REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA



Faculté de **T**echnologie

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Génie Civil

Spécialité : Matériaux en Génie Civil

L'influence de la vase du barrage GHRIB sur le comportement mécanique du béton de sable fluide

---

Présenté par

MAHIEDDINE Ahmed Cherif

ZENAINI Kheir Eddine

Proposé et Dirigé par

Dr. BOUKHELKHAL Djamila

Dr. GUENDOUZ Mohamed

Promotion Juin 2020

Remerciements

Tout d'abord, Nous tiens à remercier notre Dieu, le clément et le miséricordieux de m'avoir donné la force et le courage de mener à bien ce modeste travail.

Ce n'est pas qu'il est difficile de remercier tous ceux qui ont participé de près ou de loin à ce travail, mais il faut avouer que les formules sont nombreuses et que le choix des bons mots a été toujours difficile. Entre vifs, sincères, profonds et nous passons les obscures subtilités de la langue française, le choix de la formule de remerciements est difficile. Nous tiens à remercier :

Notre encadreurs Dr. BOUKHELKHAL Djamila et Dr. GUENDOUZ Mohamed d'avoir accepté de nous encadrer, et pour ses conseils précieux pendant la réalisation de ce travail. Pour l'honneur qu'il m'a fait d'encadrer ce travail, pour sa disponibilité, pour son écoute, pour l'aide très précieuse et l'intérêt constant qu'il a bien voulu montrer pour ce travail qu'il a guidé par de judicieux conseils, qui a bien su me communiquer pour mener au mieux cette étude.

Nous sommes grées au membre de jury, d'avoir accepté d'examiner ce travail et de présider le jury de notre travail.

Je leur exprime ma profonde reconnaissance pour leur lecture critique et éclairante sur ce travail de recherche.

Un grand merci est adressé à tous les ingénieurs et les travailleurs du hall pour leurs aides et disponibilités.

Mes sincères remerciements vont également à tous les enseignants du département de Génie civil de l'université de Médéa, qui nous ont offert tout ce savoir.

Et nous n'oublions certainement pas nos parents nos amis ainsi tous ceux qui nous ont aidés dans notre tâche, nous leur dirons merci.

Enfin je remercie tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

Ahmed Cherif/Kheir Eddine

Dédicace

C’est avec un très grand honneur que je dédie

ce modeste travail aux personnes

les plus chères au monde après mon DIEU

A mes parents que Dieu les garde qui m’ont protégé

et aider tout au long de ma vie

et m’a soutenu durant mes études.

Mes frères AISSA et AHLEM

A tous les membres de la famille LAZAR et MAHIEDDINE,

sans oublier ELENE,DJAWAD, AMINE, ASMA

Mon oncle MAHDI et ma tante HAMIDA

A mes amis proches et à tous ce qui m’aiment

A mon binôme ZENAINI Kheir Eddine et sa famille.

A Tous mes collègues de master 2 en génie civil

et surtout promo de matériaux de construction 2019/2020.

AHMED CHERIF

Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour, le respect, la reconnaissance, c'est tout simplement que :

Je dédie cette mémoire de master :

À la plus belle créature que Dieu a créée sur terre,,,

À cette source de tendresse, de patience et de générosité,,,

À ma mère et mon père que Dieu les garde

À mes frères AMINE, AHCENE et BILAL

et sœurs KARIMA et DALILA.

À toute ma famille, mes oncles et mes tantes,

mes cousins et cousines.

À tous mes amis (MOHAMED, SIDO, YASSER et WISSEM)

sans oublier mon frère et mon ami

ABD EL KADER ABDELLAH HADJ que Dieu ait son âme

À tous les étudiants de la promotion 2019/2020

Option : Génie Civil

A tous ceux qui, par un mot, m'ont donné la force de continuer

Kheir Eddine

Résume

L'objectif de ce travail de recherche consiste à l'étude de la valorisation de la vase calciné de SED GHERIB dans la masse du béton de sable fluide par substituions volumique du ciment par la vase avec différents pourcentages (0%,10%,20%,30% et 40%) respectivement. Les propriétés à l'état frais et à l'état durci des différents mélanges réalisés ont été analysées et comparées aux bétons de sable fluide témoin respectifs.

Les résultats obtenus montrent que l'étalement de béton de sable fluide est augmenté et la densité est diminuée en fonction d'augmentation de pourcentage de déchets de la vase calciné. On peut considérer le béton obtenu comme éco-matériau et il est fort recommandé aux ingénieurs du BTP et aux utilisateurs du ciment dans la construction.

ملخص

الهدف من هذا البحث هو دراسة تثمين الطين المكلس لسد غريب في كتلة الخرسانة الرملية المائعة عن طريق استبدال حجم الأسمنت بنسب مختلفة من الطين (0٪ ، 10٪ ، 20٪ ، 30 ٪ و 40٪) . تم تحليل الخواص في الحالة الطازجة والحالة المتجمدة للمخاليط المختلفة التي تم إنتاجها ومقارنتها مع خرسانة رمل السائل ذات التحكم.

أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها زيادة ميوعة الخرسانة الرملية المائعة وانخفاض الكثافة مع زيادة نسبة النفايات من الطين المكلس. يمكننا اعتبار الخرسانة المتحصل عليها كمواد بيئية ويوصى به بشدة لمهندسي البناء ومستخدمي الأسمنت في البناء.

Abstract

The objective of this research work consists in the study of the valorization of the calcined mud of SED GHERIB in the mass of the flowable sand concrete by voluminal substitutions of the cement by the mud with different percentages (0%, 10%, 20 %, 30% and 40%) respectively. The properties in the fresh state and in the hardened state of the various mixtures produced were analyzed and compared with the respective control flowable sand concretes.

The results obtained show that the flowability of fluid sand concrete is increased and the density is reduced as a function of the percentage increase in waste from the calcined mud. We can consider the concrete obtained as an eco-material and it is highly recommended for construction engineers and cement users in construction.

SOMMAIRE

Remerciements
Dédicace
ملخص
Résume
Abstract
Sommaire
Liste des tableaux
Liste des figures
Liste des photos
Listes des symboles et des abréviations
Introduction générale

Chapitre 01 : Synthèse bibliographique

1.1 Introduction 3
1.2 Béton de sable 3
1.2.1 Introduction 3
1.2.2 Définition 3
1.2.3 Historique 3
1.2.4 Domaines d'utilisation 4
1.2.4.1 Les bétons non vibrés 4
1.2.4.2 Les bétons projetés 5
1.2.4.3 Les travaux d'injection 6
1.2.4.4 La préfabrication d'éléments à rester apparents 6
1.2.5 Intérêts et limites des bétons de sable 8
1.2.5.1 Intérêt des bétons de sable 8
1.2.5.2 Limites des bétons de sable 9
1.2.6 Les composants du béton de sable 10
1.2.6.1 Le sable 10
1.2.6.2 Le ciment 11
1.2.6.3 L'eau 11
1.2.6.4 Les fines d'ajout 11
1.2.6.5 Les adjuvants 11
1.2.6.6 Autres ajouts 12
1.2.7 La formulation des bétons de sable 13
1.2.8 Propriétés des bétons de sable. 13
1.2.8.1 Résistance 13
1.2.8.2 Maniabilité 14
1.2.8.3 Phénomène de ségrégation des constituants 14

1.2.8.4 Adhérence aux armatures 15
1.2.8.5 Durabilité des bétons de sable 16
1.2.8.6 Résistance au gel et au dégel 17
1.2.8.7 Retrait et fluage 17
1.2.9 La différence entre le béton de sable et le mortier 20
1.2.10 Bétons de sable fluides 20
Origine de la production des déchets
1.3 Recyclage et valorisation de déchets 21
1.3.1 Introduction 21
1.3.2 Les déchets et les types des déchets 21
1.3.2.1 Définition d'un déchet 21
1.3.2.2 Origine de la production des déchets 22
1.3.2.3 Les déchets utilisés en génie civil 22
1.3.2.4 Valorisation des déchets 25
1.4 Valorisation des sédiments 26
1.4.1 Introduction 26
1.4.2 Principaux types des sédiments 27
1.4.3 La définition de la sédimentation 28
1.4.3.1 Les processus de transport et de sédimentation 28
1.4.3.2 Problèmes posés par la sédimentation 29
1.4.4 Causes et origine de l'envasement 32
1.4.4.1 Définition de l'envasement 32
1.4.4.2 L'origine de l'envasement 32
1.5 La vase et le déchet de la vase 33
1.5.1 Définition 33
1.5.2 La définition propose par Migniot 34
1.5.3 Compositions de la vase 34
1.5.4 La valorisation de la vase du barrage Ghrib 35
1.5.4.1 Brèves histoire des barrages en Algérie 35
1.5.4.2 Description du barrage Ghrib 37
1.5.5 Moyens de lutte contre l'envasement en Algérie 39
1.5.5.1 La conservation des sols 39
1.5.5.2 Soutirage 41
1.5.5.3 La surélévation des digues 41
1.5.5.4 Extraction par siphonnement 42

1.5.5.5 Dragage 43
1.5.6 Les domaines d'utilisations de la vase du barrage 47
1.6 Conclusion 50

Chapitre 02 : Caractérisation des matériaux et méthodes d'essais

2.1 Introduction 51
2.2 Caractérisation des matériaux utilisés 51
2.2.1 Sable 51
2.2.2 Ciment 53
2.2.3 Ajouts 55
2.2.4 Adjuvant 57
2.2.5 Eau de gâchage 57
2.2.6 Déchets de la vase 57
2.3 Compositions des mélanges 61
2.4 Malaxage et conservation 62
2.5 Essais réalisés sur le béton à l'état frais 63
2.5.1 L'étalement au mini-cône 63
2.5.2 La densité 64
2.6 Préparation et conservation 64
2.7 Essais réalisés sur le béton à l'état durci 65
2.7.1 Résistance à la compression 65
2.7.2 Résistance à la traction 67
2.8 Variables étudiées 68
2.9 Conclusion 69

