

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.....

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