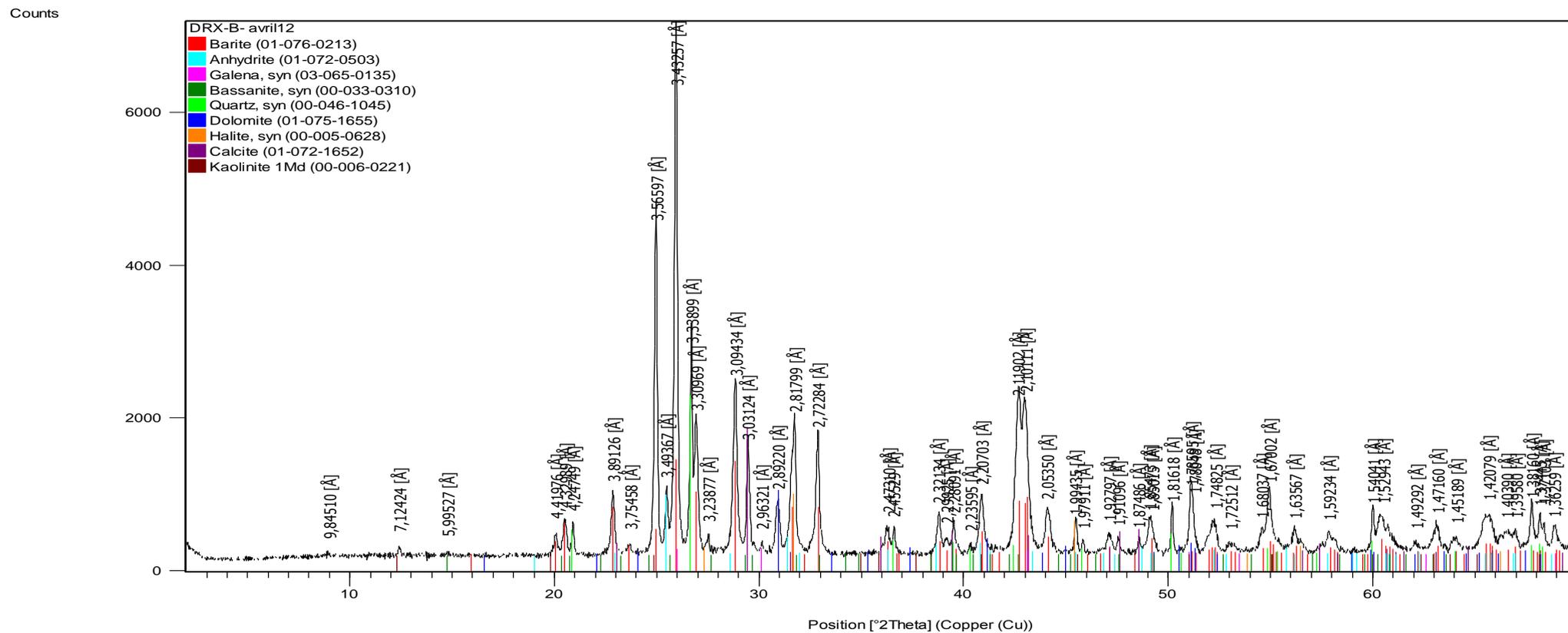


Fig.-1 : Diffractogramme de l'échantillon de boubrier

III.7 Caractéristiques physico-chimique du borbier (humide):

| | |
|-----------------------------|---------------|
| pH | 8,07 |
| HUMIDITE (%) | 4,8 |
| NITRATES (mg/l) | 0,4 |
| NITRITES (mg/l) | 5 |
| PHOSPHORE (mg/l) | 0,46 |
| CHLORURES (g/l) | 1,51 |
| RESIDUS SECS (mg/l) | 10 |
| CONDUCTIVITE (ms/cm) | 4,66 |
| DCO (mg/l) | 303 |
| DBO5 (mg/l) | 16,9 |
| CALCIUM (mg/l) | 315,63 |
| MAGNESIUM (mg/l) | 1,216 |

Tableau III.1 Caractéristiques physico-chimique du borbier

Interprétation des résultats:

Les valeurs indiquées dans le tableau ci-dessus présentent différentes caractéristiques avec valeurs très variées. On procède à la comparaison de ces dernières avec le seuil d'admission du borbier dans les centres de stockage.

Le PH de notre borbier est égale à 8.07, son milieu est donc basique, respectant la norme de stockage ($6 < PH < 9$) ; trois autres caractéristiques respectent aussi la norme et ne posent pas de problèmes sur la santé publique, ce sont: la concentration en nitrate ($0.4 \text{ mg/l} < 50 \text{ mg/l}$), la concentration en nitrite ($5 \text{ mg/l} < 50 \text{ mg/l}$), la concentration en phosphore ($< 2 \text{ mg/l}$), et celle de magnésium ($1.216 \text{ mg/l} < 20 \text{ mg/l}$).

Par ailleurs notons que le chlorure dépasse la norme de stockage ($1.51 \text{ g/l} > 0.5 \text{ g/l}$), c'est un élément dangereux pour la santé.

La faible concentration de résidus secs crée l'augmentation de la conductivité, c.-à-d. que le borbier laisse le courant électrique passer. le DCO est remarquable car étant très élevé, et dépassant la norme ($303\text{mg/l} < 125\text{ mg/l}$). Par conséquent le rapport $\frac{DCO}{DBO5}$, qui détermine la possibilité et le rendement de dégradation, que l'on peut espérer par un traitement d'oxydation biologique, sera supérieur à 3 (≈ 18); cela traduit l'apport d'un effluent industriel plus ou moins difficilement biodégradable. On conclue que le borbier est une matière organique non biodégradable, quant aux micropolluants, ils peuvent avoir une action nuisible sur la santé et l'environnement.

