

République Algérienne Démocratique et Populaire.
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique.
Université Ibn Khaldoun Tiaret.



Faculté des Sciences Appliquées
Département de Génie Civil.

Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de master.

Spécialité : Génie Civil

Option : Ouvrage d'Art et infrastructures.

Présenté par :

Aouci Yacine

Haouachine Mohamed Yacine

Thème :

**Valorisation des sables usés de la fonderie de
Tiaret dans le domaine des travaux publics**

Soutenu publiquement le 26/05/2014. Devant le jury composé de :

M. Bouakkaz Khaled, MAA.	Président
M. Bekki Hadj, MCB.	Rapporteur
M. Aissat Sahraoui, MCB.	Examineur
M. Benhebal Hadj, MCB.	Examineur
M. Krim Abdellah, MCB.	Examineur

Promotion 2013/2014

REMERCIEMENTS

Notre travail de fin d'études présenté dans ce mémoire a été rendu possible grâce à la société ALFET ou nous avons suivi un stage de courte durée.

On tient à remercier M. Kacimi Amar, Directeur Président de l'Entreprise ALFET, de nous avoir donné l'opportunité de réaliser notre stage au sein de cette direction.

Nos remerciements s'adressent tout particulièrement à notre maître de stage M. Mir Khalifa, responsable du laboratoire au sein de l'ALFET pour son implication, sa disponibilité et son écoute. On le remercie sincèrement pour le soutien et la confiance qu'il nous a accordés tout long de ce stage.

Nous remercions tout le personnel du laboratoire des travaux publics unité de Tiaret pour leur accueil et pour nous avoir permis de réaliser notre travail expérimental dans un cadre plaisant.

On tient à remercier la société ADWAN chemicals company situé dans la zone industrielle de Mostaganem et tout particulièrement le staff technique du laboratoire pour l'accueil et leur disponibilité.

On tient sûrement à remercier M. Hadj Bekki notre encadreur pour son soutien infailible et sa disponibilité à tout temps ainsi que son écoute et son sérieux envers notre travail.

Nous remercions chaque membre du jury, membres du corps enseignant qui nous a accompagnés durant notre cursus pédagogique au sein du département de Génie Civil.

On remercie nos Parents sans qui nos études n'auraient été possibles.

Enfin, nous remercions nos camarades du département pour leur soutien et pour les agréables années que nous avons passé ensemble.

Résumé

L'industrie de la fonderie utilise, entre autres, pour les coulées de pièces, des moules et des noyaux en sables. Cela génère, par conséquent, des quantités importantes de sables usés dont un faible volume seulement sera recyclé au niveau de l'usine, d'où l'intérêt de valoriser ces matériaux dans plusieurs domaines.

Le présent travail dans cette optique, dans lequel on a mené une étude expérimentale pour la valorisation des sables de fonderie dans le domaine de BTP. Dans notre étude, on s'est intéressé également au traitement des sables polluants, ce qui contribuera à la protection de l'environnement.

Il a été trouvé que les sables à minéraux naturels, tel que le sable à vert, donnent, après traitement aux liants hydrauliques, des performances mécaniques intéressantes pour être utilisés en construction routière, autant que couches de forme ou remblais. Le développement d'un dispositif pour le traitement hydraulique du sable au silicate de soude a permis de réduire le pH de ce matériau et rendre son utilisation plus pratique dans le domaine de BTP.

Mots clés : Sables de fonderie, valorisation, construction routière, matériaux de construction, environnement.

Abstract

The founder industry uses molds and sand cores, which generates significant quantities of uses sand with only a small volume recycled at the manufactory. It is why that the valorization of these materials in several areas is very interesting.

This work is a part of this topic, in which we conducted an experimental study in order to valorize used sands in civil construction fields. Our study was focused also on the treatment of contaminated sands, which will help to protect the environment.

It was found that the natural mineral sands, such as green sands, provide after treatment with hydraulic binders an interesting mechanical performance for its uses in road construction, as far as subgrade or embankment. The development of a device for hydraulic treatment of sodium silicate sands allows a reduction in their pH and makes its practical use very promising in the fields of construction.

ملخص

نستعمل في ميدان السبّابة الرّمل وبكميّات كبيرة لغرض قولبة القطع الحديدية. يتم ذلك بإعادة رسكاتها بكميات قليلة جداً. فلهذا السبب، أضحي الرّمل المستعمل مطلوباً ولقي رواجاً في ميادين عديدة أخرى.

يندرج عملنا المتواضع ضمن هذا الإطار، إذ تطرّقنا من خلاله إلى دراسة تجريبية تهدف إلى تثمين استعمال الرّمال في كلّ من ميداني البناء والأشغال العمومية. عرّجنا أيضاً على قضية معالجة الرّمال الملوّثة قصد الحفاظ على البيئة.

وتوصّلنا إلى أنّ الرّمال التي تحتوي على معادن طبيعة تمنحنا مزايا ميكانيكية هامة وذلك بعد القيام بمعالجتها بمادتي الجير والاسمنت. وكلّ هذا بهدف استعمالها في ميدان أشغال الطّرق.

قصد تحقيق الهدف المرجوّ من هذه الدّراسة، قمنا بتصميم جهاز يعمل على المعالجة المائية للرّمال التي تحتوي على سيليكات الصّوديوم يتمّ من خلاله تخفيض مستوى PH وهذا ما فتح المجال أمام إمكانية استعمال هذه الرّمال من جديد وفي نفس المجال.

SOMMAIRE

Résumé.....	I
Abstract.....	I
Sigles et abréviations.....	VII
Liste des tableaux.....	X
Liste des figures.....	XII
Introduction générale.....	1

Chapitre I : Présentation de l'Entreprise d'ALFET-cadre du stage.

I.1 Présentation de la structure d'accueil.....	3
I.1.1 Fiche d'identité.....	3
I.1.2 Historique.....	4
I.1.3 Moyens.....	4
I.2 Objectif du stage.....	6
I.3 Remarques notés durant le stage.....	7

Conclusion.....	7
------------------------	----------

Chapitre II : Généralités sur les sables de fonderie.

II.1 Introduction.....	8
II.2 Procédés de moulage.....	8
II.2.1 Sable à vert (S1).....	8
II.2.1.1 Identification des matériaux additifs utilisé.....	9
II.2.2 Sable au silicate de soude (S2).....	12
II.2.2.1 Identification du silicate de soude.....	12
II.2.2.2 Usages divers.....	13
II.2.2.3 Les dangers du silicate de soude liquide alcaline.....	13
II.2.2.3.1 Identification du danger.....	13
II.2.2.3.2 Premier soin.....	13
II.2.2.4 Manutention et entreposage.....	14
II.2.2.5 Equipement protecteur personnel.....	14

II.2.2.6 Stabilité et réactivité.....	14
II.2.2.7 Toxicité et cancérogénicité	15
II.2.2.8 Renseignements écologiques.....	15
II.2.3 Sable furanique (S4).....	15
II.2.3.1 Identification des additifs.....	16
II.2.3.1.1 Identification des dangers de la résine.....	16
II.2.3.1.2 Identification des dangers du catalyseur.....	16
Conclusion.....	16
 <i>Chapitre III : Règlementation en ce qui concerne la gestion des déchets industrielle.</i>	
III.1 Introduction.....	17
III.2 Règlementation Algérienne.....	17
III.2.1 Loi N°01 (12 decembre2001).....	17
III.2.2 Décret exécutif N° 07-205 (30 juin 2007).....	18
III.2.3 Décret exécutif N° 04-409 (14 décembre 2004).....	18
III.2.4 Décret exécutif N° 03-477 (09 décembre2003).....	18
III.3 Réglementation française actuelle.....	18
III.3.1 Loi du 15 juillet 1975.....	18
III.3.2 Arrêté du 16.juillet 1991.....	19
III.3.3 Décret du 18 avril 2002.....	19
III.3.4 Arrêté du 9 septembre 1987.....	21
III.3.5 Arrêté du 30 décembre 2002.....	21
III.3.5.1 Mode opératoire du teste du potentiel polluant.....	22
III.3.5.2 Critères d'admission des déchets.....	22
III.4 Réglementation européenne.....	23
III.4.1 Les principales directives.....	23
III.4.2 Décision du conseil européen du 19 septembre 2002.....	23
III.4.3 Caractérisation de base des déchets.....	24
III.4.4 Vérification de la conformité.....	24
III.5 Réglementation aux Etats Unis.....	26
III.5.1 Exemple du Wisconsin.....	28

Conclusion.....	31
<i>Chapitre IV : Valorisation dans le domaine du G.C et techniques de traitements des sables usés.</i>	
<i>IV.1 Introduction.</i>	32
IV.2 Valorisation dans le domaine de G.C.....	32
IV.2.1 Valorisation dans la construction routière.....	32
IV.2.1.1 Valorisation en couches de remblais.....	32
IV.2.1.2 Valorisation en couches de formes.....	33
IV.2.1.3 Valorisation en assises de chaussées.....	33
IV.2.1.4 Utilisation dans la formulation d'enrobés.....	33
IV.2.1.5 Valorisation en grave hydraulique.....	33
IV.2.2 Fabrication des matériaux de construction.....	33
IV.2.2.1 Tuiles et briques.....	33
IV.2.2.2 Valorisation en cimenterie.....	34
IV.2.2.3 Valorisation des sables usés en coulis de béton.....	34
IV.2.3 Valorisation de sable en barrière étanche ouvragée.....	34
IV.3 Antécédent de traitement.....	34
IV.3.1 Régénération des sables de fonderie.....	34
IV.3.2 Solution de traitement.....	35
IV.3.2.1 Bactérie contre phénol.....	35
IV.3.2.1 Recyclage des sables à vert par voie hydraulique.....	36
IV.3.2.1.1 Les solutions hydrauliques.....	36
a- Solutions existantes.....	36
b- Solutions à l'étude.....	37
IV.3.2.3 Régénération des sables de fonderie par gaz naturel.....	38
IV.3.2.3.1 L'objet du projet.....	38
a- Le principe.....	39
b- Exploitation du sable de fonderie.....	40
Conclusion.....	40
<i>Chapitre V : Analyse cristallographique des minéraux.</i>	
V.1 Généralités.....	41
V.1.1 Origines.....	41

V.1.2 Définition d'un cristal.....	41
V.1.3 Types de réseaux.....	41
V.1.3.1 Réseau 2D.....	41
V.1.3.2 Réseau 3D.....	43
V.1.3.2.1 Les différentes possibilités pour ces six paramètres.....	44
a- Système triclinique.....	44
b- Système monoclinique.....	45
c- Système orthorhombique.....	46
d- Système quadratique.....	46
e- Système rhomboédrique.....	47
f- Système hexagonal.....	48
g- Système cubique.....	48
V.2 Diffraction des rayons X.....	49
V.2.1 Principe.....	49
V.2.2 Production des rayons X.....	50
V.2.2.1 Matériels.....	50
V.2.2.2 Spectre obtenu.....	51
V.2.2.3 Méthode de diffraction.....	52
Conclusion.....	52
<i>Chapitre VI : Résultat et interprétations.</i>	
<i>VI.1 Introduction.....</i>	<i>53</i>
VI.2 Les essais sur le sable brute (SB).....	53
VI.2.1 Les essais d'identification.	53
VI.2.1.1 Analyse granulométrique.....	53
VI.2.1.2 Limite d'Atterberg.....	58
VI.2.1.3 Valeur du bleu de méthylène.....	58
VI.2.1.4 Teneur en carbonate.....	59
VI.2.1.5 Equivalent de sable.....	60
VI.2.2 Classement du sable.....	61
VI.3 Les essais sur sable à vert (S1).....	62

VI.3.1 Les essais d'identification.....	62
VI.3.1.1 Analyse granulométrique le l'essai sédimentométrique.....	62
VI.3.2.2 Classement du sable (S1).....	66
VI.3.3 Les essais de portance.....	66
VI.3.3.1 Essai Proctor.....	67
VI.3.3.2 Essai CBR.....	68
VI.3.3 Exécution de traitement.....	69
VI.3.3.1 L'influence de traitement.....	72
VI.3.3.1.1 L'influence de l'essai Proctor.....	72
VI.3.3.1.2 L'influence de l'essai CBR.....	73
VI.3.4 Les essais sur mortier.....	75
VI.3.4.1 Confection des éprouvettes de mortier.....	75
VI.3.4.2 Résultat de la résistance à la compression et à la flexion.....	77
VI.4 Les essais sur les sables (S2) et (S3).....	78
VI.4.1 Le principe du traitement hydraulique.....	78
VI.4.2 Mode opératoire.....	79
VI.4.3 Les essais d'identification.....	82
VI.4.3.L'analyse granulométrique.....	82
VI.4.3.2 Résultat d'identification.....	84
VI.4.4 Classement des sables (S2) et (S3).....	84
VI.5. Résultat de la diffraction des rayons X.....	84
VI.5 Interprétation des résultats	92
Conclusion.....	93
<i>Conclusion générales et perspectives.....</i>	<i>94</i>
<i>Bibliographie.....</i>	<i>96</i>
ANNEXES.	
ANNEXES 1 : Bulletin d'analyse du S.D fournie par ADWAN C.C.....	98
ANNEXES 2 : Fiche signalétique de la R.F et du catalyseur fourni par FOSECO.....	99
ANNEXES 3 : Classification des sols et norme NF P 11 300et GTR.....	101
ANNEXES 4 : courbe spectrale de référence.....	102

SIGLES ET ABREVIATIONS

Chapitre I :

ALFET : Algérienne des fonderies de Tiaret.

FONDAL : Groupe industrielle fonderie algérien.

Chapitre II :

Ca : Calcium.

Mg : Manganèse.

Na : Sodium.

K : Potassium.

AFS : Indice de finesse.

Na₂SiO₃ : Trioxosilicate de di sodium.

SiO₂ : dioxyde de silicium.

Na₂CO₃ : Le carbonate de sodium.

CO₂ : Dioxyde de carbone.

Na₂O : L'oxyde de sodium.

Fe : Fer.

NTP : Programme national canadien de toxicologie.

CIRC : Centre international de recherche sur le cancer.

OSHA : Administration d'hygiène et de la sécurité des Etats-Unis.

Cataset PA20 : le catalyseur ou le durcisseur fourni par foseco industrie.

RESIMAX 3519 : la résine fournie par foseco industrie.

Chapitre III :

COT : Carbone organique total.

Sr: Strontium.

Pb: Plomb.

Zn: zinc.

Co: Cobalt.

Ni: Nickel.

Hg: Mercure.

Ba : Baryum.

Cu : Cuivre.

CNA : Capacité de neutralisation acide.

CEN : Centre européen de normalisation.

NE: Norme européenne.

RCRA: Resource Conservation and Recovery Act.

TLCP: Toxicity Characteristic leaching.

HSWA: HAZARDOUS AND SOLID WASTE AMENDMENTS.

BUD : Beneficial use détermination.

Chapitre IV :

BTP : Bâtiments et travaux publics.

SETRA : Service d'étude sur le transport les routes et leurs aménagement.

LCPC : Laboratoire central de ponts et chaussées.

FNTF : Fédération national de travaux publics.

TVPI : Traitement et valorisation du produit industriel.

Fe₂O₃ : Oxide de fer.

CAC 2000 : Coulis auto compactant.

JORF : Journal officiel de la république française.

GTR : Classification des matériaux.

BRGM : Bureau de recherche géologique et minière.

Safond : Une fonderie dans le nord d'Italie.

Ecofond : Fonderie espagnole au pays basque.

SASIL : Société italienne de produit chimique (production de silice).

Chapitre VI:

CBR: California bearing ratio.

I.CBR : Indice portant.

γ_d : Densité sèche.

W : Teneur en eau.

pH : Potentiel hydrogène.

SB : Sable brute.

S1 : Sable à vert.

S2 : Sable au silicate de soude.

S3 : Sable au silicate de soude + bentonite.

S4 : Sable furanique.

LISTE DES TABLEAUX

<u>Tableau I.1</u> : Effectifs socio-professionnel de l'entreprise d'ALFET.....	04
<u>Tableau.II.1</u> : composition du sable à vert.....	9
<u>Tableau II.2</u> : caractéristique physico-chimiques de la bentonite.....	10
<u>Tableau II.3</u> : composition du sable au silicate de soude.....	12
<u>Tableau II.4</u> : Composition chimique du silicate de soude.....	12
<u>Tableau II.5</u> : composition du sable à la résine furanique.....	16
<u>Tableau III.1</u> : exemples de filières de valorisation autorisées.....	29
<u>Tableau III.2</u> : Eléments à rechercher dans les sables de fonderie.	30
<u>Tableau IV.1</u> : Coûts exploitation du sable dans la fonderie.....	40
<u>Tableau V.1</u> : Systèmes cristallins.....	44
<u>Tableau VI.1</u> : Résultats de l'analyse granulométrique sur le sable brute (SB) ECH 01.....	54
<u>Tableau VI.2</u> : Résultat sur l'analyse granulométrique sur le sable brute (SB) ECH 02.....	56
<u>Tableau VI.3</u> : tableau d'identification du sable brute (SB).....	61
<u>Tableau VI.4</u> : résultat de l'analyse granulométrique du sable (S1) ECH 01.....	62
<u>Tableau VI.5</u> : Résultat de la sédimentométrie ECH 01.....	62
<u>Tableau VI.6</u> : Résultat de l'analyse granulométrique du sable (S1) ECH 02.....	64
<u>Tableau VI.7</u> : résultat de la sédimentométrie ECH 02.....	64
<u>Tableau VI.8</u> : Récapitulation des résultats d'identification.....	66
<u>Tableau VI.9</u> : Résultat de l'essai Proctor modifié.....	67
<u>Tableau VI.10</u> : Résultat de l'essai CBR d'immersion à 4 jours du sable à vert (S1).....	68
<u>Tableau VI.11</u> : Résultat de l'essai Proctor modifié (sable à vert traité à 2% de chaux).....	70
<u>Tableau VI.12</u> : Résultat de l'essai Proctor modifié (sable à vert traité à 4% de chaux).....	70
<u>Tableau VI.13</u> : Résultat de l'essai Proctor modifié (sable à vert traité à 2% de ciment).....	70
<u>Tableau VI.14</u> : Résultat de l'essai Proctor modifié (sable à vert traité à 4% de ciment).....	70
<u>Tableau VI.15</u> : Résultats de l'essai CBR du (sable à vert traité à 2% de chaux).....	71
<u>Tableau VI.16</u> : Résultats de l'essai CBR du (sable à vert traité à 4% de chaux).....	71

<u>Tableau VI.17</u> : Résultats de l'essai CBR du (sable à vert traité à 2% de ciment).....	71
<u>Tableau VI.18</u> : Résultats de l'essai CBR du (sable à vert traité à 4% de ciment).....	71
<u>Tableau VI.19</u> :L'influence de traitement sur l'essai Proctor modifié.....	72
<u>Tableau VI.20</u> :L'influence de traitement sur le résultat CBR.....	73
<u>Tableau VI.21</u> : Opérations de malaxage du mortier normal.....	77
<u>Tableau VI.22</u> : Comparaison de la résistance à la flexion avec un sable témoin.....	77
<u>Tableau VI.23</u> : Comparaison de la résistance à la compression avec un sable témoin.....	78
<u>Tableau VI.24</u> : Résultat de l'analyse granulométrique du sable (S2).....	82
<u>Tableau VI.25</u> : Résultats de l'analyse granulométrique du sable (S3).....	83.
<u>Tableau VI.26</u> : Résultats des essais identification.....	84

LISTE DES FIGURES.

<u>Figure I.1:</u> Siege de l'entreprise ALFET.....	3
<u>Figure I.2:</u> Organigramme hiérarchique de la structure d'ALFET.....	6
<u>Figure II.1</u> sable à vert (S1) usés provenant de l'ALFET	9
<u>Figure II.2 :</u> Bentonite de fonderie.....	10
<u>Figure II.3:</u> Noir minéral de fonderie.....	11
<u>Figure IV.1:</u> Schéma d'un système de recyclage.....	39
<u>Figure V.1:</u> Un Réseau 2D.....	42
<u>Figure V.2:</u> Surface d'une maille.....	42
<u>Figure V.3 :</u> Un Réseau 3D.....	43
<u>Figure V.4:</u> Un système triclinique.....	44
<u>Figure V.5:</u> Système triclinique plus symétrique.....	45
<u>Figure V.6:</u> Système monoclinique.....	45
<u>Figure V.7:</u> système orthorhombique.	46
<u>Figure V.8 :</u> Quadratique.....	46
<u>Figure V.9:</u> Système rhomboédrique.....	47
<u>Figure V.10:</u> Système hexagonal.....	48
<u>Figure V.11:</u> Système cubique.....	48
<u>Figure V.12:</u> Principe de la diffractométrie des rayons x.....	49
<u>Figure V.13 :</u> L'orientation du cristal.....	50
<u>Figure V.14 :</u> Une tache décrit selon la loi de Bragg.....	50
<u>Figure V.15 :</u> Anode tournante.....	51
<u>Figure V.16 :</u> Tubes scellé.....	51
<u>Figure V.17:</u> Un synchrotron.	51
<u>Figure V.18:</u> Machine de diffraction des rayons X.....	52
<u>Figure VI.1 :</u> Série de tamis normalisé.....	53
<u>Figure VI.2:</u> La courbe d'analyse granulométrique du sable brute (SB) ECH 01.....	55
<u>Figure VI.3:</u> La Courbe d'analyse granulométrique du sable brute (SB) ECH 02.....	57

<u>Figure VI.4:</u> Coupelle de Casagrande.....	58
<u>Figure VI.5:</u> Calcimètre pour la détermination de la teneur en carbonates.....	59
<u>Figure VI.6:</u> Éprouvettes 01 et 02 du sable brute (SB).....	60
<u>Figure VI.7:</u> La courbe d'analyse granulométrique du sable (S1) ECH 01.....	63
<u>Figure VI.8 :</u> La courbe d'analyse granulométrique du sable (S1) ECH 02.....	65
<u>Figure VI.9:</u> Essai Proctor.	67
<u>Figure VI.10:</u> Courbe du résultat Proctor modifié.....	68
<u>Figure VI.11:</u> Courbe de l'essai CBR.....	69
<u>Figure VI.12 :</u> Les étapes de l'essai CBR après immersion (Phases A,B,C).....	69
<u>Figure VI.13:</u> Courbe de l'influence de traitement.....	72
<u>Figure VI.14 :</u> Résultat de l'essai CBR de 4 jours d'immersion à 55 coups.....	73
<u>Figure VI.15:</u> Résultats de l'essai CBR de 4 jours d'immersion à 25 coups.....	74
<u>Figure VI.16 :</u> Résultats de l'essai CBR de 4 jours d'immersion à dix coups.....	74
<u>Figure VI.17 :</u> Machine d'essai de résistance à la flexion.....	75
<u>Figure VI.18:</u> La machine de l'essai Marshall utilisé pour l'essai de compression.....	76
<u>Figure VI.19:</u> Moules prismatiques utilisés.....	77
<u>Figure VI.20 :</u> Etapes de traitement hydraulique des sables (S2) et (S3).....	80
<u>Figure VI.21 :</u> Le dispositif miniature pour le traitement de 50g de sable.....	81
<u>Figure VI.22 :</u> Le dispositif du traitement hydraulique pour le traitement d'un kilo de sable..	81
<u>Figure VI.23:</u> La courbe d'analyse granulométrique du sable (S2).....	82
<u>Figure VI.24:</u> La courbe d'analyse granulométrique du sable (S3).....	83
<u>Figure VI.25:</u> Spectre (01) sable à vert non traité.....	85
<u>Figure VI.26:</u> Spectre (02) sable au silicate de soude non traité (ADWAN).....	86
<u>Figure VI.27:</u> Spectre (03) sable au silicate de soude non traité (Chlef).....	87
<u>Figure VI.28:</u> Spectre (04) sable furanique (S4).....	88
<u>Figure VI.29:</u> Spectre (05) sable au silicate de soude traité hydrauliquement (ADWAN).....	89
<u>Figure VI.30:</u> Spectre (06) sable au silicate de soude traité hydrauliquement (Chlef).....	90
<u>Figure VI.31:</u> Spectre (07) sable au silicate de soude plus Bentonite non traité (Adwan).....	91
<u>Figure VI.32:</u> Diagramme de stabilité du quartz	92

Introduction générale

L'industrie de la fonderie utilise, entre autre, pour les coulées de pièces, des moules et des noyaux en sables.

On rencontre deux types de sables :

- Les sables à liants minéraux naturels, essentiellement le sable à vert ou le liant est la bentonite (argiles à environ 10%).
- Les sables à liants organiques de synthèse, ou les liants peuvent être des résines de type phénolique, furanique, polyuréthane, époxy, etc.

Pour la première catégorie, l'élimination des sables n'induit pas de risques de pollution pour l'environnement, sauf s'ils contiennent des résidus de coulée.

En revanche, pour les sables à liants organiques, il convient de distinguer :

- Les sables brûlés ayant subi la coulée du métal en fusion (1400 °C), le choc thermique détruit en grande partie les liants organiques de synthèse.
- Les sables non brûlés n'ayant pas subi la coulée, et donc pollués par les liants de synthèse, il s'agit des pertes et rebuts des moules et noyaux, des sables issus du nettoyage de l'outil de production, ainsi que des excès de sables préparés.

Notre mémoire a pour objectifs la valorisation des sables usés, après décochage des moules ses sables deviennent inutilisables donc ils sont orientés vers des décharges là où on les entreposent sur des sites normalement protégés de telle sorte de pouvoir les gérer et les trier , c'est le constat de notre travail qui suscite une bonne gestion de ces déchets pour mieux les capter pour qu'ils soient traité et par la suite valorisés et réutilisés.

Notre travail est présenté d'une manière assez ordonnée, en présentant tout d'abord la problématique de notre travail, puis le contexte de notre stage effectué à l'entreprise ALFET (Algérienne des fonderies de Tiaret) et enfin le travail expérimental mené en vue de valoriser les sables usés dans le domaine de BTP.

La majorité des sables usées présentent un degré de toxicité puisque elles contiennent des additifs basiques (comme le silicate de soude) et acides (comme la résine furanique en plus un catalyseur ou un durcisseur), par conséquent un danger pour l'environnement par infiltration dans la nappe phréatique durant la saison hivernale pendant la saison pluvieuse surtout ou même pour les êtres humains qui la manutentionne.

Le mémoire est structuré en six chapitres :

Introduction générale

Le premier chapitre présente la structure d'accueil de l'entreprise ALFET puisque nous avons eu l'honneur de suivre un stage d'une courte durée laquelle nous avons acquis quelque notion sur les sables utilisés dans le moulage ainsi nous avons mis le point sur les problèmes posés au sein de la décharge de l'entreprise.

Le deuxième chapitre présente l'identification des sables utilisés dans la fonderie de Tiaret (ALFET), les procédés de moulage mis en place dans la fonderie ainsi le mélange qui constituait chaque procédés, tout en donnant certains détails sur les additifs ajoutés ainsi que leur impact sur l'environnement et leur danger pour la santé humaine afin d'être habile dans la manipulation dans le laboratoire.

Le chapitre trois traite La réglementation en vigueur qui présente un outil majeur dans la valorisation, pour cela on devra présenter quelques articles algériens tirés de notre législation pour avoir une idée assez concrète sur la réglementation Algérienne dans la gestion des déchets industrielle et surtout faire une comparaison avec la réglementation Européenne et Française ou même la réglementation Américaine ,

Le chapitre qui suit évoque quelques antécédents de valorisation du sable à vert (sable S1) ainsi les techniques de traitements au cours d'étude ou en voie d'application dans le domaine des travaux publics ou même dans quelque domaine des matériaux de construction.

Le cinquième chapitre, on présentera quelques notions sur la cristallographie afin de pouvoir interpréter les résultats des essais d'analyse des sables par la technique de DRX (Diffraction par les rayons X).

Le dernier chapitre est réservé à la présentation de la partie expérimentale et l'interprétation des résultats obtenus après des essais d'identification et des essais de portance sans traitement ou avec traitement en ajoutant des liants hydrauliques.

La conclusion générale résume et encadre les résultats trouvés durant notre travail présenter également les différentes perspectives qu'on peut mener pour l'utilisation des matériaux recyclées en examinant l'impact sur l'environnement et la politique du développement durable.

Nous avons eu l'honneur d'effectuer un stage qui s'est étalé sur la période allant du 22 décembre 2013 au 05 janvier 2014. Ce stage nous a aidés à s'orienter vers le but fixé et de s'éclaircir plus sur la façon de procéder pour mener à bien notre projet de fin d'étude.

Durant notre stage nous nous fixé un but d'analysé d'une manière théorique les sables désignés afin de les identifier de telle manière qu'on pourra les valoriser ou même les traiter.

Après un stage de courte durée dans l'établissement industrielle appelé algérienne des fonderies de Tiaret (ALFET), nous avons pu voir sur place le déroulement de quelques procédés de moulage et de noyautage et le taux de sables traité ainsi la manière dont les déchets de sables sont gérés et entreposés dans les décharges, là où on as compris le réel problème qui fais obstacle à la possibilités de valorisation ou de traitement puisque l'établissement ne détient aucune fiabilité dans la gestion et l'entreposage de ses déchet d'une façon assez clair et précise

I.1 présentation de la structure d'accueil.

I.1.1 fiche d'identité :



Figure I.1: Siege de l'entreprise ALFET.

- **Nom de l'entreprise :** Algérienne des fonderies de Tiaret
ALFET – Filiale Groupe FONDAL.
- **Objet social :** Production et commercialisation de produits de fonderie (pièces moulées en fonte et en acier, etude et conception des outillages, fabrication de pièces moulées sur commandes.
- **Statut :** Société par actions (SPA).
- **Capital social :** 1.200.000.000 DA.
- **Siege social :** 21, Rue Guellab Larbi – BP212-Tiaret.

Capacités de production : Fonderie Fonte de Tiaret, 8.000 T/An.

Fonderie Acier de Tiaret, 4.000T/An. (1).

I.1.2 Historique :**- En 1983 :**

Mis en route, par la SN METAL le complexe de la fonderie de Tiaret avec un partenaire EST – ALLEMAND.

Transfert à L'ENF (restructuration industrielle des entreprises publiques).

- **En 1992** : délocalisation de 3 unités à partir au CFT (FNT en 1992 UMT en 1993 et ULS en 1995).
- **En 1995** : Externalisation des activités périphériques avec la création de 15 micro-entreprise dans différentes domaines.
- **En 1999** : Filialisation de l'entreprise sous le nom de algérienne des fonderies de Tiaret.

I.1.3 Moyens :

ALFET dispose d'un ensemble d'infrastructure (terrains de 430.000 m² dont 73.325 m² bâtie). Elle est dotée d'installations et de procédés adaptés pour proposer des nuances de métal très variées et fournir des pièces moulées de grande qualité et conformes aux exigences et attentes du client.

- **Moyens humains :**

ALFET compte un effectif de 317 agents, reparti par groupe socioprofessionnel, selon le tableau suivant (Photo I.1).

TAB I.1 : Répartition du personnel de l'entreprise. [1]

Groupe	Nombre	Pourcentage
Agents d'exécution	242	76%
Agents de maîtrises	21	7%
Cadres	54	17%
Total	317	100%

- **Moyens matériels :**

- **Fusion** : assuré par 4 fours à induction de 10 T, 2 fours induction de 1 T et 2 fours à arc de 5 T.

- **Moulage** : assurés par 2 chantiers automatiques à sable à vert, 2 chantiers mécaniques au sable à vert et silicate de soude et 2 chantiers manuels en furanique, un chantier DISAMATIC 2032 avec installation de coulée automatiques en cours de réalisation.

- **Sablerie** : sablerie et installation de traitement et de régénération de sable.

- **Noyautage**: a proceeds No- back, cold box, Co₂, Croning, Huile.

- **Laboratoire:** (spectrométrie, métallographie, chimie, essai physiques, sable).