Liste des tableaux

Chapitre 01 : Synthèse bibliographique

Tableau 1.1 Les plus simples des facies d'après Allen (cité par Boutin, 2000) 34
Tableau 1.2 Représentation des barrages les plus envasés, (ANBT 2012) 36
Tableau 1.3 Fiche technique de barrage Ghrib 39

Chapitre 02 : Caractérisation des matériaux et méthodes d'essais

Tableau 2.1 Caractéristiques physiques de sable utilisé 52
Tableau 2.2 Analyse chimique du ciment 54
Tableau 2.3 Caractéristique physique du ciment 54
Tableau 2.4 Evolution de la résistance du ciment en fonction de l'âge 55
Tableau 2.5 Caractéristiques physiques des fins de marbre utilisé 55
Tableau 2.6 Résultats des analyses chimiques 60
Tableau 2.7 Résultats des analyses granulométriques 60
Tableau 2.8 Résultats des analyses minéralogique 60
Tableau 2.9 Composition de béton de sable fluide à base de déchet de la vase pour 1m3 61
Tableau 2.10 Essais sur béton frais 63
Tableau 2.11 Essai sur béton durci 65

Liste des figures

Chapitre 01 : Synthèse bibliographique

Figure 1.1 : Phase de Port-Said aux environs de 1880 4
Figure 1.2 : Le béton de sable en projection (projection sur surface ancienne) 5
Figure 1.3 : Tunnel d'accès au métro de Lenigard 5
Figure 1.4 : Le béton de sable dans la préfabrication 6
Figure 1.5 : Une abondante ressource locale en sable 7
Figure 1.6 : Déroulement d'un film polyane (cure) 7
Figure 1.7 : Dallage expérimental en béton de sable fabriqué à la bétonnière et coulé en place 8
Figure 1.8 : Les éprouvettes non vibrées, non piquées 14
Figure 1.9 : Variation de l'adhérence d'une armature en fonction de la formulation 15
Figure 1.10 : Influence de la résistance en traction du béton de sable sur l'adhérence des armatures 16
Figure 1.11 : Evolution du retrait d'auto-dessiccation dans le béton de sable 19
Figure 1.12 : Evolution du retrait totale dans le béton de sable 19
Figure 1.13 : Des déchets industriels non toxiques 22
Figure 1.14 : Exemple de quelque déchets inertes 23
Figure 1.15 : Exemple des déchets toxiques 24
Figure 1.16 : Des cendres volantes dans une usine 24
Figure 1.17 : Des galets et gravillons 27
Figure 1.18 : Classification des sédiments par taille selon l'échelle de Wentworth 28
Figure 1.19 : Cycle altération-transport-sédimentation (Philippe Joey 2005) 29
Figure 1.20 : Un schéma représente les problèmes posés par la sédimentation 30
Figure 1.21 : Exemple de blocage de la vanne de fond de la deuxième digue du barrage Boughezoul 31
Figure 1.22 : Processus sédimentaires (P.Deslauriers et J. Couveignes 2001) 32
Figure 1.23 : Formation de la vase au fond du barrage 34
Figure 1.24 : Schéma de la composition simplifiée des sédiments portuaires 35
Figure 1.25 : Répartition des barrages en exploitation dans le Nord algérien 36
Figure 1.26 : Carte de sensibilité des barrages à l'envasement 37
Figure 1.27 : Vue sur le barrage de Ghrib 37
Figure 1.28 : Vue sur le barrage de Ghrib 38
Figure 1.29 : Situation géographique du barrage de Ghrib 38
Figure 1.30 : Schéma du soutirage d'un courant de densité par les pertuis de vidange d'un barrage 41

Figure 1.31 : Surélévation du barrage Ghrib par des hausses fusibles 42
Figure 1.32 : Représente de façon schématique la disposition de ‘’l’hydro aspirateur'' 43
Figure 1.33 : Equipements drague du barrage K’sob M’sila 44
Figure 1.34 : L’équipement du dragage mécanique 45
Figure 1.35 : L’équipement du dragage à l’Américaine 45
Figure 1.36 : Quantité de matériaux dragués et immergés dans quelque pays Européens del’Atlantique Nord-Est en 2001 46
Figure 1.37 : L’utilisation de la vase du barrage dans les fabrications des briques et tuiles 48
Figure 1.38 : Briques et récipients à base de la vase du barrage Lakhel (Bouira) 49

Chapitre 02 : Caractérisation des matériaux et méthodes d’essais

Figure 2.1 : le sable roulé utilisé 51
Figure 2.2 : Courbe granulométrique de sable utilisée 52
Figure 2.3 : Le ciment utilisé 53
Figure 2.4 : les déchets de marbre 56
Figure 2.5 : Procédure de broyage de fillers de marbre 56
Figure 2.6 : Les déchets de la vase utilisés broyé et calciné 57
Figure 2.7 : La vase est dans l’étuve à 105°c 58
Figure 2.8 : la vase tamisée au 80µm 58
Figure 2.9 : Broyeur à disque utilisé 59
Figure 2.10 : La vase est met dans l’appareil de Los Angeles pour faciliter le broyage 59
Figure 2.11 : La calcination de la vase avec 900°c 59
Figure 2.12 : La vase prête au malaxage 59
Figure 2.13 : Séquence de malaxage du béton de sable fluide 62
Figure 2.14 : Procédure de malaxage au laboratoire 63
Figure 2.15 : Mesure de l’étalement du béton fluide 64
Figure 2.16 : Mesure de la densité du béton de sable fluide 64
Figure 2.17 : Fabrication des éprouvettes 65
Figure 2.18 : Dispositif de rupture à la compression 66
Figure 2.19 : La presse Hydraulique (2000KN) 66
Figure 2.20 : Essai de traction par flexion sur béton 67
Figure 2.21 : Variables étudiées 68

Liste des symboles et des abréviations

ANBT : Agence Nationale des Barrages et Transferts

URSS : Union des républiques socialistes soviétiques

G/S : Gravillons sur sable

BTP : bâtiment et travaux publics

BS : Béton de sable

E/C : Eau/Ciment

C : Dosage en ciment

C3A : Aluminate tricalcique

C3S : Silicate tricalcique (alite)

D : Diamètre

DIB : Les déchets industriels banals

M.O : Matière organique

C : Celsius

CRS : Ciment résistant au sulfate

PH : potentiel hydrogène

Dmax **:** Diamètre maximale des granulats

ES : Equivalent de sable

CPA CEM I 42.5 : Ciment Portland ordinaire de Classe 42,5

ρ : masse volumique apparente (kg.m-3)

ρs : masse volumique absolue (kg.m-3)

v : La distance de la fibre la plus éloignée

RC: Résistance à la compression en (MPa)

Fc: Charge de rupture en (N);

b: Côte de l'éprouvette

M : Moment de flexion entre les deux points d'application de la charge

I : Moment d'inertie de la section transversale

Mgo : oxyde de magnésium

BSFT : Béton de sable fluide témoin.

BSFVB : Béton de sable fluide

R7j : Résistance à 7 jours

R28j : Résistance à 28 jours

Al_2O_3 : Oxyde d'Aluminium

Fe2O3 : Oxyde de fer

Cao : Oxyde de calcium

SiO_2 : Silicium

SO_3 : Le trioxyde de soufre

K2O : Oxyde de potassium

NA2O : Oxyde de sodium

TiO2 : Dioxyde de titane

MnO : Oxyde de manganèse

Introduction Générale

Le béton de sable retrouve cependant de nos jours un intérêt certain du fait des propriétés spécifiques de ce matériau, par rapport au béton traditionnel : excellente maniabilité et cohésion, bonne adaptation au milieu fortement ferraillés, qualités esthétiques, etc. Par ailleurs, dans certaines régions riches en sable, il peut procurer des économies par rapport au béton traditionnel.
Ensuite, les déchets constituent un réel problème, inhérent à toute vie biologique et à toute activité industrielle, agricole ou urbaine, et à ce titre, la recherche de solutions est une vraie nécessité pour les collectivités.
Par conséquent, dans plusieurs pays du monde, beaucoup d'importance est donnée à la valorisation des déchets et de sous-produits industriels dans la fabrication du ciment et du béton. Dans ce contexte, dans plusieurs universités du monde entier, les laboratoires de recherche sur les matériaux travaillent sur le développement de nouveaux composites cimentaires à base de déchets, dans le but de réduire le coût de réalisation, d'éliminer ces déchets de l'environnement d'une part, d'autre part d'améliorer les propriétés mécaniques et physiques des mortiers et des bétons. Dans cet axe, ce travail de recherche a pour objectif l'étude de la possibilité d'élaboration d'un béton de sable fluide avec la substitution du ciment (de 0% 10%, 20%, 30% et 40%) par la poudre de la vase cuite. Cette vase provient du fond du barrage Ghrib de la wilaya d'Ain defla, pour raison économique et environnementale, il est intéressant d'examiner la possibilité de l'utiliser pour la fabrication d'un béton de sable fluide.