III.8 La lixiviation:

L'essai de lixiviation nous a donné la valeur du TPH du borbier liquide, soit 27% c.-à-d. (270.10^3 mg d'hydrocarbure dans un kilogramme de borbier).

Sachant que les normes de stockage exigent un seuil de TPH inférieur ou égal à 1000mg/l , alors que la valeur trouvée est assez élevée, ce qui nécessite d'une opération de consolidation...

L'opération de lixiviation, après consolidation, nous donne les résultats suivants:

| <i>Teneur en hydrocarbures (mg/l)</i> | <i>Échantillons</i> | |
|---------------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| 40 | <i>Déblais réels, 7^{ème} jour, Monolithe</i> | <i>Échantillon (1) (40%/60%)</i> |
| 41 | <i>Déblais réels, 7^{ème} jour, broyé</i> | |
| 170 | <i>Déblais réels, 7^{ème} jour, Monolithe</i> | <i>Échantillon(2) (20%/80%)</i> |
| 600 | <i>Déblais réels, 7^{ème} jour, broyé</i> | |

Tableau III.2 Les valeurs de TPH après opération de solidification

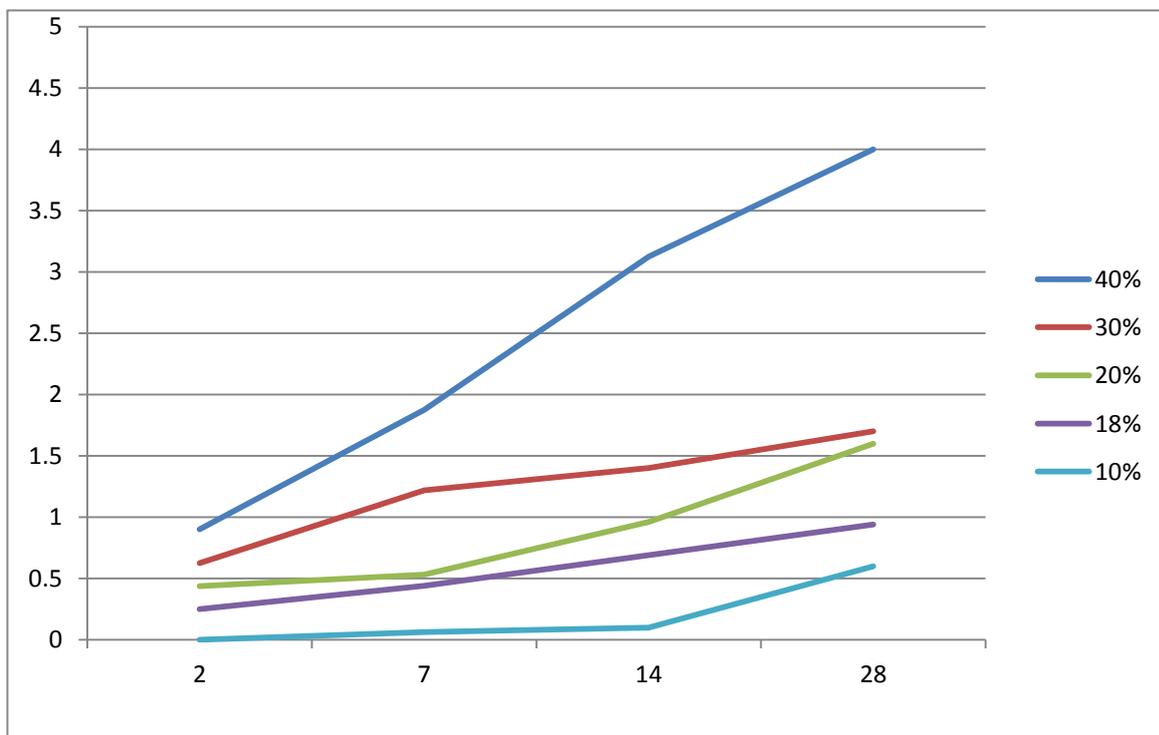
Pour l'échantillon (1): après l'opération de solidification, on a obtenu des valeurs de TPH très inférieures à celles du borbier, à l'état initiale (40 mg/l et 41 mg/l par rapport 270.10^3 mg/l), ce qui peut s'expliquer par la bonne rétention des hydrocarbures par le liant hydraulique (ciment) et/ou la bonne efficacité du procédé de solidification/stabilisation.

Par ailleurs, les deux valeurs, 40 mg/l de déblai en monolithe et 41 mg/l de déblai broyé, sont très proches et presque identiques, ce qui s'explique par la bonne rétention des

hydrocarbures par le ciment, le procédé de solidification/stabilisation n'a pas joué un rôle dans la lixiviation de cet échantillon.

Pour l'échantillon (2): on note aussi une chute libre de la valeur de TPH (de 270.10^3 mg/l vers 170 mg/l pour le monolithe et 600 mg/l pour le broyé), mais une grande différence entre la valeur du monolithe et celle de broyé (170 mg/l et 600 mg/l), ce qui implique la diminution du rôle joué par le ciment, par contre fait ressortir une forte efficacité du procédé de solidification/stabilisation.

III.9 La résistance à la compression:



La variation de la résistance à la compression en fonction des jours

Le graphe correspond au pourcentage 40% de ciment, représentant une résistance comprise entre 0.9MPa et 4 MPa, ce qui est presque satisfaisant par rapport à la norme de stockage ($0.9 \approx 1$); dès la deuxième journée, ce pourcentage n'est plus rentable économiquement .