Parachèvements grenailage, ébarbage, traitement thermique, soudage, finition.)

-**Autres installations:** (équipement énergétiques, manutention, casse fonte, transport, machines-outils,..).

I.1.4 Organisation :

Le staff de management est composé comme telle :

- **Kacimi Amar:** President Directeur general.
- **Zitouni Ahmed:** Directeur Adm et personnel.
- **Yahia M'Hamed :** Directeur Finances et comptabilité.
- **Djaballah Khaled :** Directeur Marketing.
- **Meguebel Mohamed :** Directeur Qualité et environnement.
- **Ait Saïd Mouloud :** Directeur fonderie fonte.
- **Khanfar Amar :** Directeur fonderie Acier.

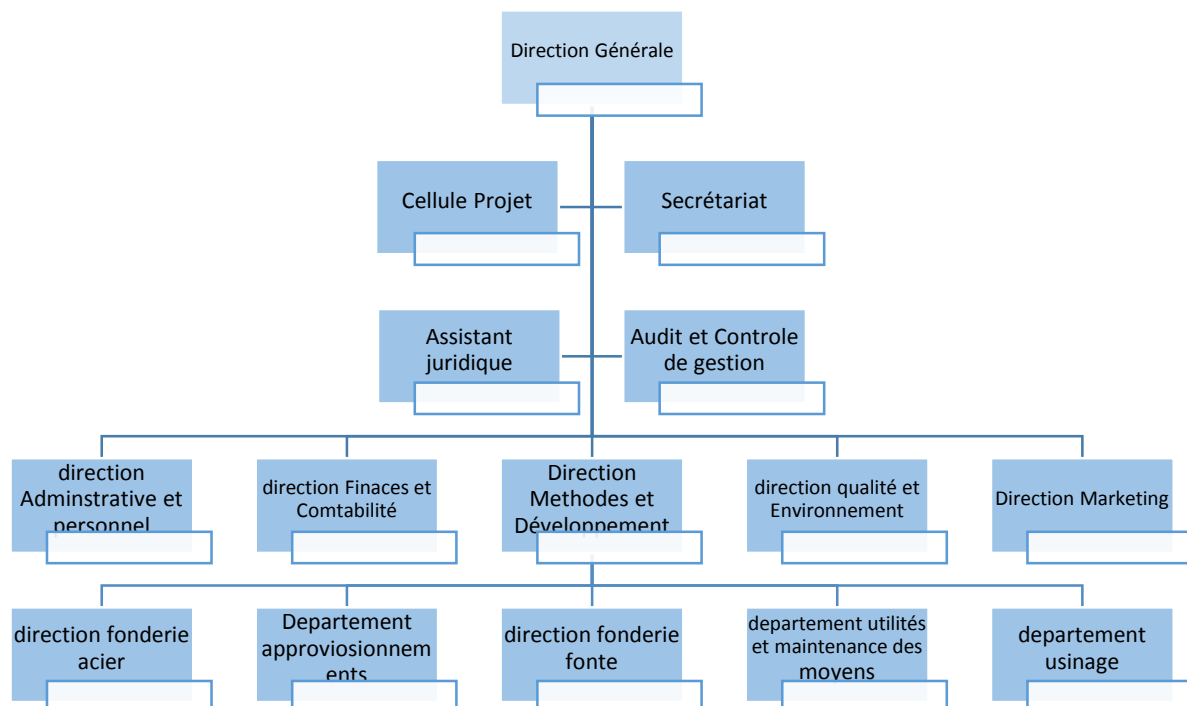


Figure I.2: Organigramme hiérarchique de la structure d’ALFET.

I.2 Objectifs du stage :

Notre stage effectué au sein de la fonderie de Tiaret (**ALFET**) nous a permis d'avoir une approche très détaillée sur nos objectifs à atteindre pour l'achèvement de notre recherche ou de bien planifier l'organisation de notre travail.

Durant notre séjour, la fonderie de Tiaret on a eu le temps d'assister aux différents procédés de moulage dans lesquelles plusieurs types de sables utilisés. La vérification de quelques caractéristiques chimiques et mécaniques de certains sables non usagés a fait l'objet, également, de notre constatation.

Par la suite nous avons visité la décharge ou l'Entreprise d'ALFET entreposent ses sables usés de différents types.

Notre attention a été attirée particulièrement sur la toxicité de certains sables, ce qui nous a incités à réfléchir sur les méthodes de manipulation de manutention des sables qualifiés de dangereux.

Les sables usés utilisés sont classés en quatre catégories (S1, S2, S3, S4) :

S1 : est un sable à vert qui est un sable non toxique avec un $\text{pH}=07$, donc neutre, ce sable est constitué principalement de la silice, une argile (bentonite) et du noir minéral (charbon broyé)

S2 : est sable siliceux, au silicate de soude ayant un $\text{pH}=13.5$.

S3 : est un sable au silicate de soude plus la bentonite.

S4 : est un sable furanique ayant un $\text{pH}=1$ ou 2 .

Notre étude est focalisée sur la valorisation des 3 premiers sables, désignés S1, S2 et S3.

Quant au sable S4, ce dernier est exclu de notre étude du fait qu'il contient un degré d'acidité très fort.

I.3 Remarques retenues durant le stage.

- ✚ Durant l'observation et surtout au niveau du grand atelier de la fonderie, en compte tenu la gravité du danger permanent auquel les ouvriers sont exposer, on a remarqué que les opérateurs ignorent complètement les normes de sécurité.
- ✚ Aucune gestion de déchets n'est mise en place, or une gestion archaïque qui nous a compliqué le travail pour la prise d'échantillons. En d'autres termes, aucune démarche organisée n'est envisageable par l'entreprise pour la gestion et le tri des déchets.
- ✚ Un énorme laisser aller concernant la maintenance des équipements dont certains sont utile pour un meilleur rendement.
- ✚ Notre travail s'est limité au sable à vert et au sable au silicate de soude ainsi qu'à celui aux silicates de soude plus la bentonite du fait que ses sables représentent moins de dangers par rapport au quatrième type.

Conclusion :

Dans ce chapitre il a été question d'aborder la présentation de l'entreprise et les différents types de sables utilisés qu'on puisse arrêter un plan de travail pour notre PFE. Nous avons donné à la fin du chapitre les remarques les plus pertinentes qui suscitent d'être signalés lors de notre stage à l'entreprise et à travers desquelles on a ciblé les sables usés qui feront l'objet d'une analyse et d'une valorisation dans le domaine de BTP.

II.1 Introduction

Il existe trois types de sables : **sables naturels, les sables silico-argileux et le sable à prise chimique.**

- Le sable naturel est directement extrait des carrières. Il est composé de silice, d'argiles et de poussière.
- Le sable silico-argileux, dit aussi synthétique par opposition aux sables naturels, est constitué d'un réfractaire (silice) aggloméré par de l'argile activée par de l'eau. Des additifs sont ajoutés à ce sable afin d'en améliorer son comportement à la coulée.
- Le sable à prise chimique est composé de silice (pour les fontes) ou de chromite (pour les aciers), de résines (environ **1% à 2%** de la masse du sable) et d'un catalyseur (**5 à 60%** de la masse de résine). La polymérisation des résines, déclenchée par le catalyseur ou bien le durcisseur permet de D'assurer la cohésion entre les grains de sables. L'ajout des résines et du catalyseur se fait juste avant le moulage, généralement à l'aide d'un malaxeur à vis rapide, muni de pompes doseuse qui délivre la quantité de sable préparé nécessaire à la réalisation d'un moule.

Pour obtenir une composition parfaite du sable à vert on utilise un mélangeur à sable pour fonderie qui va homogénéiser le sable avec l'eau, le liant argileux et les additifs.

Dans la fonderie, on compacte un mélange de sable et un liant au silicate de sodium autour du modèle comme précédemment, ensuite on utilise du CO₂ pour figer le gel du silicate de sodium. Le moule est en principe réutilisable mais il se détériore rapidement dans la fonderie en sable évaporable. [2]

II.2 Procédés de moulage :

II.2.1 Sables à vert (sable argileux à vert, sable à l'argile).

Le sable de base est constitué principalement de grains de silice pure (**quartz**), mélangés avec de la bentonite calcique (**5% à 10%**), avec du noir minéral et de l'eau. Le sable à vert est très utilisé pour la confection des moules, appelé moulage à vert.

Ce procédé est employé pour la fabrication des pièces en fonte. [4]

$$\text{Sable à vert} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Un matériau réfractaire: la silice pure.} \\ \text{Un matériau plastique: l'argile.} \\ \text{Un matériau protecteur: le noir minéral.} \end{array} \right.$$

Cette préparation se réalise dans la sablerie qui sert à recycler le sable à vert.

(Taux de recyclage 99%).

Le tableau II.1 présente les pourcentages de chaque constituant du sable à vert.

Tableau.II.1: composition du sable à vert. [3]

	pourcentage
Vieux sable	94 à 96%
Sable neuf	4.5 à 5%
Bentonite	5 à 10%
Noir minéral	0.3 à 0.5%
Eau	2.5 à 5%



Figure II.1 sable à vert (S1) usés provenant de l'ALFET

II.2.1.1. Identification des matériaux additifs utilisés.

➤ La bentonite (une argile) :

La bentonite est une argile colloïdale dont le nom vient de **fort benton** dans le **Wyoming** aux **états unis**. Connue aussi sous le terme de terre à foulon, c'est une smectite étant essentiellement constituer de **montmorillonite** $(\text{Na}, \text{ca})_{0.33} (\text{Al}, \text{Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2(\text{H}_2\text{O})_n$ (80%), c'est une argile ce qui explique sa capacité de **rétenion d'eau**.

On trouve également d'autres minéraux comme le **quartz**, le **mica**, le **feldspath**, la **pyrite** ou la **calcite**. Les gisements de bentonite sont d'origines **volcaniques** et hydrothermales.

On se qui concerne les gisements de bentonite en Algérie, elle est produite à partir de plusieurs bassins volcaniques du tertiaire à l'Ouest de pays dans la région de **Maghnia** et de **Mostaganem**. [5]

Ces gisement se trouvent à proximité de ports et sont tous accessibles par route ou par train.

D'après des sondages recueillis, le pays dispose d'un potentiel appréciable pour développer l'industrie de la bentonite.

L'argile utilisée dans l'ALFET pour le moulage avec du sable à vert (S1) ou même le sable (S3) est une bentonite en montmorillonite et qui provient du Nord-ouest de l'Algérie et plus exactement du gisement de **Hamam Bouhrara (Maghnia)**. C'est une bentonite sodique, de couleur blanche.

Le tableau II.2 présente quelques caractéristiques de cette bentonite : [5]

Tableau II.2 : caractéristiques physico-chimiques de la bentonite de Maghnia utilisé dans l'ALFET.

bentonite	Surface spécifique (m ² /g)	pH	Cation échangeable (méq/100g)			
			Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺
Maghnia	80	6.2	30.6	12.8	36.2	9.5



Figure II.2 : Bentonite de fonderie.

➤ **Le noir minéral.**

- **Description** : Le noir est un additif carboné, ce produit est un charbon pulvérisé dont la taille des particules est de 80 µm. son rôle dans le sable de moulage est d'éviter l'abreuvage, la pénétration de l'alliage entre les grains de sable.
- **Utilisation** : additif carboné pour moulage à vert.
- **Avantage** : carbone brillant élevé en comparaison des noirs minéraux traditionnels d'où une économie très sensible de régénération et besoin en eau très faibles.

Qualités exceptionnelles du semi-coke, ce qui signifie une très bonne protection des grains de sable et meilleur état de surface. [6]

Faible teneur en oxygène permettant un dégagement limite d'oxyde de carbone lors de la coulée.

- **Analyse types : [6]**

Matières volatiles (sur sec) :	36% .
Carbone brillant (sur sec) :	11% .
Semi-coke résiduel (sur sec) :	64% .
Teneur en eau :	3% .
Cendres (sur sec) :	7% .
Soufres (sur sec) :	0.85% .
Granulométrie refus tamis 0.210 mm :	10% .



Figure II.3: Noir minéral de fonderie.

Remarque:

- Le sable naturel utilisé dans le moulage est un **sable siliceux**, la silice (SiO_2) est largement répandue sur terre. Extrait de carrières, le sable brut est traité par lavage, classé en fonction de sa granulométrie, puis séché.

La pureté des sables ainsi traité avoisine les 99,5%. Le choix du sable dépend de sa granulométrie c'est-à-dire de la taille des grains qui le constitue. Elle est définie par le calcul de l'indice de finesse du sable. (**Indice AFS**).

L'indice de finesse à une échelle définie tel que le plus petit indice représente une granulométrie grossière, exemple le **35 AFS**, le plus fort indice représente une granulométrie fine, par exemple **120 AFS**. Un indice élevé favorise l'état de surface de la pièce brute au détriment de la perméabilité du moule et vice versa. De plus un indice élevé amène à une vérification plus précoce du sable. Dans les fonderies d'alliages ferreux cet indice est de l'ordre de **55 à 65 AFS** (cas des fontes), plus élevé dans le cas des alliages légers.

- L'eau, son rôle est d'activer l'argile (**la bentonite**) afin de lui conférer sa **plasticité**.
- Le sable naturel utilisé dans l'ALFET provient de la wilaya de **CHLEF** ou de l'entreprise **ADWAN CHEMICALS COMPANY**.

II.2.2 Sables au silicate de sodés.

Les sables au silicate de soude (3% à 4% de silicate de soude) dénommés de remplissage sont utilisés pour la confection de grandes séries de moules et de noyaux. Ces mélanges sont durcis, par injections de gaz carboniques. Ce type de sable est utilisé pour le moulage de pièces en acier.

La comparaison de ce type de sable est indiquée sur le tableau ci –dessous. [3]

Tableau II.3: Composition du sable au silicate de soude. [3]

	pourcentage
Sables neuf	94 à 96%
Silicate de soude	3 à 4 %

II.2.2.1 Identifications du silicate de soude.

Le Silicate de sodium (ou sel di sodique de l'aide silicique **Trioxosilicate de di sodium**) est une substance chimique de formule Na_2SiO_3 , très soluble dans l'eau. C'est une base forte formant des solutions très alcalines, corrosive pour la peau et les muqueuses (pH 13 en solution à 1%)

Le silicate de sodium se forme naturellement par réaction de la silice (**dioxyde de silice**) avec le carbonate de sodium à l'état fondu, on obtient du silicate de sodium et du dioxyde de carbone. [7]



On le trouve sous deux formes principales.

- Forme anhydre (il se présente alors comme un solide cristallin translucide à blanc de formule $(\text{Na}_2\text{SiO}_3)$).
- Forme hydratée ($\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), il est parfois qualifié de verre liquide.

On se qui concerne le domaine de la fonderie on utilise la forme hydratée un peu trop visqueuse, fournie par **ADWAN chemicals company située dans la zone industrielle numéro 02 Fernaka .Mostaganem... (Voir l'annexe 01).**

La composition chimique du silicate de soude fournie par ADWAN Chemicals prenter dans le tableau II.4.

Tableau II.4: Composition chimique du silicate de soude utilisé par l'ALFET.

Na ₂ O %	15.51
SiO ₂ %	32.70
SiO ₂ /Na ₂ O Ratio	2.11
% Concentration	48.21
Fe	< 40 ppm

Important : Le temps d'écoulement à 20 °C est de 27s, ce qui explique son caractère visqueux.

II.2.2.2 Usages divers.

Comme précédemment mentionnée le silicate de soude est utilisé en plusieurs domaines. [8]

- ✓ Dans le ciment.
- ✓ Dans certain matériaux réfractaires.
- ✓ Dans le textile.
- ✓ Dans certain produits d'entretien (ménagers ou industriels, tels que détergents, désinfectants, produits de nettoyage alimentaire).
- ✓ Dans l'industrie de la transformation du bois.
- ✓ Pour la préparation de produits cosmétiques.
- ✓ Et même dans l'alimentation.

II.2.2.3 Les dangers du silicate de soude liquide alcaline.

II.2.2.3.1 Identification du danger.

En ce qui concerne les risques sur la santé :

- **INHALATION** : Peut causer de sévère irritation des voies respiratoires avec toux, suffocation, douleur et possiblement brûlures des muqueuses membranes. Dans certain cas œdème pulmonaire et / ou pneumonie peut développer ; sois immédiatement ou plus souvent dans 72 heures. Les symptômes peuvent inclure serrement de poitrine, dyspnée ; écume du salive, cyanosais, et étourdissement.
- **Contacte cutanée** : tout contact direct peut causer une irritation.
- **Contacte oculaire** : un direct contacte peut causer une sévère irritation, douleur et brûlures, possiblement sévères et permanent dommage y compris aveuglement, la pleine mesuré de la blessure peut être ne sera pas apparent immédiatement.
- **Ingestion** : peut causer douleur immédiate et sévères brûlures de l'œsophage et le système gastro-intestinal avec vomissement, nausée, et diarrhée. Peut causer gonflement et destruction de tissu aux muqueuses membranes de la bouche, gorge, œsophage, et estomac. [7]

II.2.2.3.2 Premiers soins.

- **INHALATION** : en cas de problème transporter la victime dans zone non contaminée .donner une respiration artificielles si ne bouché pas.si la respiration est difficile, l'oxygène devrait être géré par le personnel qualifier, en cas d'arrêt respiratoire

pulsatoire. veuillez à ce qu'une personne formée dispense les premiers soins (réanimation cardio-respiratoire/défibrillateur externe automatique).

- **Contact cutanéé** : rincer immédiatement à grande eau les zones souillées. enlever immédiatement tous les vêtements, bijoux et chaussures contaminés. Laver les zones contaminées avec du savon et de l'eau. complètement nettoyer et sécher habillement et les chaussures souiller avant réutilisation.
- **Contact oculaire** : appliquer immédiatement un gel d'eau direct sur les yeux pendant au moins 15 minutes. On écartant les paupières afin de garantir une bonne irrigation de l'œil et du tissu de la paupière. il est indispensable de laver les yeux dans les secondes qui suivent pour une efficacité maximale.
- **Ingestion** : ne jamais administrer un produit par voie buccale à une personne inconsciente ou en crise convulsive. En cas d'ingestion veuillez de ne pas provoquer un vomissement. Donner de grande quantité d'eau si le vomissement se produit spontanément, veuillez à ce que les voies aériennes soient libres. Donner de l'eau une fois que les vomissements ont cessé.

II.2.2.4 Manutention et entreposage :

- **Stockage** : entreposez et manipulez selon toutes les réglementations et standards actuels. Gardez le contenu fermé et étiqueté correctement. Ne pas stocker dans un récipient en aluminium ou utiliser des adaptateurs ou des conduits de transfert en aluminium au risque de générer de l'hydrogène, un gaz inflammable. Gardez séparément des substances incompatibles.
- **Manutention** : éviter tout contact avec la peau, les yeux et le vêtement. éviter de respirer les vapeurs de l'aérosol. lavez complètement après manipulation. Manipuler avec précaution le produit chaud. [7]

II.2.2.5 Equipement protecteur personnel.

- **Protection oculaire** : porter des lunettes de sécurité munies d'écrans latéraux si le contact avec les yeux est possible.
- **Protection pour la peau et le corps** : porter un vêtement de protection pour minimiser le contact avec la peau.
- **Protection pour les mains** : portez des gants résistants aux produits chimiques appropriés. Utiliser des gants qui sont résistants aux coupures si vous manipulez du matériel de verre sec.
- **Protection respiratoire** : un respirateur approuvé avec particules à haute efficacité (des masques). [7]

II.2.2.6 Stabilité et réactivité.

- **Réactivité** : stable à des températures et pressions normales. Prolongement de contact avec incompatibles métaux peut produire du gaz hydrogène inflammable.

- **Conditions à éviter** : prolongement d'entreposage au-dessous 140 F (60 °C), contact avec les acides va causer un gel et changement de chaleur.
- **Incompatibilités** : acides, contacte prolongé avec l'aluminium, le laiton, le bronze, le cuivre, le plomb, l'étain ; le zinc ou d'autres métaux ou alliages sensibles à l'alcali.

II.2.2.7 Toxicité et cancérogénicité :

- **Toxicité** : les solutions de silicate de sodium sont alcalines. Toute exposition a des solutions alcalines peut entraîner des conséquences allant de l'irritation a des brulures graves selon la concentration des solutions et la durée d'expositions à celle -ci .le silicate de sodium est un type de silice sublimée et ne cause pas la silicose pulmonaire.
- **Cancérogénicité** : Ce produit n'est pas classé comme un cancérigène par le **NTP** (programme national canadien de toxicologie) ; le **CIRC** (centre international de recherche sur le cancer) ou **L'OSHA** (administration de hygiène et de la sécurité des Etats-Unis).

II.2.2.8 Renseignements écologiques.

- **Ecotoxicité** :
 - **Toxicité aigüe** : Ce matériau a démontré une toxicité modérée sur des organismes aquatiques.
- **Sort et transport** :
 - **Biodégradation** : Ce matériau est inorganique et n'est pas sujet à la biodégradation.
 - **Persistence** : La croyance est que ce matériau peut persister dans l'environnement.
 - **Bioconcentration** : Ce matériau ne devrait pas faire l'objet d'une bioconcentration dans des organismes.
- **Information écologiques supplémentaire** : ce matériau a démonté une légère toxicité sur des organismes terrestres. [7]

II.2.3 Sables à la résine furanique.

D'une manière générale, les résines sont utilisées à faible dosage, de l'ordre de 2% comme liant organique.

La résine furanique employée par **ALFET** est un mélange d'alcool **furfurylique** et d'**alcool formaldéhyde**.

Cette résine **thermodurcissable** durcie en présence d'un **catalyseur** acide composé de l'**acide xylènesulfonique**, de l'acide **benzéno-sulfonique** et de l'**acide sulfurique**.

Le sable à la résine furanique sert à la fabrication de pièces massives en fonte.la comparaison du sable à la résine furanique est indiquée sur le tableau II.5. [3]

TAB II.5: Composition du sable à la résine furanique. [3]

	<i>pourcentage</i>
<i>Vieux sable</i>	94 à 96%
<i>Sable neuf</i>	4.5 à 5%
<i>Résine +catalyseur (durcisseur)</i>	5 à 10%

II.2.3.1 Identification des additifs (résine furanique + catalyseur).

II.2.3.1.1 Identification des dangers (RESIMAX 3519 utilisé à l'ALFET fournie par FOSECO industries)... (Voir l'annexe 02).

- **Identification des dangers pour la santé :**

Effet cancérigène suspecté, toxique par inhalation. Nocif par contact avec la peau et par ingestion ; nocif par risques d'effet grave pour la santé en cas d'exposition prolongée par inhalation. Irritant les yeux et les voies respiratoires.

- **Très toxiques pour les organismes aquatiques.**

II.2.3.1.2 Identification des dangers (CATASET PA20 utilisé à l'ALFET fournie par FOSECO industries)... (Voir l'annexe 02).

- **Identification des dangers pour la santé :**

Nocif en cas d'ingestion provoque de graves brûlures. Irritant pour les respiratoires.

- **Ingrédients dangereux :**

- Acide benzenesulfonique.
- Acide sulfurique.

Conclusion :

A travers ce chapitre, nous avons identifié les matériaux utilisés ainsi les dangers qui résident dans les additifs utilisés, pour une meilleure utilisation et une sereine manipulation durant l'expérimentation prochainement envisagée.

Cette partie du mémoire nous révèlent que les sables étudiés causent une tolérance acceptable de leur toxicité de telle façon qu'on peut les entreposer et les utiliser avec une précaution et une prudence en utilisant des protections telle que des gants en latex et des masques et des sacs en carton pour l'entreposage des matériaux.

III.1 Introduction

D'un point de vue réglementaire l'Algérie un pays qui ne respecte pas la loi de gestion des déchets sauf pour la sanction en ce qui concerne l'entreposage des déchets dans les décharges mais sans aucune gestion bien que la législation exhorte les entreprises industrielles privées et étatiques à bien gérer les déchets et de les traiter si c'est possible mais sans spécifier ou de classer le type de déchet.

Mais la France reste le seul pays qui a rédigé une législation spécifique aux déchets de sable de fonderie, dans les autres états européens les sables usés de fonderie sont considérés comme déchets industriels à part entière.

III.2 Règlementation algérienne :**III.2.1 Loi n° 01-relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets (12 décembre 2001).**

La présente loi a pour objet de fixer les modalités de la gestion, de contrôle et de traitement des déchets, sur la base des principes suivants :

- a. La prévention et la réduction de la production et de la nocivité des déchets à la source.
- b. L'organisation du tri de la collecte, du transport et du traitement des déchets.
- c. La valorisation des déchets par leur réemploi, leur recyclage en toute autre action visant à obtenir, partir de ses déchets, des matériaux réutilisables ou de l'énergie.
- d. Le traitement écologique rationnel des déchets.
- e. L'information et la sensibilisation des citoyens sur les risques présentes par les déchets et leur impact sur la santé et l'environnement, ainsi que les mesures prises pour prévenir, réduire ou compenser ces risques.

Les déchets au sens de la présente sont classifiés comme suit :

- Les déchets ménagers et assimilés.
- Les déchets spéciaux y compris les déchets spéciaux dangereux, notamment tout déchets issus des activités industrielles, agricoles de soins de services et toutes activités qui en raison de leur nature et de la composition des matières qu'ils contiennent ne peuvent être collectés, transportés et traités dans les mêmes conditions que les déchets ménagers et assimilés et les déchets inertes
- Les déchets inertes à savoir tous déchets provenant notamment de l'exploitation des carrières, des mines, des travaux de démolition, de construction ou de rénovation, qui ne subissent aucune modification physique, chimique ou biologique lors de leur mise en décharges, et qui ne sont pas contaminés par de substances dangereuses ou autres éléments générateurs de nuisances, susceptibles de nuire à la santé et /ou à environnementales conditions de choix de sites dilatation, d'aménagement, de réalisation, de modification de procès et d'extension des installations de traitement de déchets sont régis par la réglementation relative aux études d'impact sur l'environnement et par les dispositions de la présente loi de ses textes d'application.[9]

III.2.2 décret exécutif n°07-205 fixant les modalités et procédures d'élaboration de publication et de révision du schéma communal de gestion des déchets ménagers et assimilés (30 juin 2007).

en appliquant des dispositions de l'article 31 de la loi n° 01-19 relative à la gestion, au control et à l'élimination des déchets le présent décret a pour objet de fixer les modalités et procédures d'élaboration, de publication et de révision du schéma communal de gestion des déchets ménagers et assimilés.

III.2.3 décret exécutifs n°04-409 fixant les modalités de transport des déchets spéciaux dangereux (14 décembre 2004).

Le transport des déchets spéciaux dangereux est soumis à des conditions générales d'emballage, de moyens de transport et de consignes de sécurité, des conditions particulières en matière d'autorisation de transport des déchets spéciaux dangereux et de document de mouvement de cette catégorie de déchets. [9]

Thématiques : déchets et substances dangereuses.

Mots clés : déchets dangereux, gestion des déchets, transport/dépôts.

III.2.4 décret exécutif n° 03-477 fixant les modalités et les procédures d'élaboration, de publication et de révision du plan national de gestion des déchets spéciaux (09 décembre 2003).

Le présent décret fixe les modalités et les procédures d'élaboration, de publication et de révision du plan national de gestion de déchets spéciaux.

III.3 Réglementation française actuelle :

III.3.1 La loi du 15 juillet 1975 :

Relative à l'élimination des déchets et à la récupération des matériaux a été abrogée et codifiée à l'ordonnance n° 2000-914, cette ordonnance relative à la partie législative du code de l'environnement a été publiée le 18 septembre 2000. le titre IV traite les déchets.

Le code de l'environnement rappelle les définitions suivantes :

- Est un déchet 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 destiné à l'abondant.
- Est réputé abondant tout acte tendant, sous le couvert d'une cession à titre gratuit ou onéreux, à soustraire son auteur aux prescriptions imposées par la réglementation.

Le producteur de déchets doit être conscient de sa responsabilité quelle que soit la filière d'élimination ou de valorisation choisie. [10]

III.3.2 Arrêté du 16 juillet 1991 :

L'élimination des sables de fonderie contenant des liants organiques de synthèse est règlementée en France par **l'arrêté du 16 juillet 1991**.

Le texte est fondé sur le tri des différents sables séparant sables non brûlés et sables brûlés, leur recyclage et la réduction des volumes éliminés. La génération et l'utilisation des technologies propres doivent être employées autant que faire se peut pour une réduction à la source selon la circulaire d'application de cet arrêté ministérielle.

Les sables de fonderie dont la teneur en phénols totaux de leur fraction **lixivable** est **supérieure à 50mg/Kg** rapportée à la matière sèche sont des déchets industriels spéciaux.

Les sables de fonderie à très basse teneur en phénols (moins de 5 milligrammes de phénols par kilogramme de sable sec, **méthode de lixiviation NF X-31 210**) peuvent rejoindre des décharges de type classe 3 ou des décharges connexe à la fonderie, ceux dont la teneur en phénols dans la fraction lixiviable est inférieure à 50 mg/Kg doivent être éliminé en centre d'enfouissement technique de classe 2. Pour une concentration en phénols dans l'éluât supérieure à 50mg/Kg, les sables doivent être enfouis en décharge pour déchets dangereux.

Les sables usés de fonderie peuvent être valorisé dans certains usages industriels :

- Comme remblais, sans préjudice de spécifications particulières, si leur teneur en phénols est inférieure à 1 milligramme par kilogramme de sable rapporté à la matière sèche (mesures réalisées sur **le lixiviat**).
- Pour la fabrication de produits à base de liants hydrauliques si leur teneur en phénols est inférieure à 5milligrammes par kilogramme de sable rapporté à la matière sèche (mesure réalisées sur **le lixiviat**).
- Dans des procédés aptes à détruire les liants organiques (**tuileries, briqueteries, cimenteries**), sous réserve que les installations correspondantes bénéficient des autorisations nécessaires. [10]

III.3.3 Décret du 18 avril 2002

La décision de la commission européenne **2000/532/CE du 3 mai 2000** a été transposée en droit français par la parution du décret **2002-540 du 18 avril 2002** relatif à la classification des déchets.

Les sables usée de fonderie sont rangés dans la code : déchets provenant de procédés thermiques. La codification est à six chiffres en se trouvent les déchets de fonderie de métaux ferreux et en 10 les déchets de fonderie de métaux non ferreux.

Ainsi, les déchets de sables à vert et en mélange sont à ranger dans les classes suivantes :

- **Fonderie de métaux ferreux :**

10 09 05* : noyaux et moules de fonderie n'ayant pas subi la coulée contenant des substances dangereuses.

10 09 06 : noyaux et moules de fonderie n'ayant pas subi la coulée autres que ceux visés à la rubriques 10 09 05.

10 09 07* : noyaux et moules de fonderie ayant subi la coulée contenant des substances dangereuses.

10 09 08 : noyaux et moules de fonderie ayant subi la coulée autres que ceux visés à la rubrique 10 09 07.

Pour les fines des installations de filtration et dépolluissage :

10 09 11* : autres fines contenant des substances dangereuses.

10 09 12 : autres fines non visées à la rubriques 10 09 11.

• **Fonderie de métaux non ferreux :**

10 10 05* : noyaux et moules de fonderie n'ayant pas subi la coulée contenant des substances dangereuses.

10 10 06 : noyaux et moules de fonderie n'ayant pas subi la coulée autres que ceux visés à la rubriques 10 10 05.

10 10 07* : noyaux et moules de fonderie ayant subi la coulée contenant des substances dangereuses.

10 10 08 : noyaux et moules de fonderie ayant subi la coulée autres que ceux visés à la rubriques 10 10 07.

Pour les fines des installations de filtration et de dépolluissage :

10 10 11* : autres fines contenant des substances dangereuses.