Outre l'introduction générale, le présent mémoire s'articule en deux chapitres :

- Le premier chapitre compte trois parties, la première partie donne un aperçu général sur le béton de sable (définition, domaines d'utilisation et les principaux constituants) en plus de cela, nous avons ajouté la formulation, les propriétés de ce type de béton, la déférence entre ce dernier et le mortier et le dernier titre de cette partie sera le béton de sable fluide. La deuxième partie présente la définition et les types des déchets avec la manière de gestion et de traitement et on termine ce chapitre avec la dernière partie qui contient une généralité sur les sédiments (définition, types, les problèmes posés par ces éléments et les solutions existés) qui permettent l'extraction de notre déchet pour cet étude qui est la vase du barrage Ghrib et qui nous avons également mentionner sa définition, ,composants et ses caractéristiques et le domaine d'utilisation.
- Le deuxième chapitre regroupe les caractéristiques des matériaux utilisés durant notre étude, les procédures de confection des mélanges, ainsi que les différents essais effectués.

Enfin des conclusions générales et des recommandations sont présentées pour achever ce modeste travail de recherche.

Chapitre 1 :
Synthèse Bibliographique

1.1 Introduction

De nos jours l'utilisation intensive et abusive des ressources et le rejet des déchets dans l'environnement contribue à détériorer notre milieu. Ce changement a un impact sur la société, la santé humaine, l'économie, les espèces vivantes, la production alimentaire, le tourisme et l'écologie. Chaque jour la pollution de notre environnement augmente, la santé humaine est de plus en plus mise en danger, mais nous n'en préoccupons pas. Comme l'on ne voit pas directement les conséquences de nos actes, on s'en préoccupe peu. C'est pourquoi nous ne pourrons pas diminuer le rejet des déchets tant que l'on n'exploitera pas les ressources d'une façon intelligente et en prévenant le gaspillage inutile **[1].**

Dans notre travail, nous allons essayer de valoriser la vase de barrage. Ce travail a pour but de l'amélioration le béton et les incitations économiques et les avantages environnementaux.

1.2 Bétons de sable

1.2.1 Introduction

Le béton de sable est un matériau ancien utilisé antérieurement au béton traditionnel. Il est tombé en désuétude, avec l'abondance des granulats du plus gros calibre permettant d'obtenir facilement des nouveaux élevés de résistances. Il retrouve cependant de nos jours un intérêt certain du fait des propriétés spécifiques de ce matériau, par rapport au béton traditionnel : excellente maniabilité et cohésion, bonne adaptation au milieu fortement ferraillés, qualités esthétiques, etc. Par ailleurs, dans certaines régions riches en sable, il peut procurer des économies par rapport au béton traditionnel **[2].**

1.2.2 Définition

Le béton de sable est un matériau composé de ciment, sable, fillers, eau et adjuvant réducteur d'eau. Des gravillons peuvent être ajoutés à raison de G/S (Gravillon/Sable) $\leq$ 0,7. L'amélioration du comportement du matériau peut nécessiter parfois l'ajout de fines et de fibres. Les dosages en ciment et eau permettent de le distinguer des mortiers **[2].**

1.2.3 Historique

Le matériau trouve son origine dans le « béton aggloméré » mis au point par F. Coignet vers la fin du 19ème siècle. Ce mélange était constitué de ciment, chaux, sable et eau. On retrouve cette technique dans l'édification de la tour de Port Saïd en Egypte [52 mètres] (voir Figure 1.1).

Cependant, le pays où il a été le plus utilisé est incontestablement l'ex URSS. On le retrouve, sous sa formulation moderne, dans la construction du Port de Kaliningrad et du port CHERNAVSKIF à Voroney. Après la fin du second conflit mondial, le professeur Rebinder reprit les travaux scientifiques, ce qui a rendu possible la construction de nombreux aérodromes.

Le développement de ce béton a autorisé son utilisation à grande échelle jusqu'à des volumes de 1 million de m3 par an. La pénurie de gros granulats et la disponibilité de grands gisements de sable, notamment dans le sud-ouest Français, autorisèrent l'usage de ce matériau. A cet effet, l'association SABLOCRETE a vu le jour en 1988 en France pour coordonner les travaux de recherche sur ce matériau **[3].**



Figure 1.1. Phare de Port-Saïd aux environs de 1880 **[9].**

1.2.4 Domaines d'utilisation [5]

Le béton de sable peut être utilisé dans différents domaines, et sous plusieurs formes. La plupart des applications actuelles du béton de sable tiennent davantage à ses propriétés spécifiques, par rapport au béton traditionnel, qu'à l'économie qu'il pourrait représenter en remplaçant celui-ci.

1.2.4.1 Les bétons non vibrés

Ces bétons sont souvent des bétons fluides utilisés notamment, lorsque la vibration est impossible, pour la fabrication des pieux forés et la réalisation de dallages autocompactants ou autonivelants.

1.2.4.2 Les bétons projetés

Ils se sont révélés particulièrement intéressants, techniquement et économiquement et se prêtent au renforcement de structure par projection, exemple :

- La réhabilitation de collecteurs d'assainissement.

- La stabilisation de parois ou talus.

En général, le béton de sable peut être également utilisé en projection dans des travaux de rénovation, de ponts, d'égouts visitables et de bâtiments (voir Figure (1.2) et (1.3)).



Figure 1.2. Le béton de sable en projection (Projection sur surface ancienne. Vue de détail (avec nouveau ferraillage) **[5].**



Figure 1.3. Tunnel d'accès au métro de Leningrad **[6].**

1.2.4.3 Les travaux d'injection

A cause de sa petite granularité et sa maniabilité, le béton de sable est favorable aux techniques de reprise en sous-œuvre par injection ou coulage gravitaire :

- le comblement de cavités.
- la réparation de fondation et renforcement d'ouvrages portuaires.

1.2.3.4 La préfabrication d'éléments destinés à rester apparents

Le souci esthétique est de plus en plus pris en compte dans toutes les constructions; les bétons de sable permettent la réalisation d'effets architectoniques tant sur la forme que sur l'aspect. Le béton de sable peut être utilisé dans la préfabrication pour des murs architecturaux, pour des mobiliers urbains, en bâtiment et en voirie (voir Figure 1.4).

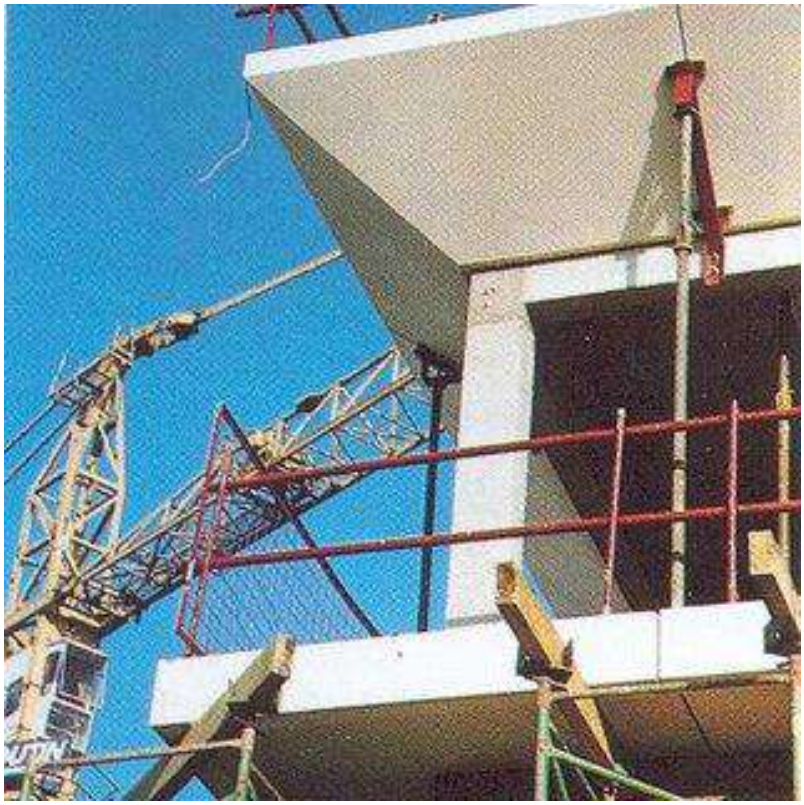


Figure 1.4. Le béton de sable dans la préfabrication **[7].**

- **Béton de sable coulé**

Il peut être coulé sur place dans les routes et autoroutes, dans les aérodromes et en bâtiment (Figure (1.5) et (I.6)).



Figure 1.5. Une abondante ressource locale en sable présente un réel intérêt économique, et même quelquefois esthétique **[5].**

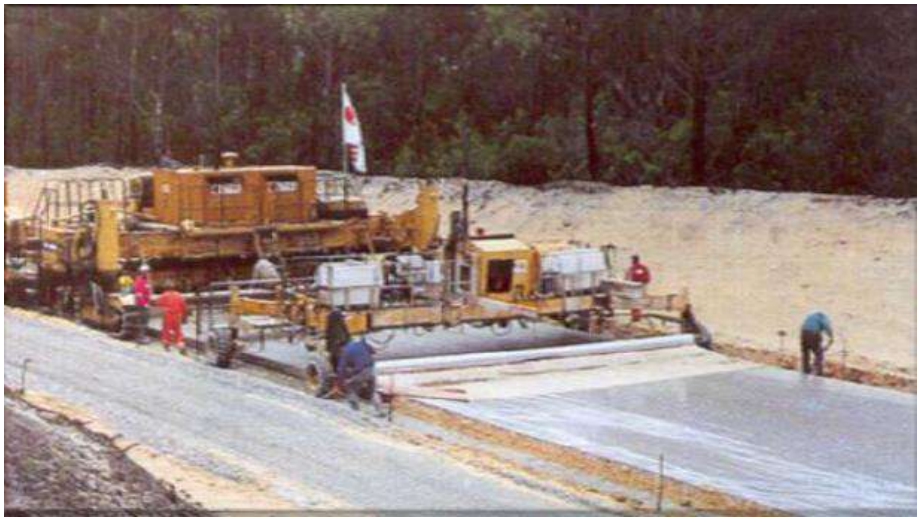


Figure 1.6. Déroulement d'un film polyane (cure) **[10].**

Les bétons coulés en place représentent la plus forte consommation des bétons dans le domaine du bâtiment : les moitiés sont des bétons prêts à l'emploi et l'autre moitié fabriquée sur place. On peut faire usage du béton de sable dans ces deux cas. L'excellente maniabilité du béton de sable, sa propriété de béton fin et sa capacité d'auto lissage améliorent la phase de coulage des bétons. Pour le coffrage, les spécificités du béton de sable offrent des facilités qui peuvent être un atout qui fera la différence avec le béton traditionnel : sa maniabilité, l'absence de ségrégation et la moindre énergie de vibration pourront permettre de réaliser des formes intéressantes.