Les graphes qui représentent les pourcentages en ciment (20% et 30%), se s'approchent l'un de l'autre à la 28^{ème} journée, vérifiant aussi la norme de stockage (1.7 MPa et 1.8 MPa > 1).

Pour le graphe correspondant au pourcentage de 18% de ciment, la valeur de la résistance s'approche de la norme de stockage, au font de la 28^{ème} journée ($0.94 \approx 1$).

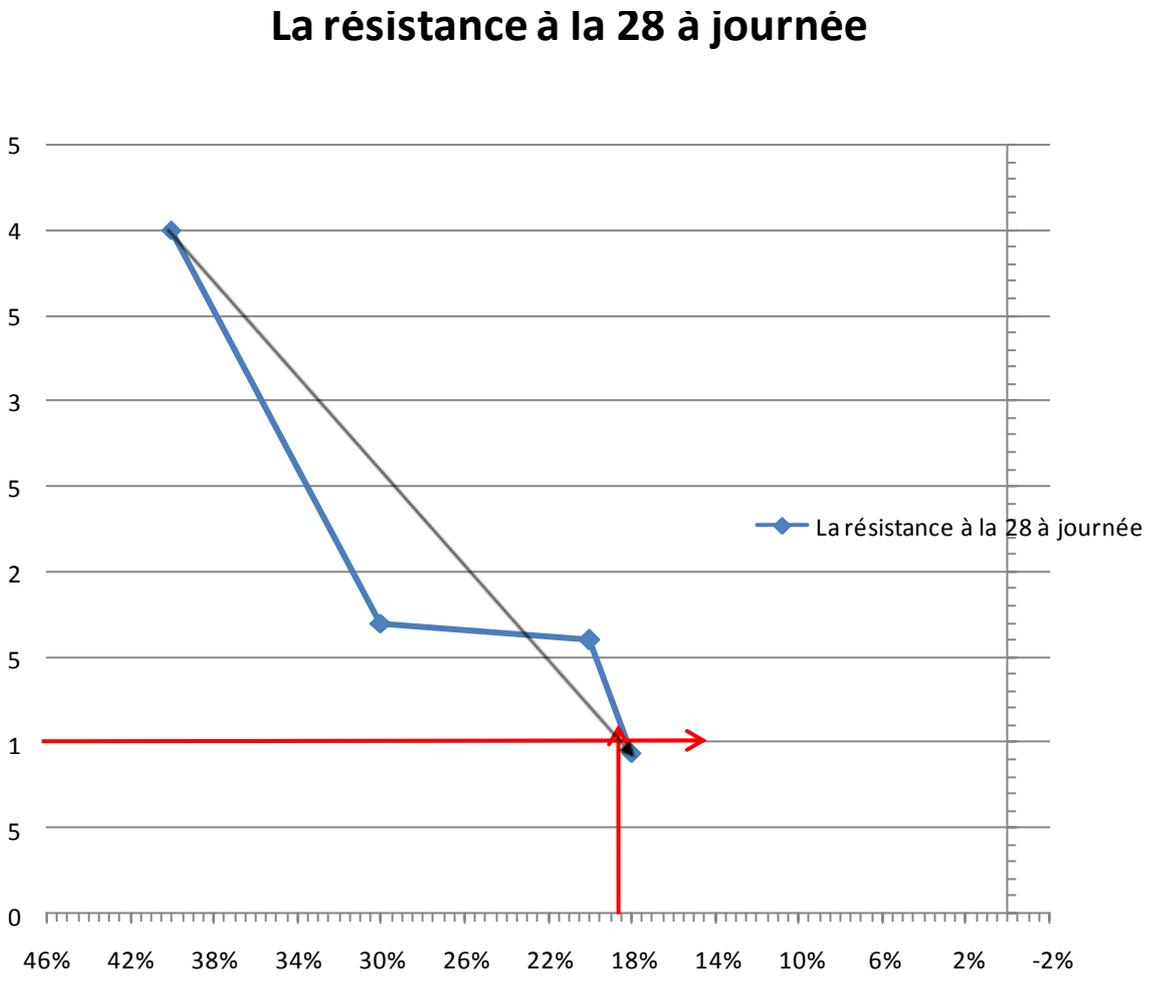
Cependant le graphe de 10% de ciment est loin du seuil d'admission des déchets dans les centres de stockage, ce qui implique l'exclusion de ce pourcentage lors de la procédure de traitement du boubrier.

III.10 Détermination du pourcentage optimal de ciment pour le stockage:

Dans cette partie, on veut obtenir un pourcentage limite de ciment, correspondant à la norme de stockage.

Considérant les valeurs de la résistance à la compression au lors de la 28^{ème} journée, tout en négligeant celle de 10% en ciment, les résultats obtenus appareillent sur le graphe suivant:

La résistance à la 28 à journée

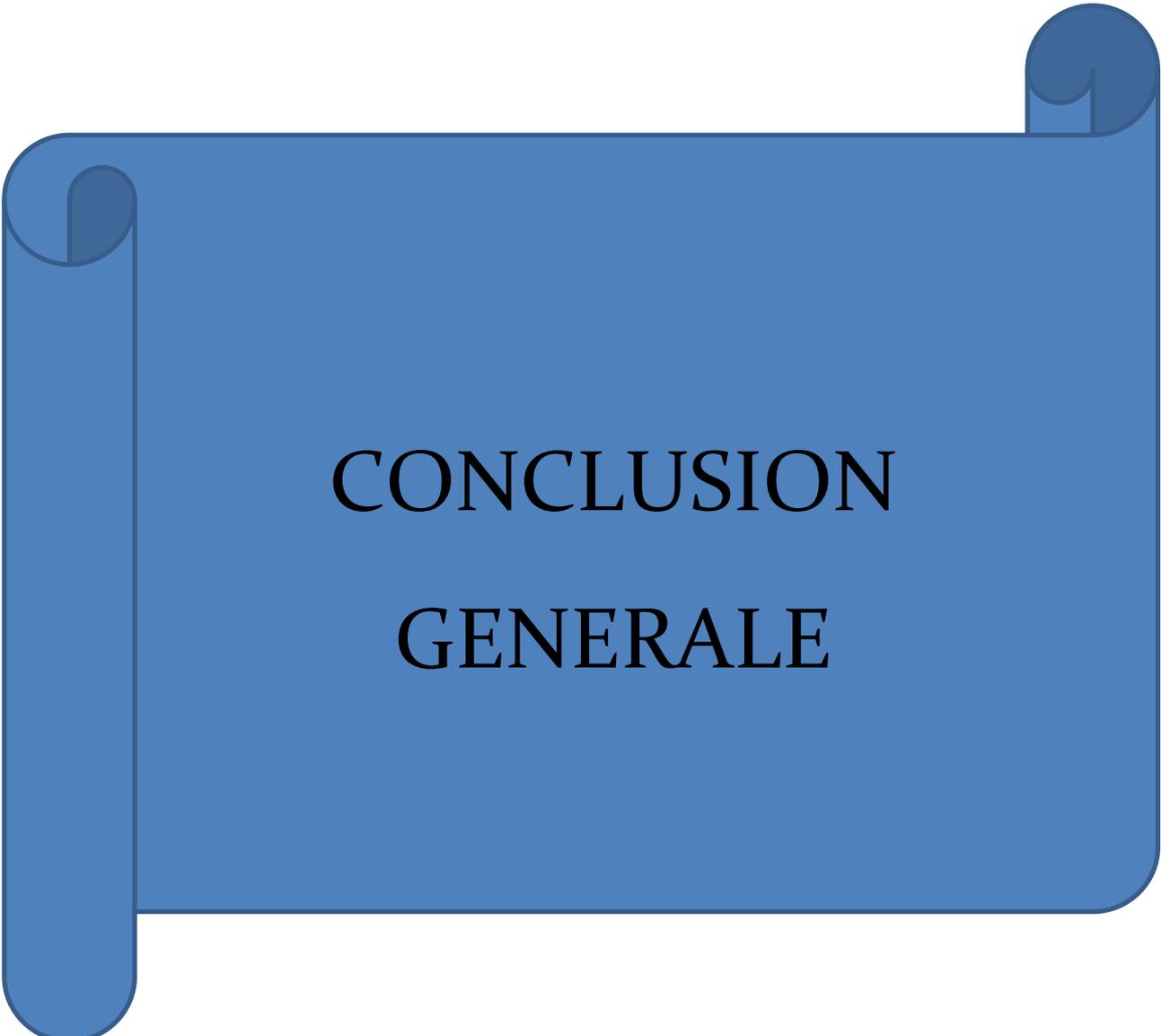


La résistance de différentes concentrations à la 28^{ème} journée

En se référant au graphe précédent, on voit bien qu'il y a une décroissance dans la résistance d'un pourcentage de ciment à un autre, et c'est le cas pour chaque journée passée.

Dans notre cas, on peut prendre un nouveau pourcentage proche de 18% (18.5 par exemple), cette valeur ne peut être que normative, en raison de la comparaison par rapport aux autres valeurs, soit en tenant compte du graphe réel ou corrigé.

Pour enlever toute ambiguïté, il faut procéder à une autre expérience avec 18.5% de ciment, ou encore on peut considérer le pourcentage de 20% en ciment, cependant cette solution présente coût un peu élevé.



CONCLUSION
GENERALE

CONCLUSION GENERALE:

L'environnement est un patrimoine précieux, que chacun de nous doit protéger et préserver pour les générations futures. Cet objectif ne peut être atteint sans la participation de tous les secteurs. La plupart des déchets industriels éliminés au centre de stockage doit subir au préalable un traitement de stabilisation /solidification, requérant l'emploi de matériaux liants. L'efficacité du traitement est déterminée par l'adéquation entre les propriétés du liant et les caractéristiques du déchet considéré. Les données disponibles de la compatibilité entre une catégorie de liants et une catégorie de déchets, doit considérer séparément chacune des caractéristiques de ces derniers. Elles sont inexploitable, compte tenu de la complexité des déchets industriels.

Notre travail s'inscrit dans la perspective d'étendre l'application du procédé de stabilisation et solidification au traitement d'un déchet industriel, issu de l'activité pétrolière, dans laquelle on a utilisé un liant hydraulique (le ciment portland (CEM I 42.5).

