

وزارة التعليم العالي و البحث العلم
Ministère de L'Enseignement Supérieure et de La Recherche Scientifique
المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر و تهيئة الساحل
Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de L'Aménagement
du Littoral



**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU
DIPLOME D'INGENIEUR EN SCIENCE DE LA MER**

Spécialité : AMÉNAGEMENT DU LITTORAL

Thème :

**Contribution à la valorisation des sédiments de dragage
portuaire : Domaine : génie civil**

« Cas du port de Sidi Fredj »

Présenté par :

- ❖ M^{elle} BERIALA Nesrine
- ❖ M^{elle} MELIANI Amira

Soutenu le 24/10/2019 devant le jury suivant :

M ^{elle} LOUANCHI .F	Professeur	(ENSSMAL) Présidente
Mr. MEZOUAR .K	Maitre de conférences A	(ENSSMAL) Promoteur
Mr. OTMANI. H	Maitre-assistant A	(ENSSMAL) Examineur
M ^{elle} SALEM CHERIF. Y	Doctorante	(ENSSMAL) Examinatrice

Remerciement

Au terme de ce travail, nous remercions DIEU le tout puissant pour nous avoir donné le courage, la force, et la patience dans les moments difficiles afin de rédiger ce modeste mémoire.

Nous tenons à exprimer nos plus vives reconnaissances à tous ceux qui, par leur aide, leurs conseils, leurs compétences et leurs intérêts, ont contribué à la réalisation de ce travail, ces quelques pages sont l'occasion pour nous de leur adresser nos remerciements.

Un grand merci à **Mr. MEZOUAR K.** Maitre de conférences A à l'ENSSMAL, pour son encadrement et son suivi. Il m'a apporté avec son extrême gentillesse ; de nombreux conseil, la confiance qu'il m'a accordée durant toute l'année, et ses précieux conseils jusqu'au bout ; ont constitué une motivation qui m'a permis de mener à bien ce projet qu'il trouve dans ces mots mes vifs reconnaissances.

Nos remerciements s'adressent **ALOUANCHI FERIEL** professeur à L'ENSSMAL, qui m'a fait Honneur, d'accepter de présider le jury de cette soutenance.

Mes remerciements s'adressent à **OTMANI HOUSSYNE** Maitre-assistant A, ainsi que **SALEM CHERIF YOUSRA** doctorante à L'ESSMAL pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant d'examiner ce travail.

Nous n'oublions pas de remercier nos enseignants, qui tout au long du cycle d'étude nous ont transmis leur savoir.

Nous souhaitons adresser nos remerciements les plus sincères aux personnels de L'ESSMAL (Professeurs, Bibliothécaires, Administrateurs.....) qui nous ont apporté leurs aides et leurs encouragements et en particulier **MOHAMED AROUA** qui nous a aidé pendant la sortie à Sidi Fredj.

Nous remercions tous nos amis qui nous ont soutenues, nous tenons à les remercier aussi pour leur présence, leurs conseils et leurs encouragements.

C'est un grand plaisir d'exprimer notre reconnaissance à toutes les personnes ayant contribué de près ou de loin réalisation de ce travail.

Je dédie ce mémoire à :

Mes chers parents (Sabah et Abd el Zader), que nulle dédicace ne puisse exprimer mes sincères sentiments, par leur patience illimitée, leur encouragement contenu, leur aide, en témoignage de mon profond amour et respect pour leurs grands sacrifices.

Mes chers frères : Hour el houda, Bahria, Mouhamed Nadir, Abd El Basset, Hocine Séradj El Din, Nadjem El Din et Thabet Mouhamed El Khamesh pour leur grand amour et leur soutien qu'ils trouvent ici l'expression de ma haute gratitude.

Mes très chères amies : Wafa, Amira, Hadjer, Hour El Houda et Manal.

Mes chers amis qui sans leur encouragement ce travail n'aura jamais vu le jour.

Et à toute ma famille et mes enseignants de primaire jusqu'à l'université et tous que j'aime.

A la mémoire de ma grand-mère Massouda Chaoubi et mon grand-père Hocine Bellahamou.

Nesrine

Je dédie ce mémoire à :

À mes parents, et en particulier à ma belle-mère, pour tous ses sacrifices, d'atteindre ce que je suis, à mes frères et mes chère amis : Marwa, Nesrine, Hadjar et à ma famille.

Amira

Figure I-01: Formation des sédiments (Source : SAMARA. M, 2007).....	5
Figure I-02 : Les modes de transport sédimentaire (Boulvain, 2012).....	6
Figure I-03 : Diagramme de Hjulström (Boulvain, F. 2012).....	7
Figure I-04 : les techniques de dragage.....	9
Figure I-05 : Dragage mécanique à godets(http://www.ifremer.fr/).....	10
Figure I-06: Dragage mécanique à pelle (www.ghentdredging.be).....	10
Figure I-07 : Dragage à benne preneuse (http://www.ifremer.fr/).....	11
Figure I-08: Dragage aspiratrice en marche (Source : Foucher. J, 2005).....	11
Figure I-09: Dragage hydraulique aspiratrice stationnaire (http://www.ifremer.fr/).....	12
Figure I-10: Les étapes principales d'évaluation des sédiments de dragage selon Lc72	15
Figure I-11 : Principaux métaux lourds présents dans le sédiment.....	21
Figure I-12 : Tableau synoptique de classification des matériaux (AFNOR, 1992).....	23
Figure I-13 : Schéma de principe d'une structure routière (source : www.planete-tp.com).....	24
Figure I-14 : Coupe type d'une tranchée (source AFNOR, 2005).....	26
Figure II-01: Situation géographique de la zone d'étude (Google earth.2019).....	31
Figure II-02: La rose des vents moyens (DHI Mike 21).....	35
Figure II-03: Rose des vagues au large de la côte algérienne- Hiver (CTH, 2008).....	36
Figure II-04: Rose des vagues au large de la côte algérienne-Eté-(CTH, 2008).....	36
Figure II-05: Modélisation du transport sédimentaire (Khaldi, 2015).....	37
Figure III-01 : Localisation des sites de prélèvements.....	40
Figure III-02 : Mode de fonctionnement d'une Benne. (Représentation des imprécisions possibles avec une benne (source idra)).....	41
Figure III-03 : Coupelle de Casagrande.....	48
Figure III-04: Consistance d'un sol.....	48
Figure III -05 : Essai équivalent de sable.....	52
Figure III-06 : Schéma principe de la répartition des coups de dame par une couche.....	55
Figure III-08 : Courbe Proctor.....	56
Figure III-09: Détermination de la fin de consolidation d'une éprouvette dans la boîte de cisaillement.....	63
Figure III-10: Courbe des contraintes de cisaillement en fonction des contraintes normales.....	65
Figure III-11 : Principe de l'oedomètre (Chiki, K. 2010).....	66
Figure IV-01 : Courbe de l'analyse granulométrique.....	71

Figure IV- 02 : Courbe Proctor.....75

Figure IV-03 : Les différents résultats de l'essai de cisaillement rectiligne.....76

Figure IV-04 : Courbe de compressibilité.....77

Photo II-01: Opération de dragage et dépôt des sédiments dragués du port de Sidi Fredj.....	38
Photo III-01 : Le prélèvement à bord de l'embarcation.....	40
Photo III -02 : L'eau à l'état de saturation.....	42
Photo III-03 : Les étapes principales de détermination de la teneur en MO.....	44
Photo III-04 : Tamiseuse.....	46
Photo III -05 : Les étapes principales de l'essai du bleu de méthylène.....	50
Photo III-06 : Appareillage Proctor Normal.....	54
Photo III-07: Les étapes principales de l'essai Proctor modifié.....	56
Photo III-08 : Les étapes principales de l'essai de friabilité de sable.....	58
Photo III-09: Boîte de cisaillement	59
Photo III-10 : Appareil triaxial.....	59
Photo III-11 : Les étapes principales de l'essai de cisaillement direct.....	63
Photo III-12 : Les étapes principales de l'essai œdométrique.....	67

Tableau I-01: Classement granulométrique (GTR ,1992).....	6
Tableau I-02 : Synthèse des différents types d'analyse de caractérisation pour un sédiment de dragage.....	16
Tableau I-03 : Catégories des teneurs en sels solubles actifs (source AFNOR).....	29
Tableau II-01: Superficie et profondeur de chaque bassin du port de Sidi Fredj (LEM, 1998).....	32
Tableau II-02 : Les opérations de dragage au niveau du port de Sidi Fredj (Aissat et Cheikh, 2013).....	38
Tableau IV-01 : Poids du sédiment humide et sec permettant le calcul de Wsr.....	69
Tableau IV-02 : Résultats de l'essai de détermination de la teneur en MO.....	69
Tableau IV-03 : Résultats de l'analyse granulométrique.....	70
Tableau IV-04 : Les paramètres granulométrique.....	72
Tableau IV-05: Résultats de la VBS.....	72
Tableau IV-06 : Classification GTR des sols selon la VBS.....	73
Tableau IV-07 : Résultats de l'essai équivalent de sable ES.....	73
Tableau IV-08: Classification de la qualité du sable selon la valeur de l'ES.....	74
Tableau IV-9 : Résultats de l'essai Proctor modifié.....	74
Tableau IV-10 : Résultat de l'essai Friabilité de Sable(FS).....	75
Tableau IV-11 : les caractéristiques de compressibilité.....	78
Tableau IV-12: Classification des sols insensibles à l'eau selon GTR.....	79
Tableau IV-13: Classification finale de sédiment de la passe d'entrée du port de Sidi Fredj.....	80

AFNOR : Association Française de **NOR**malisation

BTP : Bâtiments et Travaux **Publics**

BTPH : Bâtiments des Travaux **Publics** et **Hydraulique**

CDF : Couche **De** **Forme**

CETMEF : Centre d'Etudes **Techniques Maritimes Et Fluviales**

CTH : Organisme National de **Contrôle Technique** de la construction **Hydraulique**

CTTP : **Contrôle Techniques des Travaux Publics**

CUR : Centre **Universitaire Roannais**

DAM : **Drague Aspiratrice en Marche**

DAS : **Drague Aspiratrice Stationnaire**

DTP : **Direction des Travaux Publics**

ENIT : **Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tunis**

ENPC : **Ecole Nationale des Ponts et Chaussées**

ENSSMAL : **Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et l'Aménagement du Littoral**

ENSTP : **Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics**

GEODE : **Groupe d'Etudes et d'Observations sur les Dragages et l'Environnement**

GSTA : **Grain Size Trend Analysis**

GTR : **Guide des Terrassements Routiers**

GTS : **Traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques**

HMI: **Hydro Marine Ingenierie**

IADC: **International Association of Dredging Companies**

IFREMER : **Institute Français de Recherche pour L'Exploitation de la MER**

LAPH: **International Association of Ports and Harbors**

Lc72 : **London Convention 1972**

LCPC : **Laboratoire Central des Ponts et Chaussées**

LEM : Laboratoire des **E**tudes **M**aritimes

MTP : **M**inistère des **T**ravaux **P**ublics

ONM: l'**O**ffice **N**ational de **M**étéorologie

OSPAR : convention d'**O**slo et **P**aris

PCB : **P**olychlorobiphényles

PFSC : **P**late-**F**orme **S**upport de **C**haussée

PST : **P**artie **S**upérieure des **T**errassements

RTR : **R**ecommandation pour les **T**errassements **R**outiers

SETRA : **S**ervice d'**E**tudes **T**echniques des **R**outes et des **A**utoroutes

Remerciement	i
Dédicace.....	ii
Liste des figures	iii
Liste des photos.....	iv
Liste des tableaux.....	v
Liste des acronymes.....	vi

Introduction Générale

Introduction Générale.....	2
----------------------------	---

Chapitre I : Synthèse Bibliographiques

I.1. La sédimentation.....	5
I.1.1. Origines des sédiments marins.....	5
I.1.2. Les caractéristiques d'un sédiment marin.....	5
I.1.2. Le processus de sédimentation.....	6
I.2. Le dragage des ports.....	7
I.2.1. Définition du dragage.....	7
I.2.2. Les phases d'une opération de dragage.....	8
I.2.3. Les modalités de dragage.....	9
I.2.3.1. Dragage d'entretien.....	9
I.2.3.2. Dragage d'approfondissement.....	9
I.2.3.3. Le dragage d'aménagement des nouvelles aires portuaires.....	9
I.2.4. Les techniques de dragage.....	9
I.2.4.1. Le dragage mécanique.....	10
I.2.4.2. Le dragage hydraulique.....	11
I.2.4.3. Le dragage pneumatique.....	12
I.3. Les réglementations relatives au dragage et aux matériaux dragués.....	13

I.3.1. Réglementation internationale.....	13
I.3.2. Au niveau régional.....	13
I.3.3. Au niveau national.....	14
I.4-Destinations des sédiments de dragage.....	15
I.4.1. La caractérisation d'un matériau de dragage.....	16
I.4.2. Le prétraitement et le traitement des déblais de dragage.....	17
I.4.3. Les filières de gestion de matériaux de dragage.....	18
I.4.3.1. L'immersion en mer.....	19
I.4.3.2. Le rechargement des plages.....	19
I.4.3.3 .Le dépôt terrestre ou le stockage.....	20
I.4.3.4. Les ouvrage de protection.....	20
I.5. Les polluants dans les sédiments.....	20
I.5.1. Les polluants organiques.....	21
I.5.2. Les éléments traces métalliques.....	21
I.6. Travaux antérieurs dans le domaine de la valorisation des sédiments marins.....	22
I.1. Valorisation des sédiments marins en terrassements routiers.....	22
I.1.1. classification selon la norme NF P 11-300.....	22
I.1.2. Conditions d'utilisation des matériaux en remblais et couche de forme.....	24
I.2. Valorisation des sédiments en remblaiement de tranchées.....	26
I.3. Valorisation des sédiments en granulats pour béton.....	27
I.4. Valorisation des sédiments de dragage en clinkers pour ciment.....	28
I.5. Valorisation des sédiments de dragage en brique de terre cuite.....	28

Chapitre II : la zone d'étude

II.1. Situation géographique de la zone d'étude.....	31
II.2. Configuration du port.....	32
II.2.1. Un plan de masse.....	32

II.2.2. Les appontements.....	33
II.2.3. Les ouvrages.....	33
II.3. Données océanographiques.....	34
II.3.1. Vent.....	34
II.3.2. La houle.....	35
II.4. L'ensablement du port de Sidi Fredj.....	36
II.5. Dragage du port de Sidi-Fredj.....	37

Chapitre III : Matériels et Méthodes

III.1. Prélèvement des échantillons.....	40
III.1.1. La technique de prélèvement de sédiment.....	40
III.1.2. Mode de fonctionnement de la benne	41
III.2. L'identification des sédiments de port de Sidi Fredj.....	41
III.2.1. Les essais physiques.....	41
III.2.1.1. La teneur en eau à la saturation wsr (Norme AFNOR NF P94-050).....	41
III.2.1.2. La teneur en matière organique (MO) (Norme AFNOR NF P94-055).....	43
III.2.1.3. L'analyse de la fraction grossière (supérieure à 80 µm) (Norme AFNOR NF P94-056).....	44
III.2.1.4. L'analyse de la fraction fine (inférieure à 80µm).....	47
III.2.1.4.1. Les limites d'Atterberg (Norme AFNOR NF P94-051).....	47
III.2.1.4.2. Valeur au bleu de méthylène (VBS) (Norme AFNOR NF P94-068).....	48
III.2.1.4.3. L'équivalent de sable (Norme AFNOR NF P18-598).....	50
III.2.2. Les essais mécaniques.....	52
III.2.2.1. Compactage d'un sédiment (AFNOR NF P 94 093).....	52
III.2.2.2. L'essai de friabilité de sable (AFNOR NF P18- 576).....	56
III.2.2.3. Résistance au cisaillement (AFNOR NF P 94-071-1).....	58
III.2.2.4. L'essai Oedométrique (AFNOR NF P 94 -090-1).....	65

Chapitre IV : Résultats et Discussions

IV.1. L'identification des sédiments de la passe d'entrée du port de Sidi Fredj.....	69
IV.1.1. Les essais physiques.....	69
IV.1.1.1. La teneur en eau à la saturation W_{sr}	69
IV.1.1.2. La teneur en matière organique.....	69
IV.1.1.3. L'analyse de la fraction grossière.....	70
IV.1.1.4. L'analyse de la fraction fine.....	72
IV.1.2. Les essais mécaniques.....	74
IV.1.2.1. L'essai Proctor.....	74
IV.1.2.2. Essai de friabilité de sable.....	75
IV.1.2.3. La résistance au cisaillement rectiligne.....	76
IV.1.2.4. Essai de compressibilité.....	77
IV.2. Valorisation des sédiments de la passe d'entrée du port de Sidi Fredj en génie civil.....	79
a. Terrassements routiers.....	79
b. Remblaiements de tranchées.....	81
c. Granulats pour béton.....	81
d. Clinkers pour ciment.....	81
e. Brique de terre cuite.....	81

Conclusion Générale

Conclusion Générale.....	84
--------------------------	----

Références Bibliographiques

Références bibliographiques.....	69
----------------------------------	----

Introduction Générale

Au fil des années, l'accumulation des particules sédimentaires au fond et sur les bords des cours d'eau et des voies de navigation ainsi que dans les ports maritimes entravent la circulation des navires qui traversent chaque jour des sites portuaires. Pour les cours d'eau navigables, cela ralentit l'écoulement et empêche les activités de transport qui s'y pratiquent. Cette accumulation augmente le risque de crues. Afin de maintenir et de restituer ces accès, il est nécessaire de draguer ou de curer régulièrement. Des opérations de dragage ont toujours été indispensables afin d'entretenir, approfondir ou aménager ces sites et assurer le bon fonctionnement du commerce par voies maritimes.

Le développement dans la construction des bâtiments et d'ouvrages de Génie Civil a provoqué durant ces deux dernières décennies, un accroissement considérable dans la consommation de granulats, ceci induit un important déficit en granulats. Face à la surexploitation des sables d'oued et de mer, ayant engendré une menace certaine sur les nappes alluviales et une dégradation inquiétante de l'environnement, des mesures draconiennes sont prises pour la protection des sites d'exploitation situés dans les domaines publics maritimes et hydrauliques. Afin de répondre aux demandes importantes de matériaux pour la mise en place des nouvelles infrastructures routières par exemple (notamment l'autoroute Est-Ouest), il devient nécessaire de trouver des sources de matériaux de remplacement (**Benyerou, D. (2016)**).

Malgré le développement soutenu qu'il connaît depuis quelques années, le secteur des carrières en Algérie n'arrive toujours pas à satisfaire la demande en matériaux de construction exprimé par le marché national des BTPH, en hausse exponentielle (**Sayah, D. M, 2008**).

Face à cette problématique, des filières de valorisation en génie civil ont été recherchées : fabrication de briques (**Weng et al, 2003 ; Lafhaj et al, 2008**), en granulats artificiels (**Achour, 2013**), en construction routière (**Maher et al, 2006; Kamali et al, 2008 ; Zentar et al, 2008 ; Scordia et al, 2008 ; Dubois et al, 2009**) et en matériaux cimentaires (**Agostini et al, 2007 ; Wang, 2009 ; Limeira et al, 2011**).

L'objectif de ce travail est de proposer une solution au dépôt sédimentaire issu du dragage du port de Sidi Fredj et de tester la possibilité de les réutiliser dans le domaine du génie civil notamment en utilisant ces matériaux comme une solution de remplacement aux matériaux de base.

Le premier chapitre présente la problématique et l'origine de l'envasement des ports ainsi que les techniques de dragage et le transport des sédiments. Il est consacré essentiellement à des notions générales de sédiments (origine et constitution des sédiments) et présente les modalités de dragage et les travaux antérieurs et les différents domaines de valorisation des sédiments marins.

Le deuxième chapitre concerne la description détaillée de la zone d'étude.

Le troisième chapitre est consacré à la méthodologie adoptée dans ce travail « les différents essais ».

Le quatrième chapitre porte sur la présentation et l'interprétation des résultats des essais de caractérisation physique et mécanique des sédiments du port de Sidi Fredj

Le travail se termine par des conclusions résumant les principaux résultats et des perspectives.

Chapitre I :
Synthèse
Bibliographique

I.1.La sédimentation

I.1.1.Origines des sédiments marins

Les sédiments sont les dépôts meubles qui s'accroissent au fond des lacs, des cours d'eau et des océans (Nguyen, T.(2008)).On distingue deux origines des sédiments.

- **Origine endogène** : de la sédimentation provient de la production autochtone du milieu. Cette production primaire engendre des débris des macrophytes (plantes aquatiques), cadavres de microphytes, d'animaux et la matière minérale.
- **Origine exogène** : vient d'un apport de matières allochtones. Celles-ci sont issues du ruissellement des fleuves, des effluents ou de l'atmosphère (**Figure I-01**). Cet apport peut être d'origine naturelle (érosion des sols, décomposition de la matière végétale), ou anthropique (apports de matière en suspension, de matières organiques, de nutriments ou de micropolluants en raison des rejets agricoles, industriels et domestiques) (**Schneider 2001**).

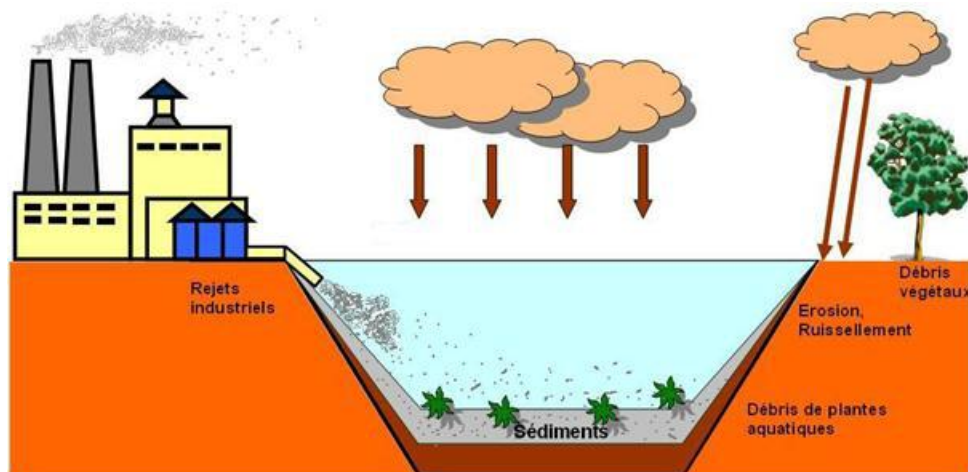


Figure I-01: Formation des sédiments (Source : SAMARA. M, 2007).

I.1.2. Les caractéristiques d'un sédiment marin

Le sédiment marin se caractérise essentiellement par :

I. 1.2.1. La granulométrie

Les tailles des particules sédimentaires sont extrêmement diverses (Chameley, 2011), cette dernière va des blocs aux argiles (**tableau I-01**).

Les particules dont la granulométrie est inférieure à 63 μ m représentent la fraction fine (limons et argiles), les éléments dont la taille est supérieure à 63 μ m représentent les particules grenues (sable, graviers, cailloux et blocs) qui sont caractérisées par une faible cohésion, et moins transportables que les particules fines et non contaminé en raison de leur faible surface spécifique.

Les limites entre les classes granulométriques correspondent généralement à un changement dans les propriétés physiques et mécaniques (Dia. (2013))

Taille	Granulats
> 20 cm	Blocs
2 cm à 20 cm	Cailloux
2 mm à 2 cm	Graviers
63µm à 2 mm	Sables
2 µm à 63 µm	Limons ou silt
< 2 µm	Vases, boues argileuses

Tableau I-01: Classement granulométrique (GTR ,1992).

I.1.2. Le processus de sédimentation

La sédimentation est étroitement liée à l'intensité des courants et à la granulométrie des grains, il existe généralement trois modes de transport : **transport par charriage, par saltation et en suspension.**

- Le **charriage** est un transport par roulement des particules sur le fond.
- Le transport par **saltation** : Le courant fait sauter les grains selon une trajectoire balistique, ces deux modes de transport concernent les matériaux grossiers (sables, graviers et galets).
- le transport en **suspension** : Il concerne les particules fines (sables fins, argiles et silts), lorsque la courantologie est forte, ces particules sont mises en suspension sans qu'elles ne viennent redéposées.

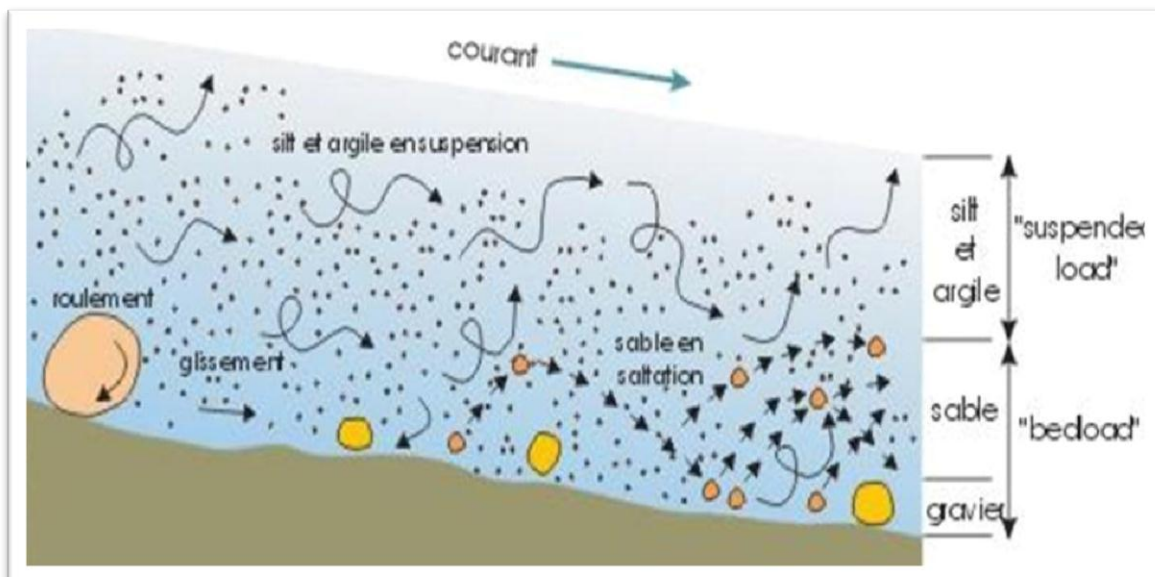


Figure I-02 : les modes de transport sédimentaire (Boulvain, 2012).