Différents éléments peuvent être réalisés par le béton de sable **[4]** :

- **Eléments horizontaux**

Dallages, radiers sur terreplein, dalles de compression de plancher-hourdis ou de planchers sur pré dalles. La figure 1.7 montre l'exécution d'un dallage expérimental en béton de sable coulé sur place.

Pour ces types d'éléments, l'utilisation du béton de sable permet une excellente transmission des charges au sol et évite la concentration de contrainte et par conséquent limite la fissuration. En plus, elle offre une finition propre qui peut être améliorée pour certains usages par l'ajout de colorants.



Figure 1.7. Dallage expérimental en béton de sable fabriqué à la Bétonnière et coulé en place **[4].**

- **Eléments verticaux**

Les performances mécaniques exigées d'un béton destiné à la fabrication d'un élément porteur vertical (poteau, voile….) dépendent de son élancement, des charges appliquées, de son exposition et son environnement. Les performances des bétons de sable répondent à la plupart des exigences courantes habituellement requises.

1.2.5 Intérêts et limites des bétons de sables [5]

1.2.5.1 Intérêt des bétons de sable

Dans de nombreux usages, le béton ne nécessite pas un niveau très élevé de résistance. Cependant il exige, parfois, des caractéristiques qui peuvent être mieux assurées par le béton de sable. Parmi ces caractéristiques :

- **La maniabilité**

Le béton de sable étant très maniable, sa mise en œuvre, sa capacité à remplir des moules avec une énergie de serrage moindre et sans préjudice pour les autres propriétés de matériau, constituent un atout significatif.

- **La cohésion et l'absence de ségrégation**

La variation entre les dimensions des grains n'étant pas trop importante, ce matériau présente une assez bonne cohésion, faible ressuage et surtout une absence totale du problème de ségrégation.

- **La petite granulométrie et la faible dimension des grains**

Le matériau serait utile dans les travaux d'injection, dans la mise en œuvre des structures à fortes densités de ferraillage, ainsi que dans les travaux de rénovation de structures.

- **Le transport**

Le transport du béton de sable du lieu de production au lieu d'utilisation s'effectue par les mêmes moyens que les bétons classiques, bien que les bétons de sable soient généralement plus plastiques et les risques de ségrégation pendant le transport faibles ce qui permet son transport à des distances lointaines.

- **L'aspect de surface**

La granulométrie continue et serrée des bétons de sable permet la réalisation des effets architectoniques très esthétiques, soit sur la forme des éléments, ou bien sur l'aspect de surface. Cet aspect est un souci de plus en plus recherché pour toutes les constructions.

En plus de ces caractéristiques, le béton de sable possède un autre intérêt plus important pour les régions du sud algérien et qui consiste à utiliser les sables qui se trouvent en abondance dans ces régions, ce qui conduit à des économies certaines.

1.2.5.2 Limites des bétons de sable [8]

L'heure actuelle, les connaissances sur le béton de sable ne permettent pas un remplacement systématique du béton classique, soit pour des raisons économiques, soit pour des raisons techniques.

- **Raisons économiques :**

L'expérience a montré que, par l'utilisation des ajouts, on peut augmenter d'une façon considérable la résistance d'un béton de sable. Toutefois, la multiplication des ajouts ou l'augmentation du dosage en ciment ne sont pas sans incidence sur le coût. Dans la mesure où ce béton n'apporte pas "un plus" dans l'usage envisagé, il est donc inutile de chercher des performances supérieures. Tout sera donc fonction du contexte local en matière de granulats et de l'usage envisagé. En ce qui concerne

notre pays il existe des déchets de carrière de concassage à partir desquels nous pouvons tirer des fillers. Il existe également des fillers naturels dans certaines régions, notamment dans le sud du pays.

- **Raisons techniques**

On n'a que peu de connaissances sur les caractéristiques et le comportement du béton de sable, comme le retrait, le fluage et la durabilité, ce qui exclut, peut-être, ce matériau des éléments fortement sollicités ou précontraints.

1.2.6 Les composants du béton de sable

Un béton de sable est composé de sable, de fines d'ajout, de ciment et d'eau. On peut ajouter à cette composition de base d'autres ajouts spécifiques: gravillon, fibres, adjuvants…. pour répondre à certains usages particuliers **[4].**

I.2.6.1 Le sable

Les sables utilisables sont ceux conformes aux définitions des normes NFP18-541 (ES≥75 si le sable est roulé et ES≥ 65 s'il est concassé). Il peut s'agir d'un sable alluvionnaire, de ballastière ou de concassage 0/D. Aucun critère granulométrique n'est exigible à priori, la seule restriction d'emploi réside dans la propreté. Les sables de plage ou des dunes pourraient donc être utilisés **[11].**

- **Classification des sables selon leurs provenances 1**

Selon leurs provenances, les sables peuvent être classés comme suit :

- **Sable de rivière :** il est obtenu par dragage des lits des cours d'eau. Il doit être dur et propre pour qu'on puisse l'utiliser dans les bétons.
- **Sable de mer :** il provient des côtes de la mer. Pour l'utiliser dans les bétons, il faut qu'il ne soit pas trop fin et qu'il soit lavé de son sel.
- **Sable de carrière :** Il contient souvent de l'argile qui enrobe les grains et les empêche d'adhérer aux liants. Il est donc à proscrire.
- **Sable artificiel :** il est obtenu par concassage des roches (calcaires durs, gré …). Il est souvent plein de filler. Pour qu'il soit utilisable dans les bétons, il faut limiter le pourcentage des fines.
- **Sable de dune :** c'est une variété des sables de mer. Il est donc très fin. Les sables de dune se trouvent dans les régions sud du pays. Ils sont situés en zone présaharienne.

Les sables retenus sont ceux issus des dunes continentales. Ces dunes sont constituées des nombreux amas de sables fins accumulés dans certaines régions spécifiques du Sahara **[12]**.

I.2.6.2 Le ciment

Comme pour le béton classique, le ciment utilisé pour la confection d'un béton de sable est conforme à la norme NF P 15-301. Le choix du ciment est fait à partir de sa classe de résistance, de ses caractéristiques d'hydratation, de l'agressivité du milieu…et, d'une façon plus générale, de la composition du béton et de l'usage auquel on le destine.

Pour bien exploiter l'activité hydraulique des fines d'additions au mélange du béton de sable, les ciments type CPA (ciment portland) sont préférables **[4].**

I.2.6.3 L'eau

L'eau utilisée pour la confection des bétons de sable doit être conforme à la norme habituelle relative au béton traditionnel (NF P 18-303). Sa quantité dépend de la maniabilité désirée et de l'utilisation éventuelle d'adjuvants **[4]**.

I.2.6.4 Les fines d'ajout (ou additions)

La compacité d'un béton dépend principalement des paramètres suivants :

- la granulométrie du mélange et sa teneur en eau.
- l'énergie de mise en place.
- Un béton de sable est un béton fin et lorsque la valeur du diamètre maximal des granulats D diminue (≤6mm) et c'est le cas du béton de sable, le dosage en ciment devient très élevé (>400 kg/ m3) pour remplir les vides du sable qui sont plus nombreux et plus petits que ceux d'un granulat (de diamètre D>6mm). Pour cette raison, on comble d'abord une partie des vides du sable par un filler (des fines de diamètre D≤80 µm) et on assure ensuite la rigidité du mélange par un complément en ciment correspondant aux dosages habituellement utilisés pour les bétons traditionnels.

  On distingue les fines actives (cendres volantes, laitier moulu, pouzzolanes broyées...) et les fines inertes (fines calcaires ou de broyage de roches massives...) **[4]**.

1.2.6.5 Les adjuvants

Les adjuvants sont les produits qui sont incorporés en très faible quantités aux bétons (dose inférieure à 5% du poids de ciment) avant ou pendant le malaxage, dans le but d'améliorer certaines propriétés, soit à l'état frais, ou pendant la prise et le durcissement, soit à l'état durci. On définit le superplastifiant d'après son action principale, même s'il a plusieurs actions secondaires **[13].**

On utilise les mêmes adjuvants que le béton classique avec la spécificité privilégier les réducteurs d'eau et améliorent la maniabilité et la résistance simultanément. Les adjuvants utilisés doivent être conformes à la norme NF P18-103 **[14].**

- **Les superplastifiants [2]**

Les superplastifiants sont des polymères de synthèse fabriqués spécialement pour l'industrie du béton. Les plus couramment utilisés sont les sels de sodium ou de calcium du polynaphtaléne sulfoné, et les sels de sodium de la polymélamine sulfonée.