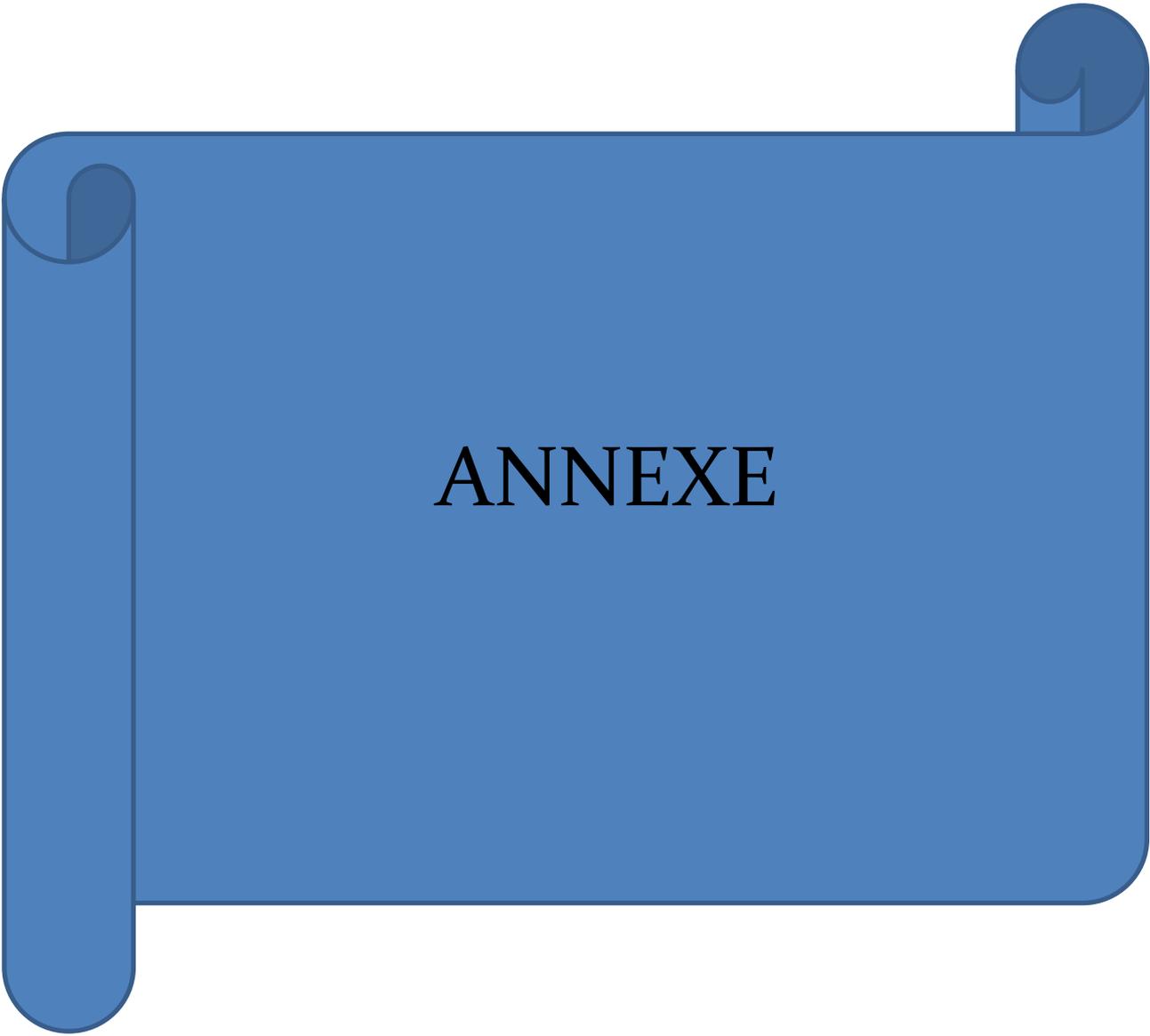
Dans un premier temps, des tests de caractérisation physico-chimique ont été appliqués au déchet. Il a ainsi été mis en évidence grâce au DRX de déchet, qui montre que celui-ci, sur lequel on a travaillé est assez dangereux, en raison de l'existence de minéraux toxiques; (avec des pourcentages plus ou moins variables dépassant le seuil de dangerosité).

Ensuite, l'essai de la résistance à la compression nous donne un pourcentage ultime , vérifiant la norme de stockage des déchets dans les centres de stockage. Enfin, l'essai de lixiviation montre l'efficacité du procédé de stabilisation/solidification, par laquelle, on a trouvé un pourcentage normatif, avec un coût acceptable.

En terme d'économie, et dans la mesure où on n'a pas à rémunérer le savoir-faire des entreprises étrangères en devises, l'étude a consisté à utiliser des matériaux sans valeur, économique (déchets) et des méthodes de traitement, qui font appel soit à l'utilisation des liants hydrauliques disponibles, tout en exploitant des connaissances Algériennes, et permettant d'apporter des solutions nécessaires aux problèmes de l'environnement. L'étude dans ce sens est économique. Toutefois, et vu le manque de données nécessaires pour procéder à une étude technico-économique, nous envisagerons sa réalisation sous forme de perspectives.

Finalemment, nos recommandations devraient nous reconduire à:

- ✓ Procéder à une étude technico-économique du projet, afin de valider ce traitement.
- ✓ Essayer le procédé de stabilisation/solidification, avec d'autre liant (hydrocarboné, chaux, la cendre volante, etc...)

A blue scroll graphic with a dark blue outline and rounded corners. The scroll is partially unrolled, with a vertical strip on the left side and a small section on the right side. The word "ANNEXE" is written in a black, serif font in the center of the scroll.

ANNEXE

L'appareil HORIBA OCMA-350:

Analyseur de teneur en huile fournit des mesures rapides et précises dans le laboratoire ou dans le domaine. Utiliser cet instrument de précision pour l'arpentage qualité de l'eau et des sites de déchets dangereux, surveillance des eaux usées industrielles, l'analyse de décharge post-nettoyage, et de mesurer les résidus de pétrole adhérentes sur les textiles et les pièces métalliques.

Utilisez le solvant S-316 pour extraire quantitativement l'échantillon. La solution huile/solvant est alors simplement transférée à l'OCMA-350 analyseur pour un seul bouton de mesure. L'analyse est basée sur les infrarouges (IR) des données spectrales, avec l'intégration de pointe (à environ 3,4 μm) pour déterminer la concentration d'huile. Le solvant S-316 est non absorbante à cette longueur d'onde IR, de l'huile de sorte que est mesurée. Mesure précise de l'huile jusqu'à 0,1 ppm. Auto-étalonne après la lecture initiale de norme. (**Figure II.2**).