Les matériaux fins en suspension représentent 90-95% des matériaux transportés, ces particules sont transportées essentiellement lors des crues (Anger, 2014), l'absence de toute agitation favorise leur sédimentation.

Le diagramme de *Hjulström* représente les mouvements des grains en fonction de la vitesse des courants (figure I-03), ce diagramme présente trois processus : érosion, transport et sédimentation, lors du transport sédimentaire, la vitesse des courants augmente avec la granulométrie des grains, par contre la figure présente le cas inverse : augmentation de la vitesse avec une diminution du diamètre (mm) pour les sédiments fins, ceci est dû à leur cohésion, la partie inférieure présente la sédimentation, elle montre la relation entre la granulométrie des particules et la vitesse du courant lors de leur dépôt (Boulvain, 2012).

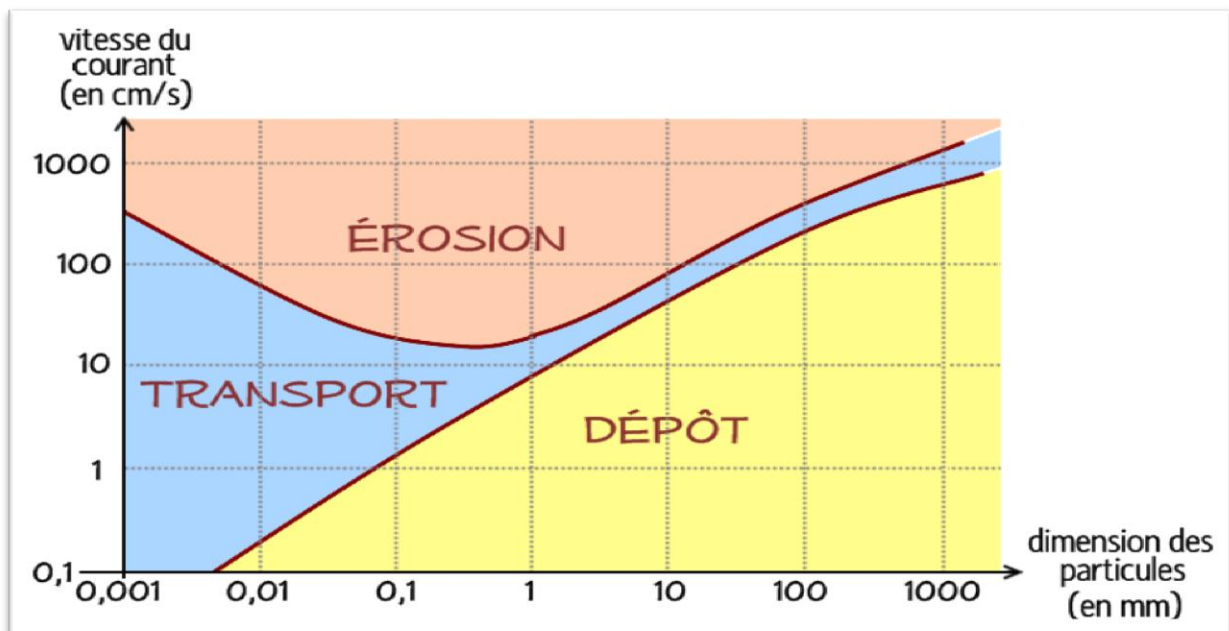


Figure I-03 : Diagramme de Hjulström (Boulvain, F. 2012).

I.2. Le dragage des ports

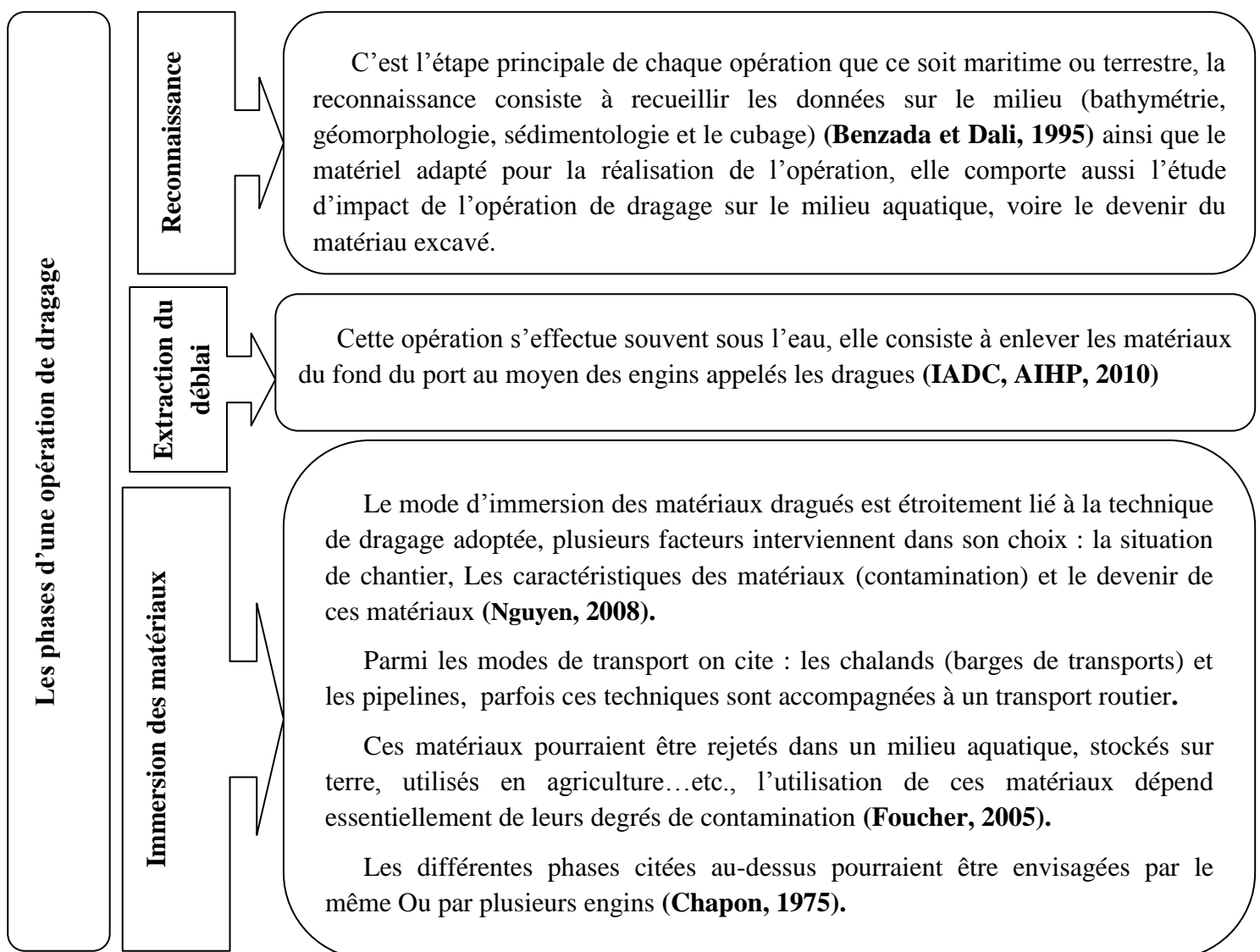
I.2.1. Définition du dragage

Le dragage est donc une activité vitale permettant l'entretien des bassins portuaires, des estuaires et des chenaux d'accès aux ports. Pour cela, il doit être répété de façon régulière afin de faciliter la navigation des bateaux et d'éviter qu'ils talonnent le fond de la mer. Néanmoins, la gestion des sédiments doit se faire de façon rationnelle et mesurée en intégrant les coûts économiques, sociaux et environnementaux liés à de telles pratiques (Loustaut, C. 2012).

I.2.2. Les phases d'une opération de dragage

Pour une opération de dragage, il s'agit de rappeler et préciser :

- la nature des travaux concernés : les procédés techniques mis en œuvre sur le chantier de dragage et les conditions de fonctionnement,
- la période des travaux, ses caractéristiques (conditions climatiques, hydrauliques, ...) et leur durée (totale et heures des travaux en journée),
- les nuisances temporaires dues aux travaux : bruit, odeur, impact des dragages, impact du transport, ...
- les risques de pollutions accidentelles (si panne ou intempéries) des eaux et des autres milieux aquatiques durant travaux.



I.2.3. Les modalités de dragage

Selon l'objectif désigné, on distingue trois types de dragage :

I.2.3.1. Dragage d'entretien

Le dragage d'entretien se fait d'une façon périodique, il consiste à extraire les matériaux accumulés dans le fond d'un port afin de rétablir le tirant d'eau pour la navigation et restaurer le milieu naturel, le dragage d'entretien ne prévoit aucun agrandissement de la zone draguée, il vise à garder le bon fonctionnement d'un port (**Achour, R. (2013)**).

I.2.3.2. Dragage d'approfondissement

Ce type de dragage s'inscrit dans le contexte de développement des activités portuaires (commerce, navigation et autres ...), et incité ainsi par l'évolution de la taille des navires afin de s'adapter au seuil de la navigation (**Bachouche, S. 2010**).

I.2.3.3. Le dragage d'aménagement des nouvelles aires portuaires

La création de nouvelles installations portuaires occasionne souvent l'excavation et le déplacement des volumes importants de matériaux : roches, graviers, terres, argiles et vases au moyen des dragues (**Bekari, M. Elgazzar, M., Majdoub, T. (2010)**).

I.2.4. Les techniques de dragage

Les techniques de dragage varient en fonction de :



Figure I-04 : les techniques de dragage.

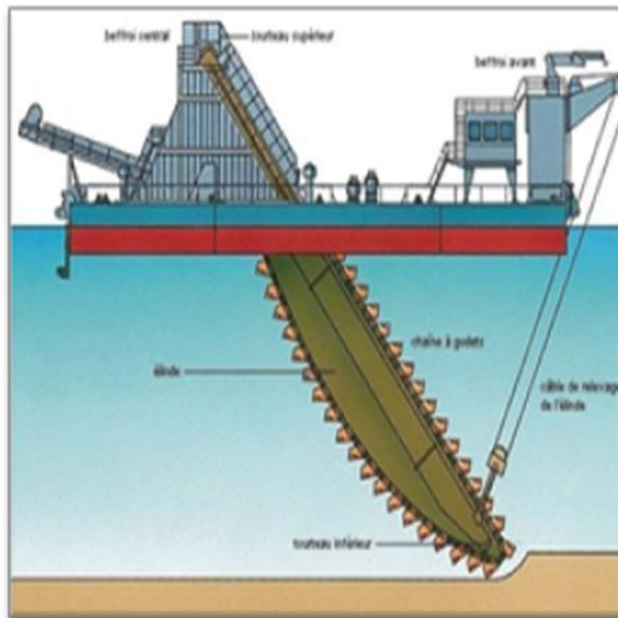
Elles peuvent être classées en fonction de leurs principes de fonctionnement en trois principales techniques de dragages :

I.2.4.1. Le dragage mécanique

Le dragage mécanique permet de curer les sédiments de fond par application directe de la force mécanique (**Carpentier, 2002**), ce type des dragues est le plus répandue, elles sont utilisées dans les zones difficiles à l'accès (les bassins étroits, les quais...), les matériaux dragués sont déposés dans des barges ou dans des chalands de transport afin d'être transporté vers des sites de dépôts, leur principe de fonctionnement dans le milieu aquatique est similaire à celui des méthodes d'excavation sur la terre (**Géode, 2014**).

Les différents types de dragues mécaniques

- **Drague à godets**



Ce modèle est le plus traditionnel, la drague comporte une chaîne de godets, elle tourne en descendant dans le fond, la partie basse du godet attaque le fond, se charge, remonte puis déverse son contenu sur un tapis roulant qui l'empporte vers une barge de transport, ils peuvent travailler dans des profondeurs de 25 à 30m (**Géode, 2012**).

Figure I-05 : Drague mécanique à godets (<http://www.ifremer.fr/>)

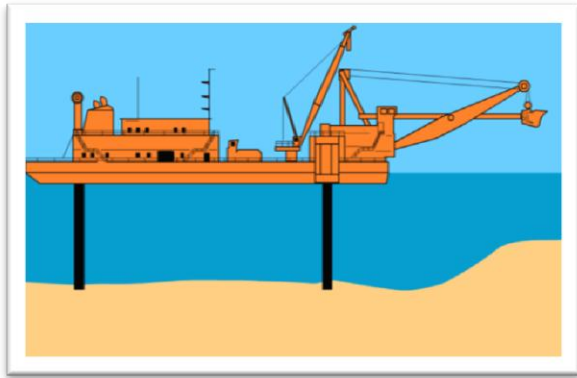
- **Drague à pelle ou cuiller**



La drague à pelle est une pelleteuse installée sur le ponton d'un chaland. Elle est utilisée pour les petits travaux (**Géode, 2014**).

Figure I-06: Drague mécanique à pelle (www.ghentdredging.be)

▪ Drague à benne preneuse



Ce type de drague est le plus utilisé, au bout d'un câble de levage de la grue est fixée une benne preneuse, formée de deux grappins à mâchoires, la benne prend le sédiment en s'enfonçant grâce à son poids et à l'action des mâchoires, puis verse le contenu de celle-ci dans des puits de déblais ou des chalands (Géode, 2014).

Figure I-07 : Drague à benne preneuse

(<http://www.ifremer.fr/>)

I.2.4.2. Le dragage hydraulique

Le dragage est dit hydraulique lorsqu'il est effectué par « hydro aspiration » (Grosdemange, 2005).

Les dragues hydrauliques utilisent des pompes centrifuges afin de fournir la force nécessaire pour l'excavation des boues (mélange d'eau et de sédiments) au travers d'un tube appelé élinde muni d'un embout (bec d'élinde), cette mixture est refoulée directement vers des sites de dépôt à l'aide des conduites longues, dans un puits à déblai, dans des barges ou des chalands de transport afin d'être transporté vers des sites de dépôt (Géode, 2014).

*Les différents types de dragues hydrauliques

Il existe plusieurs types de dragues hydrauliques mais les deux suivantes sont les plus souvent utilisées :

▪ Les Dragues Aspiratrices en Marche (DAM)



Le dragage en marche se fait en vitesse réduite, la dépression produite par la pompe centrifuge permet l'aspiration des boues au moyen d'une élinde traînant prolongée par un bec descendu sur le fond, les boues aspirées laissent des sillons de différentes profondeurs selon les conditions de dragage, ce type de technique est utilisé souvent dans le dragage d'entretien des ports et des chenaux d'accès.

Figure I-08: Drague aspiratrice en marche
(Source : Foucher. J, 2005).

▪ Les Dragues Aspiratrices Stationnaires (DAS)

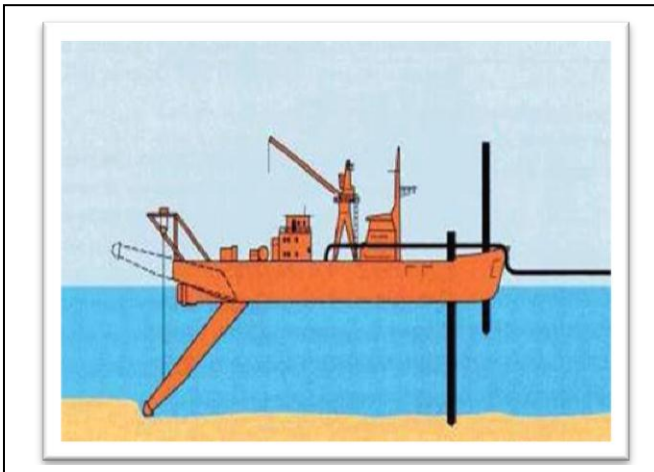


Figure I-09: Drague hydraulique aspiratrice stationnaire (<http://www.ifremer.fr/>)

Cette drague travaille d'une façon stationnaire, son ancrage se fait par un système de câble autour de deux pieux assurant leur stabilité, ces dragues peuvent intégrer un désagrégateur puissant (appareil rotatif) monté à l'extrémité du bec d'élinde et qui permet de fragmenter les gros morceaux pour les pomper mieux, elle est utilisée souvent dans le milieu portuaire et est destinée pour extraire un matériau non cohésif et peu compacte (**voir figure I-09**).

Les autres types :

- Drague à balayage
- Drague coupeuse à disque
- Drague environnementale à vis sans fin
- Drague aspiratrice à désagrégateur

I.2.4.3. Le dragage pneumatique

Le principe de fonctionnement de ces pompes à air comprimé est basé sur la différence de pression entre l'air dans les compartiments de réception des matériaux dragués et l'eau au-dessus de la pompe. Cet équipement est particulièrement adapté au dragage des sédiments contaminés.

Les matériaux sont ensuite évacués par chaland ou par conduite flottante (**Foucher, J. 2005**).

I.3. Les réglementations relatives au dragage et aux matériaux dragués

I.3.1. Réglementation internationale

« Convention de Londres (Convention pour la prévention de la pollution des mers résultant de l'immersion de déchets et autres matières : Gestion des sédiments contaminés (**IMO 1972**)) » : Cette convention, entrée en vigueur en 1975, marque le début de la réglementation de l'immersion qui était jusque-là inexistante. L'immersion en pleine mer était alors, la voie d'élimination des matériaux de dragage la plus utilisée puisque non réglementée et bon marché. Au fil des ans, des annexes concernant des aspects spécifiques ont été ajoutées à la convention ; parmi elles, le « cadre pour l'évaluation des déblais de dragage » (**IMO 1995**). Elle décrit les procédures d'évaluation du caractère opportun des opérations d'immersion en pleine mer, et dans le cas contraire propose des alternatives de stockage. Elle promeut également la prévention de la pollution, les matériaux « propres » étant facilement valorisables.

I.3.2. Au niveau régional

➤ Convention de Barcelone 1976

La convention de Barcelone 1976, amendée en 1995 à laquelle l'Algérie a adhéré le 17 Janvier 1981, cette convention vise à protéger l'environnement marin et côtier de la méditerranée, tout en encourageant des plans nationaux et régionaux contribuant au développement durable. Ces plans doivent évaluer et maîtriser la pollution, assurer la gestion durable des ressources marines et côtières, intégrer l'environnement dans le développement écologique et social et protéger les milieux marins et les patrimoines culturels.

➤ La convention d'OSPAR 1992 ou Oslo-Paris

Elle a atteint un engagement commun des signataires à prendre toutes les mesures possibles dans le but de prévenir et supprimer la pollution, ainsi que les mesures nécessaires pour la protection de la zone maritime contre les effets préjudiciables des activités humaines, afin de préserver la santé de l'homme et les écosystèmes marins, et de rétablir dans la mesure du possible les zones marines affectées. La convention OSPAR est beaucoup plus vaste, elle comporte les domaines couverts par les conventions d'Oslo et de Paris, à savoir l'immersion et la pollution tellurique et de nouveaux domaines, qui concernent les pollutions provenant de sources "offshore" et l'évaluation de la qualité du milieu marin.

Pour l'application de cette convention, les parties contractantes peuvent définir des niveaux de références (seuils de contamination), citant l'exemple de la France :

- **Niveau 01** : En dessous du niveau N1 l'immersion est susceptible d'être autorisée tandis qu'au-dessus de ces seuils une étude plus approfondie pourrait être nécessaire.
- **Niveau 02** : Au-delà du niveau N2 l'immersion est interdite sauf si elle présente la solution la moins dommageable pour l'environnement.

I.3.3. Au niveau national

Toute opération d'immersion effectuée à partir d'un port algérien relève de la loi n° 83-03 du 05 février 1983 relative à la protection de l'environnement au chapitre III intitulé « protection de la mer » et concernant les articles 48 à 52. Le dossier de demande d'autorisation d'immersion est adressé au ministre chargé de l'environnement selon l'article 49 concerné par les opérations de dragage. Après enquête publique, on peut proposer des règlements et autoriser le déversement, l'immersion ou l'incinération en mer, dans les conditions telles que les opérations garantissent l'innocuité et l'absence de nuisance du déversement, de l'incinération ou de l'immersion.

La réglementation algérienne en matière de dragage et d'immersion s'appuie, actuellement, sur le décret n° 88-228 du 05 novembre 1988, définissant les conditions et modalités d'immersion de déchets susceptibles de polluer la mer, effectuées par les navires ou aéronefs, à prendre en compte lors d'une analyse de sédiments marins ou portuaire, publié au J.O. le 09 novembre 1988.

▪ Article 2

Il est stipulé que « toute opération d'immersion susceptible de polluer la mer doit se faire dans le cadre des dispositions de la loi n°83-03 du 05 février 1983 susvisée et celles contenues dans le protocole relatif à la prévention de la pollution de la mer Méditerranée par les opérations d'immersion effectuées par les navires et aéronefs, fait à Barcelone, le 16/02/1976 ratifié par le décret 81-02 du 17 janvier 1981 susvisé.

▪ Article 3

En application à l'article 48 de la loi 83-03 du 5 février 1983 susvisé, l'immersion de déchets sous toutes ses formes est interdite :

1°) « Lorsque les déchets contiennent une ou plusieurs substances énumérées à l'annexe I du protocole relatif à la prévention de la pollution de la mer Méditerranée par les opérations d'immersion effectuées par les navires et aéronef fait à Barcelone le 16 Février 1976,... ».

2°) « Dans les zones maritimes présentant des intérêts particuliers du point de vue de la sécurité et sur les plans économiques et écologiques ... ».

▪ Article 8

Conformément aux dispositions de la loi n°83-03 du 05 février 1983 susvisée, le ministre chargé de l'environnement est fondé à réclamer au demandeur de permis tout complément de justifications portant sur :

- les résultats des analyses des échantillons de déchets faites dans des conditions qu'il aura déterminées cas par cas et pour lesquels la demande de permis d'immersion est présentée,
- les études qui lui paraissent nécessaires, sur notamment l'état biologique et écologique du milieu marin dans la zone où l'immersion est projetée et au voisinage de celle-ci.

I.4-Destinations des sédiments de dragage

Le choix de la filière de destination des matériaux dragués doit satisfaire à la fois la conformité réglementaire, les conditions environnementales, la meilleure technique disponible et un coût économiquement acceptable. Selon les caractéristiques et le niveau de contamination, la gestion des sédiments peut reposer sur plusieurs axes : soit le rejet en mer au moment de dragage, soit l'immersion dans les zones autorisées, soit le dépôt à terre en vue de stockage, de valorisation ou de traitement (life, 2002). Actuellement, dans le contexte législatif sévère, la gestion des sédiments s'oriente vers la valorisation plutôt que l'immersion et le dépôt. La valorisation peut intéresser plusieurs domaines tels que le génie civil, l'agriculture par l'amendement des sols et la réhabilitation de sites naturels. Cette filière a pour principaux avantages de limiter les volumes mis en dépôt et de faire baisser les coûts de l'opération de dragage.

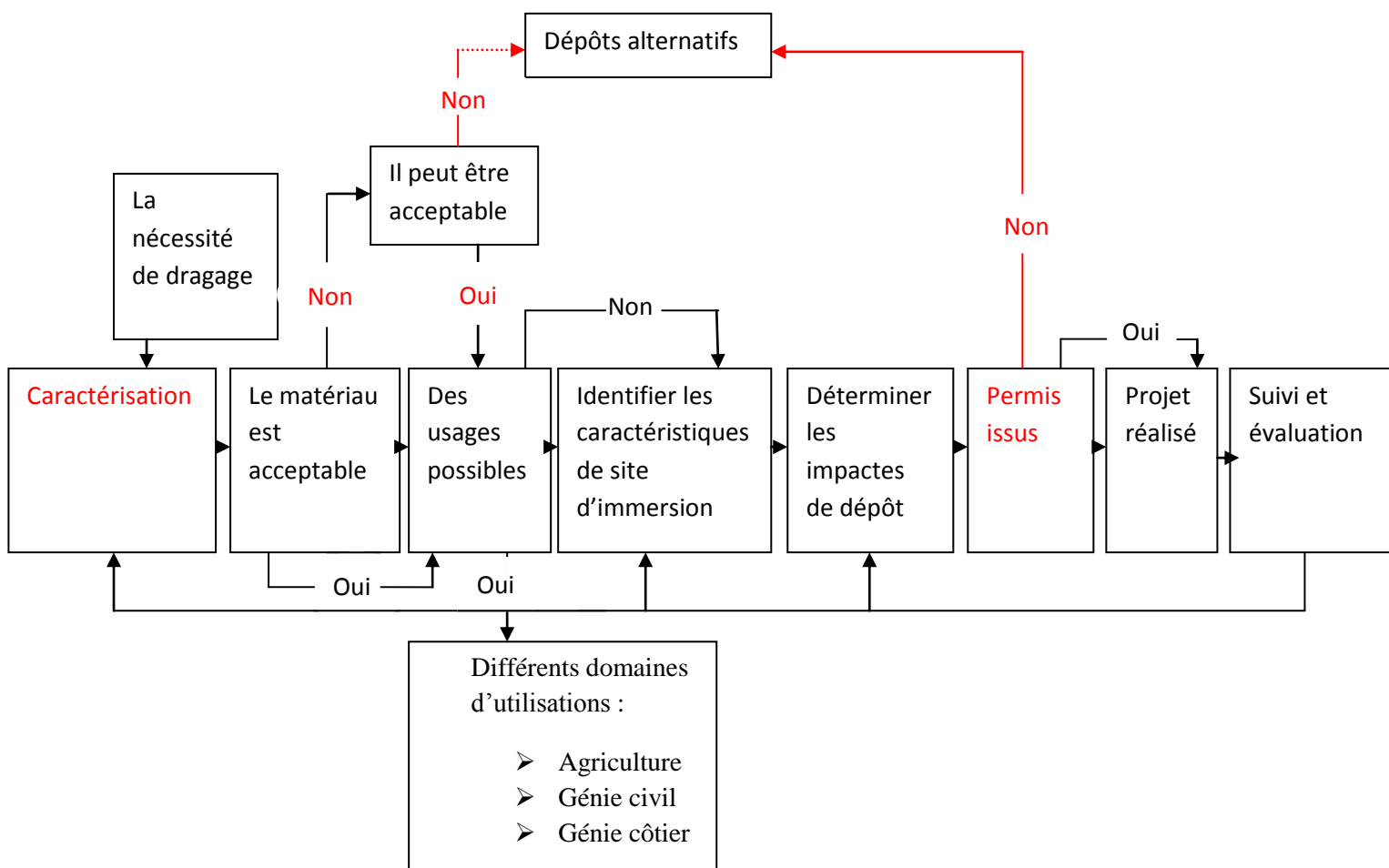


Figure I-10: Les étapes principales d'évaluation des sédiments de dragage selon Lc72.