Les superplastifiants sont des réducteurs d'eau à haute efficacité. Leur mode d'action principal est d'augmenter la maniabilité des bétons. Cependant, comme il est expliqué dans cette section, il est possible de les utiliser comme réducteurs d'eau afin de diminuer le rapport **E/C** et d'ainsi augmenter la résistance en compression des bétons avec tous les bénéfices que cela comporte. L'utilisation de superplastifiant permet d'abaisser la teneur en eau de 10 à 30% tout en maintenant une même maniabilité.

1.2.6.6 Autres ajouts

- **Les fibres [5]**

Elles sont surtout utilisées dans le but de réduire le retrait au premier âge : dosage et nature sont des paramètres très importants pour assurer l'efficacité de cet ajout.

On utilise dans la plupart des cas des fibres organiques (polypropylène) pour contrecarrer les effets du retrait de prise et éviter la fissuration qui en résulte. Si l'on veut améliorer la ductilité, on pourra utiliser des fibres d'acier ou des fibres de fonte amorphe.

- **Les fibres polypropylènes [2]**

Les fibres se présentent le plus souvent en faisceaux qui, une fois dans le malaxeur, se séparent et se répartissent dans la masse du béton. Leurs longueurs les plus courantes varient de 10 à 50mm pour des diamètres compris entre 15 et 250 microns.

Les fibres polypropylènes améliorent la résistance aux chocs, à l'écaillage et limitent les risques de fissuration dus au retrait dans les premiers âges du béton. Par ailleurs leur ajout ne diminue pas la maniabilité du béton mais au contraire aurait tendance à l'améliorer.

Le type de fibres à utiliser dépend essentiellement de la dimension des granulats, les fibres les plus courtes étant choisies pour des micro- bétons, les plus longues pour ceux dont le « D » est important. Les quantités à mettre en œuvre sont de l'ordre de 0.5 Kg jusqu'à un maximum de2 Kg

par m^3 de béton, soit entre 0.05 et 0.2% en volume. Dans la majorité des cas les dosages habituels sont de 600 g/m^3 ou 900g/m^3 et très rarement 1200 g/m^3.

- **Les gravillons [10]**

Le béton de sable peut contenir un certain pourcentage de gravillons et conserver sa dénomination de « béton de sable chargé ». En effet, tant que les gravillons sont dispersés dans le sable, et ne constituent pas un squelette structuré, le comportement reste le même, l'ajout de gravillons en faible dosage peut améliorer certaines caractéristiques du béton de sable telles que la maniabilité, le retrait, le fluage et la résistance mécanique. En pratique, on pourra considérer qu'on a affaire à un béton de sable tant que le rapport massive G/S (gravillon/sable) reste inférieur à 0,7.

- **Les colorants [5]**

Dans certains usages particuliers du béton de sable, les colorants utilisés dans le béton classiques peuvent également être utilisés, à condition de prendre soin de l'homogénéisation et la stabilité de la teinte au cours du temps, pour cela il est recommandé de procéder à une formulation appropriée à ce cas.

1.2.7 La formulation des bétons de sable

La formulation d'un béton consiste à choisir des constituants et à les proportionner en vue d'obtenir des propriétés spécifiques répondant à des critères techniques et économiques puis à combler la porosité de cet empilement avec la pâte de ciment. Cette pâte elle-même étant caractérisée par le rapport E/C pour viser une maniabilité à court terme et une résistance et durabilité à long terme.
Le problème de la formulation d'un béton se pose principalement en 35 termes d'optimisation de la compacité du squelette granulaire. Cette compacité définie comme le rapport du volume solide sur le volume total, correspond au complément à l'unité de la porosité. Les méthodes classiquement utilisées sont celles des bétons ordinaires avec des adaptations compte tenu de la grande quantité de fines utilisée **[2]**.

1.2.8 Propriétés des bétons de sable [4]

1.2.8.1 Résistance

La résistance en compression est généralement considérée comme la propriété la plus importante du béton. Elle est fonction de plusieurs paramètres tels que le rapport E/C. Plusieurs travaux réalisés sur le béton de sable ont montré qu'on peut atteindre pour ce matériau des résistances comparables à celles du béton traditionnel utilisé dans le secteur du bâtiment. Ces résistances varient

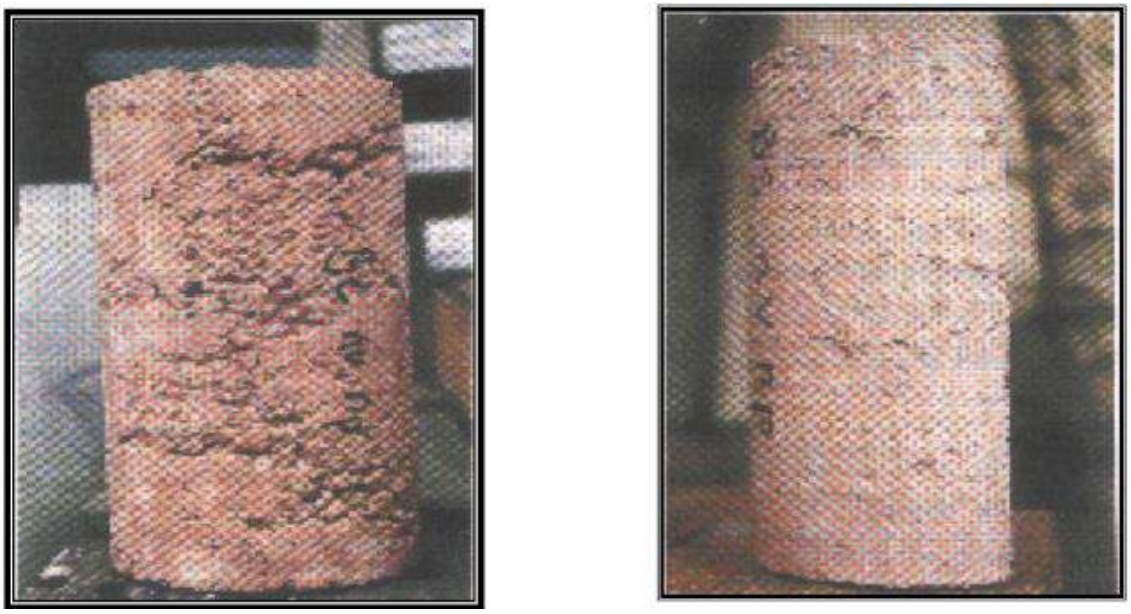
généralement de 20 à 40MPa. Elles peuvent être améliorées par l'ajout de fines de différentes natures.

1.2.8.2 Maniabilité

Le béton de sable est un béton fin d'où il nécessite davantage d'eau que les bétons classiques, le rapport E/C se situe généralement entre 0.6 et 0.7. Ce rapport relativement élevé garantit une bonne maniabilité du mélange ce qui constitue un avantage en faveur du béton de sable par rapport au béton traditionnel. En effet, son excellente maniabilité améliore sensiblement la phase du coulage.

1.2.8.3 Phénomène de ségrégation des constituants :

Du fait de leur faible étendue granulaire, et donc de leur plus grande homogénéité, combinée à une bonne maniabilité, cela confèrent aux bétons de sable un meilleur comportement vis à vis des phénomènes de ségrégation que les bétons traditionnels. Cette faculté apparaît plus clairement à travers des expériences comparatives sur des bétons de sable et des bétons classiques équivalents (voir Figure 1.8), avec des plasticités et des modes de mise en œuvre variables. Les deux figures qui suivent montrent les différences d'aspect de la peau de deux éprouvettes coulées, sans action extérieure sur le serrage, à des consistances plastiques équivalentes (cône de 14 cm) **[10]**.



a) Béton ordinaire b) Béton de sable

Figure 1.8. (Les éprouvettes non vibrées, non piquées) **[10].**

1.2.8.4 Adhérence aux armatures [10]

Selon la formulation du béton de sable (donc son niveau de performance), on obtient des propriétés spécifiques à l'adhérence aux armatures plus ou moins bons que le béton de référence. Quelques comparaisons ont été réalisées entre différentes formulations de béton de sable et un béton témoin traditionnel à l'aide de l'essai pullout. Il s'agit de mesurer le déplacement d'une armature qui se trouve dans le matériau durci, en fonction de l'effort de traction qui lui est appliqué. Sur la base des résultats de cet essai, on remarque que des variations de compositions appliquées au béton de sable mènent à des écarts du même ordre que les bétons traditionnels, ce qui a amené à penser que les bétons de sable ne se distinguent pas particulièrement sur cet aspect des bétons traditionnels classiques (voir Figure 1.9).