Figure II.2 appareil de dosage par infrarouge (HORIBA)

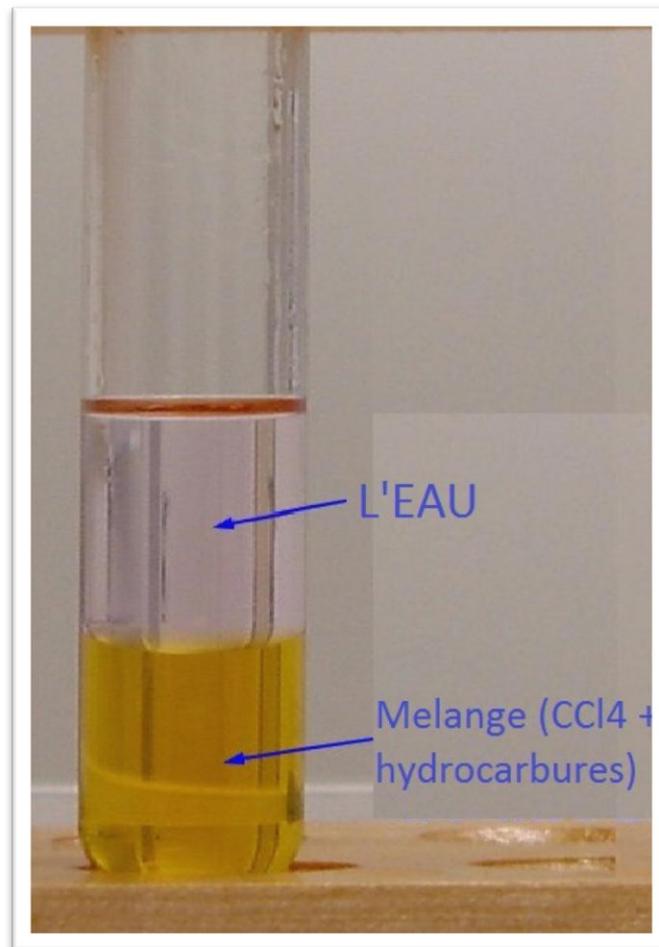


Figure II.1: la rétention des hydrocarbures par le CCl₄ (L /L)