I.4.1. La caractérisation d'un matériau de dragage

En raison du degré de contamination qu'un sédiment de dragage peut présenter, il est nécessaire d'évaluer sa qualité, l'étape de caractérisation s'avère indispensable afin de décrire la nature et le comportement des matériaux et choisir la filière adéquate de gestion. Il existe deux principaux types d'analyses permettant de caractériser la qualité d'un sédiment (**Tableau I-02**) :

Evaluation de l'impact environnement	L'analyse biologique	Les bio-essais sont des tests d'écotoxicité de divers ordres permettant d'appréhender la toxicité du produit, l'effet sur la croissance d'organismes vivants, la bioaccumulation.
	L'analyse chimique	Il s'agit de déterminer la teneur en contaminants chimiques organiques et inorganiques, ce type d'analyse donne une indication au choix de la filière de destination de ces matériaux (<i>In vivo</i> , 2002)
	L'analyse environnementale	Ce type d'analyse se fait par le test de lixiviation qui permet d'établir le comportement et la capacité de rétention des polluants dans une matrice (<i>In vivo</i> , 2002).
Evaluation des Caractéristiques géotechniques	Analyse physique	Elle permet d'avoir une bonne connaissance du matériau par la détection des différentes phases qui le constituent, elle est étudiée par : la diffraction au rayon X et la fluorescence X.
	Analyse mécanique	Elle englobe la détermination de la teneur en eau, taux de la matière organique, la granularité et l'argilosité, ces paramètres ont une grande influence sur le comportement mécanique du sédiment. Elle englobe les essais permettant d'évaluer la résistance et la capacité portante d'un sol.

Tableau I-02 : synthèse des différents types d'analyse de caractérisation pour un sédiment de dragage.

I.4.2. Le prétraitement et le traitement des déblais de dragage

Après la caractérisation du sédiment, il est possible de trouver que son taux de pollution dépasse les normes requises par la législation pour être immergé ou valorisé ou épandu, de ce fait, les matériaux dragués doivent faire l'objet d'un traitement et d'un prétraitement. Par définition, le prétraitement et le traitement des sédiments sont des technologies permettant, soit de rendre aux sédiments contaminés des teneurs en polluants acceptables pour qu'ils puissent éventuellement être réutilisés, soit simplement de réduire la quantité de matériau à mettre en décharge si aucune voie de valorisation n'a été trouvée.

Le prétraitement : Les filières de gestion des sédiments de dragage à terre nécessitent généralement des prétraitements afin de diminuer les volumes par déshydratation, séparation granulométrique ou séchage, rendant le matériau manipulable et simplifiant le transport (**Achard. 2013**)

▪ La déshydratation

Il existe différents procédés de déshydratation qui permet d'augmenter la siccité (Pourcentage massique de matière sèche) du sédiment, ce qui facilitera son maniement et augmentera les chances de réussite des traitements (**Grosdemange. 2005**).

Ces techniques permettent de réduire les volumes à traiter en éliminant jusqu'à 50% de l'eau interstitielle contenue dans les sédiments qui en renferment de 50 à 90% selon la technique de dragage utilisée.

▪ Les opérations de tri granulométrique

Il existe plusieurs procédés de tri granulométrique qui permettent de séparer les sable (\emptyset particule $> 63 \mu\text{m}$) des fines (\emptyset particule $< 63 \mu\text{m}$) qui selon la littérature concentrent les métaux lourds via la capacité d'adsorption des argiles.

L'objectif de ces opérations est donc de réduire les coûts en réduisant le volume à traité à la fraction la plus polluée du sédiment (**Loustaut, C. 2012**).

Le traitement :

Selon **Kribi, 2005**, les techniques de traitement sont classées en trois catégories :

- **Procédés de traitement par concentration des polluants** : les polluants sont isolés de la matrice sédimentaire et le sédiment est décontaminé en totalité ou en partie ;
- **Procédés de traitement par dégradation des polluants** : ces procédés ne sont applicables qu'à certaines contaminations organiques. Les polluants sont détruits par voie chimique (oxydation) ou biologique (biodégradation).
- **Procédés de traitement par neutralisation des polluants** : les polluants se retrouvent immobilisés soit par l'ajout de liants hydrauliques, soit par vitrification.

I.4.3. Les filières de gestion de matériaux de dragage

Le choix de la filière de gestion des matériaux doit satisfaire les conditions suivantes :

- La conformité réglementaire.
- La protection de l'environnement : la solution retenue devant être la moins pénalisante pour l'environnement et la santé humaine;
- Economique : Le choix d'une meilleure technique avec un coût acceptable.
- Sociologiques : la compréhension et l'acceptation par le public de la solution retenue est de plus en plus nécessaire dans le contexte actuel de sensibilisation aux questions touchant à la protection de l'environnement (**Agostini, 2006**).

On distingue différentes filières de gestion des sédiments portuaires :

I.4.3.1. L'immersion en mer

L'immersion en mer constitue le mode d'évacuation le plus utilisé en Algérie (**Belkessa, 2005**), elle n'est appliquée que sur un matériau peu ou pas pollué. Au préalable de toute opération d'immersion, une étude granulométrique, hydrodynamique, chimique et biologique du site d'immersion doit être effectuée, ce site est choisi selon les critères physiques suivants :

- L'éloignement des côtes,
- Profondeur suffisamment importante pour que les sédiments ne soient pas repris par les courants (profondeur 100m et plus).
- Le site d'immersion doit être en dehors des zones d'intérêt écologique et halieutique (**Azrarak et Beggar, 2013**).

I.4.3.2. Le rechargement des plages

Actuellement, les plages connaissent une érosion accentuée, causée en général par le déficit en sédiment, ce dernier est provoqué par la combinaison des facteurs naturels et anthropiques.

Le recul du trait de côte incite la recherche des solutions d'aménagements, par ailleurs celles qui sont en harmonie avec la nature ont données des résultats efficaces comme par exemple le rechargement des plages, la difficulté de trouver un matériau d'alimentation sur terre impose la recherche d'autres sources, d'où l'intérêt de recourir aux sédiments de dragages issus de travaux de développement ou d'entretien, ces matériaux allochtones doivent répondre aux critères suivants :

- Les sédiments doivent être exempts de toutes contaminations (organique ou inorganique).
- Avoir une granulométrie plus au moins importante que celle du matériau autochtone,
- Le volume à mettre en jeu doit dépendre des caractéristiques locales (la pente de la plage, la longueur et la largeur de la plage...).
- Il faut prévoir environ 10 à 15 % de perte à la mise en place (en raison du vent et des vagues).
- La périodicité des apports .

I.4.3.3 Le dépôt terrestre ou le stockage

Le stockage des déblais de dragage à terre pourrait être temporaire en vue d'une réutilisation, traitement ou commercialisation ultérieure ou définitif lorsqu'il s'agit d'un matériau dangereux qui ne peut pas être traité, des bassins de confinement ou des barrières en couverture sont couramment utilisés pour déposer les produits et isoler les sédiments du milieu extérieur (Carpentier, 2002).

Le principal risque qui pourrait être présenté par cette technique est la pénétration des contaminants dans la chaîne alimentaire à travers les nappes phréatiques (Wang, 2011).

I.4.3.4 Les ouvrages de protection

- **Les digues à talus**

La qualité d'une digue à talus dépend essentiellement de son noyau, ceci est constitué d'un matériau de tout venant, les matériaux issus de dragage peuvent être également convenable pour sa conception, ces matériaux sont plutôt fins par rapport aux autres, d'où la nécessité de prendre des mesures telle que la mise en place du géotextile afin de diminuer le risque de dispersion des particules fines (Ciria, Cur, Cetmef, 2009).

- **Les géo-tubes**

Les matériaux de dragage peuvent être aussi utilisé dans la conception des géo tubes, ceux-ci sont des structures tubulaires, monolithique et flexible utilisées pour lutter contre l'érosion côtière, ils sont réalisés par le pompage hydraulique du matériau de dragage.

I.5. Les polluants dans les sédiments

Le milieu marin est souvent soumis à des rejets industriels, urbains ou agricoles, entraînant l'apport d'un grand nombre de substances toxiques de nature organique (HAP, PCB, TBT....) et inorganique (éléments traces métallique : Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Zn, As, Mo) (Babut, M et al. 1999) qui vont s'accumuler dans les sédiments. Depuis les années 1970, les substances toxiques sont considérées comme une destination finale vers les sédiments qui deviennent par la suite une réserve toxique potentiellement mobilisable. Comme on peut l'apercevoir dans la **Figure 10**, de nombreux paramètres jouent un rôle important dans le comportement du polluant (Marchandise, P et Robbe, D. 1978).

Les contaminants n'ont pas le même pouvoir de fixation selon les conditions géochimiques et la nature des solides. En effet, le sédiment peut présenter des teneurs élevées de polluants qui ne sont pas remobilisables dans les conditions naturelles du milieu, mais il peut aussi devenir toxique lorsque les conditions physico-chimiques sont modifiées lors d'un dragage par exemple. Les sédiments ne constituent pas uniquement un simple réservoir pour les polluants, ce sont de véritables réacteurs biogéochimiques capables d'adsorber et de transformer les polluants, de modifier leur biodisponibilité, de les recycler ou de les transférer vers la colonne d'eau, vers le sol ou les nappes phréatiques.

I.5.1. Les polluants organiques

Les polluants organiques sont composés de carbone, d'hydrogène, d'oxygène et d'azote. Ces éléments sont très toxiques, solubles ou absorbés par les matières en suspension. On distingue trois grandes familles de composés organiques : les HAP (Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques), les PCB (Poly-Chloro-Biphényles) et les TBT (Tri-Buyl-Etain).

I.5.2. Les éléments traces métalliques

Les éléments traces métalliques se trouvent à l'état de traces dans les sédiments puisqu'ils entrent dans la composition de nombreuses roches. Ils sont non biodégradables, leur durée de vie est infinie. Leur origine est liée à l'activité humaine de stockage des déchets industriels et urbains, les pratiques agricoles et à la pollution liée aux retombées atmosphériques par l'utilisation de combustibles fossiles, d'essences au plomb, de poussières et des industries métallurgiques. Les principaux métaux lourds sont le cadmium, le chrome, le cuivre, le plomb, le mercure, le nickel, le sélénium, l'arsenic et d'autres éléments spécifiques. Ces derniers peuvent être fixés sur les éléments minéraux et les matières organiques des sédiments.

Pour évaluer la toxicité de ces substances, les laboratoires doivent déterminer la teneur totale de chaque élément, mais aussi la forme chimique de chaque élément. La **Figure-11** illustre les éléments traces les plus souvent rencontrés dans les sédiments.

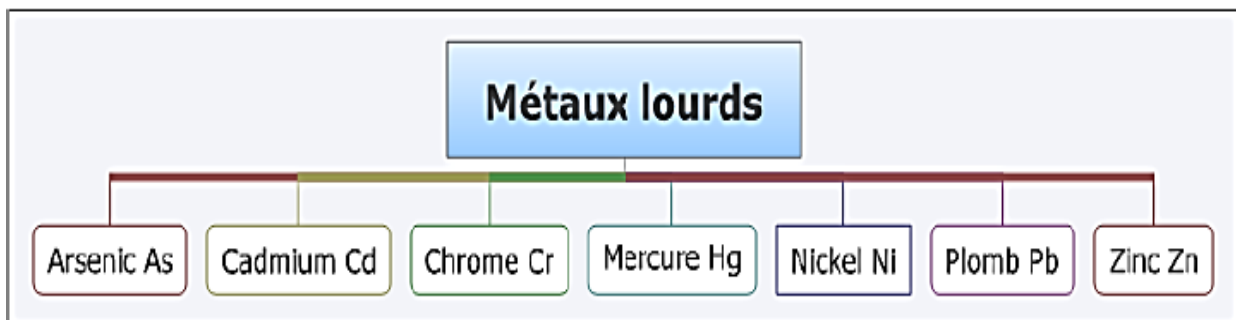


Figure I-11 : Principaux métaux lourds présents dans le sédiment.

I.6. Travaux antérieurs dans le domaine de la valorisation des sédiments marins

Dans le monde entier, le dragage des ports, canaux, chenaux et autres lacs naturels et artificiels revêt une importance primordiale pour la vie des affaires autant que les activités de loisirs.

Le plus grand problème que pose le dragage est sans doute le sort à réserver aux Produits dragués. Les multiples études réalisées un peu partout dans le monde ont démontré que la majeure partie de ces produits ne présente pas une dangerosité pour l'environnement. Parmi beaucoup d'autres produits, les matériaux dragués peuvent être utilisés pour les rechargements des plages, la protection des côtes, la constitution de terre végétale à usage agricole et l'amélioration de l'environnement. (**Mechaymech, 2002**).

Ces produits constituent donc une ressource précieuse et ne devraient pas être considérés en tant que simples dépôts. Plusieurs centaines de millions de mètres cubes de produits sont dragués chaque année dans le monde. La réutilisation de ces sédiments s'est avérée indispensable. Plusieurs chercheurs se sont intéressés à la valorisation des sédiments pollués ou non dans le domaine du génie civil (fabrication de briques) (**Yang et al, 2014, Weng et al, 2003, Benyerou et al, 2016, Frar. I, 2014**), en granulats artificiels (**Brakni et al, 2009**), en construction routière (**Dubois et al, 2009, Ouandjeli et Senouci, 2016**) et en matériaux cimentaires (**Agostini et al, 2007, Kazi et al, 2011**).

Pour être valorisés dans des ouvrages de génie civil ou de travaux publics, les sédiments de dragage doivent avant tout répondre aux normes et guides techniques relatifs aux matériaux constitutifs de ces ouvrages.

Parmi les voies de valorisation potentielle de ces sédiments, les filières suivantes ont été retenues :

- Terrassements routiers et plates-formes.
- Remblaiement de tranchées.
- Granulats expansés pour bétons.
- Production de clinker pour ciment.
- Brique de terre cuite.

I.1- Valorisation des sédiments marins en terrassements routiers

I.1.1 classification selon la norme NF P 11-300

La norme NF P11-300 aborde la classification géotechnique des matériaux utilisables en couche de forme et en remblais routiers (**AFNOR, 1992**). Cette classification repose en premier lieu sur les paramètres de nature des matériaux : granularité, indice de plasticité et argilosité (valeur au bleu). Selon la norme NF P 11-300, compte tenu de leur teneur en matière organique(MO), les sédiments de dragage rentrent dans la classe F : matériaux ou « sols » organiques et sous-produits industriels.

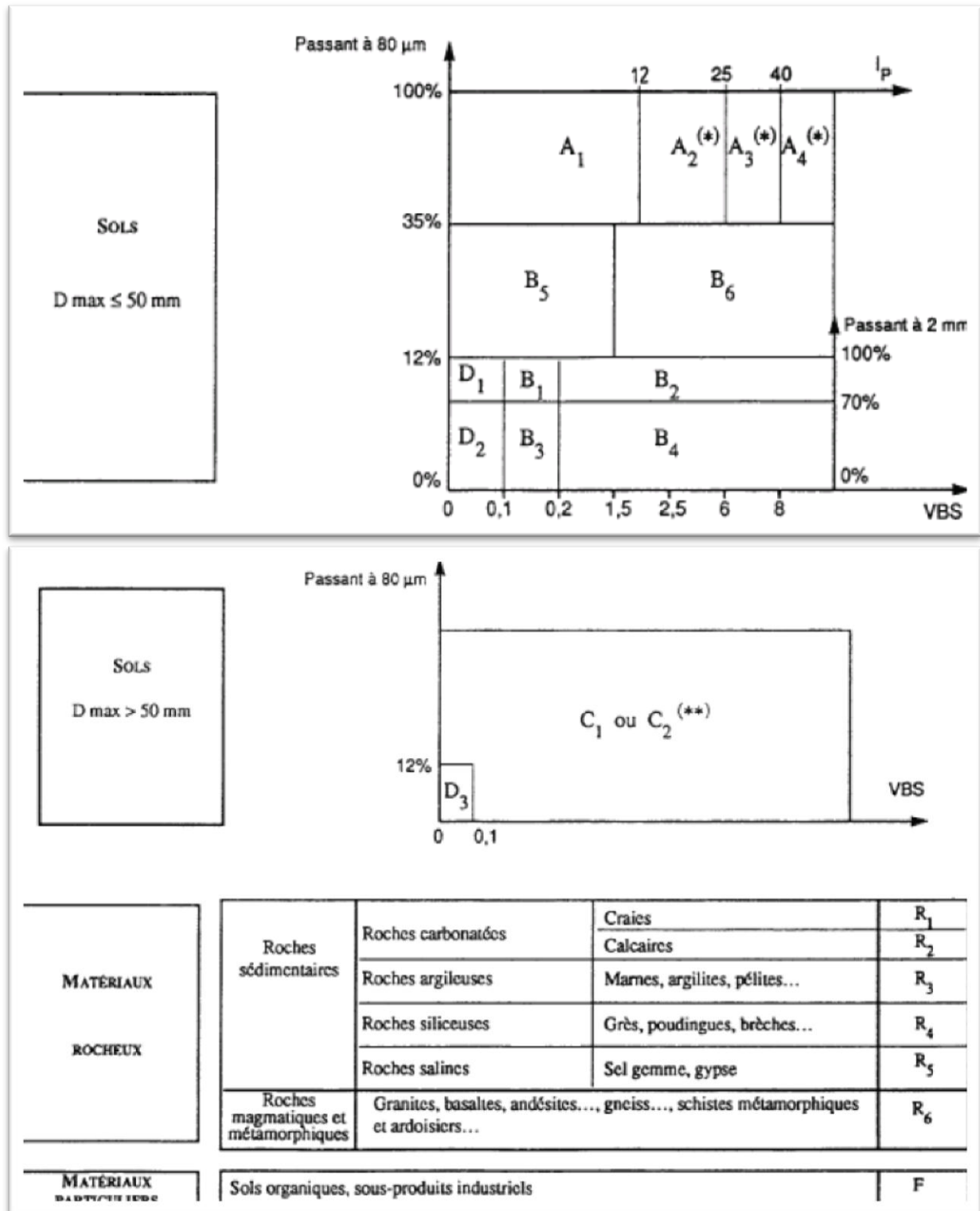


Figure I-12 : tableau synoptique de classification des matériaux (AFNOR, 1992).

On retrouve notamment dans cette classe les mâchefers d'incinération de déchets non dangereux(F6), les matériaux de démolition(F7) et les laitiers sidérurgiques(F8).

Les sédiments de dragage appartiennent à la classe F1 des matériaux organique.

Elle se divise en deux sous classes en fonction de la teneur en matière organique (% MO) :

- F11 : $3 < \% \text{ MO} < 10$
- F12 : $\% \text{ MO} > 10\%$

Les sédiments de dragage s'inscrivent généralement dans la sous-classe F11, dont la teneur en matière organique est comprise entre 3 et 10 % (en masse sèche), bien que des sédiments ayant des teneurs encore plus importantes en MO puissent se rencontrer (**Piou et al. 2009 ; Bataillard et al. 2014**).

La norme NF P 11-300 recommande, pour les matériaux de classe F, de réaliser une classification analogue aux matériaux non-organique. Compte tenu de leur granularité, les sédiments de dragage s'inscrivent dans la classe A des sols fins caractérisés par :

- une taille maximale des Grains $D_{\text{max}} < 50 \text{ mm}$;
- un passant à $80 \mu\text{m}$ de 35% minimum ;

I.1.2. Conditions d'utilisation des matériaux en remblais et couche de forme

La figure I-14 illustre les différentes couches constitutives d'une structure de chaussée. La couche de sol support peut être constituée des terrains en place (déblais) ou de matériaux d'apport (remblais).



Figure I-13 : schéma de principe d'une structure routière ([source : www.planete-tp.com](http://www.planete-tp.com)).

Le « guide technique- réalisation des remblais et des couche de forme » (**Setra, 2012**), dit GTR 92, précise les conditions d'utilisation et de mise en œuvre des matériaux, définis selon la norme NF P 11-300, en couche de forme et remblais routiers.

➤ Utilisation en remblai routier

Selon ce guide, les matériaux de classe F11, correspondant aux sédiments de dragage, ont une utilisation privilégiée en couverture de surface végétalisées (talus, accotements, giratoire,...). Toutefois, leur utilisation est possible en remblais routier (couche support), selon les conditions applicables aux sols naturels auxquels ils correspondent (classe A en l'occurrence). Le traitement à la chaux vive de ces matériaux est évoqué dans le GTR.

En fonction de leur état hydrique (teneur en eau, de th (très humide) à ts (très sec)) et des conditions météorologiques, la mise en œuvre des différents matériaux de classe A en remblai peut s'avérer impossible, ou nécessiter des dispositions particulières :

- Les matériaux Ai th et Ai ts ne sont pas utilisables en l'état. une réduction de la teneur en eau des matériaux A1 th est envisageable par mise en dépôt et/ou drainage.
- Les matériaux A4 sont difficiles à travailler et présentent des risques de retrait/gonflement et de stabilité. une étude géotechnique spécifique est nécessaire.

➤ Utilisation en couche de forme

Selon le GTR, les matériaux de classe F1 (sols organique) ne sont pas utilisables en couche de forme.

Traitement des sédiments :

Le guide technique « traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques. Application à la réalisation des remblais et des couches de forme » (**Setra, 2000**), dit GTS, définit les modalités de traitement des matériaux pour la réalisation de structures routières. Il s'appuie notamment sur la norme NF EN 14227 relative aux mélanges traités aux liants hydrauliques (**AFNOR, 2006a, 2006b, 2006c**).

Ce guide mentionne l'utilisation de deux types d'adjuvant pour le traitement des sols sensibles à l'eau ou trop humides pour être travaillés en l'état :

- Chaux aérienne, qui se re-carbonate sous l'action du CO₂ atmosphérique
- Liants hydrauliques (ciment, liants hydrauliques routière) qui font prise en présence d'eau de manière synthétique, le traitement à la chaux ou aux liants hydrauliques des sols fins présente les actions suivantes :
 - A court terme, correction de l'état hydrique des matériaux, augmentation de la limite de plasticité et de la résistance au cisaillement du sol, modification des caractéristiques de compactage du sol
 - A long terme, amélioration des caractéristiques mécaniques du sol (action pouzzolanique de la chaux ou cimentation des liants hydrauliques)

Pour la réalisation de remblais routiers, l'adjuvant généralement le mieux adapté est la chaux vive, pour le traitement de matériaux trop humides. Les matériaux concernés sont notamment ceux des classes A1, A2 et A3. Par extension, les sédiments de dragage dont les caractéristiques géotechniques correspondent à ces matériaux peuvent faire l'objet d'un tel traitement afin d'être valoriser en remblais routières.

I.2. Valorisation des sédiments en remblaiement de tranchées

La norme NF P 98-331 (AFNOR, 2005) relative à l'ouverture, au remblayage et à la réfection des tranchées distingue trois zones distinctes de remblaiement des tranchées, du bas vers le haut (**figure I-14**) :

- Zone d'enrobage de la conduite ou du réseau.
- Partie supérieure de remblai.
- Partie inférieure de remblai.

Dans la zone d'enrobage, selon cette norme, la dimension maximale D des matériaux ne doit pas excéder 22 mm pour des réseaux de diamètre inférieur ou égale à 200 mm, et 40 mm pour des réseaux de diamètre supérieure à 200 mm.

Dans la zone de remblai proprement dit, cette dimension D ne doit pas excéder 10% de la largeur de la tranchée et 20% de l'épaisseur de la couche compactée.

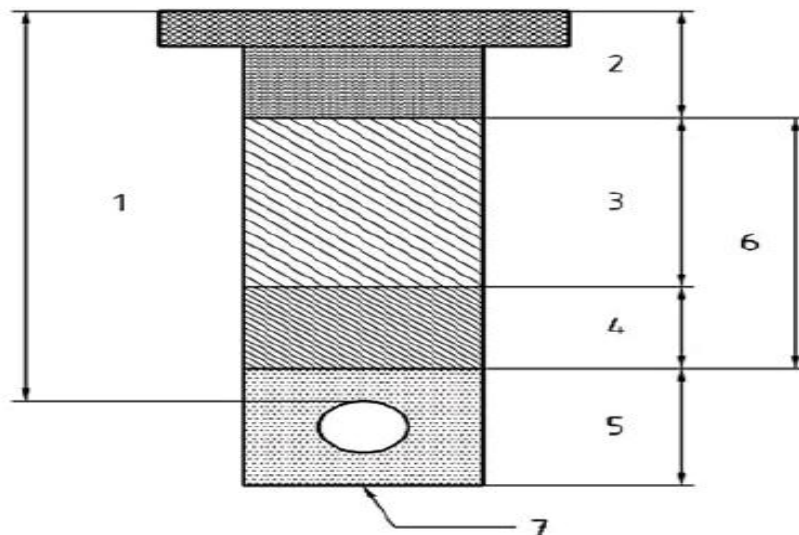


Figure I-14 : coupe type d'une tranchée (source AFNOR, 2005).

*Légende :

- 1- hauteur de recouvrement
- 2- structure de chaussée (y compris revêtement)
- 3- partie supérieure de remblai
- 4- partie inférieure de remblai
- 5- zone d'enrobage
- 6- remblai proprement dit
- 7- fond de tranchée

Pour les matériaux de la classe F selon la norme NF P 11-300, ceux-ci doivent être non polluant et non agressifs pour les réseaux.

Les matériaux de classe F1 ne sont pas cités par la norme NF P98-331 parmi les matériaux utilisables dans la zone d'enrobage ou dans la partie inférieure de remblai. Cette exclusion est due a priori à leur teneur en matière organique.

Les sols fins de la classe A1, A2 et A3 sous réserve de l'avis d'un géotechnicien, peuvent être utilisés dans la zone d'enrobage ou la partie inférieure de remblai. Compte tenu de leurs caractéristiques géotechniques, les sédiments de dragage correspondent à cette classe A selon la norme NF P11-300.

En partie supérieure de remblai, la norme NF P98-331 exclu l'utilisation de sols de classe F1 et A.

Il faut toutefois noter que la norme NF P98-331 cite l'utilisation, en zone d'enrobage et en remblais, de matériaux auto-compactant excavables. Ce sont des produits faiblement dosés en ciment, qui ne nécessitent pas d'action mécanique pour leur mise en œuvre .leur mise en place se réalise grâce à leur fluidité importante, obtenue par une teneur en eau élevée (matériaux dits « essorables ») ou par l'utilisation d'adjuvants (matériaux « non-essorables »).