10 10 12 : autres fines non visées à la rubriques 10 10 11.[10]

Les déchets de fonderie signalés par un astérisque sont considérés comme dangereux. Ils sont sensés présenter la propriété ' H14 : Ecotoxique ' : substances et préparations qui présentent ou peuvent présenter des risques immédiats ou différés pour une ou plusieurs composantes de l'environnement.

Les critères de méthode d'évaluation des propriétés dangereuses des déchets sont fixés par arrêté du ministre chargé de l'environnement, pris après avis du conseil supérieur de l'installation classée

Cette nouvelle classification imposera au producteur de déchets de démontrer le caractère dangereux ou non par biais d'analyses beaucoup plus exhaustives que celles prévus dans **l'arrêté de juillet 1991.**

III.3.4 Arrêté du 9 septembre 1997 relatif aux installations de stockage de déchets ménagers et assimilés.

Le texte de cet arrêté a été modifié par l'arrêté du 31 décembre 2001 (**J.O. du 2 mars 2002**) et par l'arrêté du 3 avril 2002 (**J.O. du 19 avril 2002**).

Les sables de fonderie dont la teneur en phénols totaux de leur fraction lixiviable est inférieure **50mg/Kg** de sable rapporté à la matière sèche sont rangés dans la **sous-catégorie E 2** qui appartient elle-même à **la catégorie E**. **la catégorie E** comprends les déchets dont le comportement en cas de stockage est peu évolutif, la capacité de dégradation biologique est faible et qui présentent un caractère polluant modérée.

La sous – **catégorie E 2** est composée de déchets de la catégorie E qui peuvent rapidement faire l'objet de traitement afin d'en extraire une part valorisable tout en étant essentielle, et de nature minérale.

Ces déchets font ou peuvent faire l'objet d'obligation particulière d'élimination, tout en application de textes nationaux qu'en application de dispositions particulières éventuellement arrêtées dans le cadre du plan d'élimination des déchets ménagers et assimilés du département d'implantation de l'installation de stockage. **(10)**

Ce texte sera à nouveau modifié suite à la parution de la décision européenne du 12 décembre 2002.

III.3.5 Arrêté du 30 décembre 2002 relatif au stockage de déchets dangereux (J.O.n°90 du 16 avril 2003).

L'arrêté du 18 décembre 1992 relatif au stockage de certains déchets industriels spéciaux ultimes et stabilisés pour l'installation nouvelle est abrogé. L'arrêté du 30 décembre 2002 transpose la directive **1999/31/CE du 26 avril 1999** dans le cas des déchets dangereux.

Les déchets qui peuvent être admis dans les installations de stockage visée par l'arrêté du 30 décembre 2002 sont les déchets dangereux tels que définis par décret en conseil d'état pris en application de **l'article L. 541-24 du code de l'environnement**.

Un déchet ne peut être admis dans une installation de stockage qu'après délivrance par l'exploitant au producteur, ou détenteur d'un certificat de d'acceptation préalable. Ce certificat est établi au vu des résultats de la caractérisation de base consiste à caractériser globalement le déchet en rassemblant toutes les informations destinées à montrer qu'il remplit les critères correspondant à la mise en décharge pour déchets dangereux. Elle est exigée pour chaque type de déchets. Elle est également à renouveler lors de toute modification importante de la composition des déchets.

Sur le site de la décharge, chaque chargement de déchets fait l'objet d'une inspection visuelle avant ou après le déchargement.

L'acceptation d'un lot de déchets dangereux doit donner lieu à l'émission d'un bordereau de suivi de déchets. **[11]**

III.3.5.1 Modes opératoires du test de potentiel polluant :

- Le test de potentiel polluant est basé sur la réalisation d'un essai de lixiviation selon la norme **X 30-402-2**. le test de lixiviation à appliquer est en fonction des propriétés physiques et mécaniques des déchets. notons qu'en France, le ministère de l'écologie et du développement durable a opté pour un test de lixiviation de 24 heures avec un rapport solide/liquide de 10.

La lixiviation réalisée selon la norme **X 31-210** ne sera plus utilisée.[11]

III.3.5.2 Critères d'admission des déchets en installation de stockage pour déchets dangereux.

- L'arrêté décrit l'essai normalisée ou en cours de normalisation réaliser sur déchet brut, le déchet traité et les éluas de lixiviation :

Les déchets pourront être admis s'ils respectent les seuils suivants :

- $4 < pH < 13$ mesure effectuée sur l'éluât.
- Fraction soluble globale $< 10\%$ en masse de déchet sec.
- Siccité $> 30\%$ en masse du déchet sec.

Les seuils ci-dessous portent sur la fraction extraite de l'éluât, exprimée en mg/Kg de déchet stabilisé sec : [11]

COT : < 1000 mg/Kg.

Cr : < 70 mg/Kg.

Pb : < 50 mg/Kg.

Zn : < 200 mg/Kg.

Cd : < 5 mg/Kg.

Ni : < 40 mg/Kg.

Hg : < 2 mg/Kg.

Ba : < 300 mg/Kg.

Cu : < 100 mg/Kg.

Mo : < 30 mg/Kg.

Sb : < 5 mg/Kg.

Se : < 7 mg/Kg.

Fluorures : < 500 mg/Kg.

Le phénol, les cyanures ne sont pas repris dans ce texte.

Outre les valeurs limites de lixiviation, les déchets admis en installation de stockage de déchets dangereux doivent, après une éventuelle stabilisation, avoir une valeur en carbone organique total inférieure ou égale à **6%** en masse de déchet sec. Si cette valeur est dépassée, une valeur plus élevée peut être admise à la condition que la valeur limite de 1000 mg/Kg soit respectée pour le **COT** sur lixiviat sur la base d'un **pH 7** ou au pH de déchet.

Pour la caractérisation de base, l'évolution de la capacité de neutralisation acide (**C.N.A.**) sera imposée, la méthode d'évaluation est en cours d'élaboration. [11]

III.4 Réglementation européenne.

III.4.1 Les principales directives.

Pour mémoire, l'objectif de la directive **75/442/CEE** du conseil, du 15 juillet 1975, relative aux déchets était d'instaurer une gestion coordonnée des déchets dans la commune afin d'en limiter la production. Ces mesures s'appliquant à toute substance ou tout objet dont le détenteur se défait ou à l'obligation de se défaire en vertu des dispositions nationales des états membres.

L'objectif de la directive **91/689/CEE** était de permettre la gestion, la valorisation et l'élimination correcte des déchets dangereux. [11]

La directive **199/31/CE** a défini trois catégories de décharges.

Chaque décharge est classée dans une des catégories suivantes :

- Décharges pour déchets dangereux.
- Décharges pour déchets non dangereux.
- Décharges pour déchets inertes.

En règle générale, les critères d'admission fondés sur les propriétés des déchets doivent être très précis dans le cas des décharges pour déchets inertes et ils peuvent être moins précis dans le cas des décharges pour déchets non dangereux et moins précis encore dans le cas des décharges pour déchets dangereux, étant donné le meilleur niveau de protection de l'environnement que présentent ces deux dernières catégories.

III.4.2 Décision du conseil du 19 décembre 2002 (JOCE du 16/1/03).

Une décision du conseil, des critères et des procédures d'admission des déchets dans les décharges, conformément à l'article 16 et à l'annexe II de la directive 199/31/CE concernant la mise en décharge des déchets, a été publiée au journal officiel des communautés européennes le 16 janvier 2003.

La présente décision prend effet le 16 juillet 2004 et les états membres devront appliquer les critères définis au point 2 de l'annexe de la décision au plus tard le 16 juillet 2005. Elle définit des critères d'admission des déchets non dangereux et déchets dangereux.

Les déchets ne peuvent être admis en décharge que s'ils remplissent les critères d'admission des catégories de décharges que s'ils remplissent les critères d'admission des déchets repose sur trois niveaux :

- La caractérisation de base.
- La vérification de la conformité.
- La vérification sur place.

Chaque chargement de déchets admis dans une décharge doit faire l'objet d'une inspection visuelle avant et après le déchargement. Les documents requis doivent être vérifiés. [11]

III.4.3 Caractérisation de base des déchets.

- La première étape de la procédure d'admission, consiste à caractériser globalement les déchets en rassemblant toutes les informations nécessaires à une élimination sûre des déchets long terme.

La caractérisation de base est requise pour chaque type de déchets.

Les exigences fondamentales en vue de la caractérisation de base d'un déchet sont les suivants :

- a. Source et origines du déchet.
- b. Information concernant le processus de production du déchet (description et caractérisation des matières premières et des produits).
- c. Description du traitement appliqué aux déchets, conformément à l'article 6, point a), ou présentation des motifs expliquant pourquoi ce traitement n'est pas jugé nécessaire.
- d. Donnée concernant la composition du déchet et son comportement à la lixiviation, le cas échéant (en règle générale, les paramètres obligatoires figurant au point 2 doivent faire l'objet d'essais, l'analyse des autres paramètres doit être décidée au cas par cas).
- e. Apparence du déchet (odeur, couleur, apparence physique).
- f. Code conforme à la liste européenne de déchets (décision **2001/118/CE**).
- g. Pour déchets dangereux, en cas d'entrée en miroirs, propriétés qui rendent ces déchets dangereux, conformément à l'**annexe III** de la directive **91/689/CE**.
- h. Informations prouvant que le déchet n'est pas couvert par les exclusions visées à l'**article 5, paragraphe 3**, de la directive **1999/31/CE**.
- i. Catégorie de décharge dans laquelle le déchet peut être admis.
- j. Précautions supplémentaires à prendre au niveau de la décharge.
- k. Vérification visant à déterminer si le déchet peut être recyclé ou valorisé. [11]

III.4.4 Vérification de la conformité

- Quand un déchet a été jugé admissible dans une catégorie de décharge à l'issue de la caractérisation de base, les admissions ultérieures de ce type de déchet sont soumises à une vérification de sa conformité visant à déterminer s'il est conforme aux résultats de la caractérisation de base et aux critères appropriés d'admission.

La vérification de la conformité vise à réaliser des contrôles périodiques des flux de déchets réguliers.

Les déchets peuvent être admis dans une décharge s'ils sont les mêmes que ceux ayant déjà fait l'objet d'une caractérisation de base et d'une vérification de conformité et dont la description figure dans les documents d'accompagnement.

Dans le cas contraire, les déchets ne doivent pas être admis.

Il revient aux états membres de déterminer d'une part les exigences relatives aux essais de vérification sur place, et d'autre part des méthodes d'essai rapides.

- **Critères d'admission dans des décharges pour déchets inertes.**

Dans la décision européenne, les tests de potentiel polluant proposés sont la percolation ou la lixiviation avec trois paramètres possibles :

- La concentration C_0 des essais de percolation en mg/l (**premier éluât des essais de percolation**).
- La concentration cumulée $L/S=2$ l/kg, exprimée en mg/Kg, obtenue soit par un essai de lixiviation, soit par percolation.
- La concentration cumulée $L/S=10$ l/Kg, exprimée en mg/Kg, obtenue soit par un essai de lixiviation, soit par un essai de percolation.

Cette méthodologie ne s'appliquerait stricto sensu en France.

D'après le renseignement obtenu, le ministère de l'écologie et du développement durable a choisi de retenir le test de lixiviation comme test potentiel polluant et le rapport $L/S=10$ comme critère d'acceptation en décharge. Outre, le test de lixiviation retenue comportera désormais plus qu'une seule lixiviation de 24 heures (**NF 30-402-2 pour les déchets non massifs**) au lieu de trois lixiviations de 16 heures actuellement.

Un projet de guide de déchets du BTP est en préparation. Une note annexée concernera d'autres déchets dont les sables de fonderie.

- **Critères d'admission dans des décharges destinées à des déchets non dangereux.**

Le texte relatif aux critères d'admission des déchets non dangereux ne sera pas transposé en droit français dans son intégralité.

D'après le ministre du 09 septembre 1997 relatif aux déchets non dangereux, qui n'a pas de critères d'acceptation, sera modifiée pour intégrer la décision mais les seuils d'acceptation des décharges de déchets non dangereux proposés par l'Europe ne seront pas repris.

L'exploitant de la décharge décidera d'accepter ou de refuser les déchets sur la base de son arrêté d'exploitation.

- **Critères d'admission des déchets dans les décharges pour déchets dangereux.**

L'arrêté du 30 décembre 2002 intègre déjà par anticipation les prescriptions de la décision du 19 décembre 2002.

Rappelons qu'en France, le ministre de l'écologie et du développement durable a opté pour un test de lixiviation de 24 heures avec un rapport solide/liquide de 10 (voir paragraphe relatif à l'arrête du 30 décembre 2002). Les essais de percolation prévus dans la décision ont été abandonnés compte tenu de leurs délais de réalisation trop longs et des coûts qui en découlent.

- **Echantillonnage**

D'après les décisions échantillonnages et les essais devront être effectués par des personnes et des organismes indépendants et qualifiés. Les laboratoires doivent avoir une expérience avérée dans le domaine des essais et des analyses portant sur les déchets et doivent disposer d'un système efficace d'assurance qualité.

Pour l'échantillonnage des déchets réalisé pour la caractérisation de base, la vérification de la conformité et la vérification sur place, un plan d'échantillonnage sera élaboré conformément à la première partie de la norme sur l'échantillonnage actuellement développée par le CEN. En attendant que la norme du CEN soit établie en tant que norme européenne (NE) officielle, les états membres utiliseront des normes nationales ou le projet de norme de CEN, quand il aura atteint le stade de prénorme européenne.

- **Stockage souterrain**

Au titre de la décision du 19 décembre 2002 le stockage souterrain peut, en principe, aussi être utilisé pour les déchets inertes si ceux-ci remplissent les critères exigés pour déchets inertes. Seuls les déchets qui remplissent les critères visés pour les déchets non dangereux peuvent être admis dans les stockages souterrains pour déchets non dangereux. [11]

On ne connaît pas actuellement la position française sur ce sujet.

Notons que certains pays européens autorisent le stockage souterrain des sables de fonderie usagés.

III.5 Réglementation aux Etats-Unis.

On peut considérer différentes étapes dans la mise en place de la réglementation spécifique aux déchets aux Etats-Unis :

Les périodes clés sont les suivantes :

- Dans les années 1970, la législation dans le domaine de l'environnement est publiée aussi bien au niveau fédéral que des états. Dans la plupart des cas les sables de fonderie sont considérés comme autorisés comme des déchets industriels qui doivent être enfouis dans des décharges autorisées.
- A la fin des années 1980, les contraintes techniques, économiques (augmentation des coûts de mise en décharges et de transport) devenant fortes, les filières de valorisation des sables commencent à se développer.
- A partir des années 90, les législateurs de nombreux états ont peu à peu établi des critères d'exigences pour que la valorisation des sables (dont 90% environ sont des sables à vert) puisse se mettre en place.

Au niveau fédéral, le **RESOURCE CONSERVATION AND RECOVERY ACT (RCRA)** a introduit le concept de déchets dangereux et non dangereux.

Il distingue deux types de déchets dangereux :

- Les déchets répertoriés dans une liste compte tenu de leur origine et du processus de production.
- Les déchets non listés qui doivent subir des tests pour vérifier qu'ils répondent ou non à l'une au moins des 4 propriétés suivantes :

Inflammabilité, corrosivité, réactivité, toxicité.

Les déchets dangereux doivent être éliminés en décharge autorisée.

Un bordereau de suivi doit accompagner le déchet.

Le texte introduit aussi la notion de responsabilité du producteur de déchets. Celle-ci est engagée jusqu'à élimination complète du sous-produit.

La toxicité d'un déchet doit être vérifiée par la procédure **TLCP (toxicity characteristic leaching procedure)** qui impose une analyse des éluats.

En 1984 l'amendement **HSWA (HAZARDOUS AND SOLID WASTE AMENDMENTS)** fut le premier texte à introduire au niveau fédéral une politique de réduction de déchets.

Ainsi, bien que le caractère obligatoire ne soit pas de rigueur, les fondeurs ont été fortement incités à investir dans des programmes de recherche en vue de la valorisation de leurs déchets pour pallier les contraintes administratives, techniques et économiques.

Au niveau des états, le lobbying des professionnels de la récupération, des réutilisations de déchets et de sous-produits a obtenu des administrations locales des états surtout ceux situés dans des zones industrielles, l'élaboration et la formalisation de procédures pour l'approbation de la valorisation des déchets et sous-produits.

Dans beaucoup d'états, il est fait référence au **beneficial uses permit process** ou au **beneficial use determination (BUD)** qui constitue des procédures de demande d'autorisation. Celles-ci exigent pour l'essentiel que le produit ou déchet ne présente pas les caractéristiques d'un déchet dangereux d'où l'obligation d'une caractérisation du déchet par lixiviation avec contrôle des éléments suivants : phénols, cadmium, oxyde de baryum, arsenic, chrome plomb, argent, mercure, sélénium.

En réalité, on constate une hétérogénéité des procédures d'autorisation entre les états. Ainsi la mise en œuvre de la réglementation fédérale dans les états varie au niveau :

- Des méthodes d'analyses, des polluants à analyser et des valeurs limites à utiliser.
- Des méthodes dévaluations de la filière de valorisation (cout/bénéfices, impacts).[11]

III.5.1 Exemple du Wisconsin.

Un document officiel publié par les autorités de cet état fixe les limites et les modalités pour la réutilisation des déchets dans d'autres filières.

L'objectif est d'encourager la réutilisation de sous-produits pour préserver les ressources naturelles, conserver l'énergie et réduire le volume éliminé en décharge. La réalisation de sous-produits de l'industrie n'est possible que si la protection de la santé des populations et de l'environnement est garantie.

Les déchets doivent être caractérisés en vue de leur réutilisation dans d'autres filières. Le programme d'analyse est spécifié dans le tableau ci-après et doit être approuvé par le département adéquat.

L'exemple des filières envisagées dans l'état du Wisconsin est symbolique des actions menées aux Etats-Unis. Cinq catégories de sous-produits sont considérées. La catégorie I correspond à un matériau très peu polluant qui pourra être utilisé dans de nombreuses filières.

Inversement le sous-produit, classé en catégorie cinq susceptibles de libérer des éléments toxiques, ne pourra être utilisé que dans un nombre restreint de filières.

Les analyses de caractérisation des sous-produits varient selon la catégorie. Ainsi un sous-produit destiné à une filière de la catégorie I devra présenter une concentration en polluant inférieure aux valeurs fixées dans le tableau 5 colonne A et B. La catégorie 2 correspond aux déchets dont la concentration en polluant est inférieure aux valeurs fixées dans la colonne C et D et qui ne sont pas dans la catégorie I.

De même sont en catégorie 4, les déchets dont la concentration en polluant est inférieure aux valeurs fixées dans la colonne E et qui ne sont pas dans la catégorie 1, 2 et 3. [11]

Le tableau III.1 résume les différentes filières de valorisation :

Tableau.III.1 : exemples de filières de valorisation autorisées selon la catégorie de sous-produits dans le Wisconsin. Voir ci-dessous.

Filière	Catégories de sous-produit				
	5	4	3	2	1
Produit manufacturé	×	×	×	×	×
Inertage, stabilisation de déchet	×	×	×	×	×
Application géotechnique (confinement)		×	×	×	×
Utilisation en géotechnique (remplissage)			×	×	×
Couverture de surface (parking, routes, ponts...)				×	×
Pierres décoratives				×	×
Sablages de routes enneigées				×	×
Couverture de décharge	×	×	×	×	×

Le tableau III.2 résume les éléments à rechercher dans les sables de fonderie :

Tableau III.2 : Eléments à rechercher dans les sables de fonderie et valeurs seuils selon la catégorie de sous-produits envisagée. [11]

Catégories	Colonne A Catégorie 1	Colonne B Catégorie 1	Colonne C Catégorie 2	Colonne D Catégorie 2 et 3.	Colonne E Catégorie 4
paramètres					
antimoine	6.3	0.0012	/	0.012	/
arsenic	0.042	0.005	21	0.05	/
baryum	/	0.4	/	4	10
béryllium	0.014	0.0004	/	0.004	/
cadmium	/	0.0005	/	0.005	0.025
Chrome hexavalent	14.5	/	/	/	/
Chrome total	/	0.010	/	0.10	/
cuivre	/	0.130	/	/	/
fer	/	0.15	/	1.5	3
plomb	/	0.0015	/	0.015	0.075
manganèse	/	0.025	/	0.25	/
Mercuré	/	0.0002	/	0.002	0.01
nickel	/	0.020	/	/	/
Sélénium	/	0.010	/	0.10	/
thallium	1.3	0.0004	/	/	/
zinc	/	2.5	/	/	/
aluminium	/	1.5	/	15	/
Cyanures totaux	/	0.040	/	/	/
fluorures	/	0.8	/	8	/
chlorures	/	/	/	/	/
sulfates	/	125	/	/	/
phénol	/	1.2	/	/	/
acénaphène	900	/	/	/	/
acénaphthilène	8.8	/	/	/	/
anthracène	5000	/	/	/	/
Benz(a)anthracène	0.088	/	44	/	/
Benzo(a)pyrène	0.0088	/	4.4	/	/
Benzo(b)fluoranthène	0.088	/	44	/	/
Benzo (ghi)perylene	0.88	/	/	/	/

Benzo(k) fluoranthène	0.88	/	/	/	/
chrysene	8.8	/	/	/	/
Dibenz (ah) anthracène	0.0088	/	4.4	/	/
fluoranthene	600	/	/	/	/
fluorene	600	/	/	/	/
Indeno (123- cd) pyrène	0.088	/	44	/	/
1-methyl naphtalène	8.8	/	/	/	/
2-methyl naphtalène	8.8	/	/	/	/
naphtalène	600	/	/	/	/
phénanthrène	0.088	/	/	/	/
pyrène	500	/	/	/	/
Total HAPs	/	/	100	/	/

Conclusion :

D'un point de vue réglementaire, la France est le seul pays qui a rédigé une législation spécifique aux déchets de sable de fonderie (**arrêté du 16 juillet 1991**). Dans les autres états européens, les sables usés de fonderie sont considérés comme des déchets industriels à part entière.

On constate que dans beaucoup de pays européens et aux Etats-Unis, les taxes prélevées sur les volumes de déchets mis en décharge contraignent les fondeurs à s'investir dans des opérations de valorisation.

En ce qui concerne la fonderie de la ville de Tiaret, l'entreprise reste sur une démarche archaïque sur la gestion de déchet et cela par manque de textes de loi détaillant la façon et la manière mais surtout les types de déchets à traiter et à valoriser.

IV.1 Introduction :

Les sables usés, réutilisables en technique routière, résultent de l'utilisation des sables dans le moulage à haute température (parfois plus de 1000°C) lors de la coulée du métal en fusion suivie d'un traitement chimique par des adjuvants (huile, noir de carbone....) afin de faciliter le démoulage des pièces.

Etant donné que les sables usés sont des résidus de calcination d'un mélange quasi-inerte thermiquement, ils présentent des caractéristiques minéralogiques et pétrographiques semblables à celles des sables de moulage d'origines.

Les sables usés sont essentiellement constitués de quartz (SiO₂) accompagné d'une faible proportion d'argile (1 à 5%), sous forme de bentonite, et accessoirement de chromites ((Mg,Fe),Cr₂O₄). Dans certains cas, on peut détecter des traces d'adjuvant de démoulage tels que le noir de carbone ou des produits organiques de toute sortes et natures (paraffines, graisses aux silicones-esters, sulfonâtes,....). Il est important de signaler que les sables usés peuvent également contenir un certain nombre de corps étrangers (billes de métal, bavures, support de noyaux,...) si les déchets issus du traitement de régénération des sables de moulage (déchets métalliques, refus de criblage, dépoussiérage) ne sont pas convenablement gérés et stockés par type ou famille. Auparavant et dans les vieux stocks de sables à proximité des usines (désignés également crassiers), tous ces déchets étaient mélangés avec les sables usés. Actuellement, cette pratique disparaît au profit du tri sélectif et d'une recherche de valorisation des déchets.

En France, on estime que sur les 800 000 tonnes de sables de fonderie seules, 50 000 tonnes sont valorisés.

Dans la région Nord Pas de Calais, le tonnage de sables non recyclés vers la fonderie est proche de 150 000 t dont la moitié environ est utilisées en travaux publics. [2]

Cette utilisation modérée dans le **BTP** est en partie liée à la dispersion géographique des fonderies et à la difficulté à fédérer une filière généralisée permettant d'assurer un flux continu.

IV.2 Valorisation des sables des fonderies dans le domaine du génie civil.

IV.2.1 Valorisation dans la construction routière.

IV.2.1.1 valorisation en couche de Remblais.

Les sables de fonderie peuvent être valorisés en remblais sous réserve que leur teneur en phénol soit inférieure à **1mg/Kg**, ils peuvent être utilisés dans des remblais routiers, des plate-formes industrielles ou pour le remblaiement de tranchées (**charge de coulis**).

La possibilité de corrosion doit être envisagée en cas de contact avec des éléments métalliques (**corrosion par les sols : A05-252**) ainsi que l'agressivité vis-à-vis des bétons (**agressivité des sols : FD P 18-011**). [12]

IV.2.1.2 valorisation en couches de forme.

Ils doivent être traités par un liant hydraulique pour être utilisés en couche de forme. Le guide technique pour la réalisation des remblais et des couches de forme classe ce matériau en F9 (SETRA-LCPC, 2002). Ils sont par ailleurs utilisables en accotement (ministère de l'aménagement et du territoire, 2001). [12]

IV.2.1.3 Assises de chaussée.

En couche de base ou de fondation, la teneur en phénol doit être limitée à 5mg/Kg. Les sables de fonderie ont été valorisés pour le renforcement des chaussées à faible trafic : le recyclage des sables usés en construction routière existe depuis les années 1980 en substitution des sables naturels dans les formulations de matériaux de chaussées (FNTP, 2005).actuellement, ils sont utilisés seulement. Comme correcteur granulométrique à faible dosage dans les sables ou dans les graves traités. [12]

IV.2.1.4 Utilisation dans les formulations d'enrobés

Il a été démontré que l'incorporation des résidus de sable de fonderie dans le béton bitumineux malaxé à chaud est une technique viable. Cependant le domaine d'emplois est limité sur des revêtements peu circulés (voirie de lotissement, trottoirs, parking vl, cour). [12]

IV.2.1.5 Valorisation en grave hydrauliques

Les graves hydrauliques sont utilisés, entre autres filières, pour la construction de chaussées semi rigides .les matériaux sont traités aux liants hydrauliques qui peuvent être des ciments, laitiers (granulés, broyés), des cendres volants ou des pouzzolanes. Les dosages différents selon le type de liants.

Les sables qui répondent aux critères environnementaux, sont utiles en mélange avec des graves conventionnels et en substitutions de graves naturels dans des matériaux à liants hydrauliques par **TVPI (traitement et valorisation de produits industrielles)**.le plus souvent, il s'agit de sables a vert enrichis par du sables a noyaux. [12]

IV.2.2 Fabrication des matériaux de construction (béton, parpaing.....)

IV.2.2.1 Tuiles et briques :

Les tuiles et briques sont des produits constitués de sable et argile concassées et broyées. L'ensemble subit dosage, laminage, malaxage, humidification, façonnage, séchage, puis cuisson en four (à **750C⁰**). Le sable usé de fonderie peut se substituer aux sables et argile des granulats naturels.

Le sable peut représenter 30% de la composition des produits en terre cuite. La granulométrie recherchée par les producteurs pour ces sable et comprise entre 0.25 mm et 0.6 mm (mais souvent plus proche de 0.25 mm que 0.6 mm). Les fines et les agglomérats sont exclus.

La présence d'oxyde de fer Fe_2O_3 est un atout pour cette valorisation ainsi que les produits alcalins tels que la bentonite.

La valorisation de sables usés en fabrication de briques et tuiles est pratiquée en France à l'échelle de plusieurs milliers de tonnes par an .Elle se pratique aussi en Allemagne, en Belgique et aux Etats – Unis. [12]

IV.2.2.2 Valorisation en cimenterie.

L'intérêt des sables usés de fonderie pour la cimenterie est constitué par l'apport de silice qui vient de substitution de celle des produits de carrières .Ils peuvent se substituer aux sables naturels à un pourcentage de **50 à 70%** mais nécessitent souvent un pré-broyage avant introduction dans le four à clinker .Cette filière n'accepte pas de la chromite, de la magnésie, du zircon ou de l'olivine, même à l'état de trace compte tenu des valeurs limites de rejets qui lui sont imposés. [12]

IV.2.2.3 Valorisation des sables usés en coulis de béton

Un procédé de fabrication de coulis compactant appelée **CAC 2000** a été mis au point par les sociétés **HECKETT MULTISERV** et **ENVIMAT** basses à Escaut pont.

Le CAC2000 est un produit fluide de remblayage de tranchet, de type non essorable, à base de sables usés de fonderie, de ciment, de fibres en **polypropylène extrudé fibrasol** et de l'eau.

Cette coulisse auto compactant a été élaborés en fonction de la portance plutôt que de la résistance à la compression. Il présente une résistance à la perforation inférieure à **2 MPa**, ce qui permet de le trouser avec des outils légers.

Dans cette application, la présence de bentonite est un avantage car elle permet d'obtenir une bonne thixotropie du matériau confectionnée, et lui confère une bonne prise des formes. [12]

IV.2.3 Valorisations de sables de fonderie en barrière étanche ouvragée :

(Perméabilité en laboratoire)

D'après une étude faite en France, il a été montré le sable a vert peut être utilisé comme une barrière de sécurité passive qui est constituée sur terrain naturel. [13]

IV.3 Antécédents de traitement.

IV.3.1 Régénération des sables de fonderie.

La majeure partie des sables de fonderie à liant minéraux sont recyclés in situ, directement sur lieu de production des sables usés.

Des sables usés à liants organiques peuvent suivre trois types de régénération :

- **La régénération mécanique :**

Ce procédé est réalisé par frottement des grains les uns contre les autres ou par une projection contre une surface dure. Les opérations de degangage et désenrobage permettent de séparer les sables et les résines enrobant les grains. Les sables ainsi récupérés sont recyclés et les déchets à base de résines sont éliminés de la même façon que les sables brûlés.

- **La régénération thermique :**

Il s'agit ici de détruire la résine qui s'enflamme à 800 °C par passage sur le lit fluidisé. La température du sable est ensuite abaissée à 35 °C par passage dans un refroidisseur.

- **La régénération par voie bactériologique :**

Ce procédé permet de détruire le taux de phénols des sables. [14]

IV.3.2 Solutions de traitement.

IV.3.2.1 Bactérie contre phénol :

Comment ramener la teneur en phénol des sables de fonderie à un niveau qui permette leur valorisation ? C'est tout l'enjeu du procédé **Biophon**, breveté par le **BRGM** et aujourd'hui opérationnel sur l'unité de traitement de la société **Soccoim-onyx à Chaingy**, dans le Loiret.

A chacun son prédateur ! Cette grande loi du vivant a parfois des applications inattendues. Est en partant de ce principe, en effet, que le **BRGM**, depuis plus de quinze ans, développe des procédés biologiques de dégradation ou de transformation de certaines substances, ici du cyanure, la de l'arsenic, ailleurs du chrome.....en vue de dépolluer un effluent, un matériau, un sol.[15]

Et c'est ce même principe, fondé cette fois sur la propriété de certaines bactéries à métaboliser le phénol en l'utilisant comme source de carbone et d'énergie, que le **BRGM** a exploité avec **Biophon**, un procédé aujourd'hui breveté.

➤ **Des micro-organismes adaptés**

En fonderie, les moules qui servent à fabriquer des pièces métalliques sont constitués de sables et de liants organiques dont les plus répandus sont des résines phénoliques.

Leur élimination après utilisation est régie par des règles très strictes. Si leur teneur en phénol est inférieure à 1 mg/Kg de matière sèche, les sables peuvent être recyclés en terrassement (remblais). Ils doivent, sinon, être stockés en décharge de déchets dangereux, ou traités thermiquement, solutions très coûteuses.