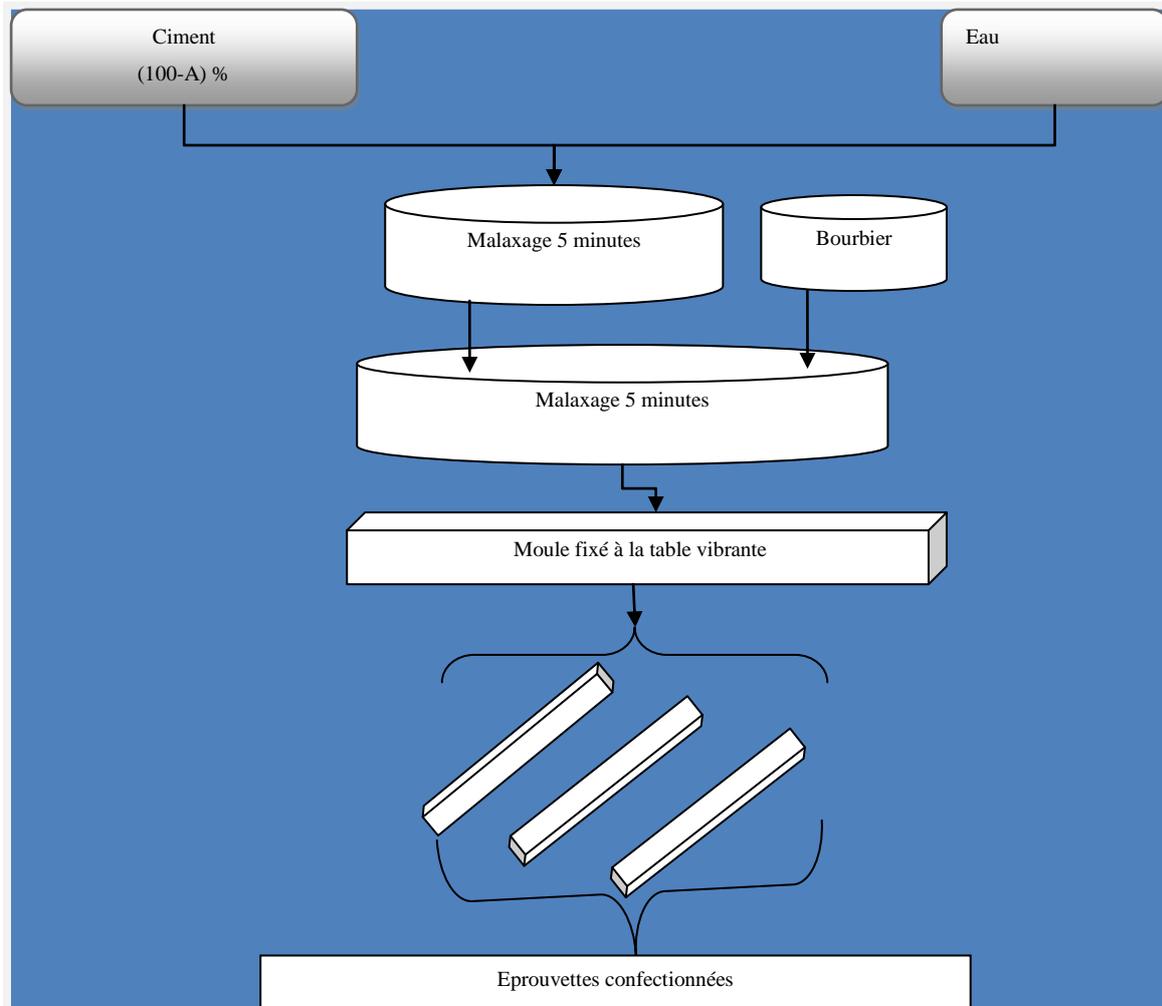


Figure II. 3: préparation des éprouvettes



Figure II.4: malaxeur



Figure II.5: moule 4*4*16



Figure II.6: la table vibrante

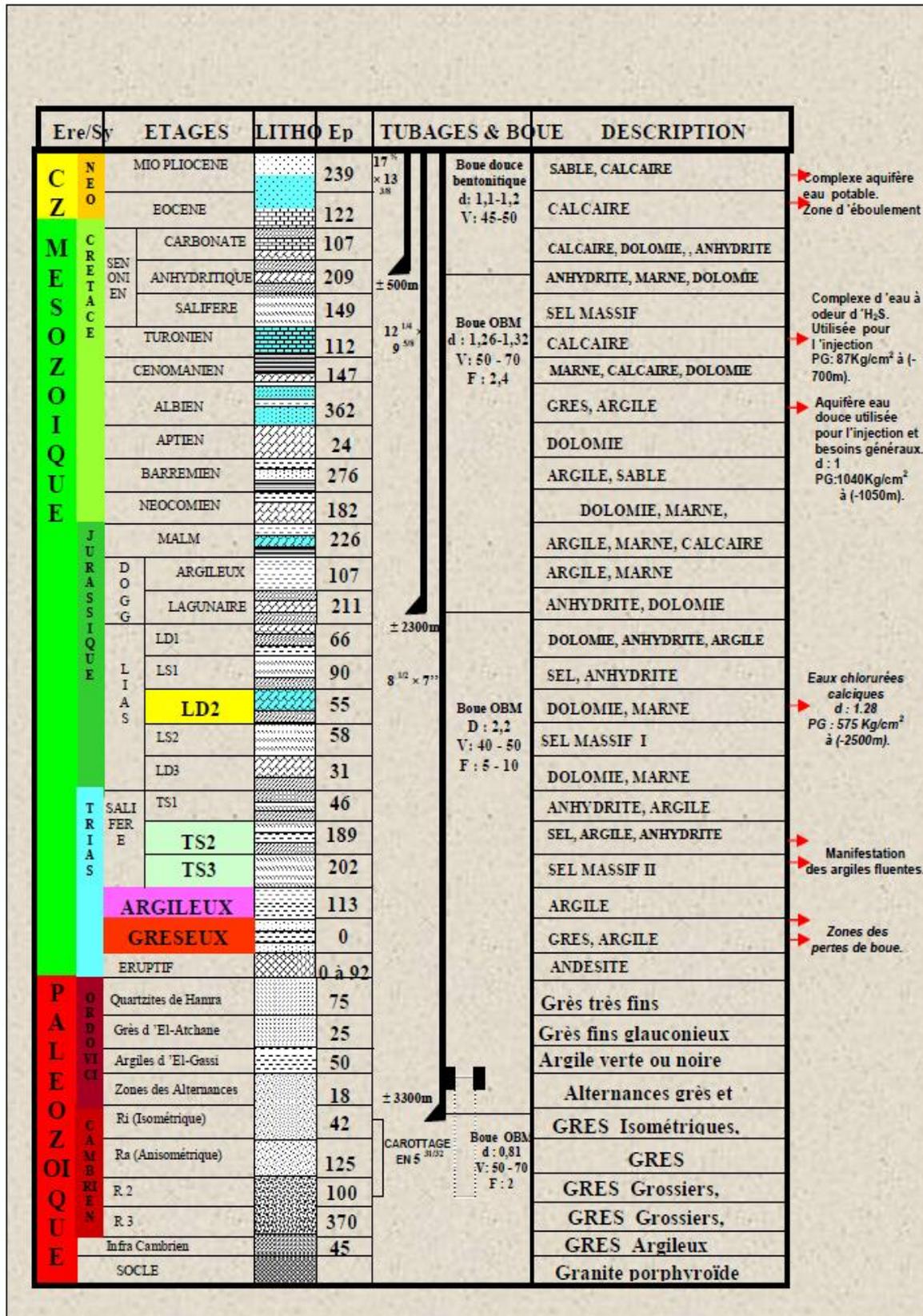
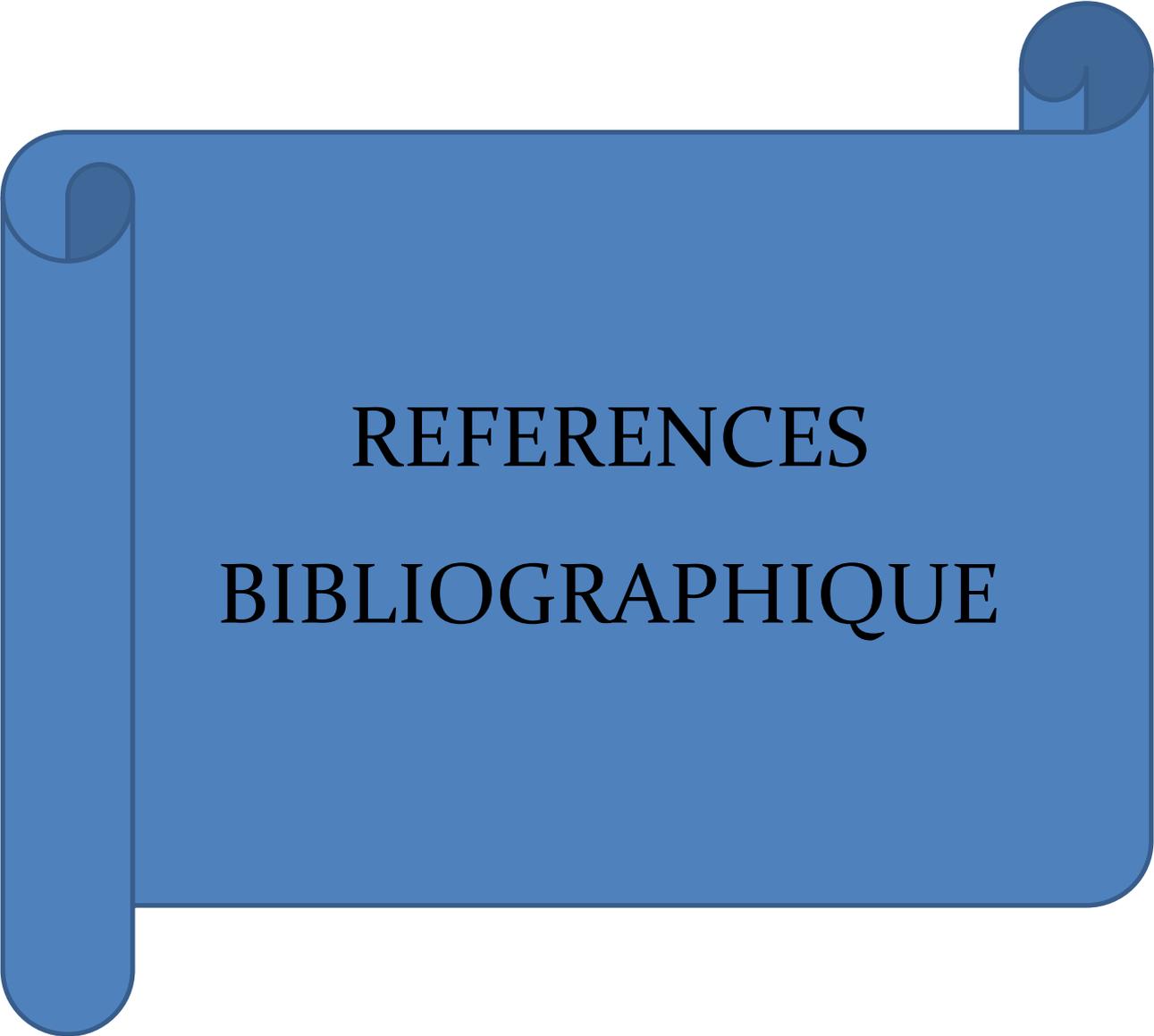