Il pourrait être envisagé d'élaborer des matériaux auto-compactant à partir de sédiments de dragage.

I.3. Valorisation des sédiments en granulats pour béton

Selon la classification de la norme NF P 18-545 relative à la définition, la conformité et la codification des granulats (AFNOR, 2011a), et la norme NF EN12620 relative aux granulats pour béton(AFNOR, 2008b), les sédiments de dragage, compte tenu de leur granulométrie, sont des fillers : « granulats dont la plupart des grains passe au tamis de 0.063 mm et qui peut être ajouté aux matériaux de construction pour leur conférer certaines propriétés ».

La norme NF EN 12620 définit plus précisément les caractéristiques granulométriques d'un filler :

- passant à 2 mm : 100 %
- passant à 0.125 mm : 85 à 100 %
- passant à 0.063 mm : 70 à 100 %

D'après **Delcour et Lefebvre(2013)**, la norme EN 12620 fait l'objet d'un projet de révision qui devrait clairement identifiés les matériaux de dragage comme matériaux source des granulats (références H1 et H2). Les sédiments seraient découpés en deux références H1 pour les sables de dragage et H2 pour les argiles de dragage. Les sables pourront être utilisés pour la fabrication de béton mais les argiles, bien qu'identifiées, ne relèveraient pas du domaine d'application de la norme, car aucun antécédent d'utilisation n'a été recensé. A la parution de ce rapport, la norme 12620 en vigueur est toujours dans sa version de 2008.

I.4. Valorisation des sédiments de dragage en clinkers pour ciment

Selon la norme NF EN 197-1 (AFNOR, 2012a) relative à la composition, les spécifications et les critères de conformité des ciments courants, le clinker portland est

« obtenu par calcination d'un mélange fixé avec précision de matières premières.... Contenant des éléments couramment exprimés en oxydes CaO, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃... le clinker portland est un matériau hydraulique qui doit être constitué d'au-moins deux tiers en masse de silicates de calcium, la partie restante étant constituée de phases contenant de l'aluminium et du fer...le rapport massique CaO/SiO₂ ne doit pas être inférieure à 2%. La teneur en oxyde de magnésium (MgO) ne doit pas être supérieure à 5% en masse.

D'un point de vue normatif, il n'y a pas de contre-indication à l'utilisation de sédiment de dragage pour la fabrication de clinker portland. En fonction de leur minéralogie, ils pourront

être utilisés seuls ou en mélange, notamment avec des carbonate. Ce mélange pourra de plus permettre d'ajuster aux seuils de la norme les teneurs en ions sulfates et chlorures, ainsi qu'en aluminium tricalcique, dans le produit fini.

I.5. Valorisation des sédiments de dragage en brique de terre cuite

Parmi les normes relatives aux briques de terre cuites utilisées dans le domaine de la construction aucune des normes ne précise la nature et la qualité attendue des matières premières utilisées pour la fabrication de ces matériaux.

Les caractéristiques initiales (granulométrie, minéralogie, composition chimique) de la matière première constitutive des briques, en l'occurrence des sédiments de dragage, ne permettent pas de préjuger des performances d'un matériau manufacturé, celles-ci dépendant intimement de la méthodologie de fabrication.

Toutefois, la teneur en sels solubles actifs, mentionnée par les normes NF EN 771-1 et NF P 13-304, peut être prise en compte à partir des caractéristiques de la matière première.

Les sels cités par ces normes sont les sulfates de magnésium, de potassium et de sodium, qui peuvent réagir avec l'aluminate tricalcique du mortier et provoquer des désordres (altération des briques, du mortier ou de l'enduit de surface).

Afin de s'affranchir de ces désordres, la norme NF EN 771-1 prévoit, en fonction des conditions d'exposition à l'eau et de protection des briques, trois classes (S0 à S2) correspondant à des concentrations massiques maximales pour les ions Na⁺, K⁺ et Mg²⁺ (**tableau I-03**).

Catégorie	Pourcentage total en masse inférieur ou égal à	
	Na ⁺ + K ⁺	Mg ²⁺
S0	Pas d'exigence	Pas d'exigence
S1	0.17	0.08
S2	0.06	0.03

Tableau I-03 : catégories des teneurs en sels solubles actifs (source AFNOR).

Dans le cas précis des briques destinées à être apparentes, une teneur trop importante de ces sels peut provoquer l'apparition d'efflorescences en surface, qui proviennent de la cristallisation de ces sels, lors d'une période de séchage consécutive à une période d'humidification.

Les sels solubles mentionnés par les normes NF EN 771-1 et NF P13-304 sont potentiellement présents dans les sédiments de dragage, notamment dans les sédiments marins. Ceci n'exclut pas leur utilisation pour la fabrication de brique en terre cuite, ces concentrations pouvant être corrigée par mélange préalable des sédiments avec une matière première (argile) faiblement concentrée en ces mêmes sels.

Chapitre II :

Caractéristiques de la

zone d'étude

II.1. Situation géographique de la zone d'étude

Notre zone d'étude est implantée dans la localité de Sidi Fredj qui est une presqu'île se situant à environ 15 Km à l'Ouest d'Alger dans la partie Ouest de la baie d'El Djamila, ayant une ligne linéaire côtière d'environ 6 km de long. Ses coordonnées géographiques sont :

- Longitude Est $2^{\circ}50'52''$
- Latitude Nord $36^{\circ}45'05''$

Le port de Sidi Fredj est adossé à un cap rocheux qui marque l'extrémité Ouest de la baie d'el Djamila. Elle est caractérisée par deux pointes :

- La pointe de MARABOUT à l'Est (emplacement du port)
- La pointe SAINT JANVIER à l'Ouest



Figure II-01: situation géographique de la zone d'étude (Google earth.2019).

Port de Sidi Fredj

Le port représente l'élément moteur du complexe touristique de Sidi-Fredj, couvre une superficie totale de 38.000 m² et doté d'une capacité de 300 unités, il est le mieux équipés des ports de plaisance de la région algéroise, il peut accueillir plus de 400 navires, des petits voiliers et canots automobiles jusqu'aux yachts de plusieurs mètres.

II.2. Configuration du port

Le port de plaisance de Sidi-Fredj comprend :

II.2.1- Un plan de masse :

- 5 bassins ou darses qui permettent l'accostage des bateaux :

Bassins portuaires	Superficie (m ²)	Profondeur (m)	
01	8000	0.60-2.60	Le plus éloigné de l'entrée du port, c'est celui qui accueille le déversement d'eaux usées par l'égout principal
02	3000	2.5	Délimité par l'épi de la tour mauresque (appontement 02) et épi de la station d'essence.
03	5000	1.5-4.50	C'est le bassin de l'hivernage, il est délimité par la grande jetée.
04	10000	2.50-3	Délimité par l'appontement 03 à l'intérieur et la petite jetée à l'extérieur.
05	9400	3.5	Situé à la sortie du port et communique avec le large.

Tableau II-01: superficie et profondeur de chaque bassin du port de Sidi Fredj (LEM, 1998).

II.2.2- Les appontements

De nombre 8 jouent un rôle d'une passerelle pour assure une occupation équilibre du plan d'eau suivant le nombre d'embarcation et le tirant de l'eau. On remarque deux types :

4 appontements fixes :

Utilisés lorsque le niveau dans le bassin est peu variable et que les tirants d'eaux ne sont pas très important.

4 appontements flottants :

Ils peuvent augmenter en période estival lorsque la flotte devient Plus importante, ils sont utilisés lorsqu'il y a de fortes variations de niveau de l'eau dans le bassin et que les tirants d'eaux sont très grands.

Ces ouvrages constituent une barrière contre les houles et les apports solides on distingue :

La grande jetée Nord :

- jetée principale
- 260 m de longueur
- terminant par un musoir servant de barrière

La petite jetée sud :

- jetée secondaire.
- 200 m de longueur.
- délimite la plage Est de Sidi-Fredj.

Ces deux jetées sont de types digue à talus en enrochement naturels le talus arrive jusqu'à une profondeur de 1,5m côté mer, le talus est aménagée en quai accostable côté port.

***Les échanges du port avec le large :**

Le port est considéré comme étant semi-ouvert vue son ouverture :

Du côté Est l'accès ce fait par la passe d'entrée orientée vers le Nord-est, alors que du côté Ouest l'échange avec le large est assuré par le petit canal qui se situe à proximité de la tour mauresque.

Malgré ces deux ouvertures que l'eau reste insalubre ; les échanges restent assez faibles dus à la quantité plus au moins importante de macro déchets qui jonchent le canal empêchant la circulation des eaux.

II.3. Données océanographiques**II.3.1. Vent**

C'est le générateur principal de vagues et de courants superficiels agissant sur les transferts sédimentaires de façon directe sur la partie aérienne et par différents agents hydrodynamiques sur la partie immergée (**Otmani 2014**).

Acquisition des données :

L'acquisition des données s'est faite au niveau de plusieurs sources ; afin de choisir la période la plus longue, qui soit dépourvue le plus possibles de données manquantes pour toutes les stations du centre algérien, le choix s'est porté sur la station de Dar El Beida.

Les données sont collectées, nous nous les sommes procurées sous forme de fichiers EXCEL (période : 1995–2004) de l'office national de météorologie (**ONM**) une période de 10 ans ; plusieurs raisons ont régi le choix de cette période :

- période en commun d'enregistrement des données climatiques entre les stations de la région d'étude, comportant le moins de données manquantes possibles ; vue les discontinuités d'enregistrements que connaissent les stations météorologiques de nos régions d'étude, l'arrêt d'une ou de plusieurs stations varie d'une ou plusieurs années tel que la station de Khemissti.

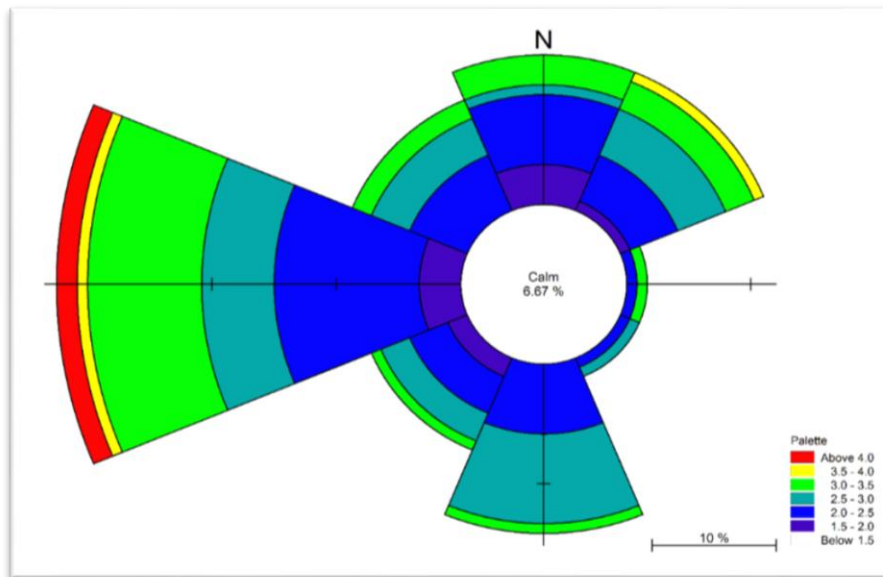


Figure II-02:La rose des vents moyens (DHI Mike 21).

II.3.2. La houle

C'est un paramètre hydrodynamique défini comme étant une oscillation de la partie superficielle du plan d'eau. Il dépend directement des vents et joue un rôle important dans la zone de déferlement.

La connaissance des caractéristiques de la houle : direction, amplitude, réfraction, etc. permet de comprendre les déplacements sédimentaire dans la zone de déferlement, le volume et les sens du transit littoral en fonction de leur incidence à la côte et le cheminement des sédiments à l'intérieur du port.

Le régime de la houle dans la région de Sidi Fredj est proportionnel à celui des vents, il se caractérise par :

Les statistiques des houles dans la région de Sidi-Fredj font apparaitre deux

Régime hivernale :

Houle de direction ouest dominant avec les plus grandes amplitudes, ces houles engendrent des courant de retour qui entraînent les sédiments vers le large.

Régime estivale :

Les directions dominantes sont issues de secteur Nord-est avec des amplitudes faible.

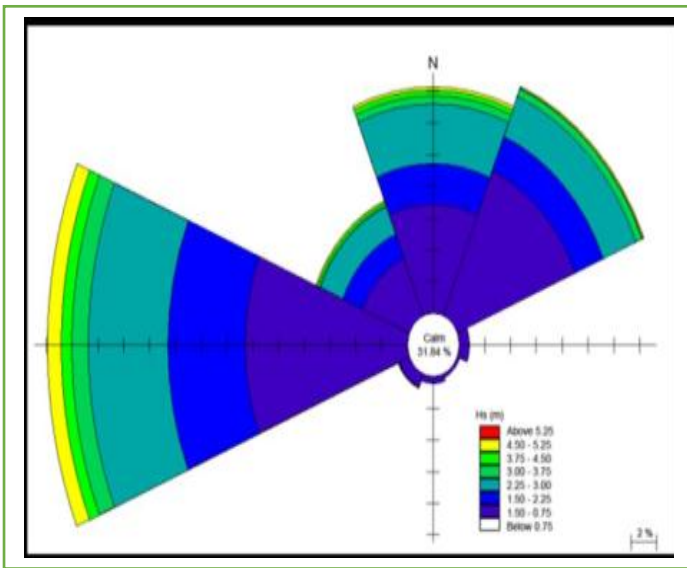


Figure II-03: Rose des vagues au large de la côte algérienne- Hiver (CTH, 2008).

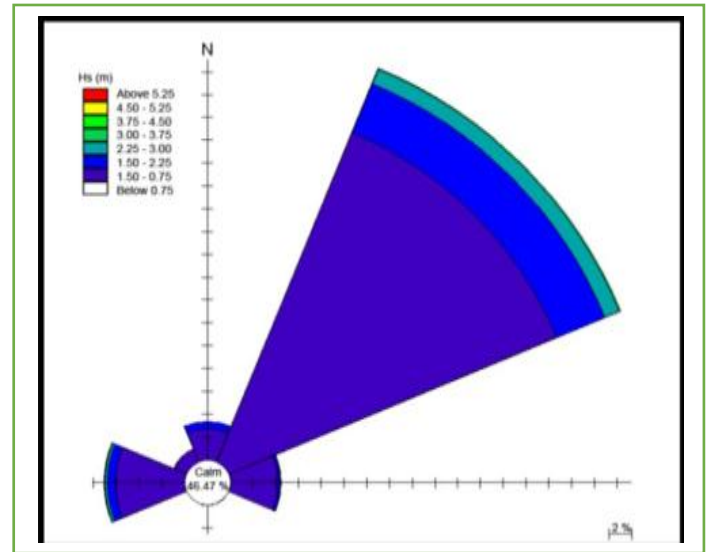


Figure II-04 : Rose des vagues au large de la côte algérienne-Eté-(CTH, 2008).

II.4.L'ensablement du port de Sidi Fredj

Avant la construction du port en 1969, la région de Sidi Fredj était soumise à un double transit :

- Le transport Est-Ouest était le plus important et se produisait sous l'effet des vents de Nord-est
- le transport Ouest-Est sous influence des houles Nord-Ouest permettait de stabiliser la plage par un retour des sédiments sur la partie Est.

Après la construction de la première phase portuaire, le transport Est-Ouest est arrêté par la structure portuaire, parallèlement une érosion de plage apparaît entre l'hôtel El Riad et le front de mer de Moretti, suivie d'un engraissement progressif de l'anse Est au détriment de la zone de Moretti.

Il a été constaté que les houles de direction Nord-est arrive obliquement à la côte et provoque un tourbillon au niveau de la plage de Sidi-Fredj, ce tourbillon est accentué à cause de la présence des épis au niveau de cette zone, par ailleurs ces houles créent un courant qui remonte vers le port ce qui provoque probablement l'ensablement du port.

La modélisation de transport sédimentaire fait par le modèle mathématique vectoriel GSTA (**figure II-07**), montre que les directions du transport sédimentaire sont perturbées, cela provoque des courants qui se dirigent vers le port provoquant ainsi l'ensablement.

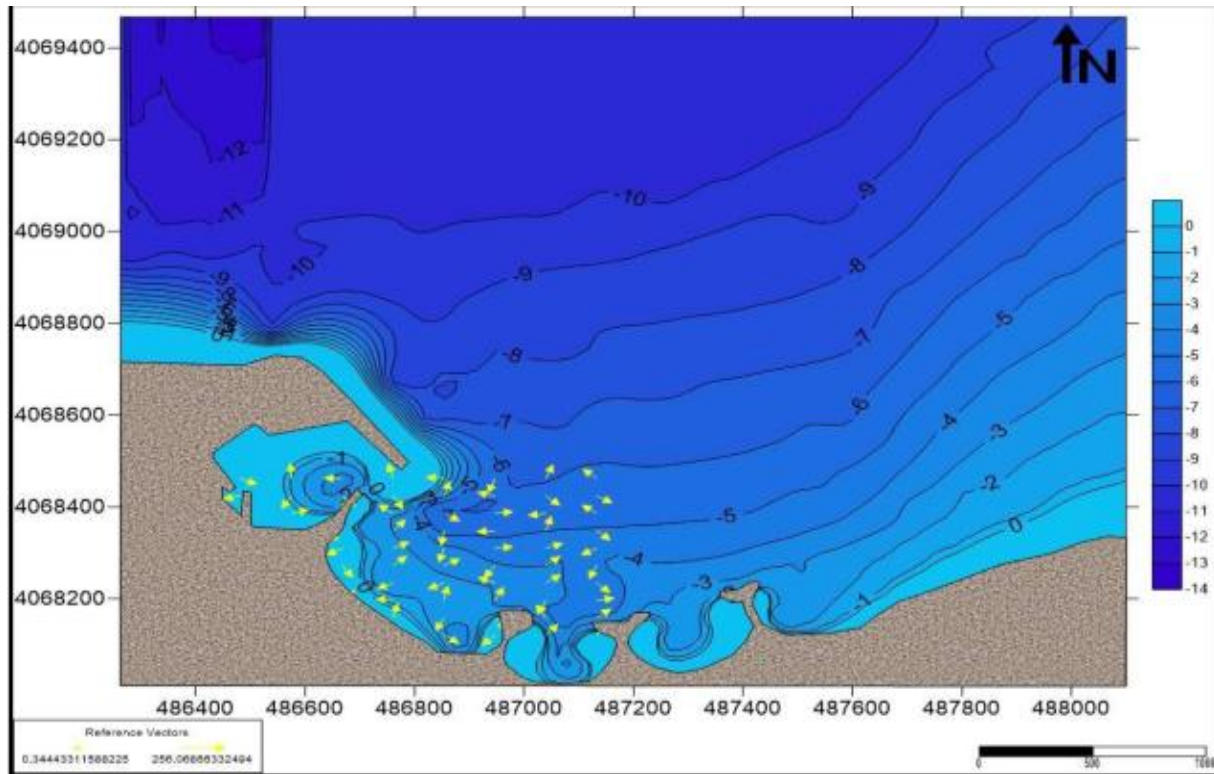


Figure II-05: modélisation du transport sédimentaire (Khalidi, 2015).

II.5-Dragage du port de Sidi-Fredj

Plusieurs opérations de dragage ont été réalisées au niveau du port de Sidi-Fredj.

La dernière opération était en 2012, et cela dans le cadre de la convention n°081/2012 du 02/07/2012, la direction des travaux publics de la wilaya d'Alger a confié au bureau d'étude « Hydro Marine Ingénierie-HMI » la réalisation d'une étude dans le but de draguer le port de plaisance de Sidi Fredj, cette mission a débuté en mois d'Octobre 2012 (**DTP, 2012**).

L'opération de dragage a eu lieu dans le but de restaurer le tirant d'eau en niveau de la passe d'entrée et de chenal d'accès en draguant jusqu'à -4m de profondeur.

Le volume de sable dragué est estimé à environ 25 000 m³ t le cout total est de 39 429 000 .00 DA (**DTP ,2012**), à la fin de l'opération de dragage, le sédiment a été déposé au niveau de la plage Est de Sidi Fredj.

Année	Volume dragué (m3)	Société
1992	6000	SONATRAM
2003	20000	DTP d'Alger
2006	/	DTP d'Alger
2012	25000	DTP d'Alger
2019	/	Société privé

Tableau II-02 : les opérations de dragage au niveau du port de Sidi Fredj (Aissat et Cheikh, 2013).



Photo II-01:Opération de dragage et dépôt des sédiments dragués du port de Sidi Fredj.

Chapitre III :

Matériels et Méthodes

III.1. Prélèvement des échantillons

Les prélèvements ont été effectués au niveau de la passe d'entrée du port de Sidi Fredj qui connaît un ensablement important, la localisation des stations de prélèvement a été faite d'une manière aléatoire en raison de l'homogénéité de la nature des sédiments accumulés dans la passe d'entrée du port.

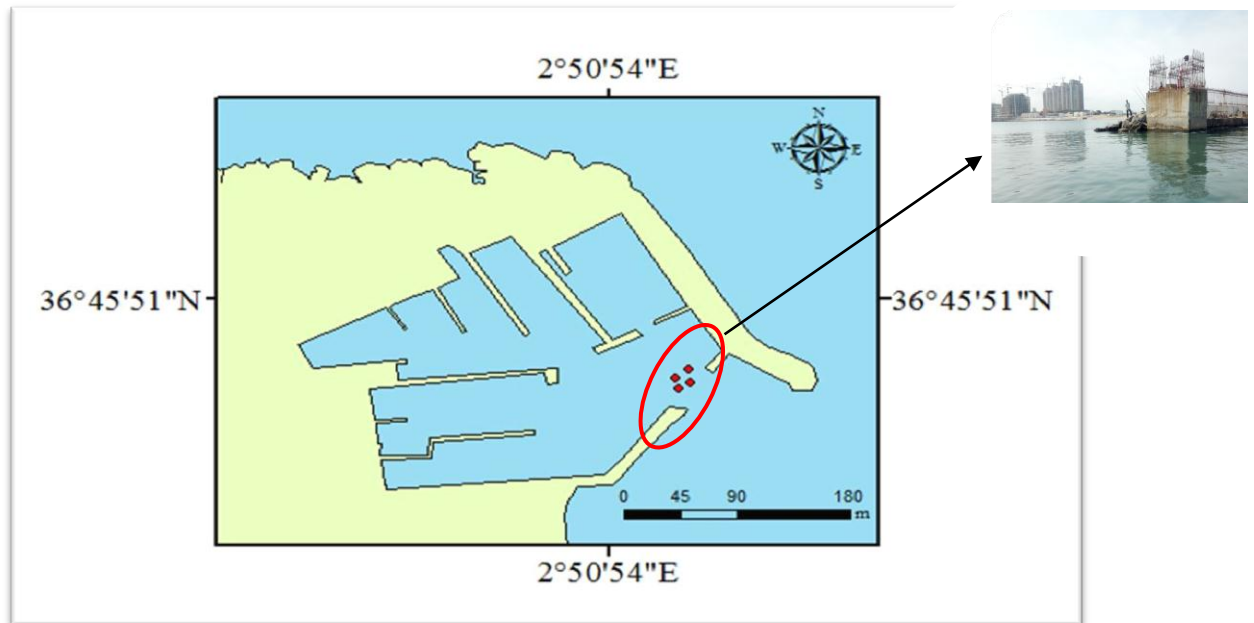


Figure III-01 : localisation des sites de prélèvements.

III.1.1. La technique de prélèvement de sédiment

Les prélèvements des sédiments ont été effectués à bord de l'embarcation « Aurès » le 23-06-2019, et à l'aide d'une benne preneuse de type « Van Veen »



Photo III-01 : Le prélèvement à bord de l'embarcation.

III.1.2. Mode de fonctionnement de la benne

La benne est munie de mâchoires amovibles que l'on fait descendre au fond de la mer à l'aide d'une corde.

Lors de la descente, les mâchoires sont ouvertes, dès qu'elles touchent le fond, la vanne qui les maintenait ouvertes se relâche et au moment de la remontrée, les mâchoires se referment pour emprisonner une quantité de sédiment. A bord de l'embarcation la benne est ouverte et son contenu y est collecté dans des seaux.

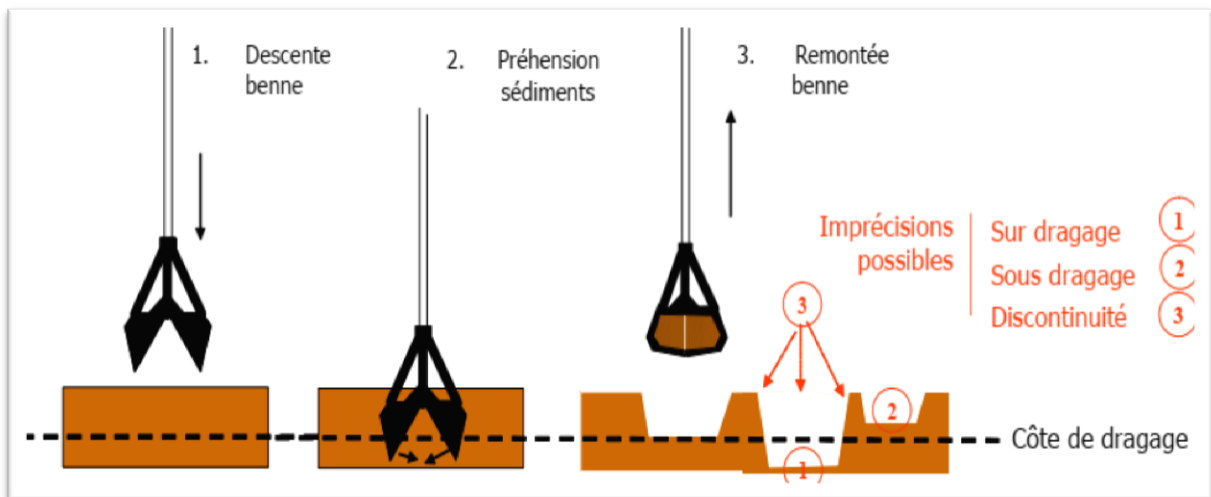


Figure III-02 : mode de fonctionnement d'une Benne. (Représentation des imprécisions possibles avec une benne (source idra)).