« Nous avons commencé à nous intéresser aux sables de fonderie en 1995, à la demande Renault, explique Marie-Christine Dictor, micro-biologiste au BRGM. L'objectif était alors un recyclage en interne, visant à fabriquer de nouveaux moules à partir de moules usagers. Cette démarche n'a pas abouti, le sable obtenue après traitement n'étant pas approprié. Mais elle nous a permis de sélectionner un « un consortium microbien »

(deux espèces de bactéries et une levure) dont nous avons pu monter l'efficacité pour décontaminer des sables de fonderie. » [15]

IV.3.2.2 Recyclage des sables à vert usés par voie hydraulique.

La régénération des sables a prise chimique, notamment par voie thermique, est bien maîtrisée. En revanche, il n'en est pas de même pour les sables silico-argileux (sables à vert) dont le coût de mise en décharge devrait continuer de croître, et pour lesquelles les voies de valorisation (surtout pour petits volumes) ne sont pas développées.

Il y a donc un intérêt économique à pouvoir réutiliser le sable siliceux issu d'un traitement In - situ ou de proximité.

La méthode hydraulique fait aux techniques développées en traitement des minerais et des minéraux industriels regroupées sous le nom de « minéralurgie », sujet maîtrisé par les experts minéralurgistes de **Sofremines**, société ingénierie française spécialisée en caractérisation de gisements et en valorisation de minerais et minéraux industriels.

La voie hydraulique est solution de traitement envisageable et déjà envisagée par les industrielles de la fonderie car elle implique simplicité d'utilisation de mise en place et consommation énergétiques faible.

La valorisation des sables à vert usés au sein même ou à proximité de la fonderie, permettant de récupérer une partie du sable, de la bentonite et du noir minérale qui sont recyclés en lieu et en place des produits neufs, inscrit ainsi, si elle s'avère réalisable industriellement, dans une démarche de développement durable. [11]

-Objectif sociétal : la réduction des coûts d'approvisionnement et de gestion des déchets permettra aux fonderies d'améliorer leur compétitivité en réduisant leur coût de revient.

-Objectif économique : le développement d'un moyen de traitement des sables à vert usés extrapolable aux crassiers signifiera la création d'un nouveau marché synonyme de développement économiques et de création d'emplois.

-Objectif environnementale : une solution industrielle de recyclage des sables à vert usés permettra de réduire la quantité de déchets ultimes à enfouir ; de préserver les ressources naturelles minérales et de diminuer le transport routier donc la production de CO₂ liée à l'approvisionnement en matières premières et transport des déchets. [11]

IV.3.2.2.1 Les solutions hydrauliques :

Le nettoyage des sables à vert usés par voie hydrauliques existe à l'échelle industrielle en Italie, et est en phase de développement en Espagne. Quelques études ont déjà été menées en France mais ne sont pas encore en phase industrielle.

a. Solution existantes.**• Technologie « Safond »**

L'entreprise **Safond**, implantée dans le nord de l'Italie traite annuellement plus de 500 000 tonnes de déchets de sables à vert et en mélange pour fonderie de métaux ferreux italiennes suivant la technologie suivante :le sable est débordé de façon à obtenir une pulpe homogène et emmottée puis attiré avant apaisissage. Il est ensuite séché et refroidi avant stockage en silos. L'eau de traitement est décanté en bac avec ajout de flocculant et coagulants.

Le sable dont l'humidité résiduelle a été ramené à moins de 0.5% est réutilisé dans la fabrication de moules et les confections de noyaux.la littérature donne des taux d'utilisation résine/catalyseur similaires ou légèrement supérieures lors de l'utilisation de sable recyclé par rapport à l'utilisation de sables neufs. Certains fournisseurs de résines proposent des formulations différentes adaptés à la caractérisation des sables recycles suivie par les fondeurs : la demande acide (ou basique).

La technologie **Safond** a également été implantée à la **société Ecofond** au pays Basque espagnol à **Salvatierra-Agurain**. Encore actuellement en phase de démarrage et de lise au point 4^{eme} trimestre 2007, la société ne dispose pas de données techno-économiques fiables. [11]

• Technologie « SASIL »

L'installation **SASIL** est implantée à **Brunesco** dans le nord de l'Italie.

La technologie **SASIL** associe attrition et classification hydrauliques puis séparation magnétique et lixiviation après séchage.

b. Solution à l'étude.**• Technologie par ultrasons**

CTIF a été amené à vérifier la qualité d'un sable traité pour utilisation en noyautage après traitement par ultra-sons afin de démontrer la faisabilité de cette technologie.

L'examen des échantillons de sable après traitement par ultrasons à monter :

- Que le sable traité présentait une rétention de bleu méthylène extrêmement faible : plus d'argile active.
- Que le sable était bien nettoyé de son argile calcinée (**oolithisation**).
- Que le pH avoisinait celui du sable neuf : bon nettoyage du sable.
- Que la morphologie des grains (MEB) confirmait la disparition de la couche de liants argileux.

• Traitement hydraulique par voies physiques

La minéralurgie appliquée au sable de fonderie usé a déjà fait l'objet de plusieurs études de laboratoire et a été étudié par de nombreux fournisseurs de matériel de traitement de sable.

Les techniques applicables sont les suivantes :

➤ Classification granulométriques :

- Criblage.
- Cyclonage.
- Par classificateur hydraulique (à vis, à injection d'eau....).

➤ **Attrition**

L'attrition est une technique de frottement des grains générée par un arbre à pales et qui entraîne un nettoyage de surface des grains. Cette technique s'utilise en amont du procédé. L'attrition produit de sable recyclé et des fines de chamotte.

➤ **Séparation magnétique**

Cette technique permet de séparer les particules magnétiques (ferrailles résiduelles et grains de chamotte) des non magnétiques.

Différents types d'équipements fonctionnent en voie humide (séparation Jones) ou en voie sèche (séparateurs à aimants permanentes, à rotor induit...) sont adaptés à l'élimination des particules magnétiques issues d'un sable à vert usé.

➤ **Séparation densimétrique**

Il s'agit d'une méthode basée sur la densité des différents grains composants le sable à vert, particulièrement indiquée pour éliminer les éléments légers issus de l'attraction (chamotte et noir minéral) – possibilité de séparation gravimétrique par spirales ou table à secousses au stade industriel.

• **Technologie hydraulique acide**

Cette étude théorique et expérimentale n'a pas encore fait l'objet d'une application industrielle.

Le seul agent envisagé pour le traitement des sables usés par voie aqueuse est une solution d'acide sulfurique à concentration élevée.

Les grains de sable sont nettoyés de leur couche d'argile cuite et deviennent suffisamment propres pour être réutilisés dans la confection des noyaux. Le résidu de traitement (argile, noir minéral et fines), après séchage et cuisson, pourrait être incorporé comme filler dans la fabrication de briques. [11]

IV.3.2.3 Régénération des sables de fonderie à l'aide du gaz naturel au Canada.

Le coût du sable constitue une partie importante des frais d'exploitation d'une fonderie le principe de recyclage du sable, plutôt que son élimination, a été mise en œuvre de manière très efficace à la fonderie de la Montupet. On a installé un générateur d'air chaud au gaz naturel à haut rendement énergétique à la fonderie de la Montupet situé à **Rivière-Beaudette (Québec)**, cette installation lui permet de recycler presque 100% de son sable. Comparativement à l'autre solution (élimination du sable), ce système a entraîné des économies d'environ 90% par tonne, en plus de réduire la période de récupération de l'investissement à moins de deux ans. [16]

IV.3.2.3.1 L'objet du projet :

Avant l'installation du système de régénérateur, tout le sable pour la fabrication des moules (blocs porte-empreintes) devait être déversé dans un site d'enfouissement, parce qu'il

était couvert de liant résiduel. En raison des couts astronomiques liés à l'achat et à l'élimination du sable, et parce que la fonderie Montupet prévoyait de doubler sa capacité de production au cours des années à venir, il fallait trouver une solution. En revanche, en tenant compte de l'environnement et du rapport cout-efficacité, la Montupet a revu sa politique d'élimination du sable dans un site d'enfouissement, puisque la société anticipait également une hausse de la quantité de manière qu'elle prévoit traiter, ses dirigeants ont décidé d'installer un système de récupération du sable et ils opté un générateur a lit fluidisé. [16]

a. Le principe :

Le sable qui doit être recyclé est ajouté directement à partir du silo de stockage du générateur. De là, une vis sans fin l'achemine dans le lit chauffant, à un taux constant. Le sable entre ensuite dans une chambre à lit fluidisé qui est maintenue à une température de 677°C par des tubes brûleurs submergés, qui produisent un mélange homogène de produits de combustion et de sable, assurant ainsi un excellent transfert de chaleur. L'air utilisé lors de la combustion dans le bruleur est préchauffé par un récupérateur qui récupère la chaleur contenue dans les gaz sortants, ce qui aide à limiter la consommation de combustible. Ce sable fraîchement nettoyé est ensuite acheminé dans la chambre de refroidissement a lit fluidisé, ou un échangeur de chaleur air-eau le refroidis jusqu'à la température ambiante. La figure suivante présente un schéma de ce système de recyclage :

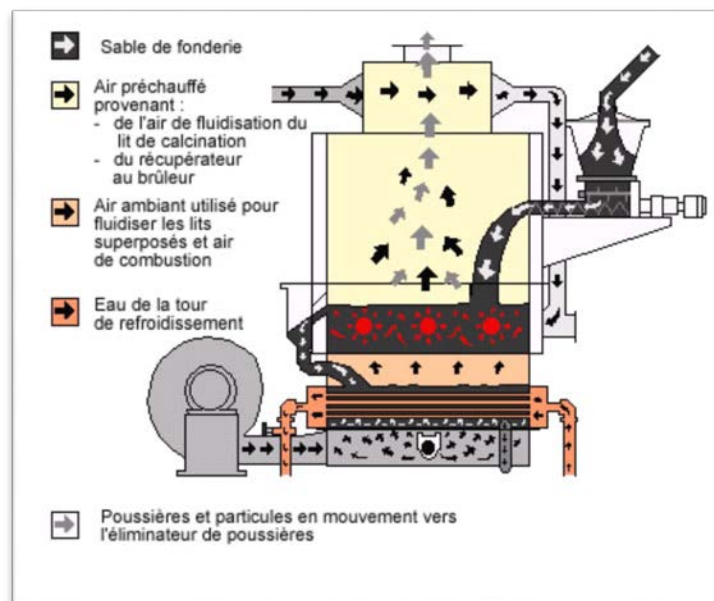


Figure IV.1: Schéma d'un système de recyclage.

- Contrairement au sable neuf, le sable régénéré ne contient pas de particules fines.
- L'enrobage des grains de sable est uniforme puisque les bordures des grains de sable sont plus arrondies.

- La régénération thermique stabilise le sable, puisque le sable est plus uniforme, la quantité de liant requise est plus facile à contrôler, donnant ainsi un produit amélioré.

b. Exploitation du sable dans la fonderie.

Le tableau IV.1 présente le coût d'exploitation du sable par la fonderie qui recycle le sable au gaz naturel

Tableau IV.1 : Coûts d'exploitation du sable dans la fonderie. [16]

Coût d'exploitation (en dollar canadien/tonnes de sables traité)			
Sans régénération		Avec régénération	
Cout du sable	73	énergie	6
		Exploitation et entretien	4.5
Elimination du sable	36	Elimination du sable	1.6
Total	109	total	12.1

Conclusion :

Cette étude bibliographique sur les valorisations et les techniques de traitements nous permettra de confirmer tout l'intérêt de cette étude pour une mise au point d'une méthode de traitement industriel par voies divers des sables à prises chimiques ou par liants minéraux.

Le surplus de sable à vert éliminé dans les fonderies est actuellement :

- Soit évacué en centre de stockage de déchets.
- Soit valorisé au niveau d'autres pays avec une longueur d'avance bien précise, (**Italie, Canada, France**).

Un durcissement de la réglementation relative au stockage en centre de stockage de déchets est à revoir puisque l'actuel nous nous exhortent juste à stocker ces déchets d'une manière préventive mais sans aucun cas les valoriser ou les recycler.

Les solutions de valorisation externes sont limitées en raison du caractère ignare de notre économie et de notre administration en ce qui concerne une logistique assez fermée sur les solutions de valorisation au niveau national.

Ce chapitre contiendra des notions générales sur la cristallographie et la diffraction par rayon X, pour cela nous allons présenter quelques éléments bibliographique afin d'interpréter les résultats obtenus et qui seront présentés dans la dernière partie du chapitre 4.

V.1 Généralités :

V.1.1. origines :

C'est en 1849 qu'**Auguste Bravais** énonce le postulat qui constitue la base de la cristallographie :

« Etant donné un point P, quelconque dans un cristal, il existe dans le milieu, une infinité discrète, illimitée dans les trois directions de l'espace de points, autour desquels l'arrangement de la matière est la même qu'autour du point P »

De ce postulat résulte la notion de réseau tridimensionnel cristallin et toutes les propriétés de symétrie qui en découlent. [17]

V.1.2. Définition d'un cristal :

Un cristal est un solide constitué d'une substance pure. C'est l'état le plus stable (thermodynamiquement et de moins haute énergie interne) d'un solide. On caractérise l'état cristallisé par ordre structural tridimensionnel parfait.

On peut alors définir des mailles élémentaires qui sont répétées dans le cristal, suivant un réseau. Ces mailles et ces réseaux sont en réalité fictifs. [17]

V.1.3 types de réseaux :

V.1.3.1 Réseau 2D :

Dans un espace à deux dimensions nous prenons une origine et deux vecteurs non colinéaires pour définir un repère.

Les deux vecteurs **a** et **b** sont caractérisés en particulier par leur longueur a et b et par l'angle γ entre leurs directions.

Quels sont les différentes possibilités pour ces trois paramètres a, b et γ ?

Tableau V.1 : Les différentes possibilités pour les différents paramètres

	Maille		Système
$a \neq b$	γ quelconque	\Rightarrow	parallélogramme
$a \neq b$	$\gamma = \pi/2$	\Rightarrow	rectangle
$a = b$	γ quelconque	\Rightarrow	losange
$a = b$	$\gamma = 2\pi/3$	\Rightarrow	losange à $2\pi/3$
$a = b$	$\gamma = \pi/2$	\Rightarrow	carré

A partir de ces différents repères on peut définir des ensembles de points qui sont les extrémités des vecteurs

$$\mathbf{R} = u\mathbf{a} + v\mathbf{b} \text{ avec } u \text{ et } v \text{ des nombres entiers}$$

Ces ensembles de points constituent des réseaux. Les points sont appelés nœuds du réseau

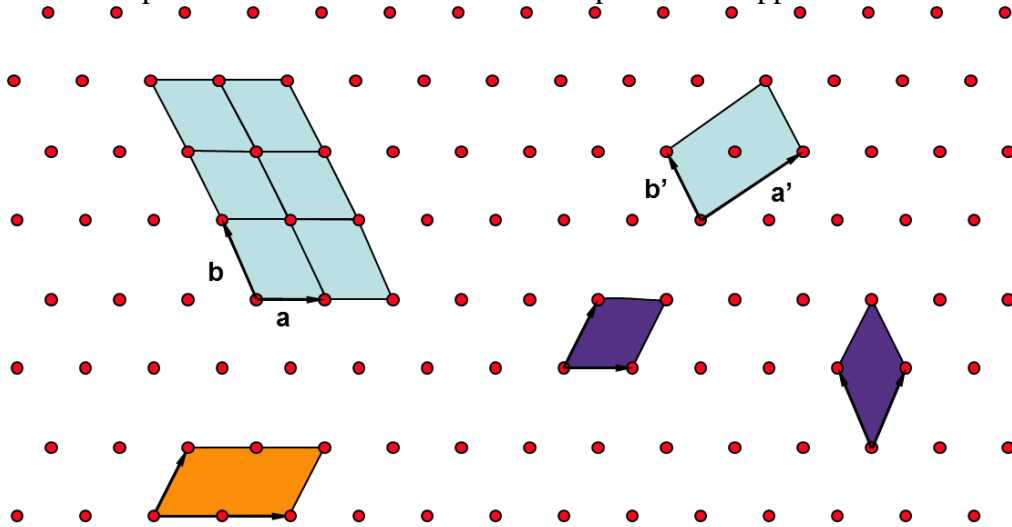


Figure V.1 : Réseau 2D.

En prenant un de ces ensembles de points plusieurs constatations générales peuvent être faites.

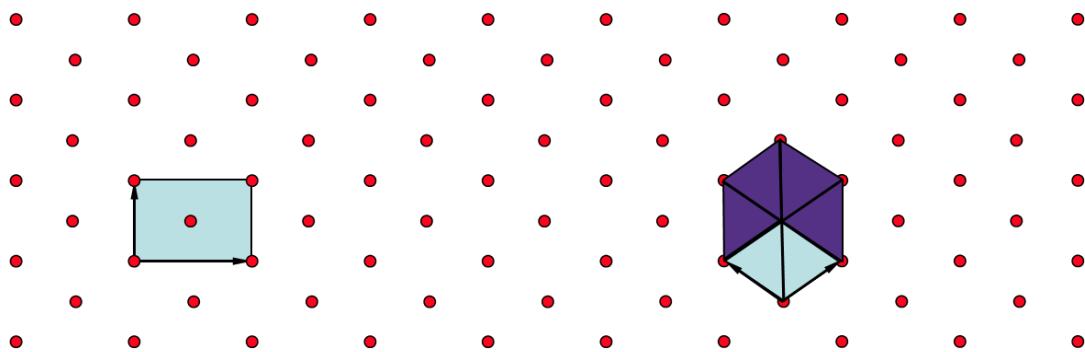


Figure V.2 : Surface d'une maille.

La surface d'une maille est donnée par le produit vectoriel des deux vecteurs **a** et **b** :

$$S = |\mathbf{a} \wedge \mathbf{b}| = |\mathbf{a}| |\mathbf{b}| \sin(\mathbf{a}, \mathbf{b})$$

Toutes les mailles primitives ont la même surface, les mailles d'ordre *n* ont une surface égale à *nS* (**n est égal au nombre de nœuds dans la maille**).

Ce nouveau réseau de points peut être défini à partir d'une maille losange « primitive » ($4 \times \frac{1}{4} = 1$). En général on prend la maille double rectangulaire car avec ses angles droits elle fait mieux apparaître les éléments de symétrie du réseau.

Dans le cas particulier où l'angle entre les deux vecteurs est égal à $2\pi/3$, on garde la maille losange car il apparaît **un axe d'ordre 6**. Dans ce cas particulier cette maille met plus en évidence les éléments de symétrie du réseau que la maille du système rectangulaire centré.

V.1.3.2 Réseau 3D :

Dans un espace à trois dimensions nous prenons une origine et trois vecteurs non colinéaires pour définir un repère. Les trois vecteurs *a*, *b* et *c* sont caractérisés en particulier par leur longueur *a*, *b* et *c* et par les angles α , β et γ entre leurs directions. [17]

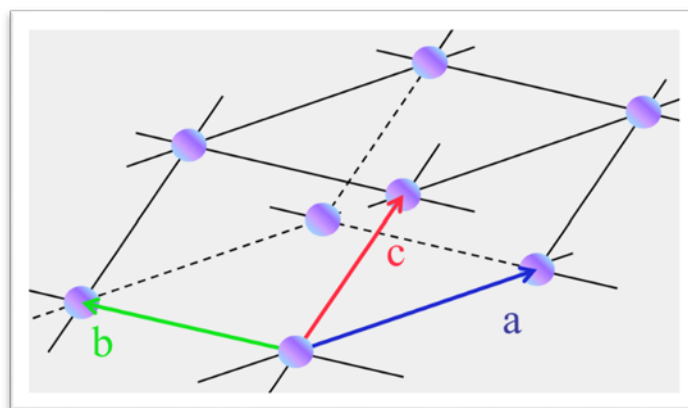


Figure V.3 : Un Réseau 3D.

V.1.3.2.1 Les différentes possibilités pour ces six paramètres?

Tableau V.2 : Systèmes cristallins. [17]

Paramètres		Polyèdre	Système cristallin
$a \neq b \neq c$	α, β et γ quelconques	Parallélépipède quelconque	Triclinique
$a \neq b \neq c$	$\alpha = \beta = \pi/2$ γ quelconque	Prisme droit à base parallélogramme	Monoclinique
$a \neq b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = \pi/2$	Parallélépipède rectangle	Orthorhombique
$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma \neq \pi/2$ quelconques	Rhomboèdre	Rhomboédrique
$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = \pi/2$	Prisme droit à base carrée	Quadratique
$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = \pi/2$ $\gamma = 2\pi/3$	Prisme droit à base losange à $2\pi/3$	Hexagonal
$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma = \pi/2$	Cube	Cubique

On obtient donc 7 systèmes cristallins chacun avec une forme de maille spécifique

a. Système triclinique :

- le moins symétrique :

Élément de symétrie :

Un centre de symétrie

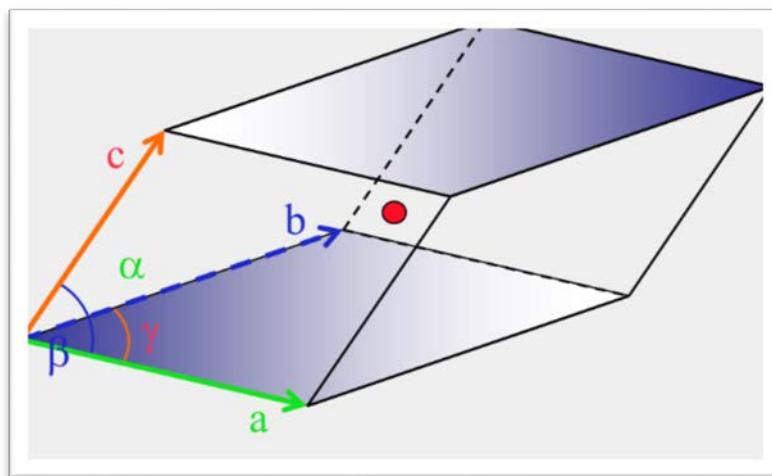
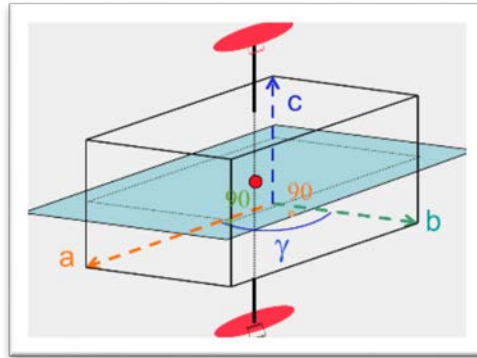


Figure V.4 : Un système triclinique.

L'axe 2 était traditionnellement pris parallèle à **b**, depuis la dernière édition des tables internationales il est pris soit parallèle à **b** soit parallèle à **c**. Les deux possibilités sont traitées dans les tables.



FigureV.5: Système triclinique plus symétrique.

b. Système monoclinique :

Ici l'axe binaire est pris parallèlement à **c**. Mais quels sont les critères qui permettent de choisir **a** et **b** ?

En fait le seul critère applicable est le critère de la recherche de la maille de la forme la plus « simple ». Le résultat est qu'il y a trois solutions qui sont retenues et également traitées dans les tables internationales.

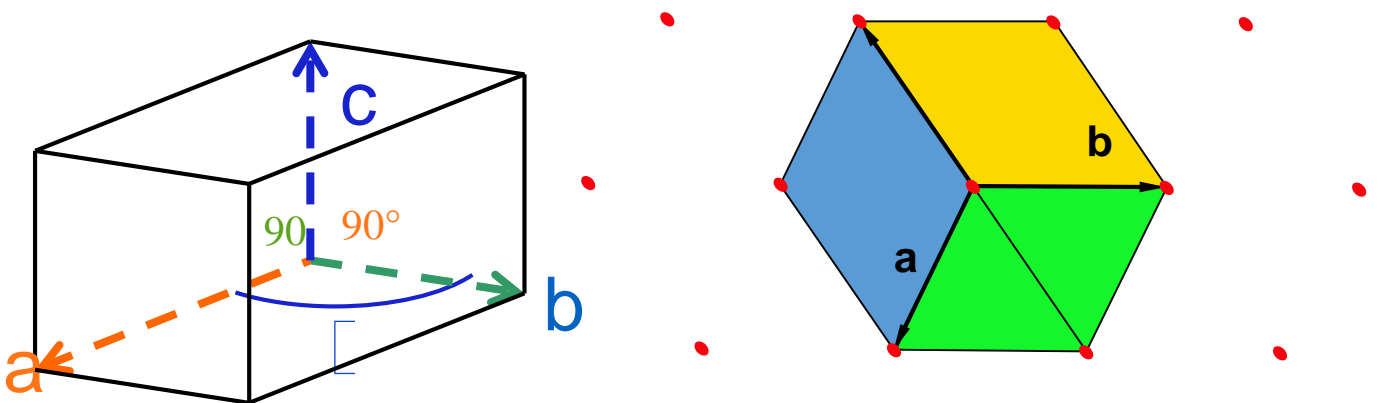


Figure V.6: Système monoclinique.

c. Système orthorhombique :**Éléments de symétrie :**

- 3 axes de symétrie 2 \perp entre eux
- 3 miroirs \perp entre eux et
- un centre de symétrie

aux axes 2

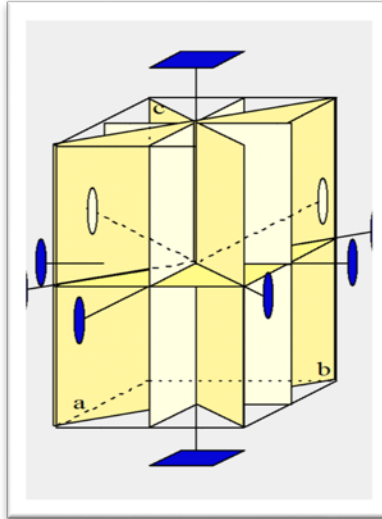


Figure V.7 : système orthorhombique.

d. système quadratique :**Éléments de symétrie :**

- 1 axe de symétrie 4 avec 1 miroir \perp
- 4 axes de symétrie 2 avec 4 miroirs \perp
- un centre de symétrie

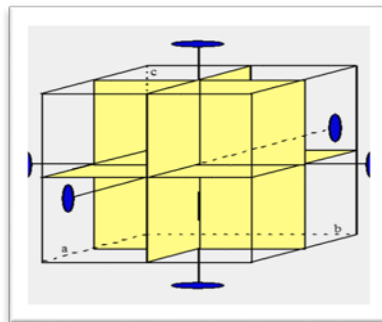


Figure V.8 : Quadratique.

e. système rhomboédrique :

Éléments de symétrie :

- 1 axe de symétrie 3
- 3 axes de symétrie 2 avec 3 miroirs □
- un centre de symétrie

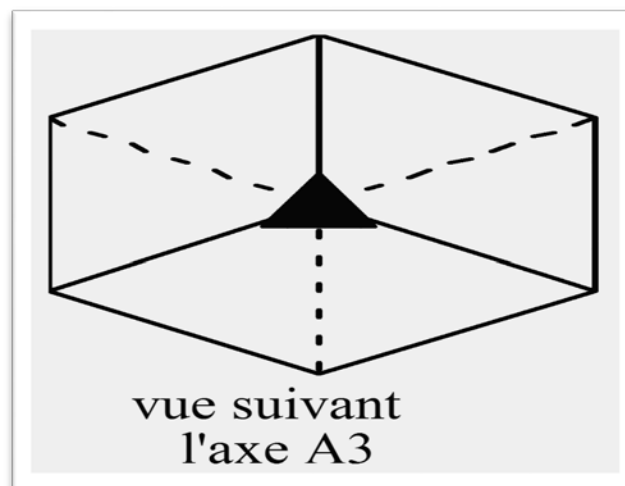
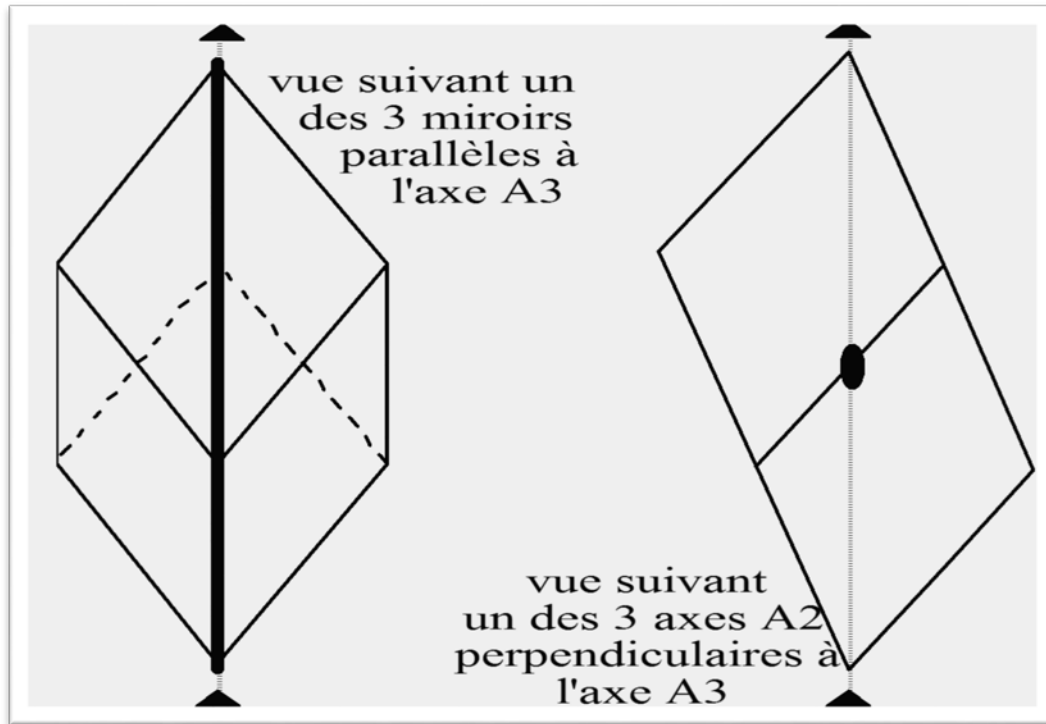


Figure V.9 : Système rhomboédrique.

f. système Hexagonal.

Éléments de symétrie :

- 1 axe de symétrie 6 avec un miroir \perp .
- 6 axes de symétrie 2 avec 6 miroirs \perp .
- un centre de symétrie.

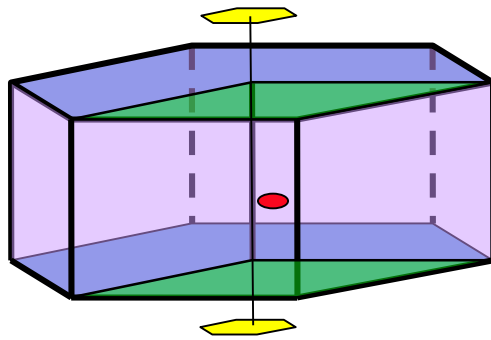
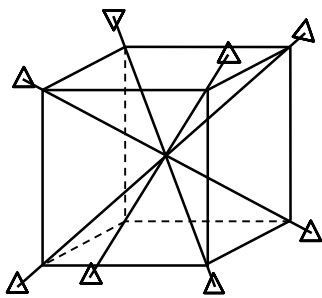
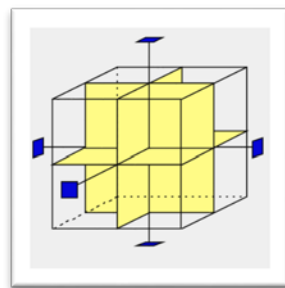


Figure V.10: Système hexagonal

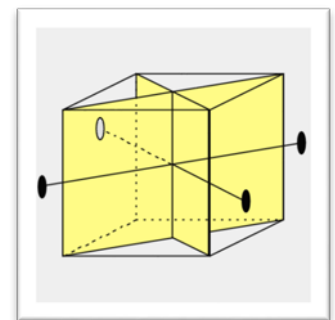
g. Système Cubique :



**3 axes 4
3 miroirs \perp**



4 axes 3



**6 axes 2
6 miroirs \perp**

Figure V.11: Système cubique.