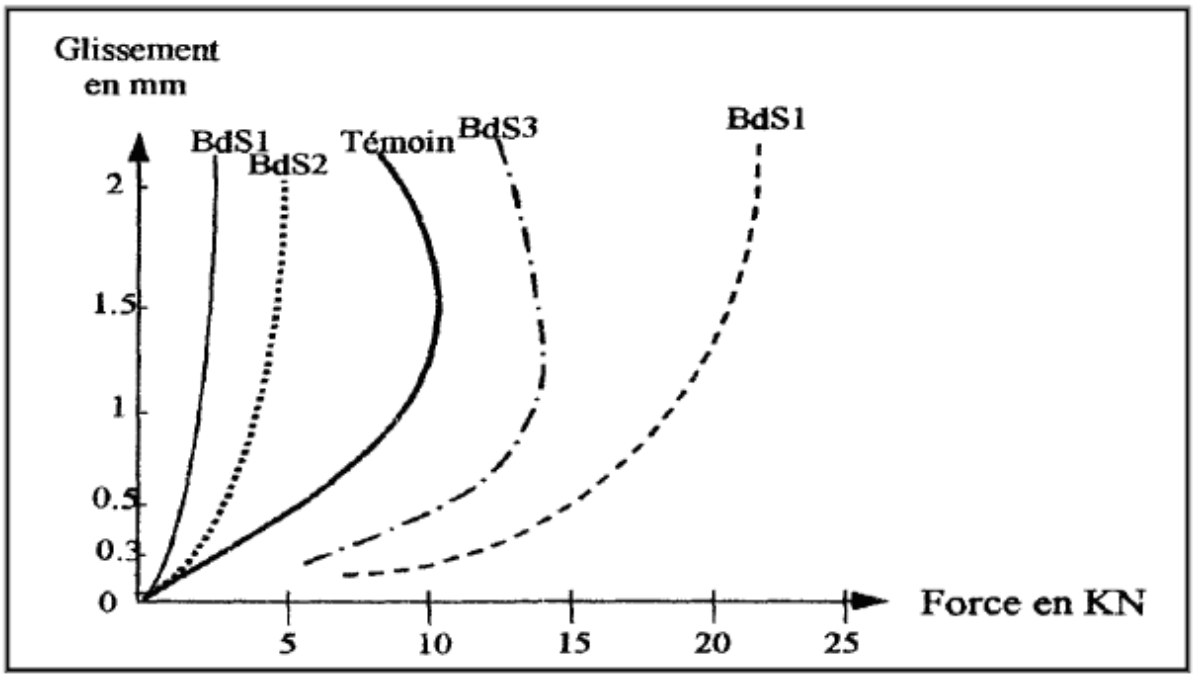


Figure 1.9. Variation de l'adhérence d'une armature en fonction de la formulation **[10].**

Dans le cas des petites déformations (partie initiale), on constate que la contrainte correspondant au même niveau de déformation (50 microns) est d'autant plus forte que la résistance en traction du béton de sable est élevée. (Figure (1.10)) Le phénomène d'adhérence observé dans le béton de sable est pratiquement identique à celui des bétons traditionnels (contrainte ultime varie de 30 à 60 bars), alors qu'on peut dire que l'association béton de sable-acier engendre une adhérence suffisante entre les deux matériaux, ceci permet d'envisager l'utilisation du béton de sable comme béton de structure.

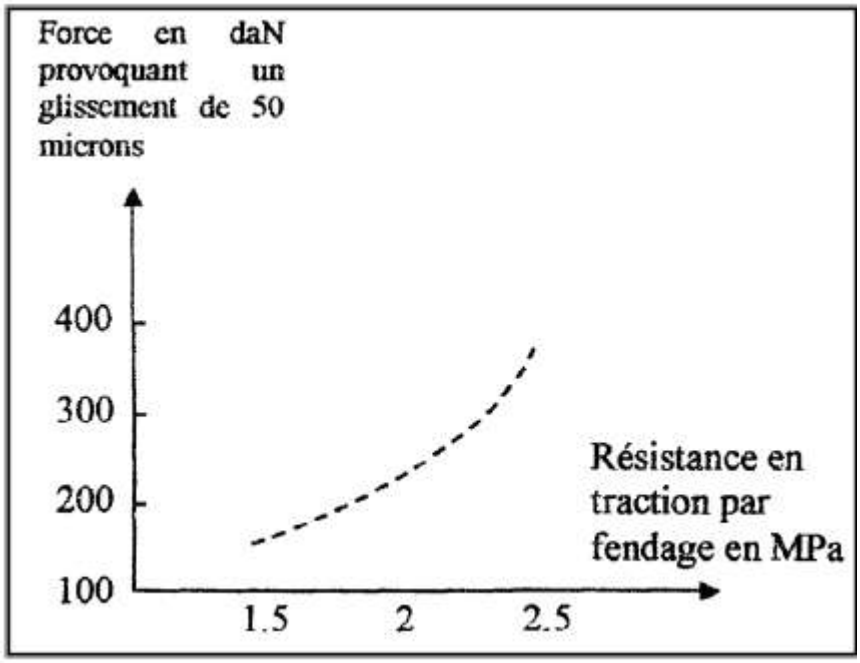


Figure 1.10. Influence de la résistance en traction du béton de sable sur l'adhérence des armatures **[10].**

1.2.8.5 Durabilité des bétons de sable

La durabilité d'un béton est liée à ses capacités d'échange avec le milieu extérieur. Tous les milieux extérieurs sont considérés comme agressifs pour les bétons avec des degrés d'agressivité plus ou moins importants. L'estimation de la durabilité s'effectue au moyen de plusieurs essais selon l'environnement du matériau tels que :

- Perméabilité à l'air et à l'eau
- Gel-dégel
- Carbonatation
- Pénétration des ions chlorure

Les bétons de sable se caractérisent par une porosité plus importante que les bétons traditionnels, mais les vides sont plus petits ce qui contribue à leur donner un bon comportement vis-à-vis des essais de durabilité. La perméabilité à l'eau est du même ordre de grandeur que celle des bétons traditionnels alors que celle à l'air est inférieure ou comparable aux bétons classiques.0

La tenue au gel des bétons de sables est excellente et elle est même meilleure que celle des bétons classiques avec des formulations équivalentes ce qui peut être expliqué par la microstructure particulière des bétons de sable.

Le comportement en carbonatation est aussi satisfaisant voir même excellent.

Quant à leur comportement vis-à-vis de la pénétration des ions chlore, il peut être considéré comme comparable à celui des bétons traditionnels : la teneur en ions chlorures ne dépassant pas 0,4% de la masse du ciment **[4].**

1.2.8.6 Résistance au gel et au dégel

De même, la tenue au gel des bétons de sable formulés correctement est excellente. En effet, par comparaison à une étude menée sur un large éventail de formulations de bétons traditionnels, les bétons de sable à formulation et performance équivalentes résistent mieux au gel que les bétons traditionnels correspondants. Certains bétons de sable, même sans ajout d'entraîneur d'air, présentent une résistance au gel équivalent aux bétons classiques les plus performants de ce point de vue. Cette bonne tenue aux cycles gel- dégel, quand elle ne résulte pas d'une formulation visant, soit une très faible porosité, soit une porosité bien répartie par l'emploi d'entraîneur d'air, s'explique par la microstructure particulière des bétons de sable, qui est en général, caractérisée par une bonne répartition de micropores **[10]**.

1.2.8.7 Retrait et Fluage [5]

- **Le retrait**

Les mortiers et les bétons subissent des variations importantes quand leur contenu en eau ou l'humidité du milieu environnant varie. Immédiatement après le gâchage, a lieu une première réduction de volume irréversible. Après le durcissement de mélange et son exposition à l'air commence une nouvelle réduction de volume qui est partiellement réversible à la réhumidification.

La première réduction de volume due au séchage irréversible s'appelle contraction plastique et la réduction de volume due au séchage réversible s'appelle retrait. La contraction plastique est provoquée par l'hydratation des composants minéralogiques du ciment, tandis que le retrait est dû surtout à l'évaporation de l'eau contenue dans les pores. On distingue les retraits suivants :

- le retrait d'hydratation ;
- le retrait d'évaporation avant prise ;
- le retrait hydraulique après prise ;
- le retrait thermique.

Pendant la période de prise, l'eau n'est pas encore liée aux constituants des ciments ; elle n'est retenue que physiquement et mécaniquement. L'évaporation se traduit par un tassement de béton donnant ainsi le retrait d'évaporation, qui, s'il est contrarié, provoque de profondes fissures, visibles au démoulage. Le retrait après prise est beaucoup plus lent à se manifester que le retrait avant prise. Il est dû à la perte d'une partie de l'eau de gâchage ; si le béton est conservé dans une atmosphère à faible humidité relative. Le phénomène du retrait hydraulique a été beaucoup étudié, parce qu'il est

en liaison avec la tendance à la fissuration des liants durcis qui représentent le premier signe de leur dégradation. Les facteurs qui influent sur ce retrait sont nombreux :

- le retrait varie avec l'humidité relative et la température du milieu environnant. Il est d'autant plus important, que l'humidité de l'air est plus faible et la température plus élevée.
- Le retrait est d'autant plus grand que l'hydratation du ciment est plus accentuée. Les ciments finement broyés présentent un retrait plus grand que ceux qui ont été broyés grossièrement.
- La composition minéralogique du ciment influe sur le retrait, surtout si le ciment est riche en aluminate tricalcique.
- Le retrait dépend aussi des adjonctions minérales pulvérulentes ainsi que de la fraction fine de granulats.

- **le retrait du béton de sable**

Le retrait d'auto-dessiccation est caractérisé par une cinétique semblable à celle du béton classique. Une différence de l'ordre de 10% existe par rapport à ce dernier. Cette différence, couramment observée à l'intérieur même de la gamme des bétons, est due à une perte en masse plus rapide pour le béton de sable. Le rapport des déformations de retrait de dessiccation des deux bétons, en fin d'essai (6 mois), est égal à 1.6 correspondant globalement au rapport de perte en masse au même âge, soit 1.48 (figure (1.11) et (1.12)).
En conclusion nous pouvons dire que le retrait est une fonction croissante de l'eau évaporable (taux de séchage) .Notons que la valeur du retrait du béton de sable est voisine de celle du béton ordinaire

S'il est conservé dans un milieu étanche. Si la conservation se fait dans un milieu sec, la valeur du retrait du béton de sable est double de celle du béton ordinaire.