III.2. L'identification des sédiments de port de Sidi Fredj

La détermination des caractéristiques des sédiments a été effectuée à travers une série d'essais physiques et autres mécaniques

III.2.1. Les essais physiques

III.2.1.1. La teneur en eau à la saturation w_{sr} (Norme AFNOR NF P94-050) :

La teneur en eau d'un sédiment dépend de la méthode de prélèvement et la type de matériau du site, elle est représentée par sa perte d'eau qui est provoquée par étuvage.

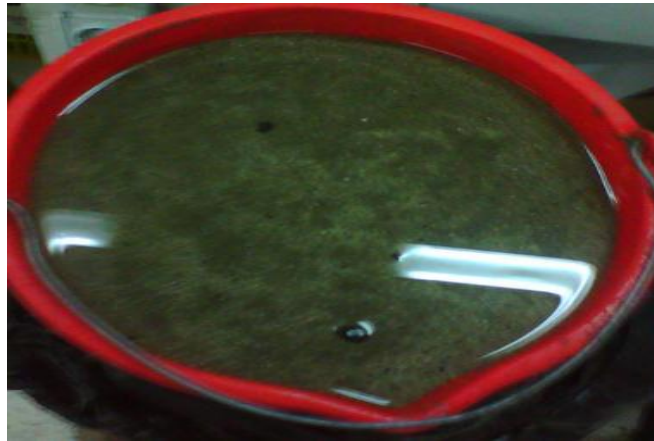


Photo III -02 : L'eau à l'état de saturation.

a. Principe :

L'essai de détermination de la teneur en eau consiste à placer un échantillon d'une masse connue dans l'étuve, après séchage la masse est pesée à nouveau et la teneur en eau est calculée.

b. Appareillage :

- Etuve
- Boîte de pétri
- Spatule
- Balance de précision ($\pm 10^{-2}$ g)

c. Mode opératoire :

- Numéroter et peser les boîtes de pétri vides et noter m_1 ;
- Peser une quantité m de sédiment humide, noter ($m_2 = m_1 + m$) ;
- Passer l'échantillon à l'étuve à une température de 105°C jusqu'au moment où il atteint un état hydrique sec ;
- Peser à nouveau l'échantillon de sédiment et noter m_3 .

d. Expressions des résultats :

Le calcul de la teneur en eau se fait par la relation suivante :

$$W_{sr}(\%) = (m_w/m_s * w_{sr}) * 100 \dots \dots \dots (\text{III.1})$$

Avec :

W (%) : La teneur en eau ;

m_w : La masse d'eau évaporée, calculée comme suit : $m_w = m_3 - m_2$;

m_s : La masse des grains solides (m_3)

III.2.1.2. La teneur en matière organique (MO) (Norme AFNOR NF P94-055) :

L'origine de la matière organique dans un sédiment marin est diverse, elle peut être soit d'origine autochtone (production primaire, débris des organismes ou micro-organisme), ou d'origine allochtone (les cours d'eaux, les retombées atmosphériques ou rejets agricoles, domestiques et industriels).

a. Principe de la méthode :

La teneur en matière organique est déterminée par la méthode de perte au feu, cette méthode consiste à placer un échantillon de sédiment sec pendant 02 heures dans un four à moufle à une température de 600°C, puis, la température est abaissée jusqu'à 50°C afin d'éviter l'humidification des échantillons, après la calcination, la teneur en matière organique est calculée (Djerad, C. 2010).

b. Appareillage :

- Four à moufle ;
- Balance de précision ;
- Creusets en porcelaine ;
- Pince.

c. Mode opératoire :

- Numéroté et peser les creusets vides et noter P1 ;
- Tarer la balance de précision ;
- Peser une quantité de sédiments P ;
- Placer les creusets dans un four à moufle pendant 02 heures à 600°C ;
- Baisser la température jusqu'à 50°C ;
- A l'aide d'une pince, retirer les creusets en évitant les exposer à un courant d'air afin d'éviter leurs contamination qui peut entraîner un biais des résultats ;
- Placer les creusets dans un dessiccateur afin d'absorber l'humidité ;

- Repeser les creusets et noter P2.



Photo III-03 : Les étapes principales de détermination de la teneur en MO.

d. Expression des résultats :

Le calcul de la teneur en matière organique se fait par la relation suivante :

$$\text{MO (\%)} = \frac{(P_i - P_f) * 100}{P_i} \quad \text{.....(III.2)}$$

Avec :

MO (%) : La teneur en matière organique ;

P_i = P₁ + P : Le poids initial du sédiment sec (g) ;

P_f = P₂ : Le poids de sédiment incinéré (g) ;

III.2.1.3. L'analyse de la fraction grossière (supérieure à 80 µm) (Norme AFNOR NF P94-056) :

La détermination de répartition des différentes classes granulométriques supérieures à 80 µm est un paramètre de nature qui se reporte à des caractéristiques intrinsèques qui ne varient pas dans le temps, ce paramètre est déterminé par l'analyse granulométrique.

a. L'analyse granulométrique

La granulométrie est une caractéristique nécessaire, non seulement pour la définition même du sédiment mais aussi pour la formulation des matériaux routiers (Tribout, 2010).

Pour la granulométrie par tamisage, la masse de matériau à tamiser M (en kg) doit être telle que :

$$M \geq 0,2 * D \dots \dots (III.3)$$

Avec :

D = diamètre du plus gros granulat en mm.

a. Principe :

Cette méthode consiste à faire passer un échantillon de sédiment à travers une série de tamis de mailles décroissantes emboîtés les uns sur les autres, ensuite peser le refus de chaque tamis et calculer le pourcentage pour enfin tracer une courbe granulométrique qui va permettre de caractériser la distribution granulaire des particules fines à grossières du matériau.

b. Mode opératoire :

- Etuver une quantité de sédiment à une température de 105° pendant 24h ;
- Après séchage, peser $m_1 = 1000g$;
- Rincer le sédiment sec dans un tamis de 80 μm pour éliminer la fraction fine ;
- Le refus du tamis de 80 μm est mis dans une boîte de pétri et remis à l'étuve pendant 24h à une température de 105° C ;
- Après séchage, on pèse le sédiment à nouveau et noter m_2 afin de calculer le taux de pélite (%) = $m_1 - m_2$;
- Faire passer le sédiment à travers une série de tamis de maille décroissante et tamiser à l'aide d'une tamiseuse de fréquence 45 Hertz pendant 10 minutes ;
- A la fin de tamisage, peser le refus de chaque tamis afin de tracer une courbe granulométrique.



Photo III-04 : Tamiseuse.

c. Expression des résultats :

La courbe granulométrique est tracée en diagramme semi-logarithmique avec :

- En abscisse, le logarithme de la dimension des ouvertures des tamis en valeurs croissantes ;
- En ordonnée, le pourcentage, en poids du matériau total de la fraction du sol dans les grains ont un diamètre moyen inférieur à celui de l'abscisse correspondante (**Plumelle et al, 2013**).

A travers cette analyse granulométrique on déterminera les paramètres suivants :

- Le D_{max} à 50 millimètres : c'est la dimension maximale des plus gros éléments contenus dans le sol, cette caractéristique permet de faire la scission entre les différentes classes des sols (A, B, C et D).

Cette caractéristique régit, en particulier, les possibilités pratiques de réaliser le mélange du sol avec les produits de traitement (**Corte et al, 2000**)

- Le tamisât à 0,08 millimètre : Cette caractéristique exprime la finesse du matériau, et d'évaluer par la suite leur sensibilité à l'eau.

- Le tamisât à 2 millimètres : permet de distinguer les sols à tendance sableuse, des sols à tendance graveleuse.

✓ Le coefficient d'uniformité

Le coefficient d'uniformité caractérise la répartition en taille des éléments qui composent un matériau de type sol (Belkacemi, 2015), il est calculé par la relation suivante :

$$C_u = d_{60} / d_{10} \dots \dots (III.4)$$

➤ Le coefficient de courbure

Calculée par la relation suivante :

$$C_c = d_{30}^2 / (d_{60} * d_{10}) \dots \dots (III.5)$$

Avec :

d10, d30 et d60, les diamètres pour lesquels les pourcentages de tamisât cumulés sont respectivement de 10%, 30% et 60%

En géotechnique, la connaissance de cette caractéristique fournit, dans le cas des matériaux granulaires une information qualitative sur les valeurs des dosages qui seront nécessaires pour atteindre le niveau de résistance visé (Bimbard et al, 2000).

III.2.1.4. L'analyse de la fraction fine (inférieure à 80µm) :

La teneur en particules fines peut être déterminée par trois paramètres :

III.2.1.4.1. Les limites d'Atterberg (Norme AFNOR NF P94-051) :

La consistance d'un sol fin varie avec sa teneur en eau (Plumelle et al, 2013), la délimitation des frontières de la consistance d'un sol fin a été l'idée du suédois Atterberg et qui est basée sur les variations des teneurs en eau qui indiquent les différents états de consistance d'un sédiment fin.

Ces limites sont :

-La limite de liquidité (w_L)

Elle est définie comme la valeur de la teneur en eau pour laquelle le sol passe de l'état liquide à l'état plastique, elle est déterminé à l'aide de la coupelle de Casagrande ou à l'aide du pénétromètre.



Figure III-03 : Coupelle de Casagrande.

-La limite de plasticité (w_p)

La limite de plasticité représente la valeur de la teneur en eau (%) pour laquelle le sol passe de l'état plastique à l'état solide, elle est déterminée par la méthode du rouleau. Ces deux limites permettent de déterminer l'indice de plasticité

▪L'indice de plasticité

L'indice de plasticité est défini par la différence entre la limite de liquidité et celle de plasticité, il représente le domaine situé entre l'état liquide et l'état solide, d'où la relation :

$$I_p = w_L - w_p \dots \dots (III.6)$$

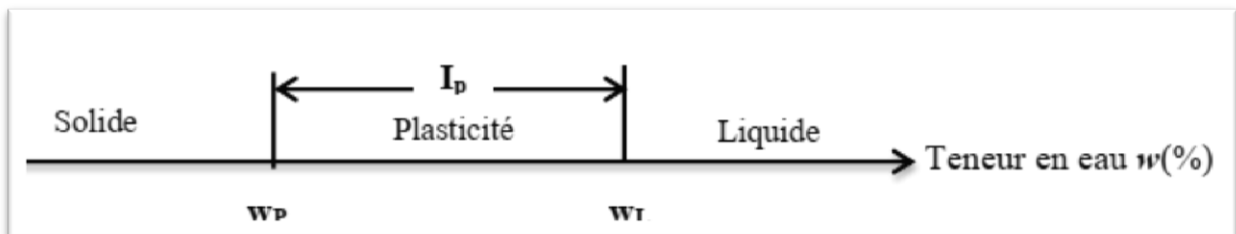


Figure III-04 : consistance d'un sol.

IV.2.1.4.2-Valeur au bleu de méthylène (VBS) (Norme AFNOR NF P94-068) :

Il représente la quantité de bleu de méthylène pouvant s'adsorber sur les surfaces externes et internes des particules du sol, ou autrement dit une grandeur directement liée à la surface spécifique du sol (Corte et al, 2000).

a- Le principe d'essai :

L'essai consiste à introduire successivement une solution de bleu de méthylène dans une suspension de matériau maintenue en agitation et à prélever périodiquement une goutte de la suspension que l'on dépose sur un papier filtre.

Dès qu'on remarque l'apparition des auréoles bleutées autour de la tâche, on considère que l'adsorption du bleu de méthylène sur les particules d'argiles est terminée.

b- Appareillage :

- Bécher ;
- Appareil agitateur ;
- Un dispositif de dosage ;
- Papier filtre ;
- Solution de bleu de méthylène ;
- Eau distillée ;

c- Mode opératoire :

- Tamiser un échantillon de sable à travers un tamis de 5mm ;
- Peser 60g ;
- Introduire l'échantillon dans un bécher de 3000 cm³ et ajouter 500 cm³ d'eau distillée,

Ces derniers sont mis en suspension et dispersé à l'aide d'un agitateur à ailettes (vitesse (700 ± 100) tr/min) pendant 10 minutes jusqu'à disparition visuelle de tout agglomérat de particules de sol dans la suspension ou de toute accumulation sur les bords du récipient (**Photo III-05.a**) ;

- A l'aide d'un dispositif de dosage, introduire 5 cm³ de bleu de méthylène et agiter à une fréquence de 400 tr/min (**Photo III-05.b**) ;

- Procéder l'essai de la tâche sur un papier filtre de la manière suivante :

- poser le papier filtre sur un support adapté non absorbant ;
- A l'aide d'une baguette de verre, prélever une goutte de suspension et la déposer sur le papier filtre, une tâche se forme composée d'un dépôt central de matériau coloré bleu sombre entouré d'une zone humide ;
- Dès qu'on remarque une apparition d'une auréole périphérique bleu clair, on dit que le test est positif (**Photo III-05.c**) ;
- À partir de ce moment, laisser se poursuivre l'adsorption du bleu dans la solution et effectuer des taches, de minute en minute, sans ajout de solution.

Remarque :

Dans le cas où, la tâche ne présente pas une auréole périphérique de bleu clair, l'injection de bleu de méthylène se poursuit jusqu'à l'apparition de cette dernière.

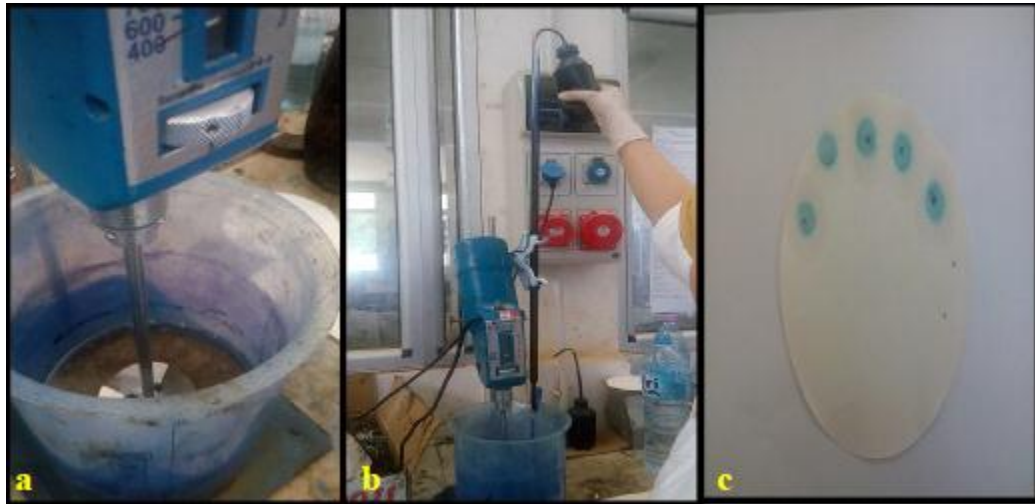


Photo III -05 : Les étapes principales de l'essai du bleu de méthylène.

d- Expression des résultats :

La VBS s'exprime en gramme de bleu pour 100 g de matériau

$$\text{VBS} = (B/m_0) * 100 \dots \dots (\text{III.7})$$

Avec :

B : la masse du bleu introduite $V \times 0.01$

m_0 : la masse sèche de prise d'essai.

IV.2.1.4.3- L'équivalent de sable (Norme AFNOR NF P18-598) :

Dans les techniques routières, la propreté d'un sédiment est l'une des caractéristiques essentielles afin d'obtenir un niveau élevé de qualité et une pérennité de l'ouvrage.

Le terme propreté veut dire l'absence des éléments indésirables tel que : les débris des organismes, les sels solubles, matières organiques mais surtout l'argile (**Companac, 1981**).

La détermination de la propreté du sable est fournie par l'essai équivalent de sable.

a. Principe de l'essai :

L'essai d'équivalent de sable consiste à placer un échantillon d'un sédiment sec dont le diamètre est inférieur à 05 mm dans une éprouvette contenant une solution lavante dont le rôle est de provoquer la floculation des particules fines.

A la fin de l'essai un dépôt de sédiment brut se forme au fond de l'éprouvette et un flocculat au-dessus.

b. Matériel utilisé :

- Tamis de 05 mm ;
- Solution lavante (solution de glycérine formaldéhyde et de chlorure de calcium) ;
- Eprouvette graduée avec 02 traits repères ;
- Balance de précision (± 0.1 g) ;
- Entonnoir ;
- Piston tare ;
- Réglet métallique ;
- Récipients ;
- Tube plongeur ;

c. Mode opératoire :

- Peser 120 g de sédiment sec dont le diamètre est inférieur à 05 mm ;
- A l'aide d'un entonnoir, introduire le sédiment dans l'éprouvette déjà remplie en solution lavante jusqu'au premier trait et secouer l'ensemble pendant 10 minutes ;
- Laisser l'éprouvette reposer quelques minutes ;
- Introduire le tube plongeur dans l'éprouvette, rincer les parois avec la solution lavante puis enfoncer le tube jusqu'au fond de l'éprouvette afin de remonter les particules fines ;
- Remplir jusqu'au deuxième trait de l'éprouvette avec la solution lavante ;
- Laisser la solution décanter 20 minutes ;
- Après 20 minutes, le sable brut se dépose au fond de l'éprouvette et au-dessus se dépose le flocculat (l'argile + les particules fines).

A l'aide d'un réglet métallique, on mesure les hauteurs suivantes :

Sable brut + flocculat = h1.

Sable brut seul = h2.

La hauteur du sable brut (h_2) est déterminée également par un piston lesté de 1 Kg, elle correspond à la longueur de la tige qui n'a pas pénétré dans l'éprouvette, la longueur totale (h_1) se mesure comme précédemment.

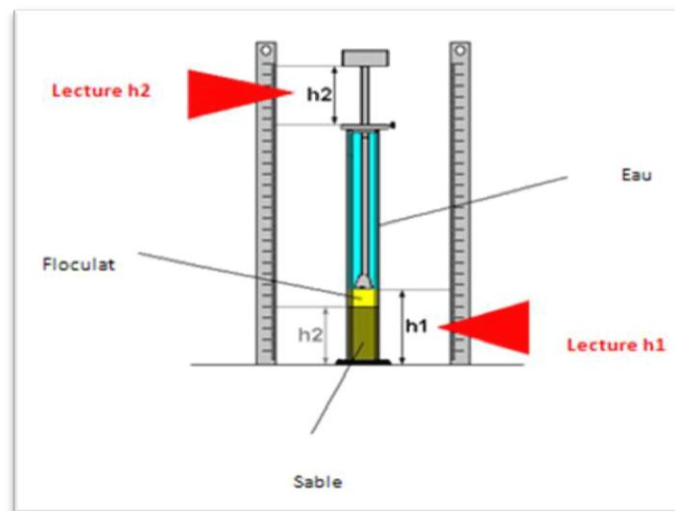


Figure III -05 : essai équivalent de sable.

d-Expression des résultats :

Selon la méthode de mesure des deux hauteurs, on distingue deux types d'équivalent de sable :

- Equivalent de sable visuel ESV (mesure avec un réglet)
- Equivalent de sable par piston ESP (mesure avec un piston).

On détermine l'équivalent de sable par la relation suivante :

$$\text{ES (\%)} = (h_2/h_1) * 100 \dots \dots (\text{III.8})$$

III.2.2. Les essais mécaniques

Les essais mécaniques ont été réalisés au niveau de CTPP.

III.2.2.1. Compactage d'un sédiment (AFNOR NF P 94 093) :

a. Définition :

Le compactage est l'ensemble des opérations mécaniques qui conduisent à accroître la densité en place d'un sédiment. Cette opération augmente la compacité d'un sol, donc resserrer la texture du matériau, réduit les possibilités de la déformation du terrain et améliorer sa capacité portante (**Costet et Sanglerat, 1981**).

L'évaluation d'aptitude de compactage d'un sédiment de dragage est effectuée à l'aide de l'essai de Proctor (**Achour, 2013**), il existe deux types d'essais de Proctor qui diffèrent selon l'énergie de compactage.

▪ **L'essai de Proctor normal**

Energie de compactage modérée pour remblais en terre (barrages en terre, digues,...).

▪ **L'essai de Proctor modifié**

Energie de compactage intense pour fondation de chaussées (les remblais et couche de forme).

b. Principe de l'essai de Proctor

L'essai de Proctor consiste à humidifier un sédiment à plusieurs teneurs en eau croissantes et le compacter selon un procédé et une énergie identique et normalisé afin de déterminer la masse volumique sèche du matériau (ρ_d), l'essai de Proctor doit être réalisé sur un matériau dont le diamètre maximal ne dépasse pas 20 mm.

A la fin de l'essai, on trace une courbe qui représente les variations de la masse volumique sèche en fonction de la teneur en eau [$\gamma_d=f(w)$], elle est appelée **courbe Proctor**.

c. Appareillage

- Tamis d'ouvertures de mailles carrées de dimensions nominales de 20 mm ;
- Moule Proctor : c'est un moule cylindrique, ouvrable en deux coquilles et fixé sur une base ;
- La dame de Proctor : elle est définie par son diamètre, sa masse et sa hauteur de chute.
- Règle à araser ;
- Balance de précision ;
- Des sacs hermétiques permettant de conserver la teneur en eau des échantillons ;
- Bacs d'homogénéisation pour préparation du matériau ;
- Spatule.
- Eprouvette ;
- Récipients ;
- Etuve ;
- Pinceau ;
- Eau.



Photo III-06 : Appareillage Proctor Normal.

d. Mode opératoire :

- Le matériau prélevé doit être séché à l'air ou dans une étuve à une température 50°C maximum jusqu'à un état hydrique sec ;
- Après le séchage, le matériau est passé par un tamis de 20mm et seul le tamisat est conservé pour l'essai ;
- On pèse 2500 g de sédiment pour la confection d'une seule éprouvette et on le met dans un bac ;
- Le volume de l'eau distillée est déterminé à partir de la teneur en eau de départ ($w = 04\%$) en utilisant la formule suivante $w(\%) = \frac{w_w}{w_s}$;
- A l'aide d'une éprouvette, humidifier le matériau et malaxer à la main jusqu'à l'obtention d'un mélange homogène ;
- Mettre le mélange dans des sachets hermétiques afin de conserver sa teneur en eau.
- Avant l'introduction de du matériau dans le moule :
 - Enlever la rehausse du moule de Proctor ;
 - Tarer la balance de précision ;
 - Peser l'embase du moule et noter P1 ;
 - Reposer la rehausse du moule ;
- Introduire alors une quantité de matériau pour que la hauteur de la première couche après compactage soit légèrement supérieure au cinquième de la hauteur du moule (**Photo III-07.a**)

▪ Compacter cette couche avec la dame en appliquant respectivement 25 coups par couche suivant **la figure III-07** et en répétant l'opération pour les autres couches (**Photo III-06.b**) ;

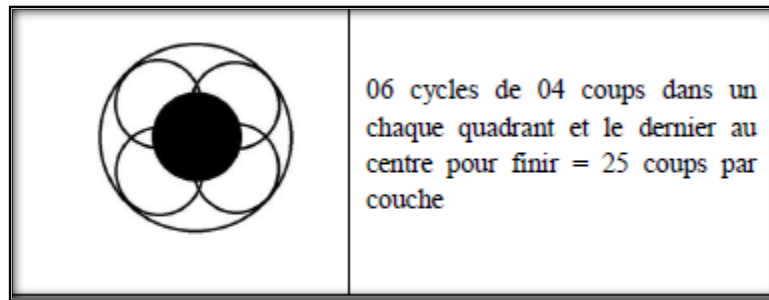


Figure III-06 : Schéma principe de la répartition des coups de dame par une couche.

▪ Après le compactage de la dernière couche, la rehausse est retirée, le sédiment doit être dépassé le moule d'une hauteur d'un centimètre au maximum ;

▪ Cet excédent est arasé soigneusement à partir du centre en évitant de créer des trous sur la surface arasée (**Photo III-07.c**) ;

▪ Après l'arasement, peser l'ensemble et noter P2 ;

▪ Extraire deux prises représentatives de l'échantillon l'une en haut et l'autre en bas ;

▪ Déterminer la teneur en eau de chaque prise ;

▪ Puis, on détermine la teneur en eau moyenne des deux prises (**w**) ;

Déterminer la masse volumique du matériau sec, celle-ci est exprimé par la relation suivante :

$$\rho_d = [(P_2 - P_1) / ((1 + w) V_{\text{moule}})] \dots \text{(III.9)}$$

Avec :

▪ ρ_d : la masse volumique sèche de sédiment en (t/m³) ;

▪ P1 : le poids du moule vide en (g) ;

▪ P2 : le poids du moule et sédiment humide en (g) ;

▪ V_{moule}: volume du moule en (cm³) ;

▪ Ces opérations sont répétées 03 fois, en augmentant à chaque essai la teneur en eau de 2% de l'échantillon de départ et à la fin de chaque essai on nettoie le moule.



Photo III-07: les étapes principales de l'essai Proctor modifié.

e. Expressions des résultats

On trace la courbe Proctor [$\rho_d=f(w)$] avec :

- En abscisse : la teneur en eau w ;
- En ordonnée : la masse volumique sèche du matériau ρ_d .

Cette courbe a pour but de déterminer les caractéristiques optimales de W_{OPM} Proctor (W , $\rho_{d\text{ opm}}$).

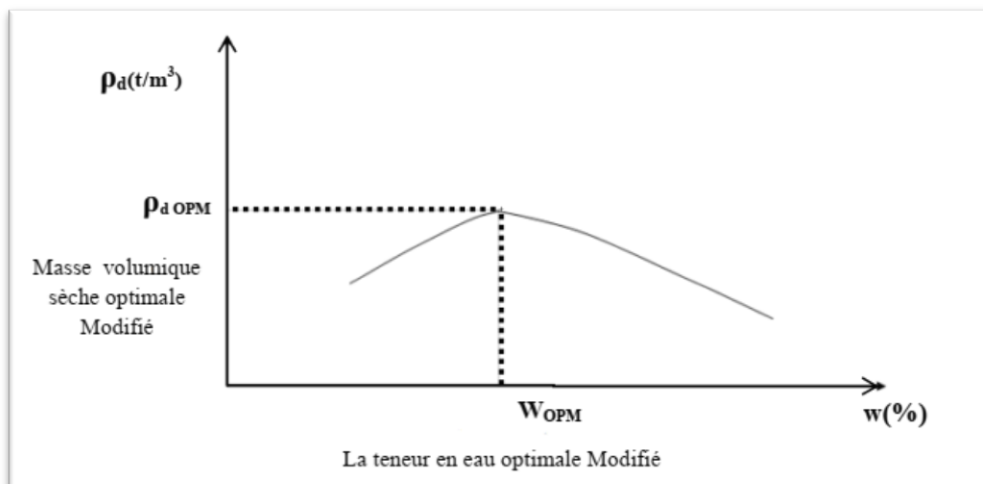


Figure III-08 : Courbe Proctor.