V.2 Diffractométrie des rayons x :

V.2.1 Principe :

Le principe de la diffractométrie des rayons X est d'envoyer deux rayons x parallèles et en phase sur le cristal. Ceux-ci vont être diffractés par les plans qu'ils vont rencontrer. Si ces plans sont parallèles, ils vont diffracter en phase. C'est alors que l'on mesure leur angle de réfraction, et que l'on obtient la distance entre les plans. [18]

$$2d_{\text{HKL}} \cdot \sin\theta = n \cdot \lambda \quad \text{Selon la loi de BRAGG.}$$

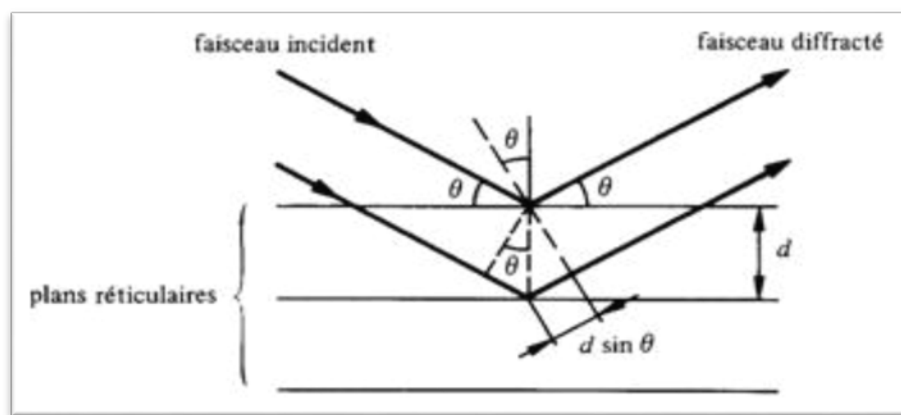


Figure V.12: Principe de la diffractométrie des rayons x.

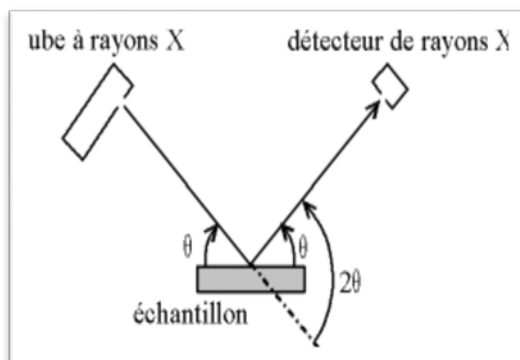


Figure V.13 : L'orientation du cristal.

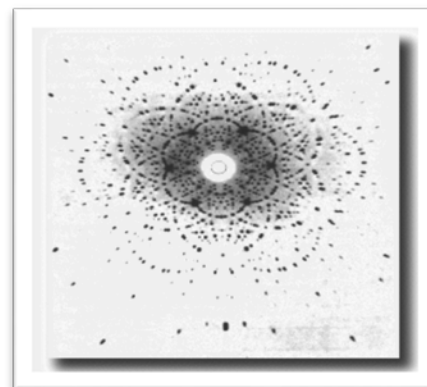


Figure V.14 : Une tache décrit selon la loi de Bragg.

- On va alors observer plusieurs taches obéissant à la loi de Bragg, selon l'orientation du cristal. (**Figure V.13**).
- Le cristal doit être orienté à ce que les rayons forment un angle (α) entre les plans et l'émetteur, ainsi qu'avec le détecteur. (**Figure V.14**).

V.2.2 Productions des rayons X :

V.2.2.1 Matériel :

Les rayons X s'obtiennent par irradiation d'un élément particulier à des électrons. Pour se faire, l'élément bombardé devient l'anode d'un circuit électrique, et on applique une forte différence de potentiel à la cathode placée juste devant. C'est le principe utilisé dans les **tubes scellés**.

Ce procédé rejette beaucoup de chaleur, et on peut aussi avoir recours à une **anode tournante** qui permet de dissiper la chaleur sur une grande partie du matériau, évitant ainsi la modification de ce matériau.

Le rayonnement peut aussi être récupéré dans **un synchrotron**, qui va accélérer les électrons à de très hautes vitesses, qui vont alors émettre un certain rayonnement. La brillance de ce rayonnement est 10 milliards de fois supérieure à celle d'un tube scellé. [18]



Figure V.15 : Anode tournante.



Figure V.16 : Tubes scellés.

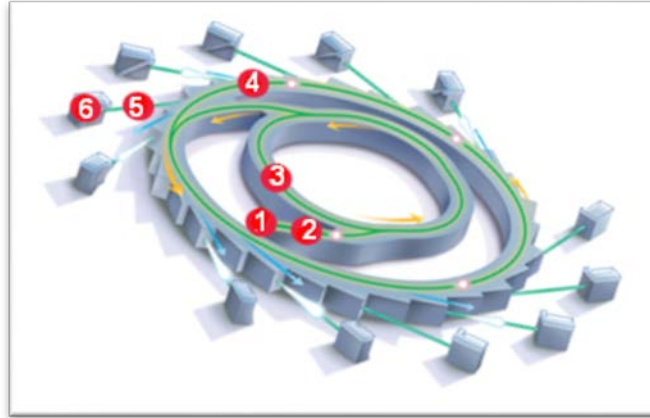
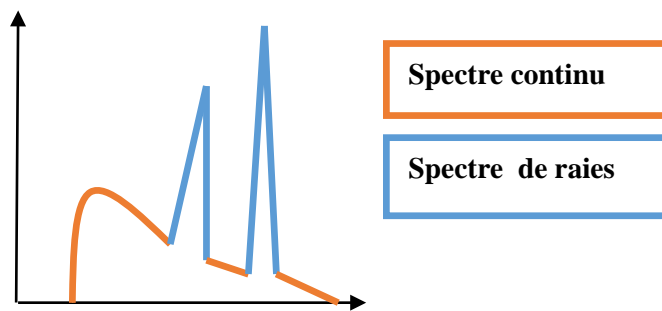


Figure V.17 : Un synchrotron.

V.2.2.2 Spectre obtenu :



■ Le spectre continu vient du fait que les électrons projetés sont décélérés en arrivant sur l'anode, d'où une émission de photons. Plus le potentiel électrique est fort, plus ce spectre est important.

■ Le spectre de raies est le résultat des transitions électroniques dus aux bombardements électroniques sur l'anode. Deux transitions peuvent survenir, d'où deux pics.

V.2.2.3 Méthodes de diffraction :

➤ Sur poudre cristalline :

Les cristaux se trouvent orientés dans toutes les directions. La somme de diffraction des différents cristaux sera alors l'entrecroisement de tous cônes de diffraction, qui sera mesuré dans toutes les directions.

➤ Sur monocristal : On fait tourner le cristal dans la direction que l'on veut, tandis qu'un capteur circulaire mesure les intensités de diffraction. [18]



Figure V.18 : Machine de diffraction des rayons X

Conclusion :

Le présent chapitre montre quelque généralité sur les types de classification des cristaux puisque une partie de notre travail expérimentale a touché l'aspect cristallin des grains de sable, ainsi la méthode de diffraction des rayons X a été utilisée dans l'analyse des sables.

VI.1 Introduction :

Ce chapitre présentera 3 parties, la première partie s'étalera sur des essais d'identifications sur le sable brute désigné par (SB), un sable traité avec la silice à la base dans **Adwan Chemicals Company** dans la zone industrielle de **Farnaka**. Ce sable représente le matériau de base dans les procédés de moulage dans la fonderie de Tiaret (**ALFET**).

La deuxième partie présentera les résultats d'identification concernant le sable à vert (S1) qui d'ailleurs ne présente aucun risque toxique avec un pH neutre égale à 7, puis des essais de portance sans traitement et avec traitement a liant hydraulique (chaux , ciment) à diffèrent dosages ainsi que quelque essais mécaniques sur des éprouvettes prismatiques de mortier normal.

La troisième partie on s'intéressera aux sables à prise chimique tels que le sable au silicate de soude (S2) et le sable silicate de soude +bentonite (S3) et la manière de les traiter afin de lancer des essais d'identification au laboratoire.

A la fin de ce chapitre, on présentera les résultats de **DRX**, afin de déterminer les types de minéraux constituant chaque échantillon avant et après traitement.

VI.2 Essais sur sable brute désigné (SB).

VI.2.1 Les essais d'identification.

VI.2.1.1 Analyse granulométrique.

La granularité se définit comme étant la répartition de la dimension moyenne des particules de sable, exprimée en pourcentage de la masse totale du matériau.

L'analyse granulométrique s'effectue jusqu'à $80 \mu\text{m}$ par tamisage du matériau par voie sèche et voie humide en utilisant une série de tamis normalisé (**Figure VI.1**).

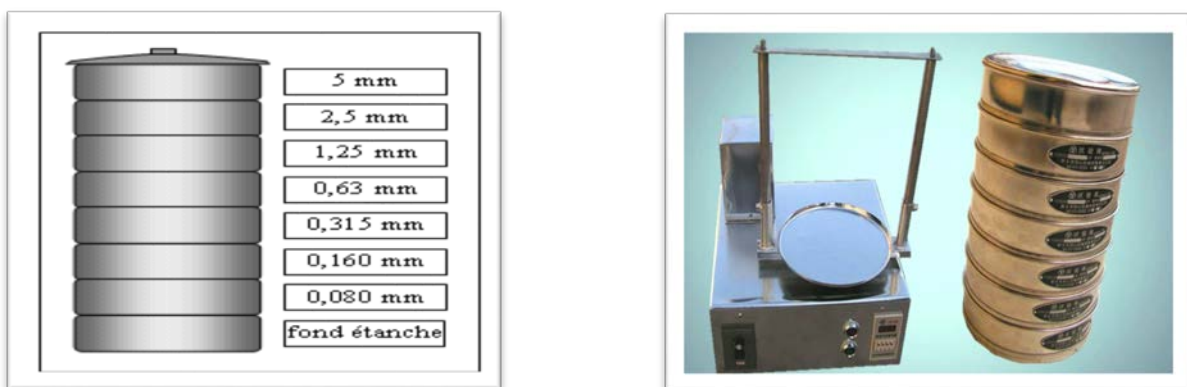


Figure VI.1 : Série de tamis normalisé.

L'essai a été réalisé suivant la norme **NF P18-560**.

Les tableaux V.1 et V.2 de la partie 1 résumant, respectivement les résultats de l'essai granulométrique par tamisage par voie sèche.

Tableau VI.1 : Résultats de l'analyse granulométrique sur le sable brute (SB) ECH 01.

Ouverture des tamis en mm	Masse de refus cumulé(Ri) en grammes	Pourcentage (%) du refus cumulés $Ri/Ms*100$	Pourcentage (%) des tamis cumulés $100*(Ri/Ms)-100$
5	0	0	100
4	0	0	100
2	0.2	0.04	99.96
1	2.1	0.42	99.58
0.5	2.6	2.52	97.48
0.4	39.8	7.96	92.04
0.315	217.8	43.58	56.46
0.200	474.7	94.94	5.06
0.100	493.5	98.7	1.3
0.080	493.7	98.74	1.26
Fond	494.4	98.86	0.14

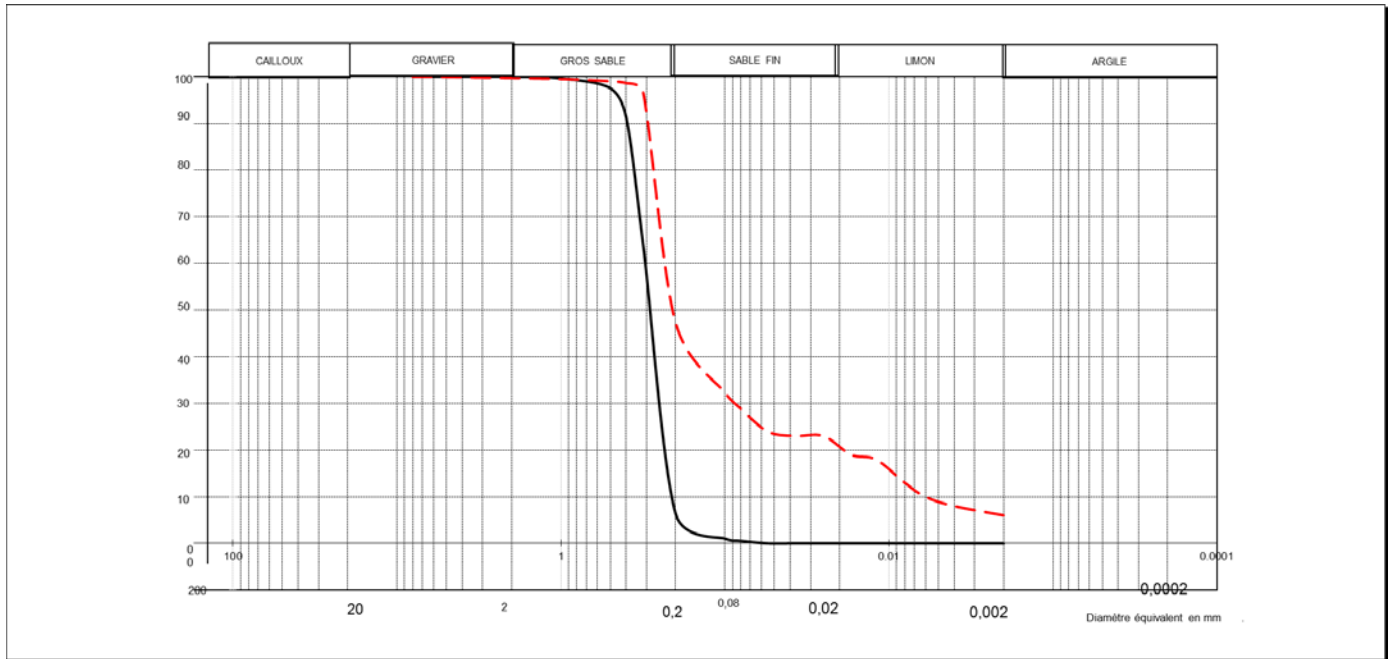


Figure VI.2 : La courbe d'analyse granulométrique du sable brute (SB) ECH 01.

Tableau VI.2 : Résultat sur l'analyse granulométrique sur le sable brute (SB) ECH 02.

Ouverture des Tamis en mm	Masse des refus cumulés (Ri) en grammes	Pourcentage des refus cumulés $Ri/Ms*100$	Pourcentage des tamisâts cumulés $100*(Ri/Ms)-100$
5	00	00	100
4	00	00	100
2	00	00	100
1	1.8	0.36	99.64
0.5	12.4	2.48	97.52
0.4	44	8.8	91.20
0.315	180.9	36.18	63.82
0.200	468.3	93.66	6.34
0.100	494.8	98.96	1.04
0.080	497.3	99.46	0.54
Fond	498.2	98.80	0.12

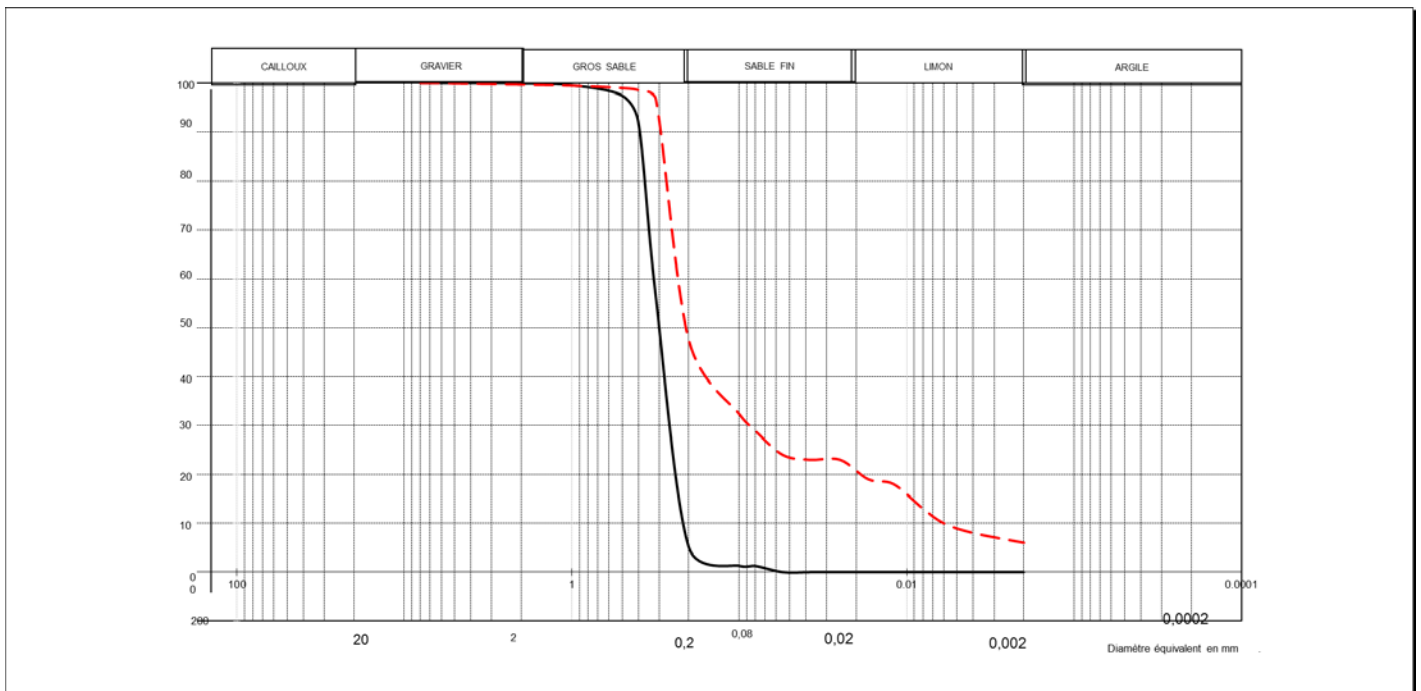


Figure VI.3 : La Coubre d’analyse granulométrique du sable brute (SB) ECH 02.

Commentaires :

En comparant la courbe de référence en rouge avec la courbe du sable (SB) pour les deux échantillon(courbe en noir), on s’aperçoit que la granulométrie n’est pas du tout la même puisque le sable (SB) est un sable grossier et le pourcentage des fines est très faible, la taille moyenne (d_{50}) est égale à 0.3 mm

VI.2.1.2 La limite d'Atterberg.

Sont des teneurs en eau pondérales, caractéristiques du matériau .Elles correspondent à des comportements particuliers de celui-ci sous l'action des variations des teneurs en eau. Ces limites sont déterminées sur la fraction du sable passant au tamis de 400 μm .

Lorsque l'on fait décroître progressivement la teneur en eau d'un échantillon de sable on constate qu'il passe successivement par plusieurs étapes, dont la description a été proposée par l'agronome suédois **ATTERBERG** :

1. *Etat liquide.*
2. *Etat plastique.*
3. *Etat solide.*



Figure VI.4 : Coupelle de Casagrande.

Résultat trouvé :

L'essai de la limite d'Atterberg nous a donné un Indice de plasticité non mesurable puisque le sable (SB) a un caractère non plastique par absence d'argile.

VI.1.1.3 Valeur de bleu de méthylène.

La valeur de bleu de méthylène se détermine à partir de l'essai au bleu de méthylène à la tache sur la fraction. Le dosage s'effectue en ajoutant successivement différentes quantités de bleu de méthylène.

A chaque ajout on contrôle l'adsorption en prélevant une goutte de la suspension que l'on dépose sur un papier filtre normalisé pour faire une tache. L'adsorption maximale est atteinte quand une auréole bleu clair se produit à la périphérie de la tache.

Cet essai a pour but de caractériser globalement la fraction argileuse contenue dans le matériau.

L'essai a été réalisé suivant la norme **NF P 94-068**.

$$\text{VBS} = \frac{V \times C}{M} \times 100$$

On a trouvé dans le laboratoire de chimie que le **VBS = 0.67g** (pour 100g de sable brute).

VI.2.1.4 Teneur en carbonates CaCO_3 :

La teneur en carbonates de calcium CaCO_3 d'un sol est déterminée par attaque à l'acide chlorhydrique d'une certaine quantité de sol sec. La mesure de la quantité de gaz carbonique dégagé permet de calculer la masse de carbonate de calcium dissoute et donc la teneur en carbonates de calcium du sol, exprimée en pourcentage de la masse de la phase solide du solide, le but de cet essai est de terminer la nature chimique du matériau mis à l'essai.

L'essai a été réalisé suivant la norme **NF P 94-048**.

$\text{CaCO}_3 = 00\%$. Donc le sable n'est sans aucun cas carbonaté soit aucune présence de carbonates.

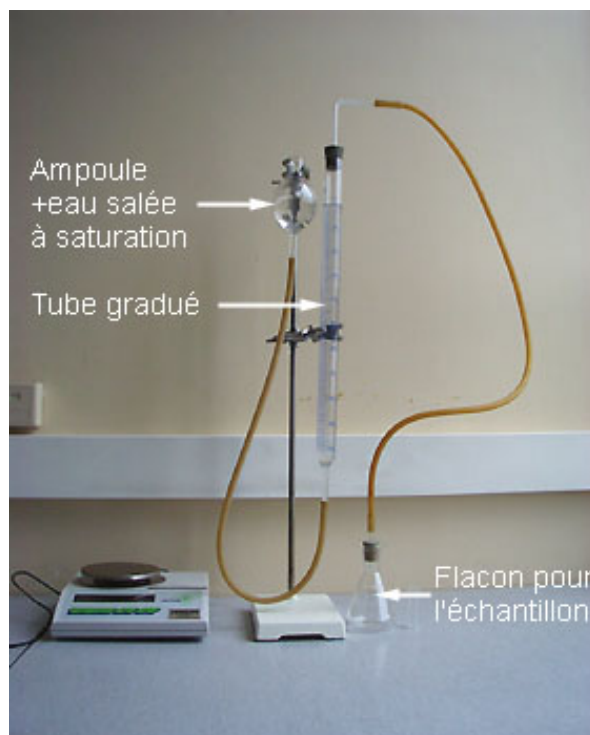


Figure VI.5 : Calcimètre pour la détermination de la teneur en carbonates.

VI.2.1.5 Equivalent de sable.

L'essai d'équivalent de sable, permettant de mesurer la propreté du sable, est effectué sur la fraction d'un granulat passant au tamis à maille carrée de 5 mm, il rend compte globalement de la quantité et de la qualité des éléments fin, en exprimant un rapport conventionnel volumétrique entre les éléments sableux qui sédimentent et les éléments fin qui flocculent.

La valeur de l'équivalent de sable (**Es**) est le rapport, **multiplié par 100**, de la hauteur de la partie sableuse sédimenté, à la hauteur total du flocculat et de la partie sableuse sédimenté.

Cet essai est réalisé par la norme **NF P 18-598**

La mesure **h₁** : **10.50** (échantillon 01), **10.60** (échantillon 02).

La mesure **h₂** : **9.10** (échantillon 01), **9.40** (échantillon 02).

La mesure **h'₂** : **10.10** (échantillon 01), **10.20** (échantillon 02).

$$E_s (\text{piston}) = 100 * h_2 / h_1 \quad E_s (\text{visuel}) = 100 * h'_2 / h_1$$

$$E_{s1} = 86.66 \quad \text{et} \quad E_{s2} = 88.67 \quad \Rightarrow \quad E_s \text{ moyen (piston)} = 87.66.$$

$$E_{s1} = 96.19 \quad \text{et} \quad E_{s2} = 96.22 \quad \Rightarrow \quad E_s \text{ moyen (visuel)} = 96.20.$$



Figure VI.6 : Éprouvettes 01 et 02 du sable brute (SB).

V.2.2 Classement du sable :

Tableau VI.3 : Tableau récapitulatif des résultats d'identification du sable brute (SB).

D max (mm)	2 mm
Passant à 80 µm (%)	P₁=1.26. P₂=0.54.
IP	Non mesurable.
VBS (g)/100g.	Moyenne=067
Carbonates CaCo3 (%).	00

D'après les résultats trouvés en utilisant le tableau de classification (**classification des sols GTR**), ...voir l'**annexe(03)**.

Notre sol peut être classé comme étant : matériau sableux et graveleux avec fines (**classe B**) et **sous classe (B1)**

VI.3 Essais sur sable à vert désigné (S1).

VI.3.1 Les essais d'identification.

VI.3.1.1 Analyse granulométrique et sédimentométrique.

Tableau VI.4 : résultat de l'analyse granulométrique du sable (S1) ECH 01.

Ouvertures des tamis en mm	Masse de refus cumulés (Ri) en grammes	Pourcentage des refus cumulés $Ri/Ms*100$	Pourcentages des tamisats cumulés $100*(Ri/Ms)-100$
5	0.4	0.04	99.96
4	0.5	0.05	99.95
2	3.6	0.36	99.64
1	8.1	0.81	99.19
0.5	29.8	2.98	97.02
0.4	116.1	11.61	88.39
0.315	398.7	39.87	60.13
0.200	770.9	70.09	29.91
0.100	774.1	77.41	22.59
0.080	786.8	78.68	21.32
Fond	788.8	78.88	0.20

Tableau VI.5 : Résultat de l'essai sédimentométrie ECH 01.

Lecture densimétrique	P% sur tamis 80 μm	D (μm)
1.0225	19	0.075
1.020	17	0.055
1.0185	16	0.038
1.0175	15	0.025
1.0145	15	0.017
1.011	10	0.012
1.0095	09	0.008
1.007	07	0.006
1.0055	06	0.004
1.0045	05	0.002

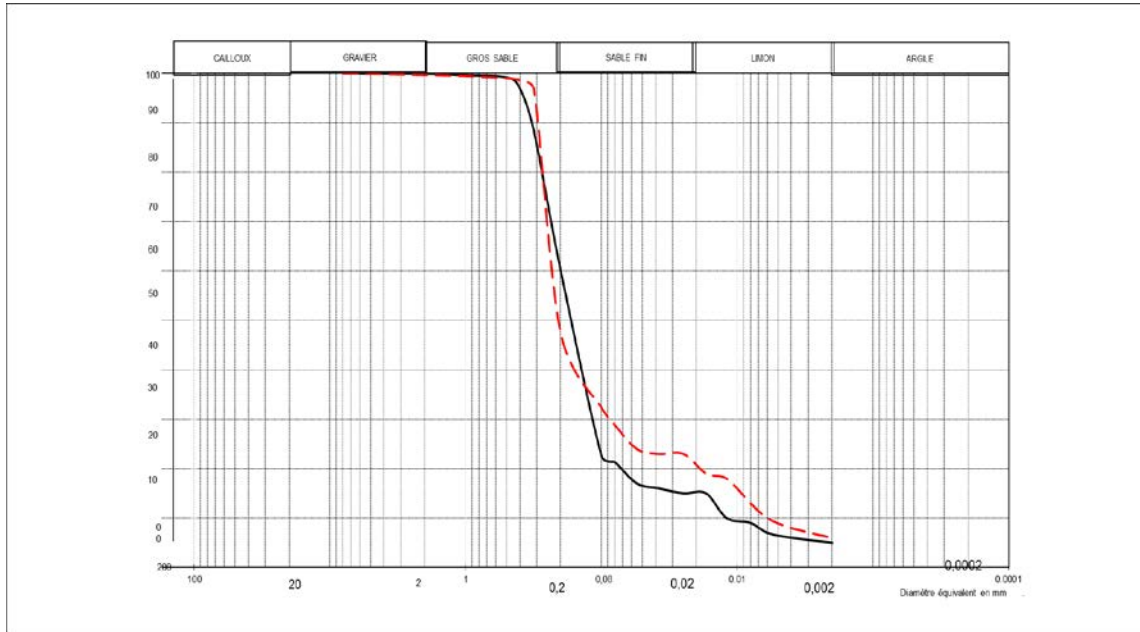


Figure VI.7: La courbe d'analyse granulométrique du sable (S1) ECH 01.

Tableau VI.6 : Résultat de l'analyse granulométrique du sable (S1) ECH 02.

Ouvertures des tamis en mm	Masse de refus cumulés(Ri) en grammes	Pourcentage des refus cumulés $Ri/Ms*100$	Pourcentage du tamisats cumulés $100*(Ri/Ms)-100$
5	1.4	0.14	99.86
4	2.5	0.26	99.74
2	4.4	0.44	99.56
1	7.5	0.75	99.25
0.5	27.6	2.76	97.24
0.4	111.4	11.14	88.86
0.315	334.2	33.42	66.58
0.200	712.8	71.28	28.72
0.100	773.5	77.35	22.65
0.080	781.7	78.17	21.83
Fond	783.2	78.36	0.15

Tableau VI.7 : Résultat de l'essai de sédimentométrie ECH 02.

Lecture densimétrique	P% sur tamis 80 µm	D (µm)
1.023	20	0.075
1.022	19	0.055
1.205	18	0.038
1.019	17	0.025
1.0165	15	0.017
1.014	13	0.012
1.025	12	0.008
1.010	10	0.006
1.008	08	0.004
1.006	07	0.002

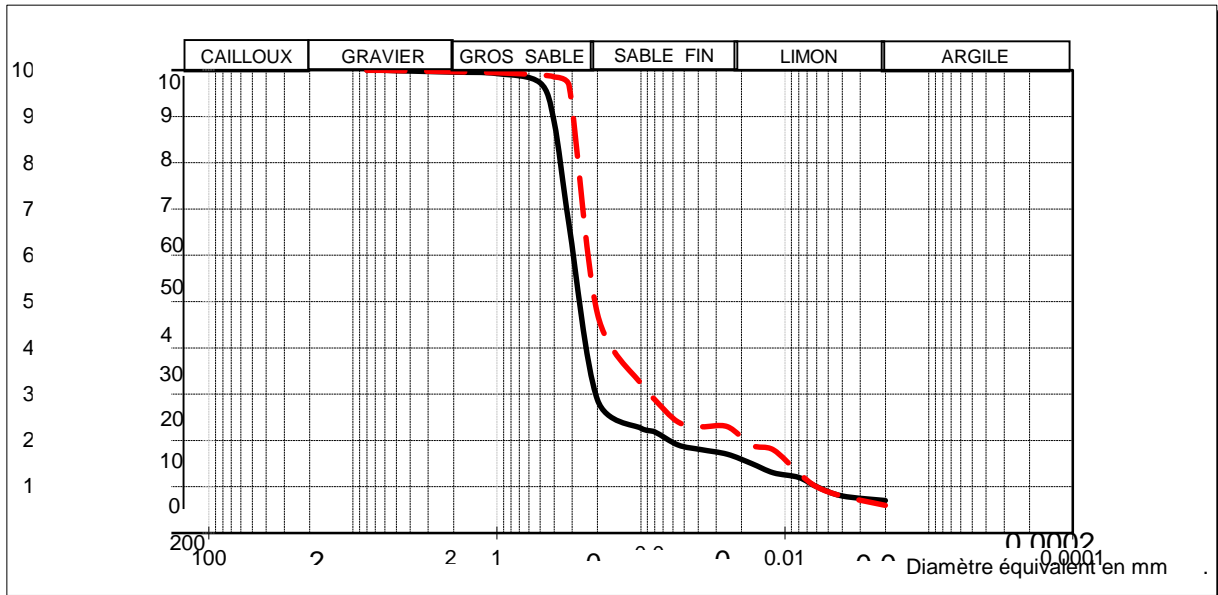


Figure VI.8 : La courbe d'analyse granulométrique de sable (S1) ECH02.

Commentaires :

La répartition des grains des différentes dimensions sont conforme à la courbe de référence (courbe en rouge), la taille moyenne des grains (d50) est égale à 0.2 mm.

Tableau VI.8 : Récapitulation des résultats d'identification.