Figure IA.3 : Stratigraphie du champ de Hassi Messaoud



REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUE

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

1. Encyclopedie universalis p924 mars 85
2. POULENC R. « manuel a usage des industriels », ed, afnor, ouvrage collective redigé sous la direction de serge lamert, juin (1995)
3. KOLLER E. « traitement des pollutions industrielles », Ed, Dunod, avril 2004
4. BENOUMECHIARA N. « Elaboration et caractérisation d'un matériau à partir d'un déchet industriel», Thèse de Magister, ENP 2002
5. RENE MOLETTA « LE TRAITEMENT DES DECHETS » 2009
6. BOUZOUALEGH Malik «Traitement et valorisation d'un déchet pétrolier dans le domaine de génie civil », projet de fin d'études, ENP 2005.
7. GLOSSAIRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DEVELOPPEMENT DURABLE, » ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement, Alger, Mars 2004
8. LEFEBVRE G. « notions de chimie des hydrocarbures », Ed, Technip. Paris, (1986)
9. BENSEGHIER Rachid «Traitement des cuttings de forage de Hassi Messaoud avec des solutions tensioactives » 2009 ENP
10. Radu BARNA et Denis BLANC « stabilisation-solidification des déchets » technique de l'ingénieur P14
11. SADOUDI LYACIA « traitement d'un déchet pétrolier et étude de la valorisation du produit obtenu dans le domaine de génie civil » mémoire magistère ENP 2009
12. KHODJA « LES FLUIDES DE FORAGE : ETUDE DES PERFORMANCES ET CONSIDERATIONS ENVIRONNEMENTALES » thèse 2008
13. JACQUES BOURGOIS, VALERIE LAFOREST et ROBERT HAUSLER« traitement physico-chimique des déchets industriels liquides» TECHNIQUE DE L'INGENIEUR P2
14. SING-TENIERE « Etude des procédés de stabilisation/solidification (des déchets solides poreux a base de liants hydrauliques ou de liants bitumineux » these,1998
15. M.AFECHKAR et M.NAHHASS « VALORISATION DES CENDRES VOLANTES DANS LE DOMAINE ROUTIER(CNER) »
16. www.circainfo.ca

17. NAVARRO A. : (Gestion des déchets), Lamy environnement, Les déchets, LAMY, 1995.
18. TECHNIQUE DE L'INGENIEUR, traité généralités et construction C9, A8660, C4260
19. Glossaire De L'environnement Et Du Développement Durable, (ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement, Alger, Mars 2004).
20. TECHNIQUE D'INGENIEUR « Approche socio-économique des déchets » Gérard BERTOLINI
21. SAADANI SABRINA (comportement des bétons à base de granulats recyclés) Mémoire magister Uni Mentouri Csta
22. Colloque international sur l'utilisation des sous-produits et déchets dans le génie civil
23. FANTOZZI « Etude de matériaux à base de liant hydraulique contenant des polluants organiques modèles : propriétés structurales et de transfert » thèse 2003LYON
24. THANH SON NGUYEN « Influence de la nature de liant et de la température sur la transport des chlorures dans les matériaux cimentaires » thèse 2006