III.2.2.2. L'essai de friabilité de sable (AFNOR NF P18- 576) :

a. Principe de l'essai

L'essai de friabilité de sable consiste à mesurer la quantité de sable inférieur à 0.1 mm produite, en soumettant les sables, écrêtés à 2 ou 4 mm, à l'abrasivité de billes, en présence de l'eau dans un cylindre en rotation (Plumelle et al, 2013).

b. appareillage

- Appareil Micro-Deval
- Tamis de 0.2 mm et 2 mm.
- Charge broyante constituée de billes sphériques en acier de diamètre :
 - 30 mm
 - 18 mm
 - 10 ± 0.5 mm.
- Etuve.
- Bacs.

c. Mode opératoire

- Tamiser par voie humide le matériau sur le tamis 0.2 mm et 2 mm ;
- Sécher à l'étuve pendant 24h à une température de 105°C ;
- Homogénéiser et peser l'échantillon pour un essai qui doit être de 500 g (± 2 g) ;
- Préparation de la charge broyante :
 - Prendre 9 billes de 30 mm de diamètre, ajouter 11 billes de 18 mm de diamètre et compléter par des billes de 10 mm de diamètre jusqu'à l'obtention d'une masse de $2500\text{g} \pm 4\text{g}$ (**Photo III-08.a**).
- Introduire la charge dans le cylindre d'essai, puis les 500g de matériaux préparé ;
- Ajouter 2.5 l de l'eau (**Photo III-08.b**) ;
- Mettre le cylindre en rotation à la vitesse de 100 tr/min ± 5 tr/min pendant 15 minutes (**Photo III-08.c**)
- Après 15 minutes, verser lentement la totalité du contenu du cylindre sur deux tamis superposés de 08 mm et 0.1 mm ;
- Laver l'ensemble sous jet jusqu'à eau claire, puis enlever le tamis de 08 mm ;
- Sécher le refus au tamis à l'étuve à 105°C ;
- Tamiser à sec le refus à un tamis de 0.1 mm ;
- Peser le refus.



Photo III-08 : Les étapes principales de l'essai de friabilité de sable.

Expression des résultats

Le calcul de coefficient de friabilité est donné par la relation suivante :

$$\text{FS} = (m/M) * 100 \dots \dots (\text{III.10})$$

Avec :

M : Masse de l'échantillon en g.

m : masse des éléments inférieur à 0.1 mm en g.

III.2.2.3. Résistance au cisaillement (AFNOR NF P 94-071-1) :

On définit la résistance au cisaillement comme la contrainte de cisaillement maximale que le sol peut supporter, il existe deux principaux types d'essais au laboratoire utilisés pour déterminer la résistance au cisaillement :

- Essai de cisaillement direct ou boîte de Casagrande ;
- Essai triaxial.



Photo III-09: boîte de cisaillement.



Photo III-10 : appareil triaxial.

Dans notre étude, on va détailler l'essai de cisaillement direct.

a. But de l'essai

L'essai de cisaillement permet d'une part de tester la résistance d'un sol donné et d'autre part, il permet de tracer la courbe intrinsèque du sol étudié, et de déterminer son **angle de frottement interne ϕ** et sa **cohésion C** , ces deux derniers paramètres sont utilisés pour le dimensionnement des fondations et le calcul de coefficient de sécurité FS à la rupture des talus.

$$\tau = c + \sigma \times \tan \phi \quad \dots\dots(III.11)$$

Avec

τ : contrainte au cisaillement, σ : Contrainte appliqué à l'éprouvette

C : Cohésion , ϕ : Angle de frottement interne.

➤ Les modalités de réalisation de l'essai

▪Essai drainé et non drainé

1. Essai drainé

Lorsque le système de drainage est mis en communication avec l'atmosphère et la vitesse d'application de déviateur de contrainte étant suffisamment faible pour qu'une interstitielle ne se développe au sein de l'éprouvette, l'essai est dit **drainé**.

2. Essai non drainé

Le drainage étant fermé, aucun échange avec l'extérieur n'est possible, l'essai est dit **non drainé**.

▪Essai consolidé et non consolidé

1. Essai consolidé

Lorsqu'on applique une contrainte verticale sur l'éprouvette et le système de drainage est ouvert jusqu'à la dissipation complète de pression interstitielle, on dit que l'essai est **consolidé**.

2. Essai non consolidé

Si, en revanche, le système de drainage est fermé, on commence tout de suite à faire croître la contrainte verticale, l'essai est dit **non consolidé (Léreau, 2006)**

Selon les différentes modalités de réalisation de l'essai, différents types d'essais :

UU : Essai non consolidé drainé

CU : essai consolidé non drainé

CD : consolidé drainé

c. Principe de l'essai

L'essai s'effectue sur une éprouvette de sol de forme cylindrique, dont la teneur en eau et la densité est connue, placée dans une boîte de cisaillement constituée de demi-boîtes indépendantes qui peuvent se déplacer horizontalement l'une par rapport à l'autre. On applique une force verticale donnée sur l'échantillon jusqu'à la compression désirée, puis une force horizontale sur la partie inférieure de la boîte pour permettre le cisaillement.

d. Appareillage :

L'appareillage spécifique à l'essai de cisaillement (AFNOR, 1994):

- Le bâti.
- La boîte de cisaillement.
- Le dispositif d'application de l'effort normal sur l'éprouvette.
- Le dispositif produisant le déplacement relatif horizontal entre les deux demi-boîtes.
- Le système de mesurage des efforts, des déplacements et du temps.

L'essai de cisaillement direct est réalisé selon la norme AFNOR NF P 94-071-1 selon les étapes suivantes :

d.1. Préparation de l'éprouvette :

- Peser 300g de sable ;
- Peser 18.9 ml d'eau, ce volume est obtenu à partir de la formule suivante :

$$V = m * W_{OPM} \dots\dots(III.12)$$

Avec :

V : volume d'eau

M : masse de sédiment = 300g

W_{OPM} : la teneur en eau optimale de notre sable.

- Confectionner des éprouvettes de sol dont la hauteur est telle que :

$$6 d_{max} \leq h \leq L/2 \dots\dots(III.13)$$

Avec :

H : la hauteur de l'éprouvette (mm).

L : diamètre du coté intérieur de la boîte de cisaillement de section droite.

D_{max} : La dimension maximale des particules constituant le matériau, on prend en considération :

- $d_{max} \leq 5\text{mm}$ dans le cas de la boîte de 60 mm de côté.
- $d_{max} \leq 8\text{mm}$ dans le cas de la boîte de 100 mm de côté.

▪ Tailler les éprouvettes (**photo III-11.a**) de telle sorte que les dimensions de la section cylindrique de l'éprouvette soit ajustée au mieux à celles de la boîte et que la hauteur(h) en mm soit telle que :

$$20 \leq h \leq L/2 \quad \dots(\text{III.14})$$

Placer une plaque drainante dans le fond de la demi-boîte inférieure ;

▪ Introduire l'éprouvette dans les deux demi-boîtes solidarisiées au préalable en s'assurant que le plan de glissement la partage en deux parties sensiblement égales.

d.2. Phase de saturation et consolidation :

- Remplir le châssis avec de l'eau déminéralisé ;
 - Placer la boîte de cisaillement contenant l'éprouvette dans le châssis étanche fixé sur le bâti (**photo III-11.c**) ;
 - Placer le piston munie de sa plaque drainante sur l'éprouvette (**photo III-11.d**) ;
 - Laisser reposer 24h avant l'application de l'effort ;
 - Fixer le système de mesure de l'effort de cisaillement horizontal (T) et noter la valeur d'origine du capteur de l'effort ;
 - Régler la position du capteur de mesure du déplacement relatif horizontal entre les deux demi-boîtes et noter la valeur originale ;
 - Positionner le capteur de mesure du déplacement vertical du piston par rapport à un repère fixe et noter la valeur d'origine ;
 - Appliquer sur la face supérieure de l'éprouvette un effort vertical (N) maintenant constant durant la durée de l'essai ;



Photo III-11 : Les étapes principales de l'essai de cisaillement direct.

▪ Mesurer le déplacement vertical du piston δh en fonction du temps, pendant 1 heure jusqu'à stabilisation, cette dernière est considérée atteinte lorsque la courbe ($\delta h=f(\text{temps})$) a la forme comme l'indique la (**Figure III-09**), cette courbe qui permet de déterminer t_{100} ;

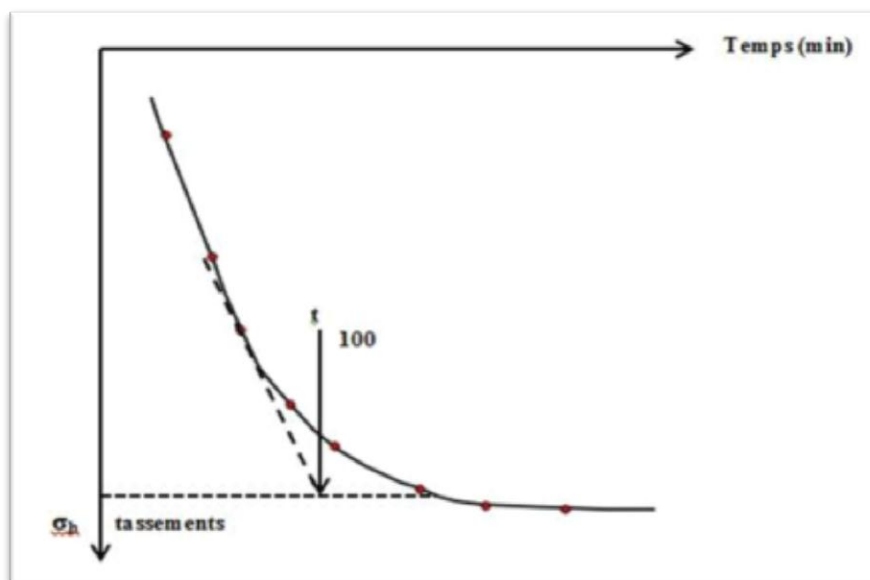


Figure III-09 : détermination de la fin de consolidation d'une éprouvette dans la boîte de cisaillement.

* Phase de cisaillement

▪ Déterminer à l'issue de la phase de consolidation, la vitesse maximale de cisaillement par la relation suivante :

$$V_{\max} = 125 / t_{100} \dots \dots (III.15) \quad \text{Avec } V_{\max} \leq 25$$

Avec :

t₁₀₀ : la durée conventionnelle de consolidation de l'éprouvette sous un effort vertical (min).

- Libérer le système de solidarisation des deux demi-boîtes ;
- Supprimer le contact entre les deux demi-boîtes en agissant sur la vis de la boîte supérieure ;
- Produire un cisaillement dans l'éprouvette selon le plan horizontal de glissement des deux demi-boîtes l'une par rapport à l'autre en leur imposant un déplacement relatif σ_1 à une vitesse constante $V \leq V_{\max}$;
- Arrêter le cisaillement si :
 - La variation de l'effort (T) pour un intervalle de mesure correspondant à un déplacement horizontal δl de 0.5mm, est inférieure à 1/100 de l'effort maximal.
 - Le déplacement horizontal δl a atteint au moins 5mm.
 - Peser l'éprouvette et noter les particularités du plan de rupture ;
- Déterminer sa teneur en eau.
- La lecture des résultats se fait simultanément à chaque augmentation de déplacement horizontal d'environ 0.2 mm jusqu'à 2 mm, puis tous les 0.5mm au-delà.

f. Expression des résultats :

Il faut calculer les paramètres suivants :

- La contrainte normale effective σ' est calculée par l'expression suivante :

$$\sigma' = N / A \dots \dots (III.16)$$

Avec :

σ' : contrainte normale effective.

N : L'effort vertical (N)

A: l'aire de la section transversale de l'éprouvette avant le cisaillement (cm²).

• **La contrainte de cisaillement τ** est calculée par l'expression suivante :

$$\tau = T / A \dots \dots (III.17)$$

Avec :

τ : La contrainte de cisaillement.

T : l'effort horizontal de cisaillement (N).

A : l'aire de la section transversale de l'éprouvette avant le cisaillement (cm²).

Tracer la droite de résistance au cisaillement τ en fonction de la contrainte normale effective σ' afin de déterminer les paramètres de résistance au cisaillement C qui correspond au point d'intersection entre la droite et l'ordonnée et ϕ à partir de la pente de la droite.

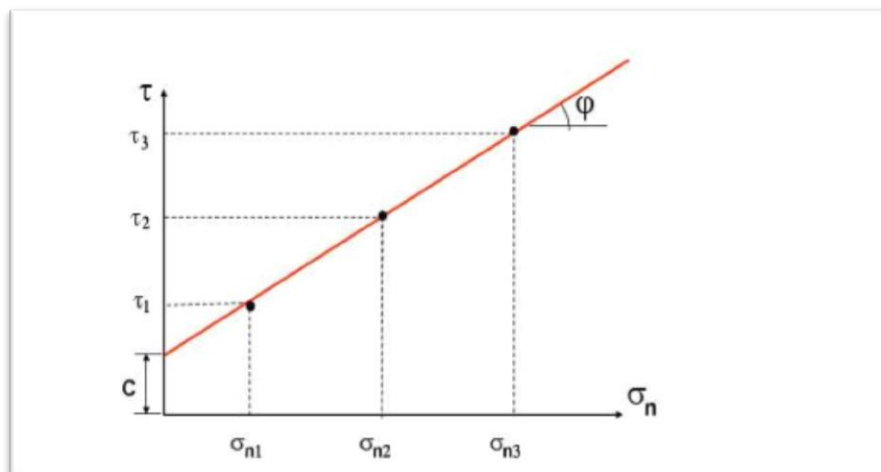


Figure III-10: Courbe des contraintes de cisaillement en fonction des contraintes normales.

III.2.2.4. L'essai Oedométrique (AFNOR NF P 94 -090-1) :

a. Principe de l'essai

L'essai consiste à placer une éprouvette de matériau dans une enceinte cylindrique rigide (oedomètre), un dispositif applique un effort axial vertical sur l'éprouvette, l'éprouvette est drainée en haut et en bas et maintenue saturée durant toute la durée de l'essai. Cette éprouvette est soumise à un chargement par paliers croissant et décroissant que l'on

maintient constant pendant les 24 heures, les variations de la hauteur des éprouvettes sont mesurées pendant l'essai en fonction de la durée d'application de la charge.

b. Appareillage :

L'appareil œdométrique comporte (**Figure III-11**) :

0- Un bâti métallique permettant par l'intermédiaire d'un levier d'appliquer au piston les pressions de consolidation désirées.

1- Eprouvette de matériaux.

2- Une cellule ou enceinte œdométrique de consolidation : moule cylindrique qui empêche toutes déformations radiales lors l'essai.

3- Disque drainant inférieur

4- Disque drainant supérieur, ces deux disques permettant le drainage de l'échantillon encours d'essais et éviter au sein de matériaux l'apparition de pression interstitielle.

5- Un couvercle pour répartir l'effort de compression sur la surface totale de l'échantillon.

6- Réservoir

7- Liquide d'imbibition

8- Un système de mesure

9- Effort N sur l'éprouvette (**Chiki, K. 2010**)

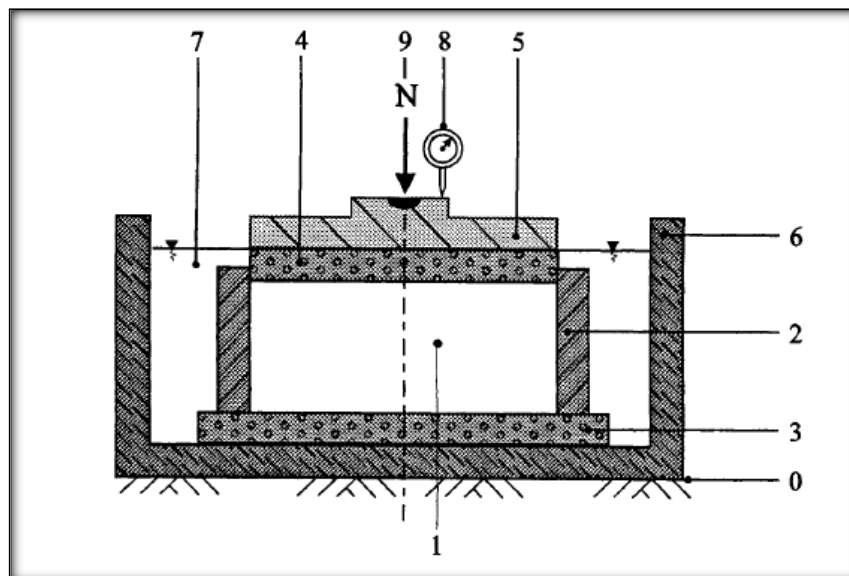


Figure III-11 : principe de l'œdomètre (**Chiki, K. 2010**).

c. Mode opératoire :

- Après la confection de l'éprouvette, placer la dans la cellule entre deux pierres poreuses (**Figure III-12.a**) ;
- Placer l'ensemble sur le bâti (**Figure III-12.b**);
- Appliquer des charges croissantes toutes les 24 heures (**Figure III-12.c**);
- Procéder à un déchargement par paliers stabilisés de contraintes décroissants (La durée des paliers de chargement et de déchargement est de 24 heures) ;
- Pour chaque palier, effectué sur un comparateur fixé à l'appareil des lectures de tassements ;

La durée de l'essai pour une seule éprouvette peut atteindre 14 jours ;

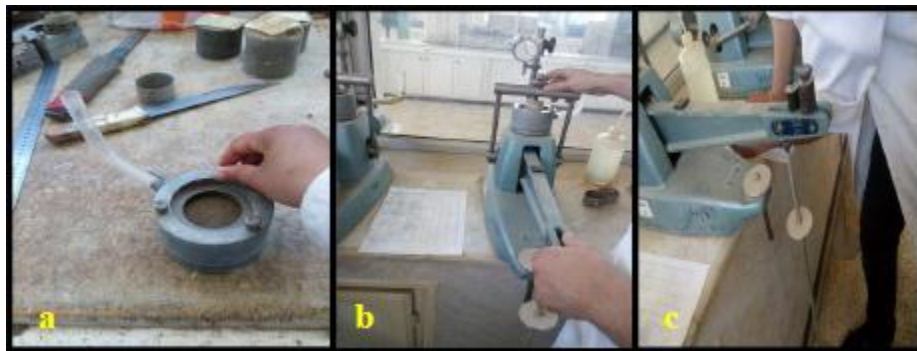


Photo III-12 : Les étapes principales de l'essai œdométrique.

d. Expressions des résultats :

- Graphique

Cet essai permet de tracer une courbe de compressibilité (œdométrique) [$e, \log(\sigma_v)$] donnant la variation de l'indice des vides de sédiments en fonction de la contrainte effective verticale appliquée sur l'éprouvette.

- Détermination des paramètres de compressibilités

- Indice de compression C_c** : il représente la pente de la droite vierge.
- Indice de gonflement C_g** : C'est la pente moyenne (au signe près) d'un cycle déchargement-recharge.
- La pression de pré consolidation P_c** : elle correspond à la contrainte effective maximale sous laquelle le sol s'est déjà consolidé au cours de son histoire géologique.

Chapitre IV :

Résultats et

Discussions

IV.1. L'identification des sédiments de la passe d'entrée du port de Sidi Fredj

IV.1.1. Les essais physiques

IV.1.1.1. La teneur en eau à la saturation W_{sr}

D'après les calculs, la valeur de la teneur en eau est 36.46 %, cette valeur s'avère importante, ceci pourrait être expliquée par l'influence de la profondeur du prélèvement, le mode de prélèvement (benne) la nature des sédiments (leur capacité de rétention d'eau est fonction, par exemple, des teneurs en fines et en M.O.) et la destruction des particules organiques ou éléments volatils lors de l'étuvage des sédiments.

	boite de pétri vide(g)	sédiment humide(g)	sédiment + boite de pétri (g)	après séchage (g)
échantillon 01	124,73	300	424,73	346,07
échantillon 02	125,67	299,99	425,66	346,37
échantillon 03	129,33	300	429,33	346,87

Tableau IV-01 : poids du sédiment humide et sec permettant le calcul de W_{sr} .

IV.1.1.2. La teneur en matière organique

Les résultats de cet essai sont reportés dans le **tableau IV-02**

N° de creuset	Poids de creuset vide (g)	Masse de sédiment (g)	Creuset + sédiment après séchage (g)	Teneur en MO (%)
1	61.9292	5.0019	66.7484	3.65
2	63.1215	5.0005	67.6375	9.69
3	64.2014	5	68.9146	5.74
4	59.9575	5.0019	64.6755	5.68

Tableau IV-02 : Résultats de l'essai de détermination de la teneur en MO.

Moyenne de la teneur en MO = 6.19%

La concentration de la matière organique dans les sédiments de la passe d'entrée du port de Sidi Fredj est d'environ 6%, ce taux est similaire à celui trouvé par l'étude faite par **Azrarak et Beggar** en 2013, par contre la même étude a trouvé que le taux de la MO

augmente dans les bassins 01 et 03 et en particulier à l'entrée du bassin 02 où le taux est estimé à 11.54%.

En se basant sur le guide GTR, on peut déduire que notre sédiment appartient à la classe F1, la sous classe F 11.

IV.1.1.3. L'analyse de la fraction grossière

La granularité est l'un des premiers paramètres géotechniques qui permet la classification d'un matériau, ce paramètre est fourni par l'analyse granulométrique.

Les résultats obtenus de l'essai granulométrique sont reportés dans le **tableau IV-03**, ces résultats ont permis de tracer la courbe granulométrique (**Figure IV-01**)

Tamis (µm)	masse (g)	% de refus	cumulés décroissants(%)
2000	0,4	0,04	99,96
1600	0,19	0,019	99,941
1400	0,25	0,025	99,916
1250	0,23	0,023	99,893
1000	0,62	0,062	99,831
800	1,77	0,177	99,654
630	2,99	0,299	99,355
500	5,86	0,586	98,769
400	10,3	1,03	97,739
315	24,48	2,448	95,291
250	38,5	3,85	91,441
200	184,7	18,47	72,971
180	67,93	6,793	66,178
160	375,69	37,569	28,609
140	105,3	10,53	18,079
100	122,39	12,239	5,84
80	16,29	1,629	4,211
<80	2,47	0,247	3,964

Tableau IV-03 : Résultats de l'analyse granulométrique.

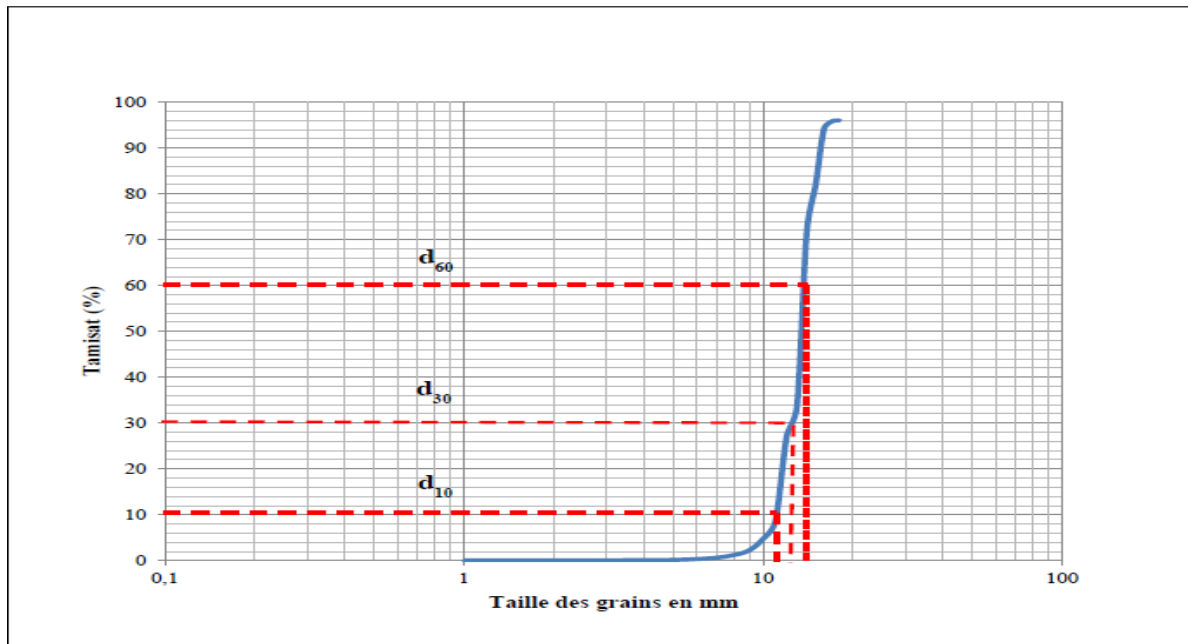


Figure IV-01 : Courbe de l'analyse granulométrique.

D'après les résultats de cet essai qui sont reportés dans le **tableau IV-04**, on remarque que notre échantillon présente une forte teneur en particule dont le diamètre est supérieur à 18 mm, contrairement au pourcentage des particules fines dont le diamètre est inférieur à 8mm qui est d'environ 0.25%.

Selon la norme NF EN12620 relative aux granulats pour béton (**AFNOR, 2008b**), notre sédiment est classé dans la partie « passant à 2 mm : donc on les utilise à 100 % aux matériaux de construction »

Le coefficient d'uniformité (C_u) et le coefficient de courbure (C_c) calculés à l'aide de la courbe granulométrique (**Figure IV-01**) permettent d'apprécier qualitativement la forme de la courbe, généralement un $C_u < 2$ reflète une granulométrie serrée ou uniforme (**Desodt et Reiffsteck, 2015**) et $C_c > 2$ témoigne d'une granulométrie variée ou étalée, d'autre part, une valeur de $C_c < 1$ indique une grandes quantité de particules fines par contre $C_c > 3$ renseigne sur la présence d'éléments grossiers.

En se basant sur la classification LCPC des sols grenus et sachant que notre sédiment présente une teneur en particules fines inférieures à 05%, un C_c égal à 1.1651 et un C_u égal à 1.35, on déduit que notre sable est propre, mal gradué.

Paramètres	Résultats
D_{max}	2 mm
Tamisât à 18 mm	96%
Tamisât à 8 mm	0.25%
D_{10}	0.1303
D_{30}	0.16342
D_{60}	0.17591
C_u	1.3500
C_c	1.1651

Tableau IV-04 : les paramètres granulométrique.