	ECH 01		ECH02	
Dmax (mm)	5		5	
Passant au 80µm (%)	21.32		21.83	
IP	Non mesurable		Non mesurable	
VBS	1.67		1.61	
CaCo3 (%)	00		00	
Es (%)	ES (piston)=15	ES (visuel)=26	ES (piston)=15	ES (visuel)=25
Poids spécifique (ρ_s) g/cm³	2.593		2.548	
Masse volumique (γ) g/cm³	1.258		1.255	

VI.3.2 Classement du sable (S1) :

D'après les résultats trouvés en consultant le guide de classification (GTR) on a pu classier notre sable comme suit :

Un sable de classe **B** soit un matériau sableux et graveleux avec fines et d'une sous- classe **B₆** ce qui signifie un sable et graves argileux à très argileux.....**voir l'annexe(03)**.

V.3.3 Les essais de portance :

C'est la caractéristique qui définit la capacité d'un sable à supporter une charge qui lui est appliqués.

La portance dépend de la nature du matériau, de son pourcentage d'eau et du degré de compactage.

La portance du matériau et son degré d'humidification optimum sont déterminés par des essais dont le plus usuels sont l'essai Proctor pour la compacité et l'essai CBR pour la résistance à la charge de portance.

V.3.3.1 L'essai Proctor [NF P 94-093].

Le principe consiste à compacter avec une énergie définie un échantillon de matériau remanié dans un moule normalisé et à mesurer le poids volumique sec obtenu. L'essai est recommandé pour différentes teneurs en eau. Il existe deux types d'essai d'usages courant.

Les résultats sont présentés sous la forme d'une courbe dont en abscisse la teneur en eau et en ordonnée la densité sèche. Cette courbe a un maximum

Connu sous « l'optimum Proctor » normal ou modifié selon la nature de l'essai. Ce maximum définit la teneur en eau optimale et la densité sèche maximale.

Ainsi ces valeurs peuvent être utilisées pour valider la qualité d'un compactage sur un chantier, elles sont surtout utilisées lors de l'étude de formulation pour définir la modification à apporter au sol permettant de passer de son état naturel à son état optimal de mise en œuvre. L'essai Proctor modifié se fait sur des matériaux destinés à la réalisation des couches d'une chaussée et en prenant en compte un poids plus important des engins de



Figure VI.9 : Essai Proctor.

Tableau VI.9 : Résultat de l'essai Proctor modifié.

0% liant hydraulique.				
Essai N°	01	02	03	04
Masse du moule +échantillon (g)	11790	12015	12205	12385
Echantillon sec (g)	4137.28	4206.12	4493.46	4386.51
Teneur en eau (%)	06.35	8.77	10.16	12.96
Densité sèche (T/m³)	1.80	1.83	1.95	1.90

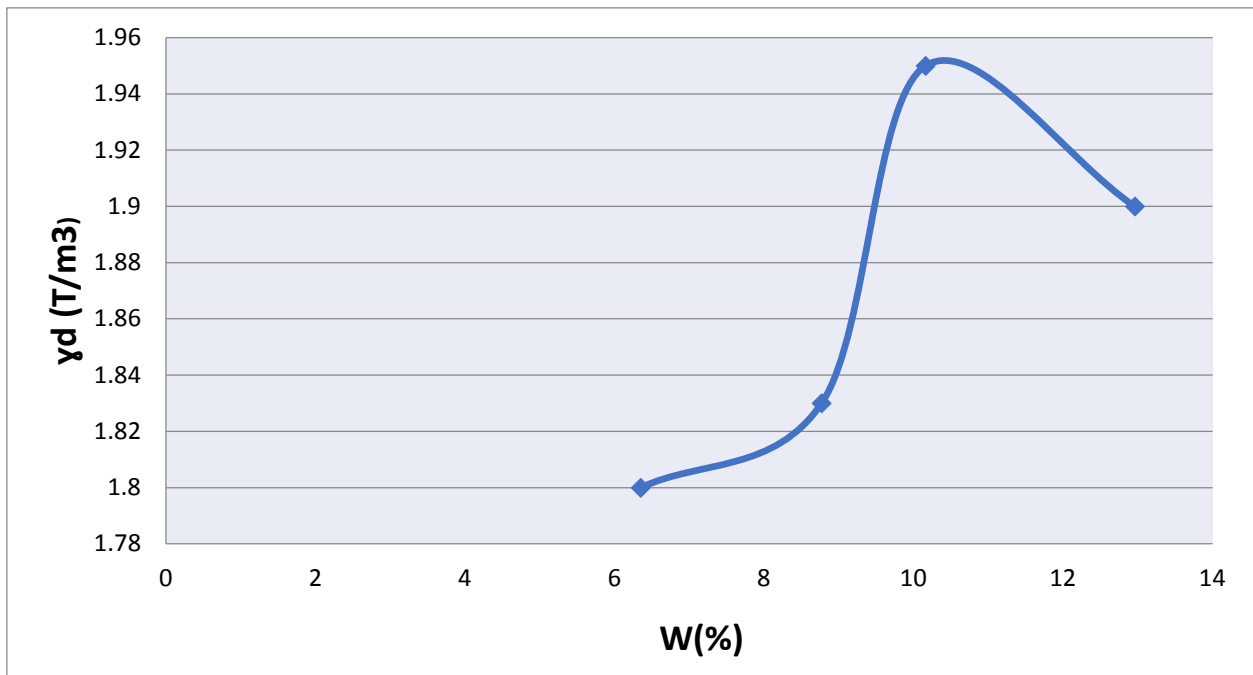


Figure VI.10 : Courbe de l'essai Proctor modifié.

V.3.3.2 Essai CBR [NF P 94-078].

Après immersion (4 jours), l'Indice CBR (I.CBR) exprimé en pourcentage (%) est le rapport entre les pressions produisant dans un même temps d'un enfoncement donné dans le matériau étudié d'une part dans un matériau type d'autre part. Par définition cet indice est pris égal à la plus grande des deux valeurs suivantes.

$$\text{I.CBR à 2.5 mm} = \frac{\text{effort de penetration (Kn) à 2.5 mm d'enfoncement}}{13.35 \text{ KN}} \times 100.$$

$$\text{I.CBR à 5 mm} = \frac{\text{effort de penetration (Kn) à 5 mm d'enfoncement}}{20 \text{ KN}} \times 100.$$

$$\text{I.CBR} = \max (\text{ICBR à 2.5 mm}, \text{ICBR à 5 mm}).$$

Tableau VI.10 : Résultat de l'essai CBR d'immersion à 4 jours du sable à vert (S1).

Nombre de coups / couches	Indice portant (%) à...	
	2.5 mm	5 mm
55	41.65	47.8
25	26.70	30.11
10	13.88	14.80

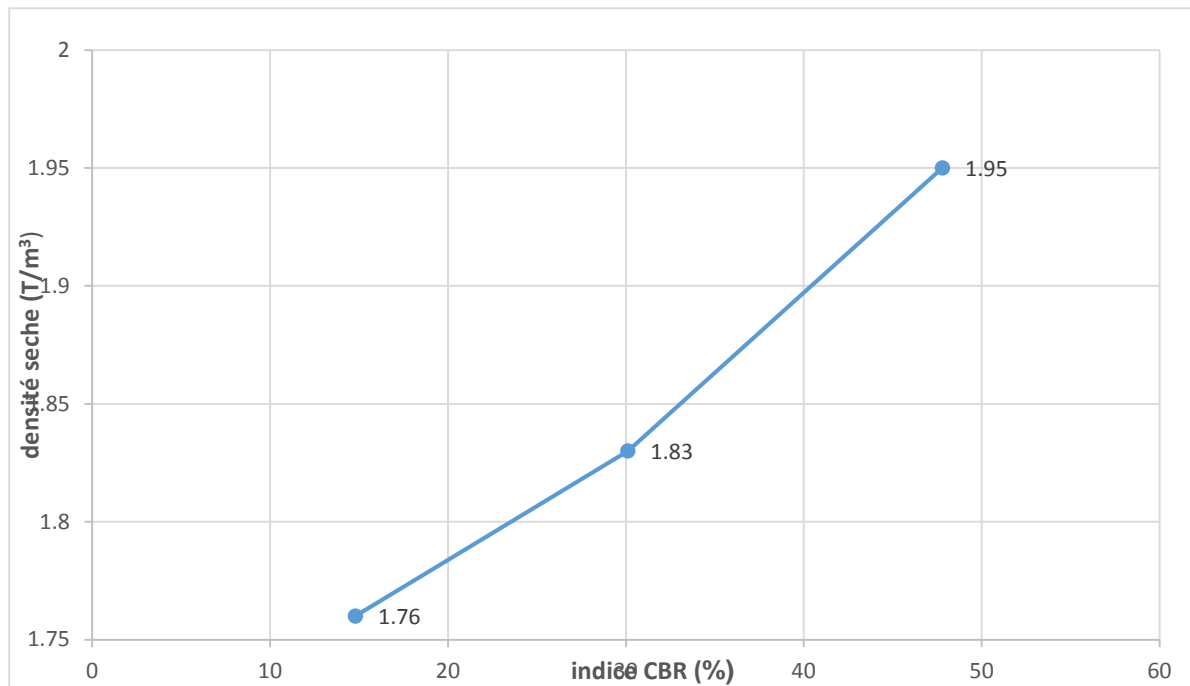


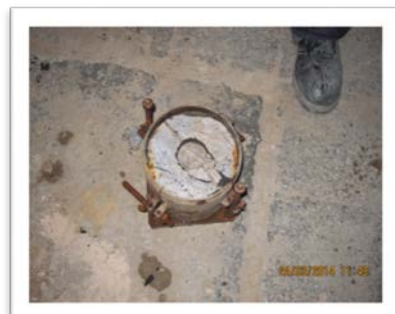
Figure VI.11 : Courbe de l'essai CBR.



Imbibé pendant 4 jours de suite. (A)



Pendant l'enfoncement. (B)



Après enfoncement. (C)

FigureVI.12 : Les étapes de l'essai CBR après immersion (Phases A, B, C)

V.3.3 Exécution du traitement :

Le traitement des sols en place à la chaux et /ou au ciment ou au liant hydraulique routier (**LHR**) est une technique éprouvée et parfaitement au point, qui a connu un très fort développement depuis une vingtaine d'années.

Les échantillons de sables utilisés sont mélangés à différents pourcentages de chaux et de ciment sont représentée comme suit :

2%, 4% de chaux et 2%, 4% de ciment.

Les résultats de l'essai Proctor modifié sont exprimés dans les tableaux suivants :

Tableau VI.11 : Résultat de l'essai Proctor modifié (sable à vert traité à 2% de chaux).

2% de chaux					
Essai N°	01	02	03	04	05
Masse de moule + échantillon(g)	11655	11860	12010	12125	12380
Echantillon sec (g)	4018.62	4145.40	4246.06	4293.04	4442.00
Teneur en eau (%)	5.26	6.66	8.10	11.11	12
Densité sèche (T/m³)	1.74	1.80	1.84	1.86	1.83

Tableau VI.12 : Résultat de l'essai Proctor modifié (sable à vert traité à 4% de chaux).

4% de chaux					
Essai N°	01	02	03	04	05
Masse de moule + échantillon (g)	11735	12020	12300	12255	12235
Echantillon sec (g)	4045.45	4148.64	4357.14	4230.43	4128.20
Teneur en eau (%)	10	11	12	15	17
Densité sèche (T/m³)	1.75	1.80	1.89	1.83	1.79

Tableau VI.13 : Résultat de l'essai Proctor modifié (sable à vert traité à 2% de ciment).

2% de ciment			
Essai N°	01	02	03
Masse de moule + échantillon (g)	11780	11830	11900
Echantillon sec (g)	4180.36	4201.52	4166.66
Teneur en eau (%)	6.45	8.77	10.16
Densité sèche (T/m³)	1.81	1.82	1.80

Tableau VI.14 : Résultat de l'essai Proctor modifié (sable à vert traité à 4% de ciment).

4% de ciment			
Essai N°	01	02	03
Masse de moule +échantillon (g)	11975	12190	12230
Echantillon sec (g)	4209.09	4330.35	4259.83
Teneur en eau (%)	10.10	12.06	15.38
Densité sèche (T/m³)	1.83	1.88	1.85

Les résultats de l'essai CBR sont exprimés dans les tableaux suivants :

Tableau VI.15 : Résultats de l'essai CBR du (sable à vert traité à 2% de chaux).

Nombre de coups / couches	Indice portant (%)	
	2.5 mm	5 mm
55	201	168.2
25	134.32	125.13
10	70	62.06

Tableau VI.16 : Résultats de l'essai CBR du (sable à vert traité à 4% de chaux).

Nombre de coups / couches	Indice portant (%)	
	2.5 mm	5 mm
55	141.27	135.55
25	90.18	87.36
10	47.09	46.18

Tableau VI.17 : Résultats de l'essai CBR du (sable à vert traité à 2% de ciment).

Nombre de coups / couches	Indice portant (%)	
	2.5 mm	5 mm
55	112.35	79.55
25	74.19	53.03
10	40.45	25.51

TAB VI.18 : Résultats de l'essai CBR du (sable à vert traité à 4% de ciment).

Nombre de coups / couches	Indice portant (%)	
	2.5 mm	5 mm
55	119.17	142.20
25	79.44	90.8
10	38.72	47.4

VI.3.3.1 L'influence de traitement :

VI.3.3.1.1 L'influence du traitement sur l'essai de Proctor modifié :

Les différents résultats de l'essai Proctor sont récapitulés dans le tableau dans VI.19.

TableauVI.19 :L'influence de traitement sur l'essai Proctor modifié.

Liant (%)	Essai N°	01	02	03	04	05
0%	W (%)	06.35	8.77	10.16	12.96	14.33
	γ_d (T/m ³)	1.80	1.83	1.95	1.90	1.87
2% de chaux	W (%)	6.66	08.10	11.11	12	13.30
	γ_d (T/m ³)	1.80	1.84	1.86	1.83	1.81
4% de chaux	W(%)	10	11	12	15	17
	γ_d (T/m ³)	1.75	1.80	1.89	1.83	1.79
2% de ciment	W(%)	6.45	8.77	10.16		
	γ_d (T/m ³)	1.81	1.82	1.80		
4% de ciment	W(%)	10.10	12.06	15.38		
	γ_d (T/m ³)	1.83	1.88	1.85		

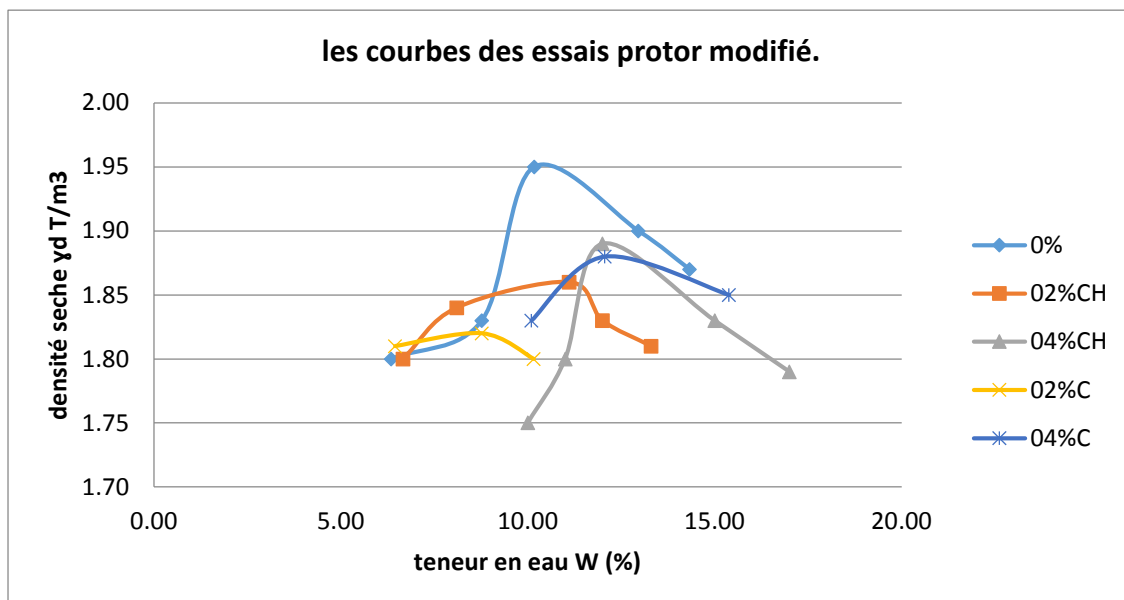


Figure VI.13 : Courbe de l'influence de traitement sur le compactage.

D'après le résultat obtenu (Figure VI.13) on peut observer une diminution de la densité sèche en ce qui concerne les sables traité par les liants par rapport au sable non traité, par ailleurs la teneur en eau augmente en fonction de l'ajout du dosage en liants.

VI.3.3.1.2 L'influence du traitement sur les résultats CBR

La détermination de l'indice CBR, en fonction de l'énergie de compactage (10, 25, 55 coups) appliqué sur le sable pour des pourcentages variables de liants engendrent une augmentation très rapide de cet indice avec l'augmentation de la cohésion.

Tableau VI.20 :L'influence de traitement sur le résultat CBR.

Pourcentage de liant (%)	I.CBR 55	I.CBR 25	I.CBR 10
0%	47.8	30.11	14.80
2 % de chaux	201	134.32	70
4 % de chaux	141.27	90.18	47.09
2% de ciment	112.35	74.19	40.45
4% de ciment	142.20	90.8	47.4

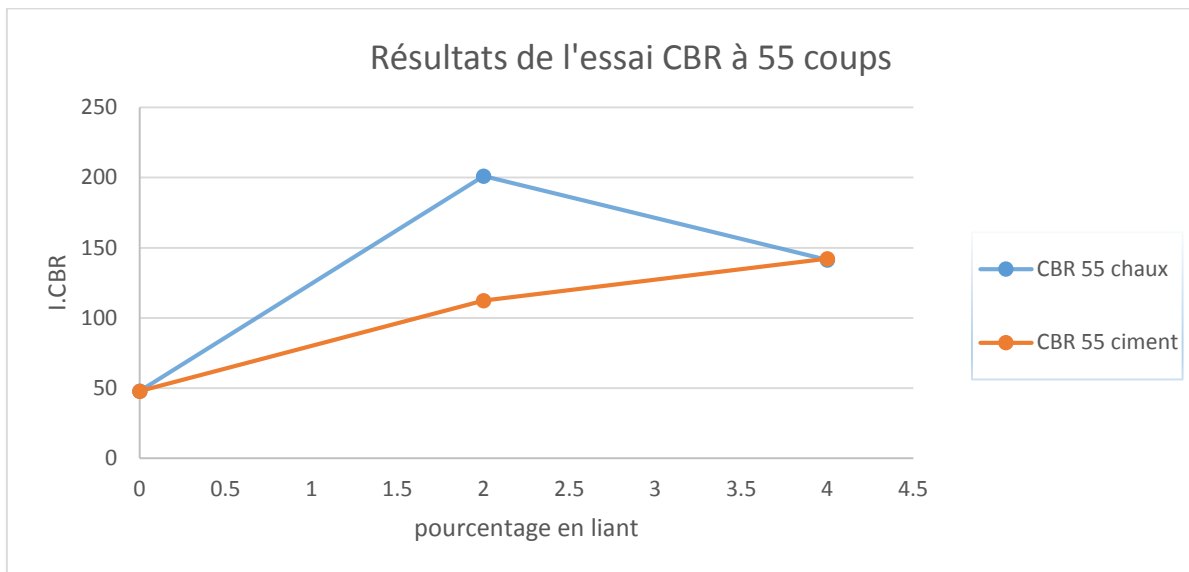


Figure VI.14 : Résultat de l'essai CBR de 4 jours d'immersion à 55 coups.

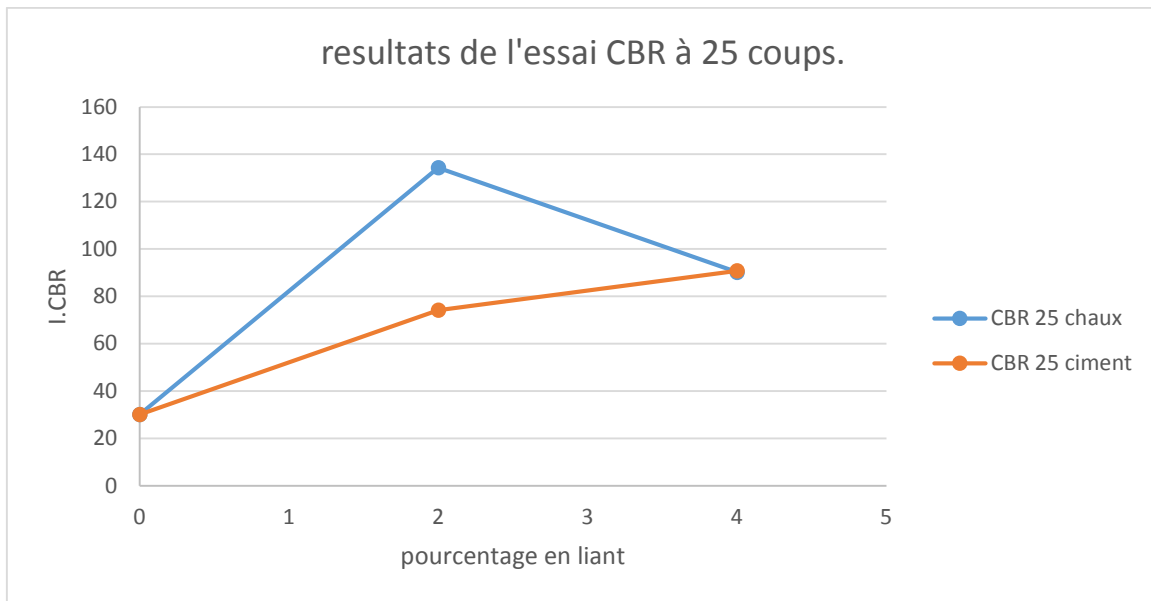


Figure VI.15 : Résultats de l'essai CBR de 4 jours d'immersion à 25 coups.

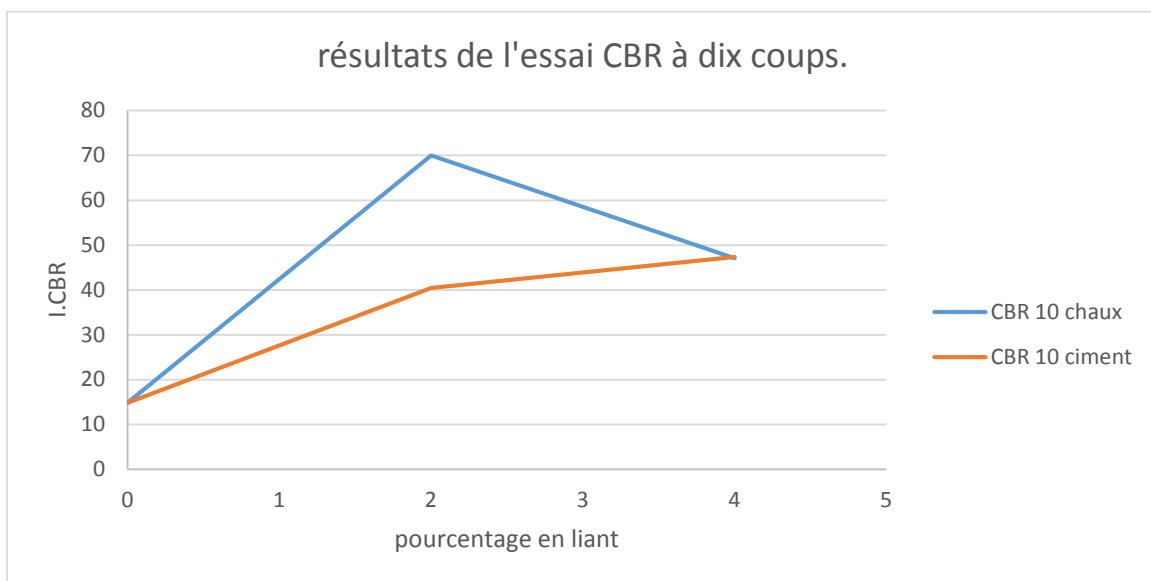


Figure VI.16 : Résultats de l'essai CBR de 4 jours d'immersion à dix coups.

On remarque à travers ce résultat que l'indice CBR d'immersion augmente en fonction du dosage de ciment, en ce qui concerne le dosage en chaux l'indice CBR augmente à un certain pourcentage ensuite chute juste après. Cela montre l'intérêt du traitement du sable étudié avec la chaux et au ciment pour l'amélioration des performances mécaniques des matériaux traités

VI.3.4. Les essais sur mortier durci :

VI.3.4.1 Confection des éprouvettes de mortier :

a. Conservation des éprouvettes :

Les essais sont souvent effectués sur des éprouvettes prismatiques de $4 \times 4 \times 16$ cm conservés dans l'eau à 20 °C, ou dans une armoire humide maintenue à une température de 20 °C \pm 1 °C et à une humidité relative supérieure à 90 %.

Un malaxeur normalisé et des moules normalisés permettent de réaliser 3 éprouvettes prismatiques de **section carrée 4cm \times 4cm** et **longueur 16 cm** (Ces éprouvettes sont appelés "**éprouvettes 4 \times 4 \times 16**"). Un appareil à chocs permet d'appliquer **60 chocs** aux moules en les faisant chuter d'une hauteur de **15 mm \pm 0.3 mm** à la fréquence d'une chute par seconde **pendant 60 s**.

Une machine d'essais de résistance à la flexion permet d'appliquer des charges jusqu'à 10 KN avec une vitesse de mise en charge de 50 N/s \pm 10 N/s.

La machine doit être pourvue d'un dispositif de flexion tel que celui présenté sur la **figure VI.17**.



Figure VI.17 : Machine d'essai de résistance à la flexion.

Une machine d'essai à la compression permet d'appliquer des charges jusqu'à **150 KN** (ou plus si les essais l'exigent) avec une vitesse de mise en charge de 2400 N/s \pm 200 N/s. Cette machine est équipée d'un dispositif de compression. **la norme EN 196-1** décrit de manière détaillée le mode opératoire concernant cet essai. Dans notre cas on a utilisé la machine de l'essai Marshall pour absence de machine ou plus exactement que la machine normalisée pour cet essai était hors de service. **La figure VI.18** montre **la machine Marshall** utilisée pour l'essai **de compression**.



Figure VI.18 : La machine de l'essai Marshall utilisé pour l'essai de compression.

Avec le mortier normal préparé, on remplit **un moule 4×4×16**. Le serrage du mortier dans ce moule est obtenu en introduisant le mortier en deux fois et en appliquant au moule **60 chocs** à chaque fois. Après quoi le moule est arasé, recouvert d'une plaque de verre et entreposé dans la salle ou l'armoire humide.

Entre **20h et 24h** après le début du malaxage, ces éprouvettes sont démoulés et entreposés dans de **l'eau à 20 °C ± 1°C** jusqu'au moment de l'essai de rupture.

Au jour prévu, 3 éprouvettes sont rompues en flexion et en compression. Les normes **ENV 197-1 et NFP 15-301** définissent les classes de résistance des ciments d'après leur **résistance à 2 (ou 7 jours) et 28 jours**. Ces âges sont donc impératifs pour vérifier la conformité d'un ciment.

b. Mode opératoire :

Mélanger le sable à vert normalisé avec le ciment à tester et l'eau dans les proportions suivantes : **450 ± 2g de ciment, 1350 ± 5g de sable normalisé (passé dans un jeu de tamis compris de 0.063 mm jusqu'à 2.00 mm) et 225 ± 1g d'eau**.

Avant d'être utilisé pour l'identification de caractéristiques physique et/ou mécanique, ce mortier est malaxé pendant 4 minutes conformément aux prescriptions de la norme :

Introduire l'eau en premier dans la cuve du malaxeur, y verser ensuite le ciment, aussitôt après, mettre le malaxeur en marche à vitesse lente.

Après 30s de malaxage introduite régulièrement le sable pendant les 30s suivantes. Mettre alors le malaxeur à vitesse rapide et continuer le malaxage pendant 30s supplémentaires.

Arrêter le malaxeur pendant 1 min 30s. Pendant les 15 premières secondes enlever au moyen d'une raclette tout mortier adhérant aux parois et au fond du récipient en le repoussant vers le milieu de celui-ci.

Reprendre ensuite le malaxage à grande vitesse pendant 60s.

Ces opérations de malaxage sont récapitulées dans le tableau qui suit dans le tableau VI.21.

Tableau VI.21 : Opérations de malaxage du mortier normal.

Operations	Introduction de l'eau	Introduction du ciment		Introduction du sable	Raclage de la cuve		
durée			30 s	30 s	15 s	1 min 15 s	60 s
Etat du malaxeur	arrêt		Vitesse lente		arrêt		Vitesse rapide



Figure VI.19 : Moules prismatiques utilisés.

VI.3.4.2 Résultats des résistances à la compression et à la flexion :

Tableau VI.22 : Comparaison de la résistance à la flexion avec un sable témoin.

Essai N°	La contrainte de flexion (MPa) à...		
	07 jours.	14 jours.	28 jours.
01	0.275	0.350	0.440
02	0.325	0.380	0.473
Moyenne	0.300	0.365	0.456
Mortier témoin	0.88	0.89	0.85

Tableau VI.23 : Comparaison de la résistance à la compression avec un sable témoin.

Essai N°	La contrainte de compression (MPa) à...		
	7 jours.	14 jours.	28 jours.
01	5.25	8.82	9.86
02	9.27	9.49	10.11
Moyenne	7.26	9.15	9.98
Mortier témoin	17.13	13.75	11.69

Commentaires :

On constate après les essais mécaniques de flexion que la résistance reste très faible avec la formulation qu'on a utilisé soit du **sable à vert (S1)**, par ailleurs la résistance à la compression reste moyennement acceptable en la comparant avec le mortier témoin.

Remarque :

- Le sable utilisé dans la formulation du mortier témoin est un sable de guelta de la région de **LAGHOUAT** ainsi que les résultats de comparaison réalisés dans le mémoire présenté par **Mimouni Melouka**,

- Le ciment utilisé est un **ciment PORTLAND** composé de types **CEM II/A-42.5 R**.

VI.4 Essai sur les sables désignés (S2) et (S3).**VI.4.1 Principe du traitement hydraulique :**

Afin de laver les sables (S2) et (S3), il fallait adopter la manière la plus rentable et la plus faisable pour cela nous avons utilisé un perméamètre à paroi rigide dépourvu de son moule métallique, la bouteille doit être rempli d'eau distillé.

L'appareillage est connecté à un Büchner de taille moyenne siphonné jointé et connecté au tuileau qui est relié à la base du Büchner.

Le Büchner siphonné est bien jointé pour éviter toute perte d'eau durant le traitement hydraulique. Le bout du siphon en **PVC** était relié à une fiole de 5 litres pour récupérer l'eau qui servait à laver l'échantillon de sable.

Cette eau retenue dans le lavage doit être conservé dans un bac dont on devait mesurer son pH à chaque fois pour la jeter ensuite. Le débit utilisé dans le lavage était un débit moyen ou faible pour donner le temps à l'eau distillée de bien s'infiltrer dans les grains de sable et dissoudre le silicate de soude d'une manière lente et efficace et la récupérer par la suite dans la fiole.

Le pH doit être vérifié à chaque fois pour en assurer de sa neutralité durant le lavage, chaque prise de pH est prise en compte.

Après 15 litres consommé durant le lavage, l'échantillon du sable (S2) ou (S3) doit être récupéré pour être étuvé à une température moyenne qui varie entre 40 jusqu'à 50 °C.

Après séchage, on récupère l'échantillon du sable chimique et on vérifie son pH qui remonte à 8.5. L'opération est recommencée pour un autre lavage en place pour consommer à peu près 15 litres d'eau distillé pour un kilo de sable usés.