- La forme des ouvrages et les armatures ont leur effet sur le retrait. Dans le cas des barrages, des murs épais, le retrait est négligeable ; par contre il peut être appréciable dans le cas des planchers, des dalles des enduits.
- Le retrait thermique est dû à des baisses de température provenant soit du ciment lui-même lors de son hydratation aux premiers âges suivie de son refroidissement, soit des variations climatiques du milieu.

Retrait d'auto-dessiccation

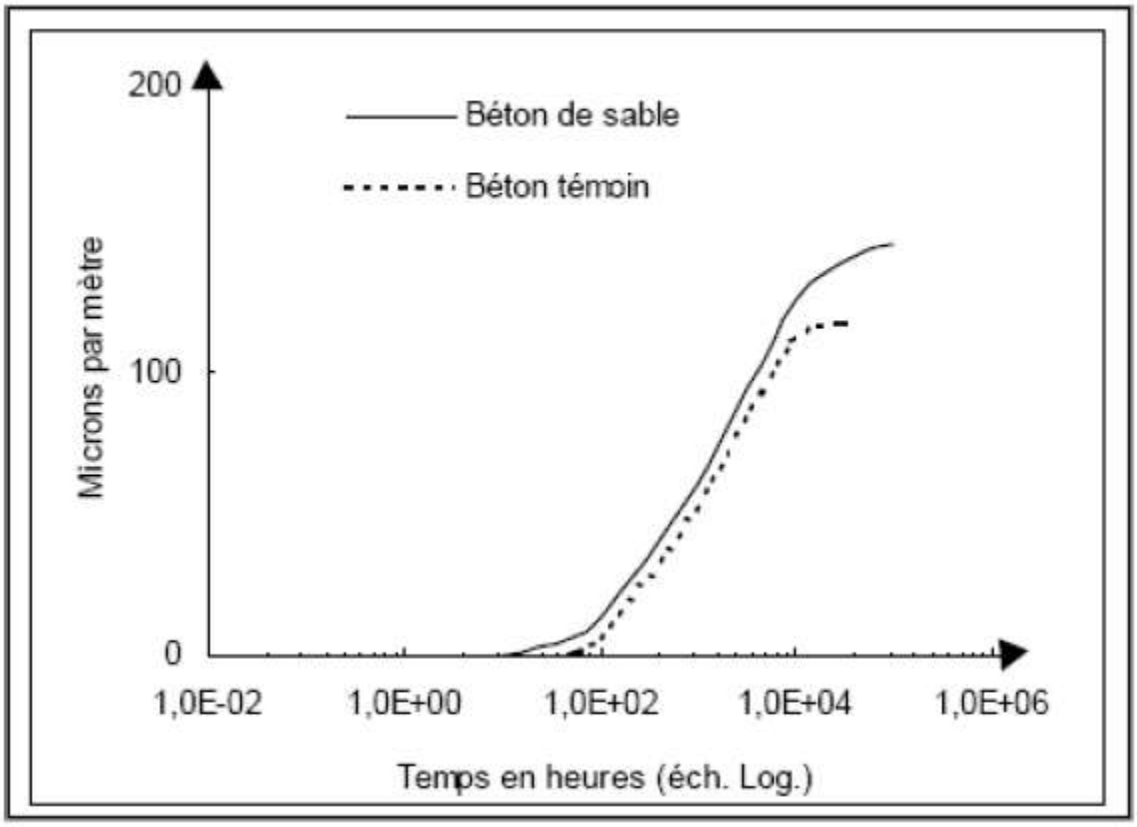


Figure 1.11. Evolution du retrait d'auto-dessiccation dans le béton de sable **[5].**

Retrait total

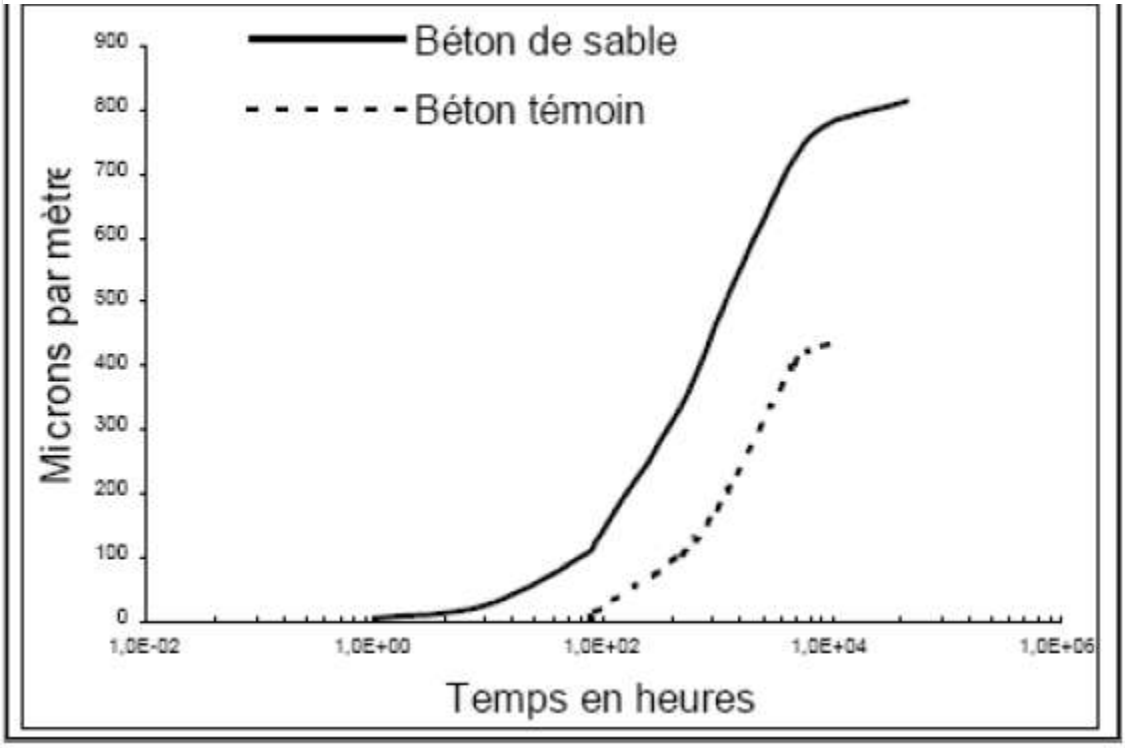


Figure 1.12. Evolution du retrait totale dans le béton de sable **[5].**

1.2.9 La différence entre le béton de sable et le mortier

Le béton de sable comme son nom l'indique est un béton ou le gros granulat est le sable (Dmax = 5mm), il ne consomme que (250 à 400) Kg/m3 de ciment, dosage habituel des bétons classiques, la compacité optimal étant atteinte par un ajout complémentaire de fines fillers) et de plastifiant, tandis que le mortier utilise un fort dosage en ciment de (400à 600) Kg/m3 **[2].**

1.2.10 Bétons de sable fluides

Les bétons fluides ont été développés récemment afin d'améliorer les conditions d'exécution et la productivité des chantiers ainsi que la qualité et la durabilité des ouvrages.
Ces bétons ont trouvé un grand intérêt dans certaines conditions d'utilisation telles que : l'absence de vibration, la faible accessibilité aux zones ferraillées et aux formes complexes des coffrages et le besoin de pomper le béton à des distances importantes.

Le concept du BS s'adapte parfaitement aux conditions particulières citées ci-dessus. En plus, l'absence totale ou partielle des gros granulats dans le BS minimise le risque de ségrégation.
La fluidité doit être assurée par l'utilisation des adjuvants superplastifiants afin d'éviter l'ajout excessive et incontrôlé de l'eau, qui entraîne une diminution des performances physico-mécaniques et de la durabilité.
Pour que les bétons de sable fluides soient homogènes et stables vis-à-vis du phénomène de ségrégation et de ressuage, l'utilisation des éléments fins ou d'un adjuvant de viscosité est obligatoire.
Les bétons de sable fluides sont intéressants pour certaines applications en génie civil comme les pieux forés, les injections et les reprises en sous-œuvre.
Les bétons de sable fluides sont économiquement mieux adaptés aux dallages du bâtiment. S'agissant d'éléments horizontaux, la fluidité convient et l'auto-nivellement est un atout considérable.

L'intérêt réside dans les avantages suivants :

- Rapidité et simplicité d'exécution ;
- Limitation des moyens en personnel et en matériels ;
- Nuisances réduites (absence de vibration).

Dans le cas des aménagements de voirie peu dénivelés (comme les aires de stationnement et les voies piétons), où les performances demandées ne seront pas élevées, elles se prêtent parfaitement à la technique de fluidification de BS.

Les bétons de sable fluides présentent des performances comparables aux bétons fluides classiques, dont l'utilisation semble se développer actuellement.

Indépendamment de l'aspect environnemental lié à l'utilisation des BS, il pourra être mieux adapté aux cas suivants :

- Risques de ségrégation préjudiciables ;
- Forte densité de ferraillages ;
- Recherche d'un produit fini ;

Le BS fluidifié présente un surcoût allant de 10 à 25 % par rapport à un béton traditionnel. Par exemple, les BS nécessitent des dosages plus élevés en fluidifiants et additions que les bétons traditionnels, pour avoir des performances identiques.

Indépendamment à l'aspect économique et aux gains de productivité, le BS fluidifié peut être une meilleure adaptation aux plusieurs applications mal assurées par les bétons traditionnel **[10].**

1.3 Recyclage et valorisation de déchets

1.3.1 Introduction

Du fait de l'augmentation des activités du Bâtiment et des Travaux Publics depuis quelques décennies, on constate un afflux croissant du volume des déchets issus des chantiers.