IV.1.1. 4 l'analyse de la fraction fine

a- Les limites d'Atterberg

Les limites d'Atterberg ainsi que l'indice de plasticité de sédiment de la passe d'entrée du port de Sidi Fredj sont indéterminés en raison de la faible teneur en particules fines(0.25%).

b-La valeur de bleu de méthylène VBS

Le résultat de l'essai de la VBS des sédiments de la passe d'entrée de Sidi Fredj est représenté dans le **tableau IV-06** :

Masse sèche de sédiment	$m_0 = 60g$
Quantité totale de la solution de colorant ajouté	$B = 5ml \pm 0.01$
Valeur au bleu de méthylène (g de colorant/kg)	$VBS = 0.083$

Tableau IV-05: Résultats de la VBS.

La valeur de bleu de méthylène obtenue est inférieure à 0.1, selon la classification adopté par le GTR, représenté dans le **tableau IV-06**, cette valeur indique que notre sable est insensible à l'eau, cette caractéristique est vérifiée par le tamisât de 80 μm qui est inférieure à 12%.

VBS (g/ 100g)	Type de sol
0.1	Seuil en dessous duquel on peut considérer que le sol est insensible à l'eau Ce critère doit cependant être complété par la vérification du tamisât à 80 μm qui doit être $\leq 12\%$.
0.2	Seuil à partir duquel apparaît la sensibilité à l'eau
1.5	Seuil distinguant les sols sablo-limoneux des sols sablo argileux
2.5	Seuil distinguant les sols limoneux peu plastiques des sols ; limoneux de plasticité moyenne
6	Seuil distinguant les sols limoneux des sols argileux
8	Seuil distinguant les sols argileux des sols très argileux.

Tableau IV-06 : Classification GTR des sols selon la VBS.

c-L'équivalent de sable

En 1978, la classification RTR a retenu le paramètre équivalent de sable comme un paramètre permettant l'évaluation de la propreté de sable, dès que la VBS est introduite, le GTR a considéré l'ES comme une valeur de référence, cette valeur n'est utilisée que pour se familiariser à la propreté du sable (Corte et al, 2000).

Les résultats de la détermination de la valeur d'équivalent de sable ES sont représentés dans le **tableau IV-07**:

Type de mesure	Visuel			Par piston		
Eprouvette	1	2	3	1	2	3
Hauteur 1 (cm)	11,35	11,5	12	11.35	11.5	12
Hauteur 2 (cm)	11,1	11.4	11.8	10.65	10.8	11
ES (%)	97,797	99,130	98,333	93,833	93,913	91,667
ES moyen (%)	98,420			93,137		

Tableau IV-07 : Résultats de l'essai équivalent de sable ES.

Les valeurs de l'équivalent de sable visuel et par piston sont presque similaires, d'après la classification reportée dans le **tableau IV-08**, on déduit que les sédiments de lapasse d'entrée du port de Sidi Fredj sont des sable très propres, cette particularité fournit à la chaussée une grande stabilité.

Valeur de ES (%)	Qualité de sable
ES<65	sable argileux
65<ES<75	sable légèrement argileux
75<ES<85	Sable propre à faible proportion de fines argileuses
ES>85	Sable très propre

Tableau IV-08: Classification de la qualité du sable selon la valeur de l'ES.

Conclusion

L'indice de plasticité, la valeur de bleu de méthylène ainsi que la valeur d'équivalent de sable sont des paramètres permettant de déterminer la teneur en particules fines d'un matériau, selon ces trois paramètres, nous avons pu conclure que les matériaux de la passe d'entrée du port de Sidi Fredj sont de nature sableuse propre présentant une teneur très faible en particules fines.

Ce résultat pourrait être interprété par l'agitation au niveau de la passe d'entrée du port de Sidi Fredj qui favorise la décantation des particules plus ou moins grossières alors que les particules fines sont déposées à l'intérieur des bassins où l'agitation est réduite

IV.1.2- Les essais mécaniques

IV.1.2.1L'essai Proctor

Les résultats de l'essai Proctor modifié réalisé dans le but de déterminer la masse volumique sèche optimale et la teneur en eau optimale de notre sédiment sont reportés dans le tableau suivant :

N° essai	1	2	3
Eau ajoutée	4%	6%	8%
poids Embase vide (g)	3005	3005	3005
volume du moule	924,16	924,16	924,16
Poids Embase + sol humide (g)	4385	4451	4471
poids sol humide (g)	1380	1446	1466
Poids sol sec (g)	1326,92	1364,15	1357,4
densité du sol	1,44	1,470	1,46
Poids de bac vide (g)	656	656	662
Poids sol humide (g)	1184	1272	1235
Poids sol sec + bac (g)	1163,8	1237,1	1191,9
Poids de l'eau (g)	20,2	34,9	43,1
Poids de sol sec (g)	507,8	581,1	529,9
Teneur en eau %	3,98	6,01	8,13

Tableau IV-9 : Résultats de l'essai Proctor modifié.

A l'issu des résultats du tableau, on a pu tracer la courbe Proctor qui représente les variations de la masse volumique sèche en fonction de la teneur en eau ($\rho_d=f(w)$), à partir de cette courbe (**Figure IV-02**), on a déterminé les caractéristiques de compactage (ρ_{dOPM} , W_{OPM}) à partir du maximum de la courbe, ce maximum correspond à **l'optimum Proctor Modifié**.

On remarque une augmentation de la masse volumique sèche en fonction de la teneur en eau, cette augmentation s'arrête à l'optimum Proctor, à partir de cet optimum masse volumique sèche diminue.

Ces deux paramètres sont important sont utilisés selon le GTR pour la classification mais aussi ils renseignent sur les conditions de travail sur le chantier.

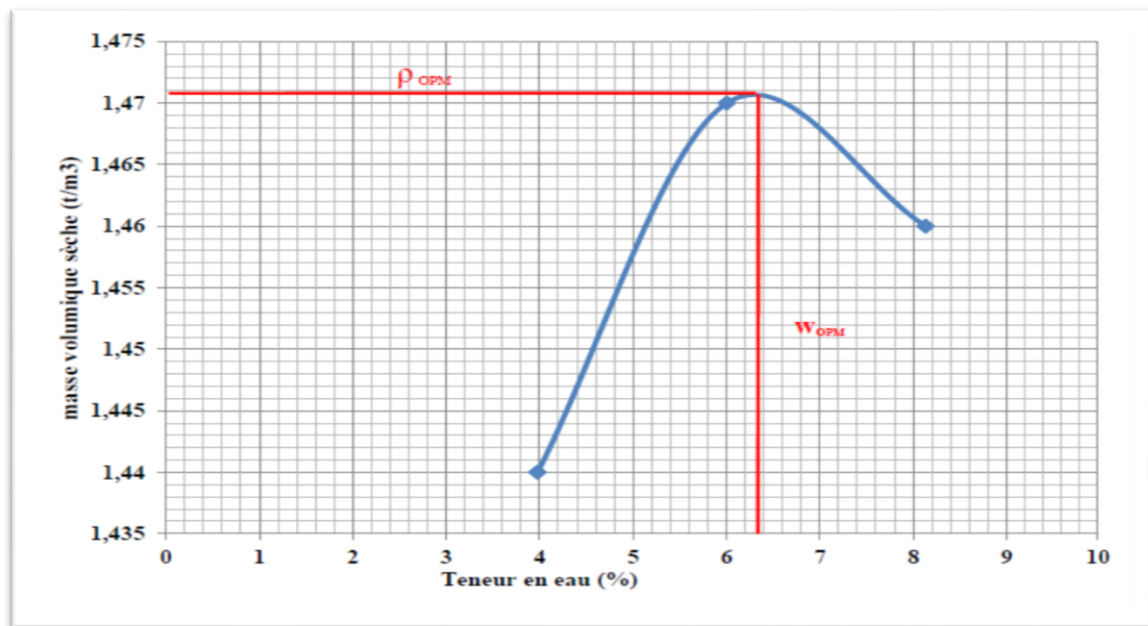


Figure IV- 02 : Courbe Proctor.

IV.1.2.2. Essai de friabilité de sable :

L'indice de friabilité de sable **FS** est pris en considération pour juger la possibilité ou non de l'utilisation du matériau étudié en couche de forme. Il permet de distinguer les matériaux dont la fraction granulaire est susceptible de résister au trafic et qui de ce fait peuvent être utilisés tels quels dans la construction des couches de forme, de ceux qui risquent.

La masse de l'échantillon	$M = 500 \text{ g}$
La masse des éléments inférieurs à 0.1mm	$m = 139 \text{ g}$
Indice de Friabilité de Sable FS	$FS = (m/M) \cdot 100 = 27.8 \%$

Tableau IV-10 : résultat de l'essai Friabilité de Sable (FS).

Les seuils retenus pour la distinction entre les sols résistants au trafic et les sols non résistants sont :

FS > 60 % : granulométrie fine et uniforme, constitué de grains friables sous l'action du trafic qui pourrait se transformer en éléments fins sensibles à l'eau ;

FS ≤ 60 % : granulométrie fine et uniforme, constitués de grains résistants au trafic.

L'indice FS de notre sédiment est de **27.8%** donc notre sédiment est résistant au trafic et peuvent être utilisé en couche de forme après quelques corrections et traitements.

IV.1.2.3. La résistance au cisaillement rectiligne

Dans la présente étude, on a réalisé un essai de type Consolidé Drainé CD avec une vitesse de cisaillement de 0.0032 mm/mm.

Avant d'effectuer l'essai de cisaillement, les éprouvettes ont subi une consolidation drainée pendant 24h, et cela en appliquant pour chaque échantillon une charge de 0.5 bars, 1bars et 2 bars respectivement. A la stabilisation, les forces horizontales ont été appliquées sur les trois échantillons.

La figure suivante réalisée par le logiciel sol tests présente les résultats obtenus lors de cet essai.

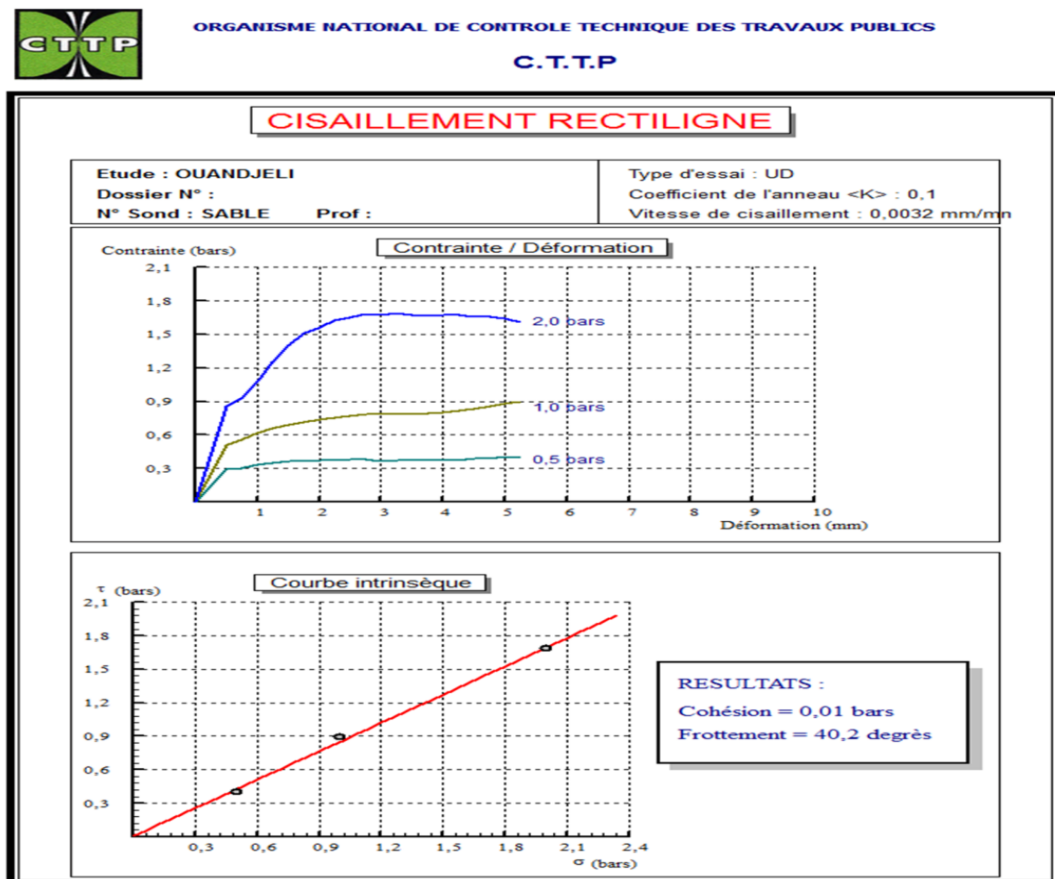


Figure IV-03 : Les différents résultats de l'essai de cisaillement rectiligne.

La courbe intrinsèque des sédiments de la passe d'entrée du port de Sidi Fredj nous a permis de déterminer l'angle de frottement interne ϕ qui est de 40.2° et sa cohésion C qui est de 0.01 bars comme indiqué sur la même figure.

L'allure de la courbe intrinsèque est linéaire, mais les résultats montrent que nous avons affaire à un sol incohérent (Cohésion C très faible), par contre notre sédiment est très résistant car son angle de frottement interne ϕ est supérieur à 20° .

IV.1.2.4. Essai de compressibilité

L'objectif de l'essai est d'étudier la compressibilité des matériaux de port de Sidi Fredj à travers une courbe : indice des vides - contrainte effective (Figure IV-04) réalisée par le logiciel sol tests.

Le tableau (Tableau IV-11) résume l'ensemble des caractéristiques de compressibilité

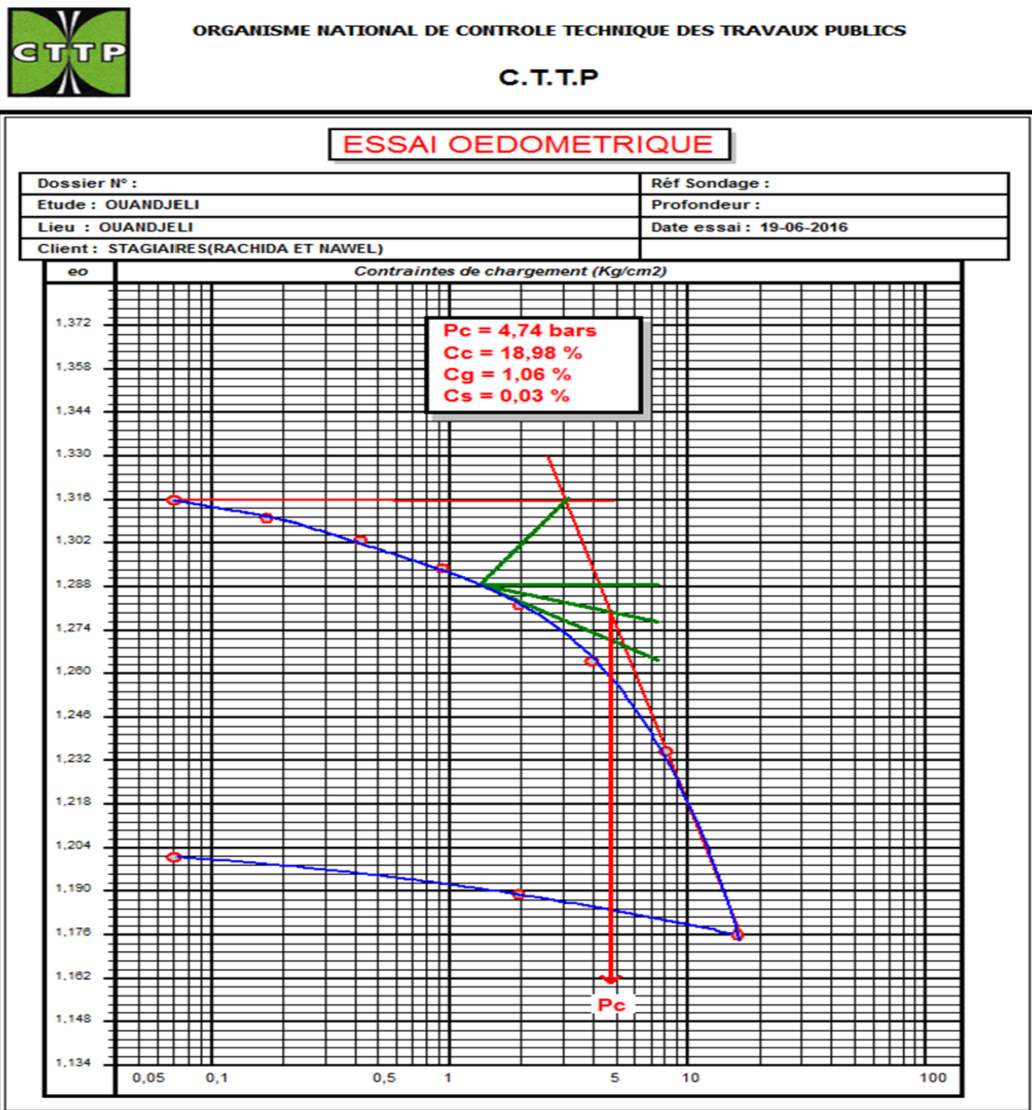


Figure IV-04 : courbe de compressibilité.

Paramètres	Caractéristique oedométrique
Indice des vides initial e_0	1.316
Indice des vides final e_f	1.2012
Pression de préconsolidation	4.74 bars
Indice de compression C_c	18.98 %
Indice de gonflement C_g	1.06 %

Tableau IV-11 les caractéristiques de compressibilité.

L'essai de compressibilité a permis d'obtenir une courbe de déformation des sables [$e, \log(\sigma)$] (**Figure IV-04**), cette courbe présente deux segments :

Segment AB : ce segment a une forme parabolique représentant une phase de compression (chargement par palier jusqu' à environ 18 kg/cm²), l'indice des vides initial recommence à diminuer jusqu'il atteint une valeur de 1.176, la variation d'indice des vides au cours de tassement est d'environ 0,1.

Segment BC : ce segment à une forme sensiblement rectiligne, il représente une phase de déchargement par palier où le sédiment subit un faible gonflement entraînant une très faible élévation d'indice des vides.

La faible variation d'indice des vides en fonction des contraintes de chargement montre que les sédiments de la passe d'entrée du port de Sidi Fredj sont faiblement compressibles, cela peut être interprété par la nature du sédiment qui est un sable.

La courbe œdométrique a permis de déterminer la pression de pré consolidation P_c qui est égal à 4.74 bars, elle représente l'intersection de la droite vierge (BD) et la tangente (ah) en point **f**, en comparant sa valeur avec la pression dues au poids de la terre (égale 04 bars), on peut déduire que notre échantillon est sur consolidé.

Les indices C_c et C_g obtenus de la courbe de compressibilité montrent que les sédiments de la passe d'entrée de Sidi Fredj sont faiblement compressibles. Cela pourrait être expliqué par la faible teneur en matière organique.

La faible compression de notre échantillon fournit à la couche de forme une grande stabilité.

IV.2. Valorisation des sédiments de la passe d'entrée du port de Sidi Fredj en génie civil :

a. Terrassements routiers

- Selon la nature et le comportement mécanique du sédiments de la passe d'entrée du port de Sidi Fredj. Il est nécessaire d'établir la classification GTR, la démarche de classification adoptée est expliquée à travers le **tableau IV-12**.

Classement selon la nature				Classement selon l'état hydrique		
Paramètres de nature Premier niveau de classification	Classe	Paramètres de nature Deuxième niveau de classification	Sous classe fonction de la nature	Valeurs seuils retenues		Sous classe
VBS $\leq 0,1$ et tamisat à $80 \mu\text{m} \leq 12\%$	D Sols insensibles à l'eau	$D_{\text{max}} \leq 50 \text{ mm}$ et tamisat à 2 mm > 70%	D₁ Sables alluvionnaires propres, sables de dune...	Matériaux insensibles à l'eau; mais leur emploi en couche de forme nécessite la mesure de leur résistance mécanique (Los Angelès - LA - et/ou Micro Deval en présence d'eau - MDE -) ou Friabilité des sables (FS).	FS ≤ 60	D ₁₁
					FS > 60	D ₁₂
		$D_{\text{max}} \leq 50 \text{ mm}$ et tamisat à 2 mm $\leq 70\%$	D₂ Graves alluvionnaires propres, sables...		LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	D ₂₁
					LA > 45 et MDE > 45	D ₂₂
		$D_{\text{max}} > 50 \text{ mm}$	D₃ Graves alluvionnaires grossières propres, dépôts glaciaires,...		LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	D ₃₁
					LA > 45 et MDE > 45	D ₃₂

Tableau IV-12: Classification des sols insensibles à l'eau selon GTR.

D'après les résultats obtenus, on a pu faire une classification primaire de notre sédiment, en se basant sur le paramètre de granularité (tamisât de 0.08 mm) et la valeur de bleu de méthylène (VBS), ces deux caractéristiques permettent de déduire que les sédiments de la passe d'entrée de port de Sidi Fredj sont des matériaux insensibles à l'eau représentant la **classe D**.

Un deuxième niveau de classification a été établi, en se basant sur le paramètre de la granularité plus particulièrement la valeur de D_{max} qui est de 02 mm et le pourcentage du tamisât à 2 mm qui est de 96.25%, à travers ces deux paramètres, on a pu déduire que la nature des sédiments de la passe d'entrée de Sidi Fredj est un sable alluvionnaire propre ou un sable de dune représentant la première **sous classe D₁** en fonction de la nature, ces matériaux ne présentent aucune cohésion et ils sont perméables, et très érodables.

La classification GTR vient non seulement déterminer la nature des sédiments du port de Sidi Fredj mais aussi donne une indication sur l'origine des sédiments qui s'accumulent dans la passe d'entrée du port, ce sédiment est de nature terrestre transporté vers le milieu marin par les cours d'eaux « les oueds » et par le vent.

La classification selon le comportement mécanique confirme le résultat de la classification précédente, cette classification est basée sur le paramètre friabilité de sable (FS), à travers lequel, on a déduit que les sédiments de la passe d'entrée font partie de la **sous classe D₁₁**, les matériaux de cette sous classe sont résistant à la friabilité et peu traficable.

- Selon la teneur en matière organique les sédiments de la passe d'entrée du port font partie de la grande **famille F** : Sols organiques et sous-produits industriels.

En se basant sur le taux de la matière organique qui est d'environ 06,19%, on a pu déduire que les sédiments de la passe d'entrée du port est faiblement organique appartenant à la sous classe F₁₁ qui représente les matériaux naturels contenant l'humus, tourbes, des débris de végétaux et d'animaux, ces matières sont facilement reconnaissable ainsi, leur présence en excès dans le port induit une couleur noirâtre et une odeur caractéristique.

Paramètre de classification	Sédiment de la passe d'entrée du port
La teneur en MO	F₁₁
VBS et le tamisât de 80µm	D
D _{max} et le tamisât de 2mm	D₁
Friabilité de sable (FS)	D₁₁
Classification (GTR, 1992)	D₁₁F₁₁

Tableau IV-13: Classification finale de sédiment de la passe d'entrée du port de Sidi Fredj.

On peut conclure que les sédiments de la passe d'entrée du port de Sidi Fredj selon le guide GTR sont valorisés en terrassements routières, remblais routier selon conditions applicables aux sols naturels auxquels ils correspondent, et en couche de forme après traitement.

b. Remblaiements de tranchées

1. Zone d'enrobage de la conduite ou du réseau.

Selon la norme NF P 98-331 (AFNOR, 2005) relative à l'ouverture, au remblayage et à la réfection des tranchées cette zone à partir des paramètres granulométrique le D max de sédiments de la passe d'entrée du port égale à 2 mm qui est inférieur à 22 mm pour des réseaux de diamètre inférieur ou égale à 200 mm, et 40 mm pour des réseaux de diamètre supérieur à 200 mm.

2. Zone de remblai

Cette dimension D ne doit pas excéder 10% de la largeur de la tranchée et 20% de l'épaisseur de la couche compactée.

Mais d'après la norme Les matériaux de classe F1 ne sont pas cités parmi les matériaux utilisables dans la zone d'enrobage ou dans la partie inférieure de remblai. Cette exclusion est due a priori à leur teneur en matière organique.

c. Granulats pour béton

Selon ces trois paramètres (L'indice de plasticité, la valeur de bleu de méthylène et la valeur d'équivalent de sable), nous avons pu conclure que les matériaux de la passe d'entrée du port de sidi Fredj sont de nature sableuse propre présentant une teneur très faible en particules fines. Donc on déduire d'après la norme EN 12620 que notre sédiment appartient à la référence H1 pour les sables de dragage sont peut être ajoutée aux matériaux de construction à 100 %.

d. Clinkers pour ciment

Selon la norme NF EN 197-1 (AFNOR, 2012a) relative à la composition, les spécifications et les critères de conformité des ciments courants on déduire que les sédiments de la passe d'entrée sont valorisés seuls ou en mélange, notamment avec des carbonate. Avec le contrôle aux seuils de la norme les teneurs en ions sulfates et chlorures, ainsi qu'en aluminium tricalcique, dans le produit fini.

e. Brique de terre cuite

On peut déduire que les sédiments de la passe d'entrée valorisé en tant que matériaux de construction de brique malgré que les sels solubles mentionnés par les normes NF EN 771-1 et NF P13-304 sont potentiellement présents dans les sédiments de dragage, notamment dans les sédiments marins. Ceci n'exclut pas leur utilisation pour la fabrication de brique en terre cuite, ces concentrations pouvant être corrigée par mélange préalable des sédiments avec une matière première (argile) faiblement concentrée en ces mêmes sels.

Conclusion

L'analyse physique et mécanique des sédiments de la passe d'entrée du port de Sidi Fredj a permis de les identifier, de déterminer leurs caractéristiques et de les classier selon les normes de valorisation en génie civil. Cette première étude au laboratoire a montré que ces sédiments sont des matériaux propres de nature sableuse, présentant une teneur en eau importante à la saturation, une faible teneur en matière organique, résistant à la friabilité et peu compressible.

La classification selon les normes permet de déduire que les sédiments de port de Sidi Fredj sont des matériaux valorisables dans le domaine du génie civil sauf dans le secteur de remblaiement de tranchée.

Conclusion Générale

Les sédiments dragués des ports algériens sont soit rejetés en mer soit mis en dépôts terrestres. Le rejet en mer étant la solution la plus économique est fréquemment adopté malgré la présence de la pollution.