Après lavage, on laisse le sable sécher à une température ambiante moyenne, après 24 heures, on vérifie le pH pour en assurer de la neutralité du sable.

VI.4.2 Mode opératoire :

On introduit un kilo de sable usés (**S2**) ou (**S3**) à l'intérieur du **Büchner**, on étale le sable d'une façon uniforme et plate.

Après avoir fermé le Büchner par un coude siphonné et bien jointé, on ouvre le robinet avec très lent débit tout en permettant à l'eau de s'infiltrer dans le sable.

On vérifie le pH initial **après 2 ou 3 litres de lavage**, l'eau retenue dans la fiole doit être conservé dans un bac pour le neutraliser et le jeter pas la suite dans le réseau des eaux usées.

Après **5 litres** utilisé on constate que le pH descend jusqu'à un **pH=12**.

On continue à revérifier le pH jusqu'à **15 litres**, on remarquera que le **pH descend** jusqu'à **pH=7.5**.

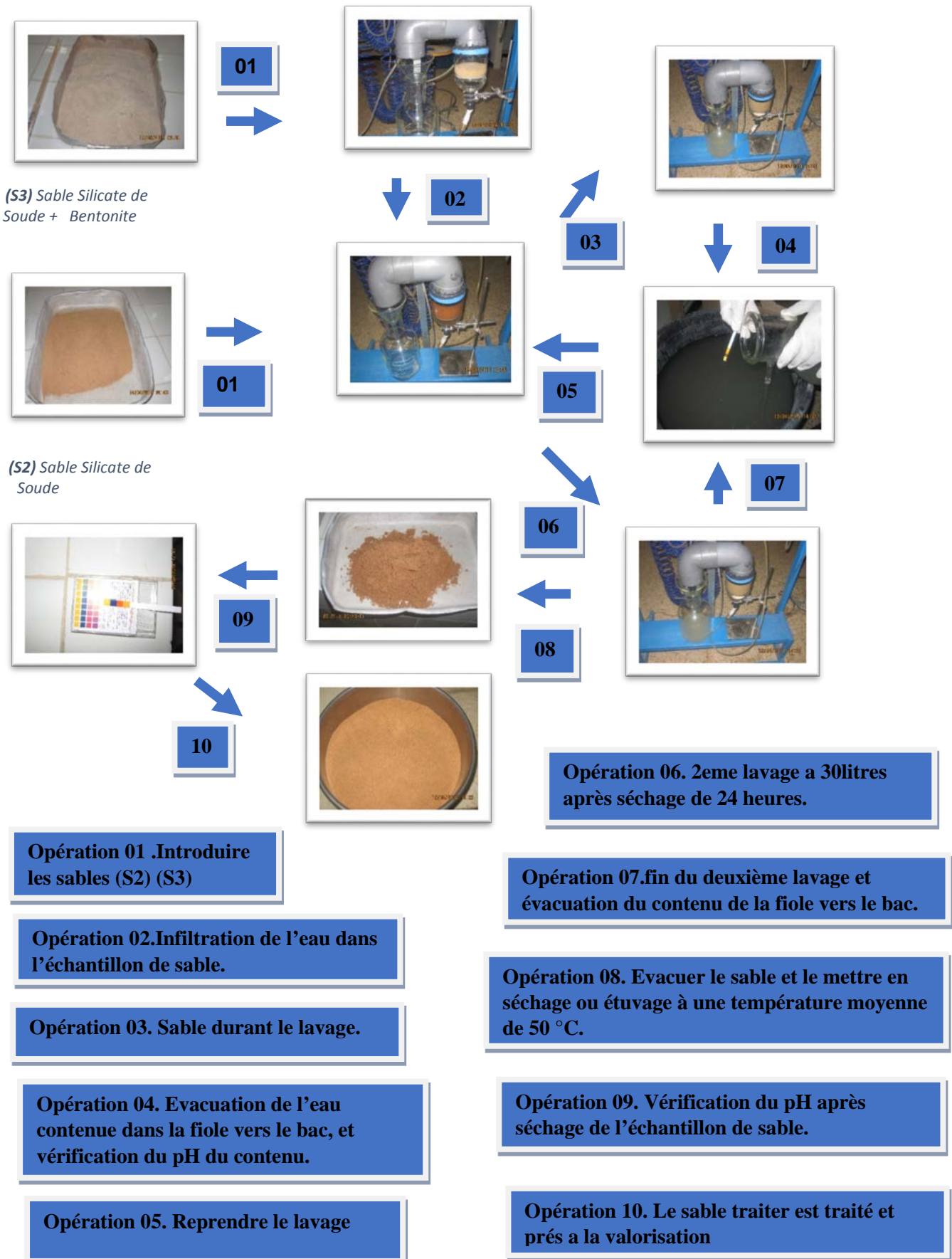
On enlève l'échantillon pour l'étuver à **50°C** ou sécher à **l'air libre** durant 24 heures (**dans notre cas l'échantillon (S2) a été séché à l'air libre pendant 48 heures contrairement au sable (S3) qui a été étuvé durant presque 6 heures**).

Après séchage ou étuvage on constate que le pH remonte à **pH=11.5**, alors on introduit le sable de nouveau dans le **Büchner** pour le laver jusqu'à la consommation de presque **32 litres** d'eau distillé. On constate que le pH devient et égale à **pH=6.5**.

Après **48 heures** on constate que le pH reste neutre soit un pH compris entre **6 jusqu'à 7**.

L'opération qui suit résume les différentes opérations faites pour traiter les sables (S2), (S3).

Figure VI.20 : Etapes de traitement hydraulique des sables (S2) et (S3).



Remarques importantes :

- ✚ La manutention durant le traitement nécessite une protection des yeux et de la peau on utilisant des gants en latex et des masques pour éviter de respirer les odeurs durant le traitement.
- ✚ Avant de procéder au traitement indiqué dans les sections précédentes, nous avons essayé d'établir l'essai hydraulique sur un procédé plus miniature que celui indiqué, en utilisant un **Büchner de diamètre inférieur** et en introduisant **50g** de sable pour générer d'une façon approximative la quantité d'eau qu'il faut pour un traitement d'un kilo (**l'eau distillée nécessaire pour le traitement d'une quantité de 50 g est 1.5 litres.**)
- ✚ On devait exclure le moule métallique du perméamètre à paroi rigide pour risques d'oxydation, ainsi tous les accessoires utilisés durant le traitement étaient en **verre** ou en **plastique(PVC)**.
- ✚ Lors de notre visite à **ADWAN chemicals company**, les chimistes du labo de la société en question nous ont recommandée de chauffer l'eau et d'utiliser l'eau courante (**l'eau de robinet**) puisque elle été **efficace** pour le traitement et la hausse de chaleur permet d'accélérer la dissolution du silicate de soude qui enveloppe les grains de sable.



Figure VI.21 : Le dispositif miniature pour le traitement de 50g de sable.



Figure VI.22 : Le dispositif du traitement hydraulique pour le traitement d'un kilo de sable.

VI.4.3 Les essais d'identification des sables (S2) et (S3).

VI.4.3.1 Analyse granulométrique (norme NF P 19-560).

Tableau VI.24 : Résultat de l'analyse granulométrique du sable (S2).

Tamis ouverture en mm	Masse de refus cumulé (Ri) en grammes	Pourcentage du refus cumulé $Ri/Ms*100$	Pourcentage des tamisats cumulé $100*(Ri/Ms)-100$
5	00	00	100
4	00	00	100
2	00	00	100
1	00	00	100
0.500	20	4	96
0.400	102	20	80
0.315	270	54	46
0.200	478	95.6	4.4
0.100	494	98.8	1.2
0.080	495	99	1
Fond	498	98	2

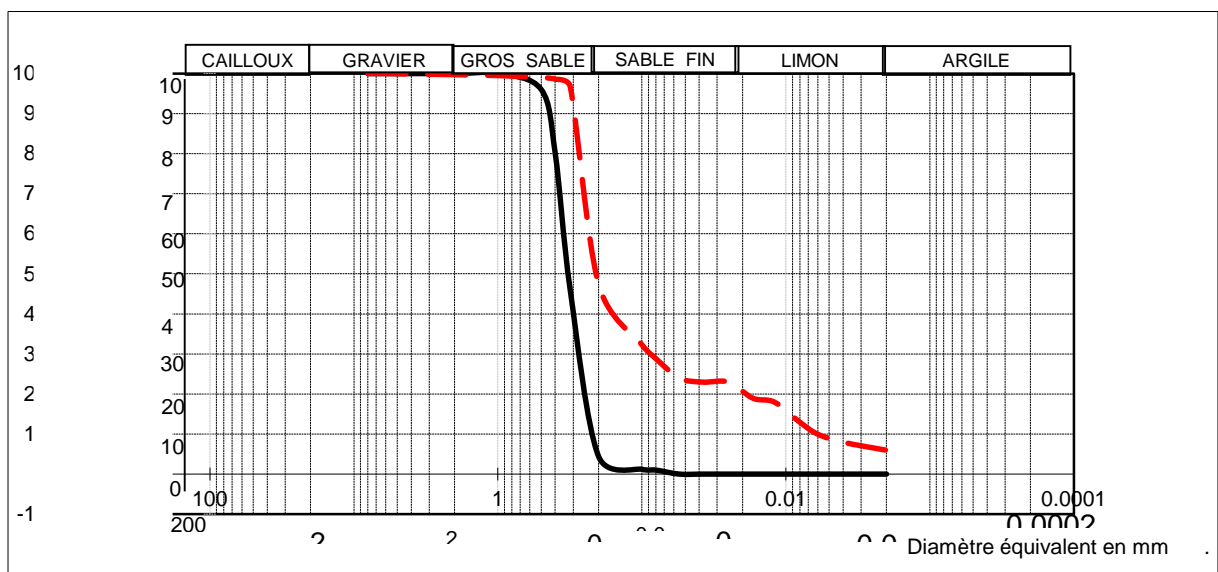


Figure VI.23 : La courbe d'analyse granulométrique du sable (S2).

Tableau VI.25 : Résultats de l'analyse granulométrique du sable (S3).

Tamis ouverture en mm	Masse des refus cumulés (Ri) en grammes.	Pourcentage des refus cumulés $Ri/Ms*100$	Pourcentage des tamisats cumulés $100*(Ri/Ms)-100$
5	00	00	100
4	00	00	100
2	00	00	100
1	14	2.8	97.2
0.500	176	35.2	64.8
0.400	250	50	50
0.315	340	68	32
0.200	458	91.6	8.4
0.100	486	97.2	2.8
0.080	488	97.6	2.4
Fond	497	99.6	0.4

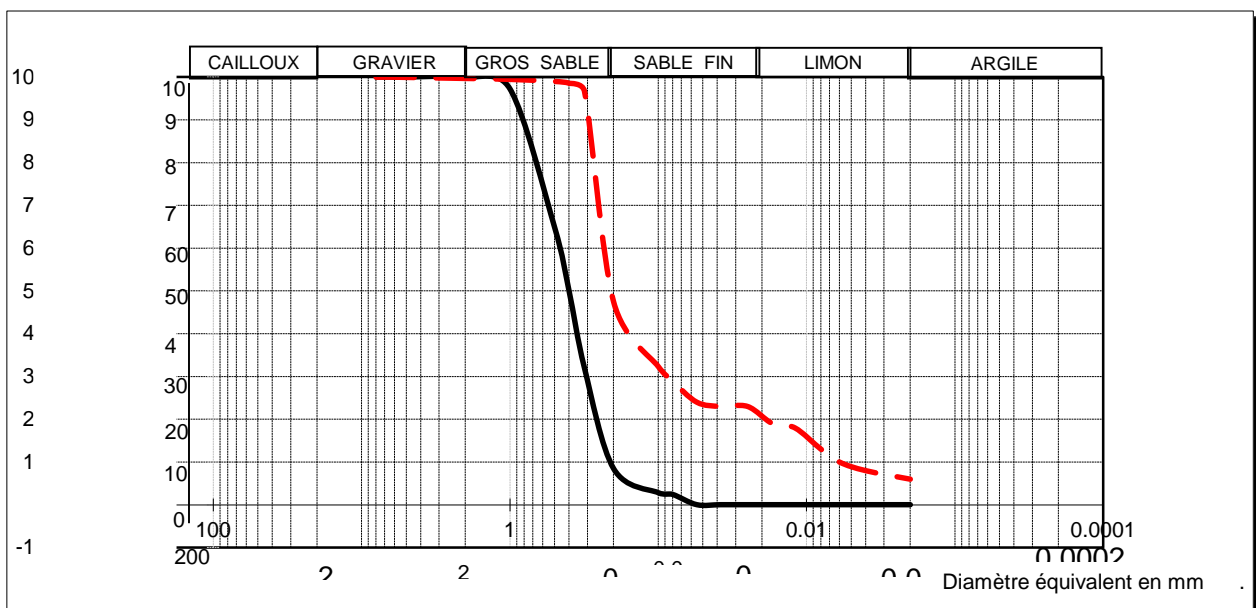


Figure VI.24 : La courbe d'analyse granulométrique du sable (S3).

Commentaires :

Après traitement hydrauliques, les sables (S2) et (S3) redeviennent des sables grossier sans une grande différence dans la répartition des grains du sable (SB), la taille moyenne des grains (d50) est égale à 0.3 mm.

VI.4.3.2 Résultat d'identification :

Tableau VI.26 : Résultats des essais identification.

	Sable (S2)		Sable (S3)	
D max (mm)	0.5		1	
Passant au 80 µm (%)	1		2.4	
VBS (gr/ 100g).	0.15		2.13	
CaCo₃ (%)	2		00	
Es (%)	Es piston = 92	Es visuel = 99	Es piston =54	Es visuel = 59

VI.4.4 Classement des sables (S2) et (S3).

D'après les résultats trouvés et on se basant sur le tableau de classification(GTR), nos matériaux peuvent être classé comme étant :

- **Sable au silicate de soude** désigné sable (S2) est classé comme **sol sableux et graveleux avec fines (B)** et une sous classe définit comme **un sable siliceux (B₁)**.

- **Sable au silicate de soude + bentonite** désigné sable (S3) est classé comme **sol sableux et graveleux avec fines (B)** et une sous classe définit comme **un sable argileux (peu argileux) (B₂)...voir l'annexe03**

VI.5 Résultat de la diffraction des rayons X :

Les résultats qu'on a trouvé par la technique de diffraction nous indique juste la composition cristalline des matériaux analysés, plus on peut déduire la forme des cristallites à partir des paramètres a, b, c et alpha, beta, gamma et le type de cristallites, dans notre cas du quartz et surtout du alpha quartz puisque nos matériaux nos pas été exposé à des températures très élevés durant le séchage.

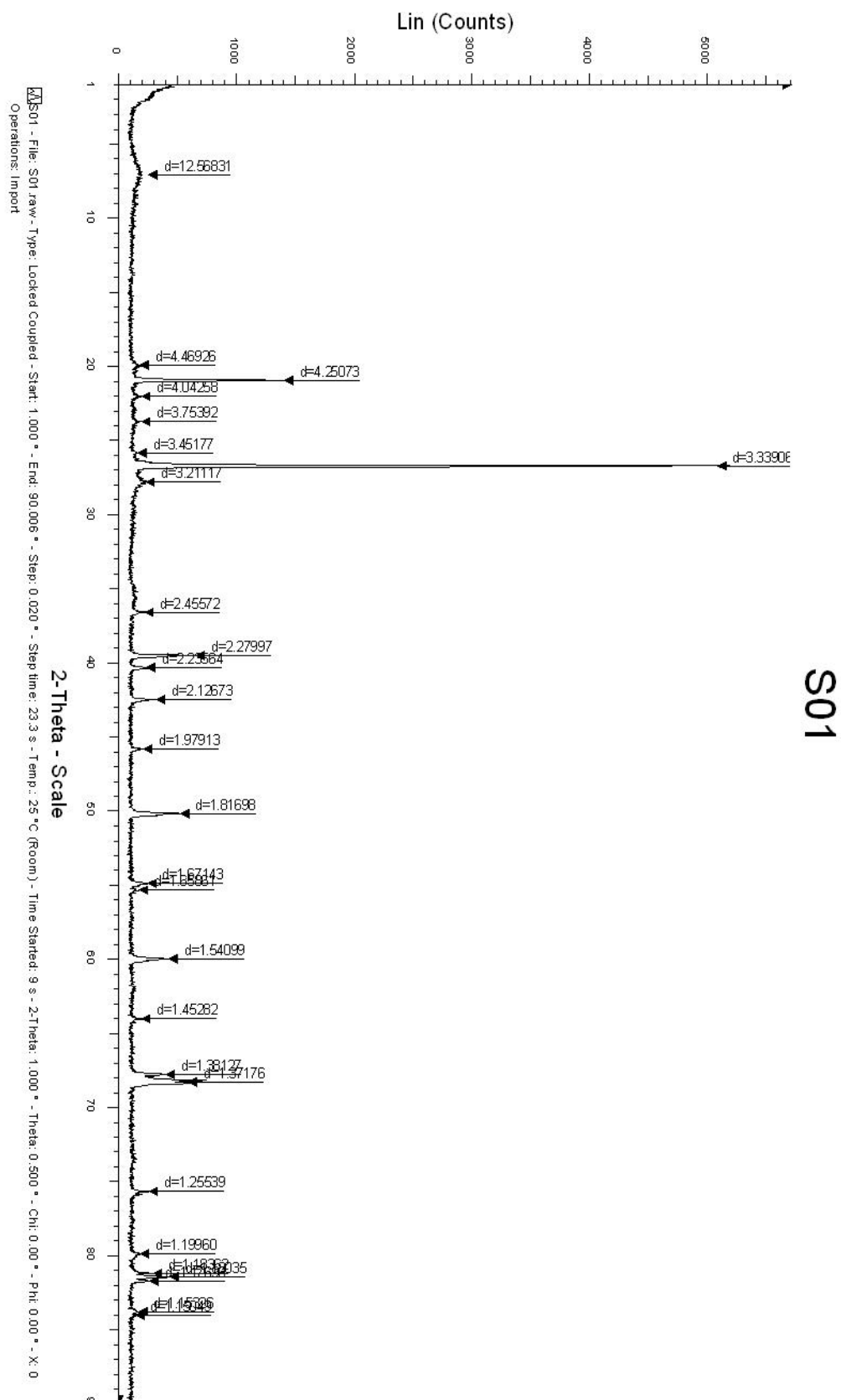


Figure VI.25 : Spectre (01) sable à vert non traité.

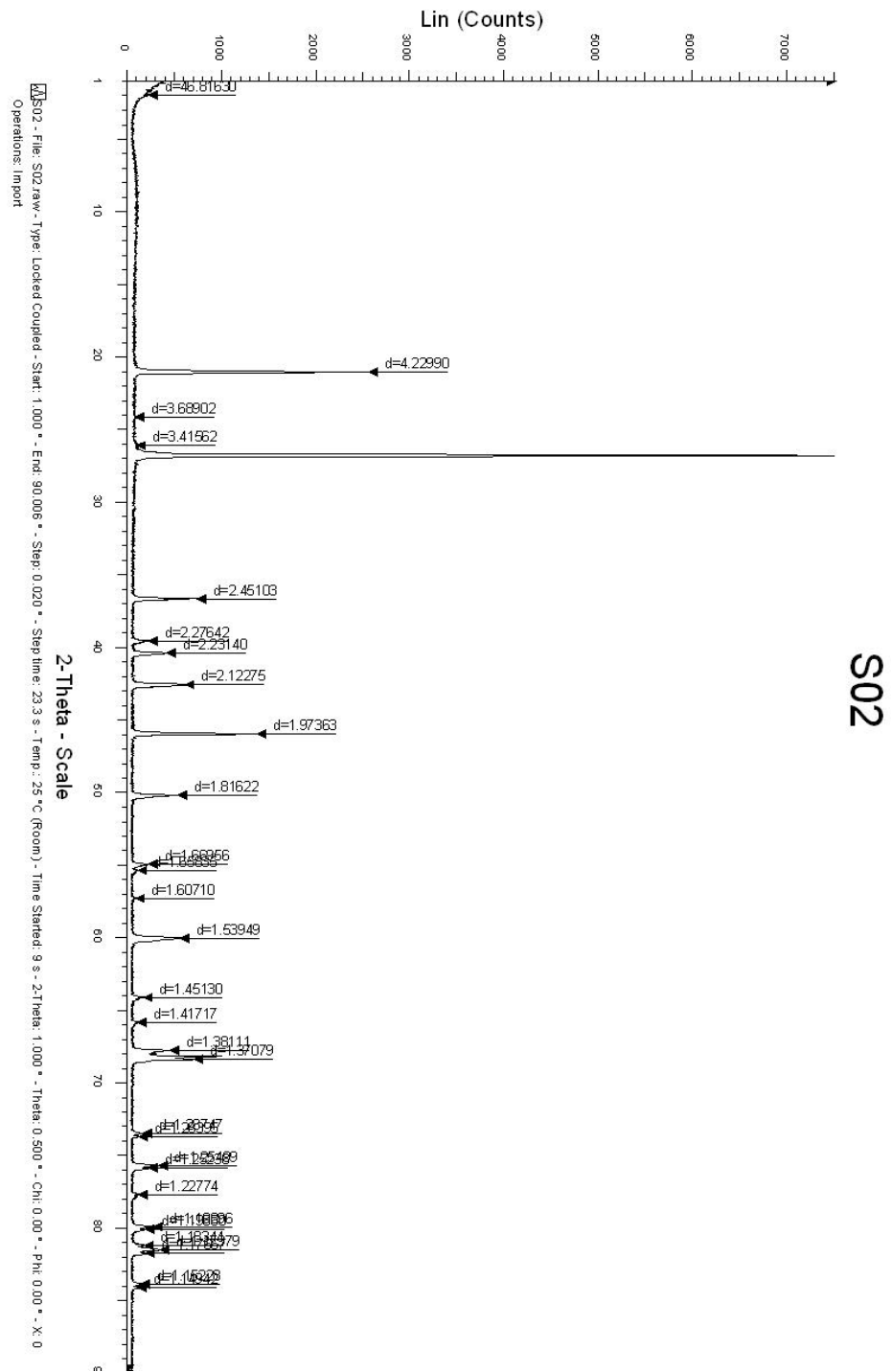


Figure VI.26 : Spectre (02) sable au silicate de soude non traité (ADWAN)

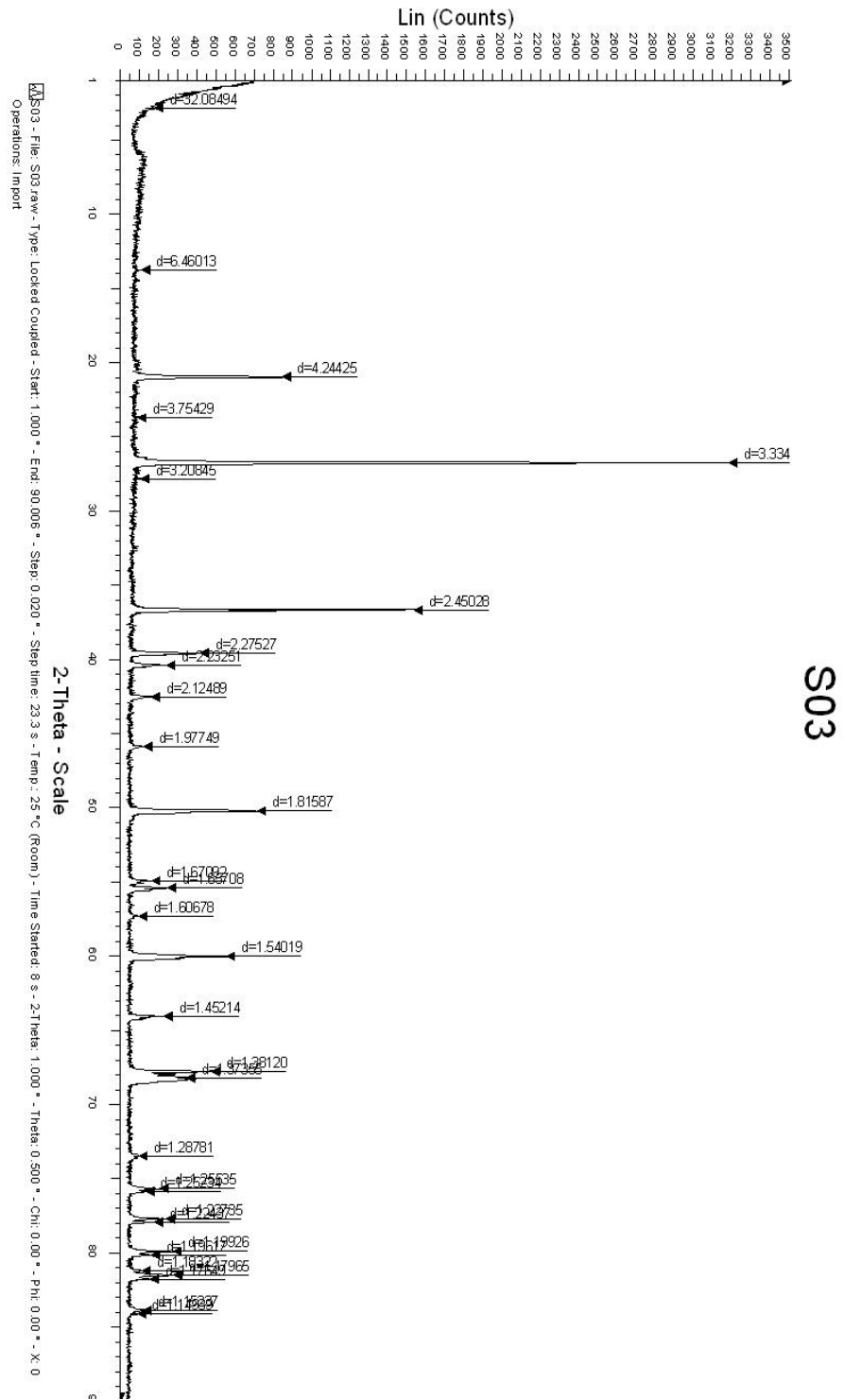


Figure VI.27 : Spectre (03) sable au silicate de soude non traité (Chlef).

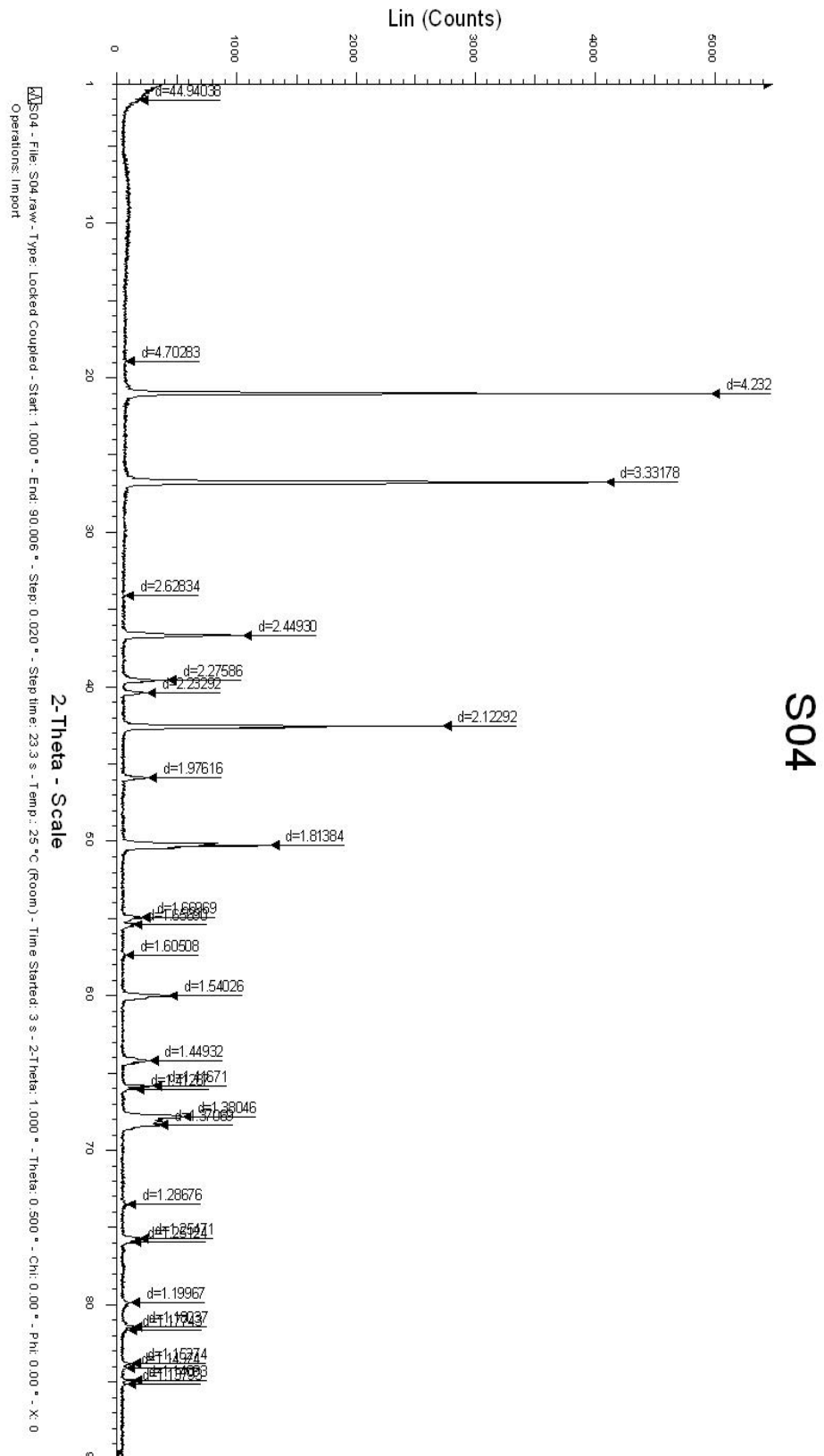


Figure VI.28 : Spectre (04) sable furanique (S4).