Le port de Sidi Fredj subit chaque année un ensablement important au niveau de la passe d'entrée, les opérations de dragage au niveau de ce port génèrent une grande quantité de matériaux.

L'objectif de cette étude est de proposer une nouvelle alternative à la fois écologique et économique pour la gestion de sédiments marins algériens. Un état sur la problématique de dragage des sédiments ainsi que sur les solutions innovantes de leur gestion a été élaboré. La problématique provient de la nécessité de draguer de grands volumes de sédiments. Cette étude traite la valorisation des sédiments marins dans les matériaux de constructions en génie civil.

Cette étude nous a permis de faire en premier lieu une fiche d'identité des sédiments de la passe d'entrée du port de Sidi Fredj à travers une série d'essais géotechniques, les résultats des différents essais ont montré que les sédiments sont :

- Des matériaux fins caractérisés par une faible teneur en particule fines qui les rend insensible à l'eau ;
- Présentant une forte teneur en eau à la saturation ;
- Résistant à la friabilité ;
- faiblement compressibles en raison de leur nature et leur faible teneur en matière organique.

Après l'identification de notre sédiment à travers des paramètres physiques on a pu faire une classification selon les guides de terrassement routière, remblaiement de tranchée, Granulats expansés pour bétons, Production de clinker pour ciment et Brique de terre cuite. Nous a permis de déduire que les sédiments de la passe d'entrée du port de Sidi Fredj ne révèlent pas d'interdiction pour l'usage de ces sédiments en génie civil sauf en remblaiement de tranchées en raison de leur teneur en matière organique, avec toutefois des vérifications à réaliser concernant les teneurs en chlorure, en sulfates et sulfures dans les lixiviats et/ou les solides, pour des application en tant que granulats pour béton avec armatures métalliques. En outre, les matériaux utilisés doivent répondre à des critères physiques, chimiques ou mécaniques que ne présentent pas les sédiments bruts, mais qui peuvent être atteints par traitement ou mélange avec d'autres matériaux.

La valorisation des sédiments portuaires en génie civil est un grand projet d'intérêt économique et écologique, notre travail n'était que le premier pas pour étudier la faisabilité de l'utilisation de ce type de matériau en génie civil indispensable et complémentaire avant l'étape de la valorisation pour laquelle les caractérisations suivantes sont nécessaires :

- une caractérisation chimique afin de savoir le taux des différentes molécules chimiques telles que Na cl, chlorure, sulfates et sulfures ; le taux de pollution en analysant les métaux lourds et les hydrocarbures ;
- une caractérisation environnementale;
- la caractérisation minéralogique.

Malgré l'importance de caractérisations citées au-dessus pour la détermination de devenir de notre matériau, nous n'avons pas pu les réaliser en raison de manque de moyens et de temps.

Enfin, Il est recommandé

- d'une part, de dresser des fiches synoptiques de tous les ports algériens qui subissent de l'ensablement en vue d'évaluer la possibilité de leurs recyclages en matériaux de construction en génie civil, et d'autre part la collaboration des gestionnaires des opérations de dragage, des écologistes et des industriels est indispensable, ils doivent investir dans des projets de recherches qui peuvent aboutir à des solutions économiques et écologiques.
- Déterminer les performances mécaniques des sédiments marins à l'échelle industrielle.
- Déterminer les performances mécaniques des sédiments marins à long terme (la résistance à la compression).

Références Bibliographiques

Achard, R. (2013). Dynamique des contaminants inorganiques dans les sédiments de dragage, Rôle spécifique de la matière organique. Thèse de doctorat : Chimie de l'environnement : Université du Sud Toulon Var. Disponible sur le web : < <https://tel.archivesouvertes.fr/tel-00874422/document> >.

Achour, Raouf (2013). Valorisation et caractérisation de la durabilité d'un matériau routier et d'un béton à base de sédiments de dragage [en ligne]. Thèse de Doctorat. Génie civil. France : Université de Mines de Douai. Disponible sur le web : <

Agostini. F, Skoczylas. F, Lafhaj. Z. (2007): About a possible valorisation in cementitious materials of polluted sediments after treatment, *Cement&Concrete Composites*, Vol. 29, pp 270-278(2007).

Agostini. F.(2006), « Inertage et valorisation des sédiments de dragage marins », Thèse de doctorat, Ecole centrale de Lille, 2006.

Aissat, N., Cheikh, O. (2013). Evaluation de la qualité (microbiologie, métaux lourds, granulométrie et hydrocarbures) des sédiments de dragage de port de Sidi Fredj en vue d'une immersion. Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL, 69 - 70 p.

Anger, Baptiste (2014). Caractérisation de sédiments fins de retenues hydroélectriques en vue d'une orientation vers des filières de valorisation matière [en ligne]. Thèse de doctorat. Génie civil. France : Université de Caen Basse-Normandie. Disponible sur le web :

Azrarak, R., Beggar, H. (2013). Le port de Sidi Fredj : quantités et devenir de sédiments dragage. Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL, 104p.

Babut, M., et al., (1999): « Sediment quality assessment of three rivers and streams in France: the Moselle, the Rhône and the Seine », International Symposium on Sediment Quality Assessment 1999, Berlin.

Bachouche, Samir (2010). Les ports d'Alger et de Bouharoun : Etude des paramètres, granulométriques, biologiques et de pollution dans les sédiments et l'eau en vue d'une opération de dragage. Thèse de Magister. Pollution marine et écotoxicologie . Alger : ENSSMAL, 105- 106 p.

Bataillard P., Grangeon S., Quinn P., Mosselmans F., Lahfid A. Wille G., Joulian C., Battaglia-Brunet F. (2014) – Iron and arsenic speciation in marine sediment undergoing a re-suspension event. Impact of the biotic activity. *Journal of Soil and sediment*.14 :615-629.

Bekari, M. Elgazzar, M., Majdoub, T. (2010). Outils d'aménagement des ports : gestion globale des sédiments marins : Dragage des ports. Document non publié. France : Ecole des Mines de Douai.

Belkacemi, Soumia (2015). Impact des Infrastructures littorales sur l'évolution du trait de côte dans une zone soumise à un fort transit sédimentaire – Cas de Sidi Fredj. Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL, 31 p.

Belkessa, Rabah (2005). Ensablement des ports algériens, pollution par les métaux lourds et sites de dépôts de sédiments. Thèse de doctorat. Aménagement du littoral. Constantine : Université de Mentouri, 412 p.

Benyerou. D, Boudjenane. N, Belhadri. M (2016), Caractérisation et valorisation des sédiments marins dans la fabrication des briques, *J. Mater. Environ. Sci.* 7 (4) (2016) 1317-1327.

Benzada, K., Dali, K. (1995). Ensablement et dragage du port de Béni-Saf : conséquence et site de dépôt. Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL, 88 p.

Bimbard, Chauvin, Corte, Et Al (2000). Traitement des sols à la chaux et / ou aux liants hydrauliques : applications à la réalisation des remblais et des couches de forme [en ligne]. France : LCPC-SETRA. [Consulté le 26/03/2016]. Disponible sur le web : <<http://www.enrdd.com/documents/documents/ConstructionEcoconstruction/La%20Chaux/traitement%20des%20sols%20C3%A0%20la%20chaux%20et%20ou%20aux%20liants%20hydrauliques.pdf>>.

Boulvain, F. (2012). Une introduction aux processus sédimentaires. Belgique : Presses de l'école nationale des Ponts et Chaussées. (18/02/2016). Disponible sur le web : <<http://www2.ulg.ac.be/geolsed/processus/processus.htm>>.

Brakni, S, Abriak. N.E, Hequette.A (2009), Formulation of Artificial aggregates from dredged harbour sediments for coast line stabilization, Environmental Technology. Vol 30, No. 8, pp 849-854, 2009

Campanac, R. (1981). Equivalent de sable et mesure de la nocivité des sables concassés, Laboratoire régional d'Aix-en-Provence, 2 p.

Carpentier, S. (2002). Bilans et impacts de la mise en dépôt de sédiments fluviaux urbains dans le bassin de la Seine [en ligne]. Thèse de doctorat. Sciences et Techniques de l'Environnement. France : Université Paris XII Val de Marne. Disponible sur le web : <<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00861382/document>>.

Chameley, H., Deconnick, J. F. (2011). Bases de sédimentologie. 03ème éd. Paris : Dunod. 69 p.

Chapon, J. (1975). Travaux maritimes : les ouvrages intérieurs des ports maritimes, Dégagement des accès et des plans d'eau des ports, tome 02, 03ème éd. Paris : Eyrolles. 215p.

CHIKI, K. (2011). Etude expérimentale des matériaux non saturés au cisaillement et à l'oedomètre [en ligne]. Thèse de Magister. Géotechnique et environnement. Tizi Ouzou. Université Mouloud Maammeri. Disponible sur le web : <http://www.ummtto.dz/IMG/pdf/memoire_cle037cfc.pdf>.

Ciria, Cur, Cetmef (2009). Guide enrochement : l'utilisation des enrochements dans les ouvrages hydrauliques. 02ème éd. Compiègne : CETMEF. 968 p.

Corte, J.F., Edme, S.H., Fevre, A., et Al (2000). Guide technique pour la réalisation des remblais et des couches de forme [en ligne]. France : LCPC-SETRA. [Consulté le 27 Mars 2016]. Disponible sur le web : <<https://www.fichier-pdf.fr/2014/02/08/terrassements-routiergtr/terrassements-routier-gtr.pdf>>.

Costet, J., Sanglerat.G. (1981), Cours pratique de mécanique des sols : plasticité et calculs de tassements. 03ème éd. Paris : Bordas. 32-37 p.

Desodt, C., Reiffsteck, P. (2015). Géotechnique : Exercices et problèmes corrigés de mécanique des sols, avec rappels de cours. Paris : Dunod. 15 p.

Dia, Moussa (2013). Traitement et Valorisation de Sédiments de Dragage Phosphatés en Technique Routière [en ligne]. Thèse de doctorat. Génie Civil et Environnemental. France : Université de d'Artois et des Mines de Douai. Disponible sur le web < www.theses.fr/2013ARTO0206.pdf >.

Djerad, C. (2010). Evaluation de l'état de la pollution par les sels nutritifs et les métaux lourds dans l'eau et le sédiment superficiel de la baie de Bou-Ismaïl. Mémoire d'ingénieur. Environnement marin. Alger : ENSSMAL, 51 p. Document non publié. France : ENTPE.

DTP (2012). Direction des Travaux Publics. Travaux de dragage de port de Sidi Fredj : dragage du port de Sidi Fredj. Document non publié. Alger : D.T.P.

Dubois, V, Abriak. N. E, Zentar. R, Ballivy. G,(2009) The use of marine sediments as a pavement base material, Waste Management, Vol. 29, pp 774-782(2009).

Dubois. V (2006), Etude de comportement physico-chimique et caractérisation environnementale des sédiments marins-valorisation en technique routière, Thèse de doctorat à l'école nationale supérieure des mines de DOUAI, 2006.

Foucher, J. (2005). Valorisation des déblais sableux de dragage portuaire en France.

Frar. I et al,(2014) Utilisation des sédiments de dragage portuaire comme matière première dans la fabrication des briques en terre cuite, J. Mater. Environ. Sci. 5 (2) (2014) 390-399

Géode (2012). Suivis environnementaux des opérations de dragage et d'immersion. Dragage des ports. Document non publié. France : GEODE.

Géode (2014). Rédaction des études d'impact d'opérations de dragage et d'immersion en milieu estuarien et marin. Etude d'impact d'opérations de dragage. Document non publié. France : GEODE.

Grosdemange, 2005 Grosdemange, D. (2005). Guide pour la gestion des opérations de dragage : Dragage. Document non publié. France : Fédération des ports de plaisance.

GTR, 1992: « Guide technique pour la réalisation des remblais et des couches de forme », Editions de SETRA-LCPC, 2000, fascicule I et II, 2000, 98 p. et 102 p. http://www.usherbrooke.ca/genie/fileadmin/sites/genie/documents/Intranet/theses_memoires/Achour_R_20140124.pdf >. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00861382/document> >.

IADC, AIHP (2010). Dredging for development [en ligne]. Netherlands : Bray, n., Cohen, m.[Consulté le 10/04/2016]. Disponible sur le web : <<https://www.iadc-dredging.com/ul/cms/fckuploaded/documents/PDF%20Publications/dredging-fordevelopment-2010.pdf>>

IMO 1972 : « Convention de Londres (Convention pour la prévention de la pollution des mers résultant de l'immersion de déchets et autres matières : Gestion des sédiments contaminés ».

IMO 1995 : « Convention de Londres (Convention pour la prévention de la pollution des mers résultant de l'immersion de déchets et autres matières : l'évaluation des déblais de dragage ».

In Vivo. (2002). Méthodes de gestion et de réutilisation des sédiments pollués. Inventaire détail technique et financier des méthodes de curage, de traitement et des usages possibles. Logiciel d'aide à la décision pour la gestion des sédiments. Gestion des sédiments. Document non publié. France : Agence de l'eau Artois Picardie, Pôle de Compétence Sites et Sols Pollués.

Julie Lions.(2004) Etude hydrogéochimique de la mobilité de polluants inorganiques dans des sédiments de curage mis en dépôt : expérimentation, étude in situ et modélisations, Thèse de doctorat à l'Ecole nationale supérieure des mines de paris, 2004.

Kamali. S, Bernard. F, Abriak. N.E, Degrugilliers. P,(2008) Marine dredged sediments as new materials resource for road construction, Waste Management, Vol. 28, pp 919-928(2008).

Kazi. F, Aoual. B, Maarouf. H, Semcha. A, Mekerta. B,(2011) Durabilité des mortiers à base de sédiments de dragage du port d'Oran, Conférence Méditerranéenne Côtière et Maritime EDITION 2, TANGER, MAROC EditionsParalia CFL .<http://www.paralia.fr/>, 2011.

KRIBI, S. (2005). Décomposition des matières organiques et stabilisation des métaux lourds dans les sédiments de dragage [en ligne]. Thèse de doctorat. Science et Technique du Déchet. Lyon : Ecole doctorale de Chimie Lyon. Disponible sur le web <<http://theses.insalyon.fr/publication/2005ISAL0064/these.pdf> >.

Lafhaj. Z, Samara. M, Agostini. F, Boucard. L, Skoczylas. F, Depelsenaire. G,(2008) Polluted river sediments from the north region of France: Treatment with Novosol process and valorization in clay bricks, *Construction and building materials*. 22(2008)755-762.

LERAU, J. (2006). La résistance au cisaillement – étude en laboratoire. Toulouse : institut national des sciences appliquées. 15 p.

Limeira. J, Etxeberria. M, Agulló. L, Molina. D,(2011) Mechanical and durability properties of concrete made with dredged marine sand, *Construction and Building Materials*, Vol 25, pp 4165–4174(2011).

Loustaut, Cazalet, M. (2012). Caractérisation physico-chimique d'un sédiment marin traité aux liants hydrauliques – Évaluation de la mobilité potentielle des polluants inorganiques [en ligne]. Thèse de doctorat. Sciences de l'environnement industriel et urbain : France. L'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon. Disponible sur le web : <<http://theses.insalyon.fr/publication/2012ISAL0012/these.pdf> >.

Maher. A, Douglas. W.S, Jafari. F, Field placement and evaluation of stabilized dredged material (SDM) from the New York/New Jersey Harbor, *Marine Georesources & Geotechnology*, Vol 24, pp. 251–263(2006).

Marchandise, P., Robbe, D., 1978 : « Qualité des eaux superficielles : l'eau, les matières en suspension, les sédiments », Réf. 2209.pp44-59.

Mechaymech. A, Valorisation des boues de dragage application : port autonome de dunkerque, Thèse de doctorat, Université d'Artois (France), 2002.

Nguyen, T. B. (2008). Valorisation des sédiments de dragage traités par le procédé NOVOSOL® dans des matériaux d'assises de chaussée – Comportement mécanique et environnemental [en ligne]. Thèse de doctorat. Génie civil. Toulouse : Université de Toulouse. Disponible sur le web : <http://thesesups.ups-tlse.fr/704/1/Nguyen_Thanh-Binh.pdf >.

Otmani, H. (2014). Impact des infrastructures maritimes sur le littoral : Cas du port de cap Djinet. Thèse magister. Alger : ENSSMAL, 177p.

Ouandjeli et Senouci, 2016 étude de comportement physique et mécanique des sédiments de dragage en vue de leur valorisation en technique routières « port de sidi Fredj » Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL 2016.

Piou S., Bataillard P., Laboudigue A., Ferard J.f. and masfaraud J.F.(2009)- changes of the geochemistry and ecotoxicity of a Zn and Cd contaminated dredged sediment over time in field conditions, *Environmental Research*, 1090712-720.

Plumelle, C., Jan Cui, Y., Fouche, O. Et Al (2013). Théorie et pratique de la géotechnique. Paris: Le Moniteur. 241- 275 p.

Samara. M,(2007) Valorisation des sédiments fluviaux pollués après inertage dans la brique cuite, Thèse à l'école centrale de Lille, 2007.

Sayah D. M (2008), Présentation du secteur des carrières en Algérie, Journées d'études franco algériennes des mines et carrières Oran 17 – 18 mai 2008.<<http://chercheurs.edf.com/fichiers/fckeditor/Commun/Innovation/theses/TheseAnger.pdf>>.

Schneider, G. (2001). Boues de curage des cours d'eau. France : Institut National R A. Disponible sur le web : < <http://www.inra.fr/dpenv/curage.htm#1A> >.

Scordia. P (2008), Caractérisation et valorisation de sédiments fluviaux pollués et traités dans les matériaux routiers, Thèse de doctorat, Ecole Centrale de Lille (France), 2008. Technique Routière [en ligne]. Thèse de doctorat. Génie Civil et Environnemental. France

Setra, (2000) – Traitement des sols à la chaux et/ou liants hydrauliques. Application à la réalisation des remblais et des couches de forme. Guide technique SETRA/ LCPC

Setra, (2012) Acceptabilité de matériaux alternatifs en technique routière – Etude environnementale .32p. Technique Routière [en ligne]. Thèse de doctorat. Génie Civil et Environnemental. France

Tribout, Christelle (2010). Valorisation des sédiments traités en techniques routières : contribution à la mise en place d'un protocole d'acceptabilité. Thèse de doctorat. Génie civil. France : Université de Toulouse. Disponible sur le web : <<http://thesesups.upstlse.fr/1277/1/2010TOU30167.pdf>>.

Wang, Dongxing (2011). Solidification et valorisation de sédiments de port de Dunkerque en travaux routiers [en ligne]. Thèse de doctorat. Génie civil. France : Université des mines de Douai. Disponible sur le web : <<http://www.cfmrroches.org/sites/default/files/jngg/JNGG%202010%20pp%20345-352%20Wang.pdf>>

Wang. H.Y,(2009) Durability of self-consolidating lightweight aggregate concrete using dredged silt. Construction and Building Materials, Vol 23, pp. 2332–2337(2009).

Weng . C. H, Lin. D.F, Chiang.4 P.C (2003) .: Utilization of sludge as brick materials. Advances in Environmental research, vol.7, pp 679-685(2003).www.theses.fr/2013ARTO0206.pdf >.
www.theses.fr/2013ARTO0206.pdf >.

Yang. x, Changhong. Y, Baotian. X, Xiaohong. R, Zhi. W,(2014) L'utilisation des sédiments des rivières urbaines comme matière première dans la production des briques isolantes, Ceramic international, 40(2014) 8833-8840.

Zentar, R, Dubois. V, Abriak. N.E (2008): Mechanical behavior and environmental impacts of a test road built with marine dredged sediment. Resources, Conservation and recycling. Vol: 52, pp. 947-954(2008).

La liste des normes :

AFNOR (1990). Granulats : Mesure de friabilité de sable. NF P 18 - 576, 8 p.

AFNOR (1991). Granulats : équivalent de sable. NF P 18 - 598, 8 p.

AFNOR (1996). Sols : reconnaissances et essais : détermination de la teneur en eau pondérale des matériaux. Méthode par étuvage. NF P 94 - 050, 8 p.

AFNOR (1998). Sols, reconnaissance et essais - Mesure de la capacité d'adsorption de bleu de méthylène d'un sol ou d'un matériau rocheux - Détermination de la valeur de bleu de méthylène d'un sol ou d'un matériau rocheux par l'essai à la tâche. NF P 94 - 068, 8 p.

AFNOR (1997). Sols, reconnaissance et essais : essai de cisaillement rectiligne à la boîte, partie 1, cisaillement direct. NF P 94 071 - 1, 16 p.

AFNOR (1999). Détermination des caractéristiques de compactage d'un sol : essai Proctor normal, essai Proctor modifié. NF P 94 093, 20 p.

AFNOR (1997). Sols, reconnaissance et essais : essai de gonflement à l'oedomètre, détermination des déformations par chargement de plusieurs éprouvettes. XP P 94-090-1.

AFNOR (1974a) NF P13-301. Céramique. Brique creuses de terre cuite.

AFNOR (1974b) NF P 51-301. Brique de terre cuite pour la construction des conduits de fumée

AFNOR (1982) NF P18-309. Granulats d'argile ou de schiste expansés fabriqués en four rotatif destinés à la confection de béton.

AFNOR (1983) NF P 13-304. Brique en terre cuite destinées à être apparentes.

AFNOR (1990) NF P 18-557. Granulats. Éléments pour l'identification des granulats.

AFNOR (1992) NF P 11-300. Exécution des terrassements. Classification des matériaux utilisables dans la construction des remblais et des couches de forme d'infrastructures routières.

AFNOR(1993) reconnaissance et essai- détermination de la teneur pondéral en matière organique d'un sol –méthode chimique NF P94-055

AFNOR (1996) sols: reconnaissance et essais-analyse granulométrique-méthode par tamisage à sec après lavage

AFNOR(2002) NF EN 13055-1.-Granulats légers. Partie 1 : granulats légers pour bétons et mortiers.

AFNOR(2004) FD P18-542.-Granulats. Critères de qualification des granulats naturels pour béton hydraulique vis-à-vis de l'alcali-réaction.

AFNOR(2005) NF P 98-331. – Chaussées et dépendances. Tranchées : ouverture, remblayage, réfection.

AFNOR (2006a) NF EN 14227-10.-Mélanges traités aux liants hydrauliques Spécifications. Partie 11 : sols traités au ciment.

AFNOR (2006b) NF EN 14227-11.-Mélanges traités aux liants hydrauliques. Spécifications. Partie 11 : sols traités à la chaux.

AFNOR (2006c) NF EN 14227-13.-Mélanges traités aux liants hydrauliques .Spécifications. Partie 13 : sols traités au liant hydraulique routier.

AFNOR (2006d) NF P15-317.-Liants hydrauliques. Ciments pour travaux à la mer.

AFNOR (2008a) NF EN12620/IN1.-Feuille d'instruction pour la consolidation de la norme NF En 12620 d'aout 2003 et de son amendement A1. Granulats pur béton.

AFNOR (2008b) NF EN 12620+A1.-Granulats pour béton

AFNOR (2008c) NF EN12920+A1.- Caractérisation des déchets –Méthodologie pour la détermination du comportement à la lixiviation d'un déchet dans des conditions spécifiées.

AFNOR (2009) NF P98-115.-Assises de chaussées. Exécution des corps de chaussées. Constituants. Composition des mélanges et formulation. Exécution et contrôle

AFNOR (2011a) NF P18-545.-Granulats. Éléments de définition, conformité et codification.

AFNOR (2011b) NF EN 771-1.-Spécification pour éléments de maçonnerie. Partie 1 : briques de terre cuite

AFNOR (2012a) NF EN 197-1.-Ciment. Partie 1 :Composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants.

AFNOR (2012b) NF EN 771-1/CN.-Spécifications pour éléments de maçonnerie. Partie1 : brique de terre cuite.

AFNOR (2014) NF EN 206de2014-11-29.-Béton- Spécification, performances, production et conformité.

Site internet :

<http://www.ifremer.fr/>

www.ghentdredging.be

www.planete-tp.com

<http://www.idra.fr/>

Ce travail entre dans le cadre du développement de solutions alternatives pour une meilleure gestion des sédiments de dragage ou de curage. Les travaux menés dans le cadre de ce travail porte principalement sur la valorisation des sédiments marins dans le domaine de génie civil.

Dans le cadre de cette étude les sédiments de port de sidi Fredj a été caractérisée en vue de comprendre leur comportement physique, mécanique et proposer une nouvelle alternative de gestion à savoir une valorisation dans un matériau de construction en génie civil.

Après une identification des caractéristiques physiques et mécaniques à l'aide des essais géotechnique on a constaté que notre sédiment est valorisé en domaine génie civil sauf dans le secteur de remblaiement de tranchée due à la teneur en matière organique.

Mots clés : sédiments marins, valorisation, dragage, valorisation en ciment, valorisation en béton, valorisation en brique, valorisation en remblaiement de tranchée, valorisation en terrassement routière.

Abstract

This work is part of the development of alternative solutions for better management of sediment dredging or cleaning. The work carried out as part of this work focuses on the valuation of marine sediments in the field of civil engineering.

In the framework of this study, the sediments of Sidi Fredj harbor have been characterized in order to understand their physical and mechanical behavior and to propose a new management alternative namely a valorization in a building material in civil engineering.

After an identification of the physical and mechanical characteristics using the geotechnical tests it was found that our sediment is valued in the field of civil engineering except in the sector of trench filling due to the content of organic matter.

Key words: marine sediments, valorization, valorization in dredging, valorization in cement, valorization in concrete, valorization in brick, valorization in trench filling, valorization in road earthworks.

ملخص

هذا العمل جزء من تطوير حلول بديلة لتحسين إدارة تجريف الرواسب أو التنظيف. يركز العمل المنجز كجزء من هذا العمل على تقييم الرواسب البحرية في مجال الهندسة المدنية.

في إطار هذه الدراسة، تم تمييز رواسب ميناء سيدي فرج من أجل فهم سلوكهم المادي والميكانيكي واقتراح بديل إداري جديد وهو تثمين مادة البناء في الهندسة المدنية.

بعد تحديد الخصائص الفيزيائية والميكانيكية باستخدام الاختبارات الجيوتقنية، وجد أن رسوبيتنا تقدر في مجال الهندسة المدنية باستثناء قطاع ملء الخنادق بسبب محتوى المادة العضوية.

الكلمات المفتاحية: الرواسب البحرية، التثمين، التثمين في التجريف، التثمين في الاسمنت، التثمين في الخرسانة، التثمين في الطوب، التثمين في ملء الخنادق، التثمين في أعمال الحفر على الطرق.