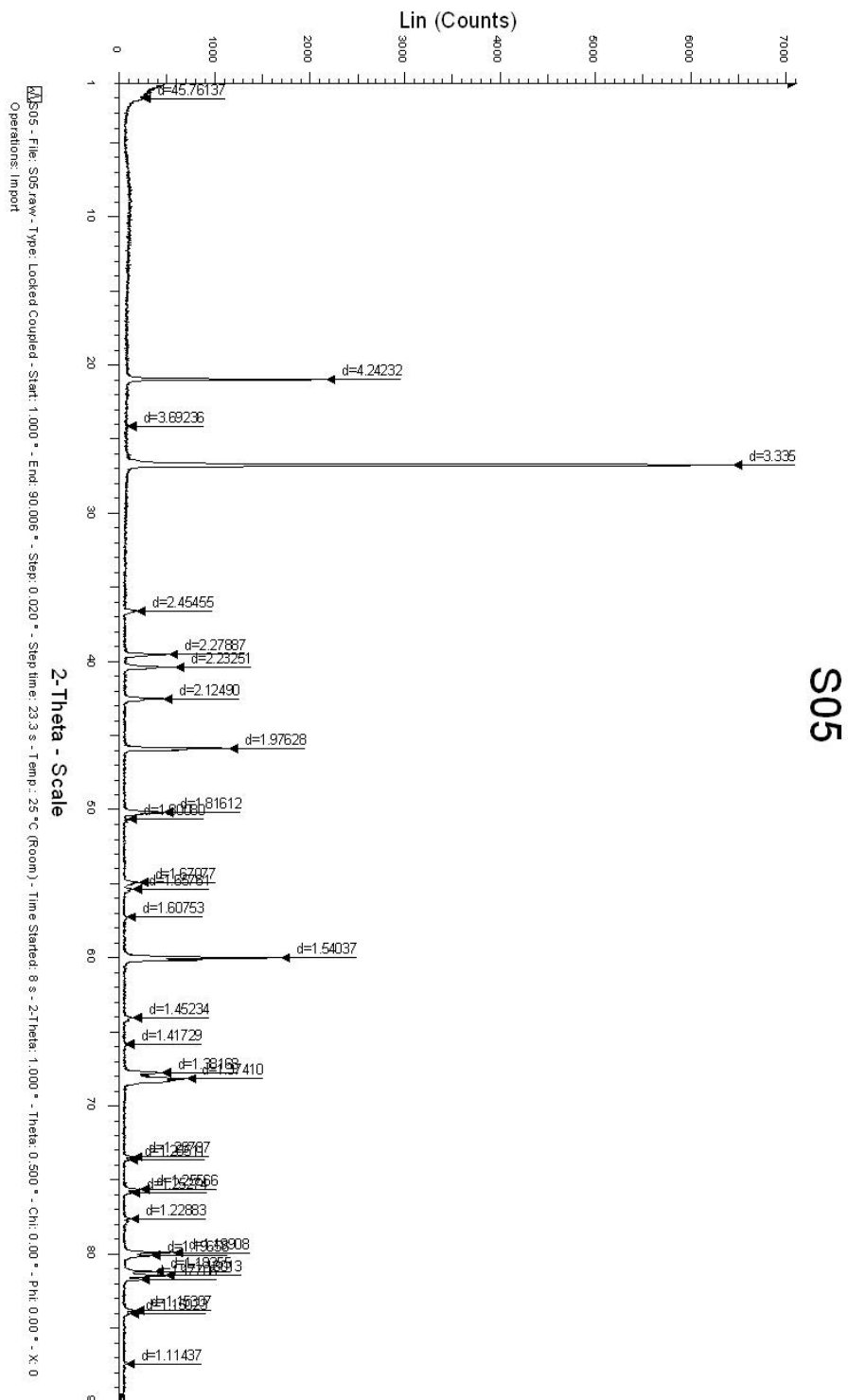


Figure VI.29 : Spectre (05) sable au silicate de soude traité hydrauliquement (ADWAN).

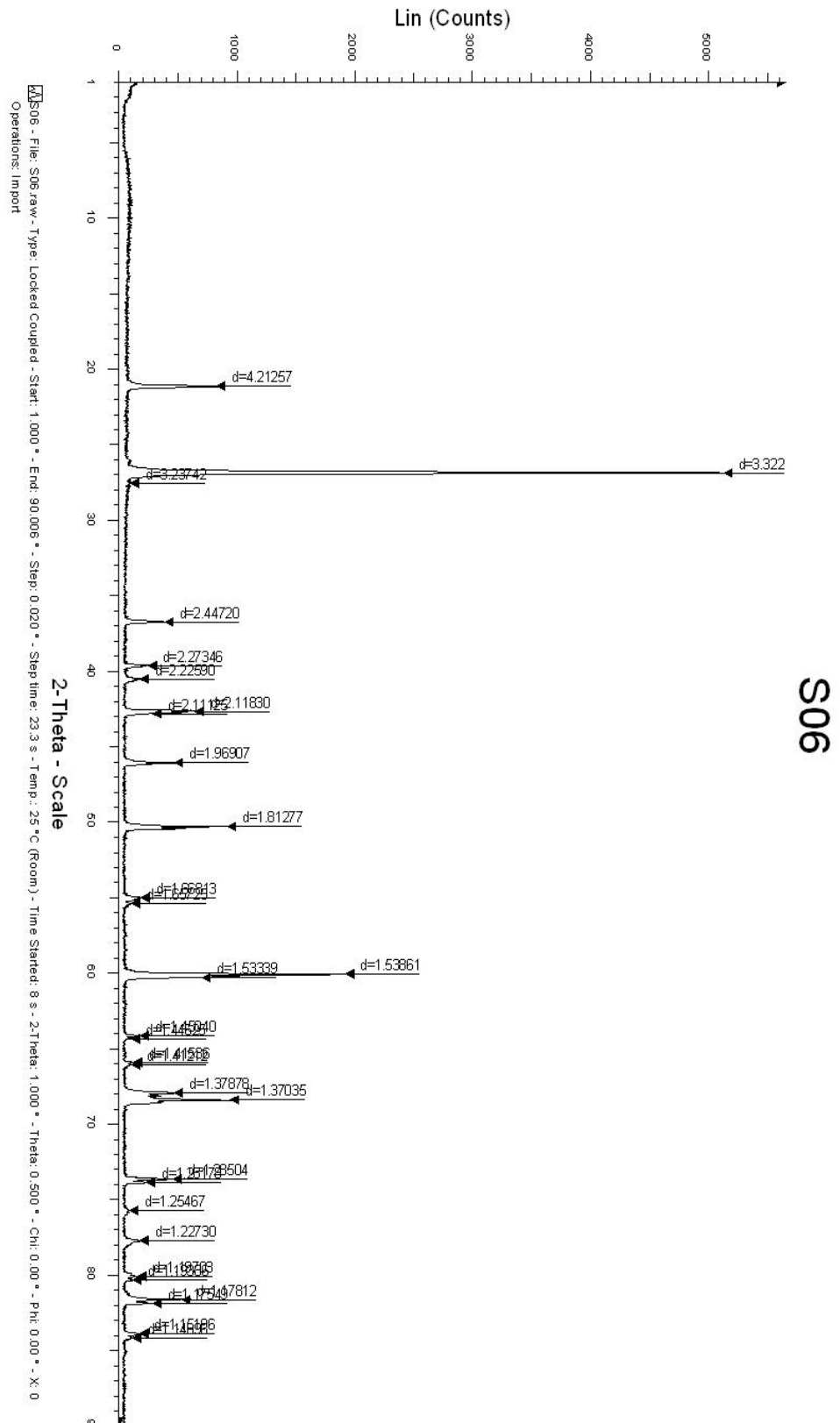


Figure VI.30 : Spectre (06) sable au silicate de soude traité hydrauliquement (Chlef).

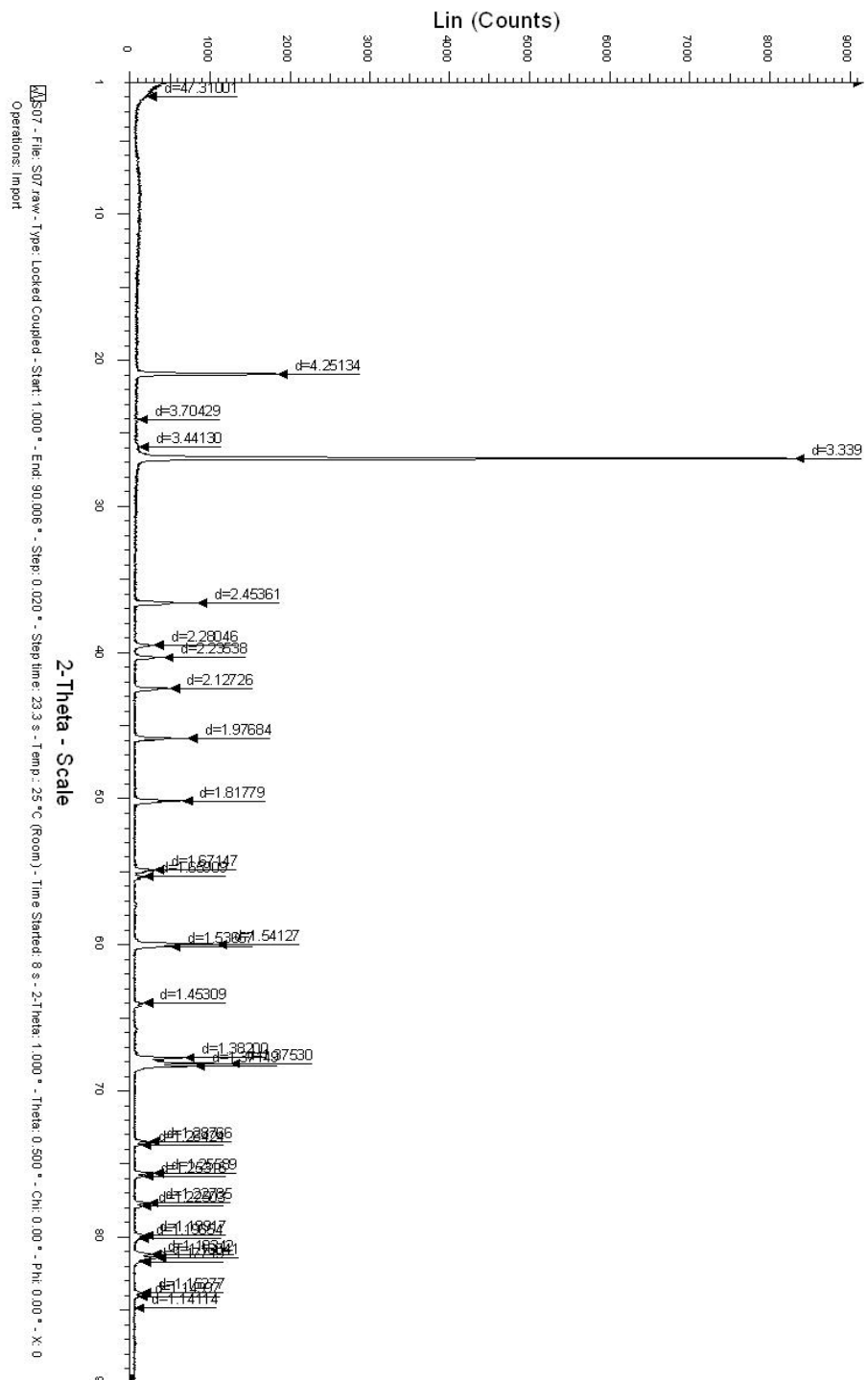


Figure VI.31 : Spectre (07) sable au silicate de soude plus Bentonite non traité (Adwan).

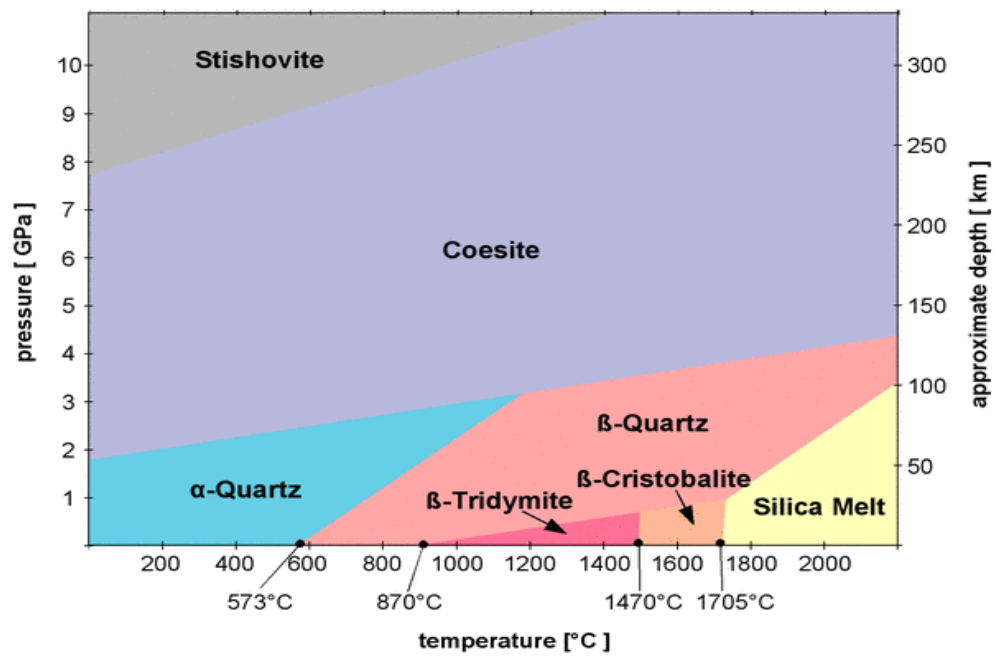


Figure VI.32 : Diagramme de stabilité du quartz.

VI.5.1 Interprétation des résultats :

D'après les pics représentés dans les graphes on peut déduire plusieurs informations concernant les matériaux analysés par la méthode de diffraction aux rayons X :

- Les plans cristallins qui sont contenus dans les échantillons de sables ont tous des formes hexagonaux avec ($b = a = 4.91344$, $c = 5.40524$) et ($\text{Alpha} = \text{Beta} = 90^\circ$) et $\text{Gamma} = 120^\circ$ et un groupe cristallographique $P=3221$.
- On constate d'après les spectres représentés dans les spectres de DRX une présence de quartz importante dans les sables ayant une cristallinité très élevée. (Voir l'annexe 04).
- On peut composer notre quartz comme un alpha quartz (Figure VI.32).
- D'après le spectre du sable au silicate de soude traité hydrauliquement (Chlef) contient du Feldspath (Figure VI.30).
- Le sable au silicate de soude + bentonite non traité (ADWAN) contient de la montmorillonite (Figure VI.31).

Conclusion :

Le sable à vert présenté durant notre travail de mémoire a montré une grande efficacité dans le domaine de la construction routière et plus précisément dans les couches de remblais et couches de formes en donnant des résultats très satisfaisant en ce qui concerne les essais de portance (Proctor, CBR). Les sables (S2) (S3) peuvent présenter des caractéristiques géotechniques énormes cela après des essais d'identifications.

Conclusion générale et perspectives :

Le travail présenté dans ce mémoire, consistait en la valorisation des déchets de sables de fonderie, et permettra d'aboutir à des solutions de gestion et de valorisation et surtout de réutilisation dans le domaine de BTP ainsi dans la fabrication des matériaux de construction.

Pour parvenir à ces résultats, nous avons dû poursuivre des actions d'identification au laboratoire des travaux publics unité de Tiaret, d'une façon très précise et minutieuse pour consolider les résultats du travail présenté et pour aboutir à des résultats fiables et basés sur les normes expérimentales en vigueur.

Le sable à vert présenté durant notre travail de mémoire a montré une grande efficacité dans le domaine de la construction routière et plus précisément dans les couches de remblais et couches de formes en donnant des résultats très satisfaisants en ce qui concerne les essais de portance (Proctor, CBR), en se basant sur ces résultats on peut recommander une réutilisation en construction routière et contribuera également à la protection de l'environnement et le développement durable.

Les sables (S2) et (S3) ont été traités avec un procédé inspiré de celui utilisé en France pour le traitement du phénol, par lavage et étuvage ou séchage. Après cette opération nous avons pu lancer des essais d'identifications dans le laboratoire pour caractériser les sables soumis à l'étude, ce qui nous amène à penser que les sables traités peuvent présenter des caractéristiques géotechniques intéressantes.

Notre travail de mémoire nous donne plusieurs idées de perspective quant à la poursuite de la recherche dans ce domaine. Nous avons remarqué que le domaine de valorisation des déchets de fonderie était plus vaste que prévu. Nous avons espéré présenter de travailler sur le sable (S4) soit le sable furannique qui présente une toxicité élevée et vu sa complexité chimique structurale on pouvait guère avoir les moyens de le valoriser sans un appui et le soutien pédagogique des chimistes et bien précisément des polyméristes, le domaine des polymères reste la clé du traitement du sable (S4).

Après avoir eu le moyen de trouver un mécanisme simple et miniature pour le traitement des sables (S2) et (S3) nous recommandons au responsable des filières de génie mécanique et même le génie électrique de pousser des études en vue de réaliser un procédé industriel pour concrétiser notre procédé de lavage proposé.

Nous recommandons aux prochains masterants d'essayer de projeter des essais de valorisation pour confirmer l'intérêt de la réutilisation des sables (S2) et (S3) dans le domaine de construction et surtout de traiter plus de quantité de sable de silicate de soude.

Le domaine de valorisation des déchets de fonderie demeure très vaste et intéressant, on peut citer quelque domaine de valorisation des matériaux mis à la décharge de la fonderie d'ALFET, les domaines sont les suivants : [19]

- Valorisation de sables de fonderie en techniques agricoles et horticoles.
- Valorisation des laitiers et crasses de fonderie.
- Utilisation de laitier comme granulats grossiers pour la fabrication de béton.

- Utilisation de laitiers et crasse comme granulat grossier pour couches routiers.
- Utilisation de laitier comme matière première dans la production de ciment.
- Valorisation des poussières de fonderie comme matières premières dans la fabrication de ciment portland.
- Valorisation des réfractaires de fonderie comme matière premières dans la production de ciment
- Valorisation des réfractaires de fonderie dans le domaine de la briqueterie. [19]

BIBLIOGRAPHIE

Référence livresque :

- [2]. Manuel en sable à vert, **Sources** : CES 2005.
- [3]. **KASSIMI AMINE**, Caractérisation Physico-Chimique des sables usés de la fonderie de Tiaret (Algérie), en vue de leur valorisation, Projet de fin d'études, Département de Génie Mécanique, Université Ibn Khaldoun – TIARET, (2006 – 2007)
- [4]. **Manuel** : Le moulage en sable, (01 – 04), 19/11/2008.
- [5]. [**N.Seghiri, M.Koussa, S.Achour**], Effet de l'activation chimique de la Bentonite sur l'absorption des substances humiques en eau de minérales variable, Faculté des sciences et sciences de l'ingénieur, Université de Biskra, Juin 2004.
- [6]. Manuel noir minéral IKO-SPECIAL. S.B Industrial minerals S.A.R.L
- [7]. **Fiche signalétique Silicate de Sodium Alcaline**, NATIONAL SILICATES. Une filiale de PQ corporation, (06/09/06).
- [9]. **Journal officiel de la république algérienne démocratique et populaire**, législation sur la gestion et control et à l'élimination des déchets, Loi n° 01-19 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des dechets.
- [10]. **Journal officiel de la république française (JORF)**, (J.O N° 90 du 16 avril 2003).
- [11]. [**B. Duquet**], Gestion des déchets de sables à vert et en mélange", Fonderie Fondateur d'aujourd'hui, CTIF, N°232 (2004) 23-28.
- [12]. **Suivie et organisation des chantiers et l'infrastructure** (Démarche Qualité et Utilisation Des Matériaux Recycles), Centre D'études Techniques de l'Equipement Nord Picardie, Edition 2006.
- [13]. **Alain Couradin, Thierry Chassagnac, Gérard Didier**, Valorisation de sables de fonderie en barrière Etanche Ouvragée, Journée Nationales de géotechniques et de géologie de l'ingénieur : JNGG 10, Edition INSA VALOR.
- [15]. DEPOLUTION DES SABLES DE FONDERIES, BACTERIES CONTRE PHENOLS, **Revue Géorama, Le journal d'information du BRGM**, décembre 2004- N° 14, Page 3, p.dhugues@brgm.fr
- [16]. **Informa-Tech**, Volume 12, N° 02, Octobre 1998, régénération des sables de fonderie au gaz naturel.
- [17]. **Jacques Deferne**, Introduction à la cristallographie, 2 Septembre 2010.

[18]. Cours de Spectrographie 02, Introduction à la cristallographie.

[19]. L. RIMOUX, "Valorisation des déchets de fonderie. Aspects techniques au niveau international 2ème partie", Fonderie Fondateur d'aujourd'hui, CTIF, N°260 (2006) 45-46.

Reference non livresque :

Webographie :

[01]. Site officiel d'ALFET : www.ALFET.com.

[08]. Développement environnementale, <http://www.recy.net/>.

[14]. Site officiel des fondeurs français, www.Fonderie de France.fr.

Normes utilisées

[X-31-210] Protocole technique de la détermination potentiel polluant des mâchefers d'incinération d'ordures ménagés.

[NF P 18-560] Analyse granulométrique, méthode par tamisage à sec après lavage, 1996.

[NF P 94-066] Détermination de la valeur du bleu de méthylène d'un sol.

[NF P 94-048] Détermination de la teneur en carbonates, Méthode du calcimètre 2eme tirage janvier 2003.

[NF P 94-093] Essai Proctor normal –essai Proctor modifié 1999.

[NF P 94-078] L'indice CBR après immersion – Indice portant immédiat 1997.

[NF P 94-051] Détermination des limites d'Atterberg, limites de liquidité à la coupelle, limite de plasticité au rouleau 1993.

[NF P 15-108] et [ENV 13 282] liants hydraulique routier, décembre 2000.

[ENV 197-01] et [ENF P 15-301], Définition des classe de ciment d'après leur résistance à 2 jours 7 jours et 28 jours.

ANNEXE 01 : Bulletin d'analyse su silicate de soude.

 Spa, Adwan Chemicals. Cie Algeria	<h2>Bulletin d'analyse</h2>	Doc. Lab. 04
		Version: 00
		Date: 21/11/2014

Produit	Silicate de sodium Solution
Date	10/04/2014

Client	ALFET
--------	--------------

Analyses physique

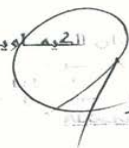
Appearance	Slightly Turbid Colorless
Odor	Oderless
S.G. at 20° C	1,565

Composition Chimique

Na ₂ O %	15,51
SiO ₂ %	32,70
SiO ₂ /Na ₂ O Ratio	2,11
% Concentration	48,21
Fe	< 40 ppm

N,B :Le temps d'ecoulement a 20°C est de 27 S

Chargé de laboratoire


 Bahar

ANNEXE 02 : Fiche technique de la résine furanique et du catalyseur.



FOSECO

Fiche technique

1^{er} septembre 2003

RESIMAX 3519

Résine furanique à prise acide

- Produit** : RESIMAX 3519 est une résine furanique pour agglomération à froid des sable de moulage ou noyautage.
- Application** : RESIMAX 3519 est une résine formulée à base de polycondensats urée formol dans l'alcool furfurylique.
En association avec des catalyseurs acides (ajoutés à raison de 30 à 50 % en poids par rapport à la résine), RESIMAX 3519 permet la réalisation de moules et noyaux, en sable neuf ou régénéré, destinés à la coulée de pièces en alliages ferreux.
Le taux d'utilisation de RESIMAX 3519 dépendra de la nature du sable (neuf ou récupéré) et de sa finesse. 0,8 à 1,2 % par rapport au sable sont les taux d'additions les plus généralement utilisés.
- Caractéristiques** :
- | | | |
|-------------------------|---|--------------------------------|
| Aspect | : | liquide légèrement opalescent |
| Couleur | : | jaune à brun |
| Masse volumique à 20° C | : | 1,15 g/cm ³ environ |
| Viscosité à 20° C | : | 13 mPas environ |
| Formol libre | : | < 0,4 % |
| Phénol libre | : | 0 % |
| Azote | : | 4% environ |
- Conditionnement** : Fûts de 200 litres ou conteneurs perdus de 1000 litres
- Stockage** : Stocker dans un endroit frais et ventilé. Utiliser de préférence dans un délai de un an après la date de fabrication.
- Etiquetage** : L'étiquetage des produits (transport, stockage, hygiène et sécurité) est conforme aux exigences de la législation en vigueur.
Consulter notre fiche de données sécurité

*Les chiffres indiqués ne peuvent être considérés
comme spécifications*


REDACTEUR


VERIFICATEUR

1/1

L'attention des utilisateurs est attirée sur les multiples possibilités d'application présentées par les différents produits pour la métallurgie. Il est essentiel de respecter ces données après s'être assuré de l'identité du produit.

Foseco, Immeuble le Triptyque, 12 Av Marie Ampère
Champs sur Marne, 77437 Marne-la-Vallée Cedex 02
Téléphone : 01 64 73 55 55 Téléfax : 01 64 73 55 56

* Marque déposée du Groupe Foseco utilisée sous licence

ANNEXE 02 : Fiche technique de la résine furanique et du catalyseur.



FICHE DE DONNÉES DE SÉCURITÉ

RESIMAX® 3519

SECTION 1: Identification de la substance/du mélange et de la société/l'entreprise

1.1 Identifiant du produit

Nom du produit : RESIMAX® 3519
Code : R9587N
Type de produit : Liquide.

1.2 Utilisations identifiées pertinentes de la substance ou du mélange et utilisations déconseillées

Utilisations : Industrie de la fonderie
Applications industrielles
Se référer à la fiche technique du produit pour les renseignements.

1.3 Renseignements concernant le fournisseur de la fiche de données de sécurité

Producteur / Fournisseur : FOSECO NEDERLAND BV
Postbus 8
NL-7550 AA Hengelo (Ov)

Tel. + 31-74-2492100
Fax + 31-74-2424125

Adresse email de la personne responsable pour cette FDS : sdsFR@vesuvius.com

U N I C
SECRETARIAAT DIRECTIE
GOUWERNEMENT
02 AVR. 2012

1.4 Numéro d'appel d'urgence

Fournisseur :
Numéro de téléphone : Tel +34 (9)4 620 25 00
(8.00h-13:00h & 14.00h-18:00h)

SECTION 2: Identification des dangers

2.1 Classification de la substance ou du mélange

Définition du produit : Mélange

Classification selon la directive 1999/45/CE [DPD]

Le produit est classé dangereux selon la directive 1999/45/CE et ses amendements.

Classification : Carc. Cat. 3, R40
T; R23
Xn; R21/22, R48/20
Xi; R36/37
R43

Dangers pour la santé humaine : Effet cancérigène suspecté -- preuves insuffisantes. Toxique par inhalation. Nocif par contact avec la peau et par ingestion. Nocif, risque d'effets graves pour la santé en cas d'exposition prolongée par inhalation. Irritant pour les yeux et les voies respiratoires. Peut entraîner une sensibilisation par contact avec la peau.

Voir section 16 pour le texte intégral des phrases R et mentions H déclarées ci-dessus.

Pour plus de détails sur les conséquences en termes de santé et les symptômes, reportez-vous à la section 11.

2.2 Éléments d'étiquetage

Date d'édition:

09/04/2011

www.vesuvius.com

ANNEXE 03 : classification des sols GTR.

(¹) Paramètres dont le choix est à privilégier

Classe B							
Tableau 2 - Classification des sols sableux ou graveleux, avec fines							
CLASSIFICATION A UTILISER POUR LES REMBLAIS							
CLASSIFICATION A UTILISER POUR LES COUCHES DE FORME							
Classement selon la nature				Classement selon l'état hydrique		Classement selon le comportement	
Paramètres de nature Premier niveau de classification	Classe	Paramètres de nature Deuxième niveau de classification	Sous classe fonction de la nature	Paramètres d'état	Sous classe fonction de l'état	Paramètres de comportement	sous classe fonction du comportement
Dmax ≤ 50 mm et Tamisat à 80 µm ≤ 35%	Sols sableux et graveleux avec fines	tamisat à 80 µm ≤ 12% tamisat à 2 mm > 70% 0,1 ≤ VBS ≤ 0,2	B₁ Sables silteux...	Matériaux généralement insensibles à l'eau		FS ≤ 60	B₁₁
						FS > 60	B₁₂
		tamisat à 80 µm ≤ 12% tamisat à 2 mm > 70% VBS > 0,2	B₂ Sables argileux (peu argileux)...	IPI (¹) ≤ 4 ou W _n ≥ 1,25 W _{OPN}	B₂ th	FS ≤ 60	B₂₁ th
						FS > 60	B₂₂ th
				4 < IPI (¹) ≤ 8 ou 1,10 W _{OPN} ≤ W _n < 1,25 W _{OPN}	B₂ h	FS ≤ 60	B₂₁ h
						FS > 60	B₂₂ h
				0,9 W _{OPN} ≤ W _n < 1,10 W _{OPN}	B₂ m	FS ≤ 60	B₂₁ m
						FS > 60	B₂₂ m
		0,5 W _{OPN} ≤ W _n < 0,9 W _{OPN}	B₂ s	FS ≤ 60	B₂₁ s		
				FS > 60	B₂₂ s		
W _n < 0,5 W _{OPN}	B₂ ts	FS ≤ 60	B₂₁ ts				
		FS > 60	B₂₂ ts				
tamisat à 80 µm ≤ 12% tamisat à 2 mm > 70% 0,1 ≤ VBS ≤ 0,2	B₃ Graves silteuses...	Matériaux généralement insensibles à l'eau		LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	B₃₁		
				LA > 45 et MDE > 45	B₃₂		

(¹) Paramètres dont le choix est à privilégier

Classe B (suite)							
Tableau 2 - Classification des sols sableux ou graveleux, avec fines							
CLASSIFICATION A UTILISER POUR LES REMBLAIS							
CLASSIFICATION A UTILISER POUR LES COUCHES DE FORME							
Classement selon la nature				Classement selon l'état hydrique		Classement selon le comportement	
Paramètres de nature Premier niveau de classification	Classe	Paramètres de nature Deuxième niveau de classification	Sous classe fonction de la nature	Paramètres d'état	Sous classe fonction de l'état	Paramètres de comportement	sous classe fonction du comportement
Dmax ≤ 50 mm et Tamisat à 80 µm ≤ 35%	Sols sableux et graveleux avec fines	tamisat à 80 µm ≤ 12% tamisat à 2 mm > 70% VBS > 0,2	B₄ Graves argileuses (peu argileuses)...	IPI (¹) ≤ 7 ou W _n ≥ 1,25 W _{OPN}	B₄ th	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	B₄₁ th
						LA > 45 et MDE > 45	B₄₂ th
				7 < IPI (¹) ≤ 15 ou 1,10 W _{OPN} ≤ W _n < 1,25 W _{OPN}	B₄ h	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	B₄₁ h
						LA > 45 et MDE > 45	B₄₂ h
				0,9 W _{OPN} ≤ W _n < 1,10 W _{OPN}	B₄ m	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	B₄₁ m
						LA > 45 et MDE > 45	B₄₂ m
		0,6 W _{OPN} ≤ W _n < 0,9 W _{OPN}	B₄ s	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	B₄₁ s		
				LA > 45 et MDE > 45	B₄₂ s		
		W _n < 0,6 W _{OPN}	B₄ ts	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	B₄₁ ts		
				LA > 45 et MDE > 45	B₄₂ ts		
		tamisat à 80 µm compris entre 12 et 35% tamisat à 2 mm ≤ 70% VBS < 1,5 (¹) ou I _p ≤ 12	B₅ Sables et graves très silteux...	IPI (¹) ≤ 5 ou W _n ≥ 1,25 W _{OPN}	B₅ th	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	B₅₁ th
						LA > 45 et MDE > 45	B₅₂ th
				5 < IPI (¹) ≤ 12 ou 1,1 W _{OPN} ≤ W _n < 1,25 W _{OPN}	B₅ h	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	B₅₁ h
						LA > 45 et MDE > 45	B₅₂ h
				12 < IPI (¹) ≤ 30 ou 0,9 W _{OPN} ≤ W _n < 1,10 W _{OPN}	B₅ m	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	B₅₁ m
LA > 45 et MDE > 45	B₅₂ m						
0,6 W _{OPN} ≤ W _n < 0,9 W _{OPN}	B₅ s	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	B₅₁ s				
		LA > 45 et MDE > 45	B₅₂ s				
W _n < 0,6 W _{OPN}	B₅ ts	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	B₅₁ ts				
		LA > 45 et MDE > 45	B₅₂ ts				
tamisat à 80 µm compris entre 12 et 35% VBS > 1,5 (¹) ou I _p > 12	B₆ Sables et graves argileux à très argileux	IPI (¹) ≤ 4 ou W _n ≥ 1,3 W _{OPN} OU I _c ≤ 0,8	B₆ th				
		4 < IPI (¹) ≤ 10 ou 0,8 < I _c ≤ 1 ou 1,1 W _{OPN} ≤ W _n < 1,3 W _{OPN}	B₆ h				
10 < IPI ≤ 25 ou 1 < I _c ≤ 1,2 ou 0,9 W _{OPN} ≤ W _n < 1,1 W _{OPN}	B₆ m						
0,7 W _{OPN} ≤ W _n < 0,9 W _{OPN} OU 1,2 < I _c ≤ 1,3	B₆ s						
W _n < 0,7 W _{OPN} OU I _c > 1,3	B₆ ts						

(¹) Paramètres dont le choix est à privilégier

ANNEXE 04 : Un spectre de référence.