L'industrie en Algérie a une part de responsabilité majeure dans la pollution globale du pays, notamment l'industrie pétrochimique, chimique, métallurgique et de traitement des minerais.

La valorisation des déchets dans le génie civil est un secteur important dans la mesure où les produits que l'on souhaite obtenir ne sont pas soumis à des critères de qualité trop rigoureux. Le recyclage des déchets touche deux impacts très importants à savoir l'impact environnemental et l'impact économique **[15].**

1.3.2 Les déchets et les types des déchets

1.3.2.1 Définition d'un déchet

Selon l'**article L541-1-1 du Code de l'Environnement**, un déchet est défini comme « toute substance ou tout objet, ou plus généralement tout bien meuble, dont le détenteur se défait ou dont il a l'intention ou l'obligation de se défaire ». En fonction de leurs types et de leurs origines, les déchets ont un niveau de dangerosité variable qui, dans certains cas, peut être préjudiciable à l'homme et à l'environnement **[16].**

1.3.2.2 Origine de la production des déchets

La production des déchets est inéluctable pour les raisons suivantes :

- Biologiques : tout cycle de vie produit des métabolites ;
- Chimiques : toute réaction chimique est régie par le principe de la conservation de la matière et dès que veut obtenir un produit à partir de deux autres on en produira un quatrième ;
- Technologiques : tout procédé industriel conduit à la production de déchet ;
- Économiques : les produits en une durée de vie limitée ;
- Écologiques : les activités de la dépollution (eau, air) génèrent inévitablement d'autres déchets qui nécessiteront une gestion spécifique ;
- Accidentelles : les inévitables dysfonctionnements des systèmes de production et de consommation sont eux aussi à l'origine de déchets **[17].**

1.3.2.3 Les déchets utilisés en génie civil [18]

En général les déchets sont classés en cinq catégories comme illustrés ci –dessous ; bien que les déchets utilisables en génie civil soient :

A. Déchets industriels dangereux non toxiques

Ce type de déchets regroupe généralement (voir Figure 1.13) :

- ❖ Des déchets de fer, de cuivre, de plomb.
- ❖ Des déchets contenant des fibres d'amiante.
- ❖ Des produits de préservation du bois.
- ❖ Des déchets solides dangereux de construction et de démolition de bâtiment à caractère industriel.



Figure 1.14. Des déchets industriels non toxiques **[56] [57]**.

B. Déchets inertes

Tout déchet qui ne subit aucune modification physique, chimique ou biologique importante, qui ne se décompose pas, ne brûle pas, ne produit aucune réaction physique ou chimique, n'est pas biodégradable et ne détériore pas les matières avec lesquelles il entre en contact d'une manière susceptible d'entraîner des atteintes à l'environnement ou à la santé humaine ».

Parmi les déchets inertes produits par le secteur du bâtiment on trouve : le béton, les briques, les tuiles, les céramiques, les carrelages, les matériaux à base de gypse (voir Figure 1.14)).



Figure 1.14. Exemple de quelques déchets inertes **[52].**

C. Déchets toxiques

Ils sont à caractère industriel et obtenus en général après traitement chimique des matériaux synthétiques. Certains déchets toxiques sont mélangés en faible quantité à des produits non polluants. Il est alors impossible de recycler ces produits sans les avoir débarrassés des déchets toxiques, des exemples sont présentés sur la figure 1.15.



Figure 1.15. Exemple des déchets toxiques **[53].**

D. Déchets industriels dans des conditions spécifiques (DIB)

Ils proviennent d'industries générant de très grandes quantités de déchets en sous-produits industriels, dont les caractéristiques sont bonnes et relativement stables (cendres volantes (Figure 1.16) les scories d'aciéries, le laitier, etc.)



Figure 1.16. des cendres volantes stockées dans une usine **[59].**

E. Déchets ménager et assimilés

Les déchets ménagers et assimilés sont les déchets solides produits par les ménages sur leur lieu d'habitation Ils regroupent :

- les ordures ménagères.
- les déchets d'emballage recyclables en verre.

- les déchets encombrants issus des ménages.
- les déchets végétaux.
- Déchets de matière alimentaire (Déchets de café).
- Déchets de l'automobile (huiles, épaves, batteries, pneus, …).

F. Les déchets industriels banals (D.I.B.)

Un déchet industriel banal (DIB) est un déchet ni inerte ni dangereux, généré par les entreprises dont le traitement peut éventuellement être réalisé dans les mêmes installations que les ordures ménagères : cartons, verre, déchets de cuisine, emballages, déchets textiles, ...

1.3.2.4 Valorisation de déchets

- **Recyclage**

Le recyclage est un procédé de traitement des déchets industriels et des déchets ménagers qui permet de réintroduire, dans le cycle de production d'un produit, des matériaux qui le composent.
Le recyclage a deux conséquences écologiques majeures : la réduction du volume de déchets et la préservation des ressources naturelles. Certains procédés sont simples et bon marché mais, à l'inverse, d'autres sont complexes, coûteux et peu rentables. Dans ce domaine, les objectifs de l'écologie et ceux des consommateurs se rejoignent mais parfois divergent ; c'est alors le législateur qui intervient. Ainsi, en particulier depuis les années 70, le recyclage est une activité importante de l'économie et des conditions de vie des pays développés.
Le recyclage s'inscrit dans la stratégie de traitement des déchets dite des trois R :

- réduire, qui regroupe tout ce qui concerne la réduction de la production de déchets,
- réutiliser, qui regroupe les procédés permettant de donner à un produit usagé un nouvel usage.
- Le recyclage apporte une contribution importante à la baisse des quantités de déchets à éliminer par enfouissement et par incinération, mais il n'est pas suffisant pour contrer l'augmentation de la production des déchets ou y suffit à peine **[19].**

- **Impacts du recyclage sur l'environnement**

La récupération des déchets touche deux impacts très importants, l'impact environnemental qui est résout par l'évacuation de ces déchets et l'impact économique qui est l'utilisation de ces derniers dans l'industrie ou dans le domaine de la construction, ces déchets ont l'avantage d'être disponibles en grande quantité et avec de faible valeur marchande **[20].**
Le recyclage de déchets permet de :

- ❖ Réduire l'extraction de matières premières.
- ❖ Réduire des pollutions et nuisances.
- ❖ Préservé de la diversité biologique et des espaces naturels.
- ❖ Protection des recoures naturels.
- ❖ La protection de l'atmosphère.
- ❖ Contrôle et déduire des déchets dangereux.

- ➢ **Récupération**

Séparation de certains produits ou matériaux des déchets à des fins de réemploi de réutilisation et de recyclage **[58]**.

- ➢ **Compostage**

Procédé biologique qui permet, sous l'action de bactéries aérobies (en présence d'oxygène), la dégradation accélérée de déchets organiques pour produire du compost **[58]**.

- ➢ **Incinération**

Méthode de traitement thermique des déchets qui consiste en une combustion (technologie et température variant selon la nature du déchet) et un traitement des fumées. De cette technique résultent trois catégories de résidus : mâchefers, cendres et résidus d'épuration des fumées. La chaleur générée par l'incinération fait l'objet de valorisation énergétique (production d'électricité et de chaleur) dans la plupart des unités **[58]**.

- ❖ **La Valorisation**

Terme générique recouvrant le recyclage matière et organique, la valorisation énergétique des déchets, ainsi que le réemploi, la réutilisation et la régénération **[21].**

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

L'approche globale du déchet permettra d'en définir son devenir, à savoir quel type de valorisation choisir **[22].**

1.4 La valorisation des sédiments

1.4.1 Introduction [23]

Les sédiments est un ensemble d'éléments déposés par l'eau, le vent, la glace qui proviennent de l'usure des continents, c'est à dire de la destruction de roches ou d'être vivants. La destruction se fait par des mécanismes physiques produisant la fragmentation des matériaux et des réactions chimiques donnant des solutions de lessivage (altération chimique). Les éléments solides sont déplacés sous l'effet de la gravité, souvent par l'intermédiaire d'un fluide transporteur (eau, glace), et sous l'effet des variations de pression atmosphérique qui produisent les vents.

Les éléments en solution sont transportés par l'eau.

- une partie des produits de destruction peut s'accumuler momentanément sur place, sans être transportée, et constitue alors une couche d'altération ou éluvion.
- les débris, dans leur majeure partie, sont déplacés puis déposés, généralement dans l'eau, pour former un sédiment détritique (alluvions au sens large). Les éléments en solution qui précipitent, sous avec intervention des êtres vivants, forment un sédiment d'origine chimique ou biochimique.

1.4.2 Principaux types des sédiments [24]

Il est important dans le cadre de notre étude de classer les sédiments selon leur taille, c'est à dire leur diamètre apparent (diamètre minimal de la sphère entourant le sédiment) par exemple, selon l'échelle de Wentworth (voir figure (1.18)).

On peut distinguer 3 grands types de sédiments:

- Les galets et les gravillons qui proviennent de l'embouchure des fleuves torrentiels ou de l'érosion des falaises (voir photo (1.17)).
- Le sable dont la taille du grain varie de quelques dizaines de micromètres à 2 millimètres, produit ultime de l'érosion des roches cristallines par les fleuves et les glaciers disparus.



Figure 1.17. Des galets et gravillons **[55].**

- Les limons et les vases dont la taille du grain est inférieure 60 micromètres. Cette distinction provient de la particularité des vitesses de chûte de ces sédiments. En effet, les sables correspondent à la zone intermédiaire entre les vases pour lesquelles la résistance hydrodynamique varie proportionnellement à la vitesse de chûte, c'est-à-dire tombent en régime laminaire et les galets qui tombent en régime turbulent.

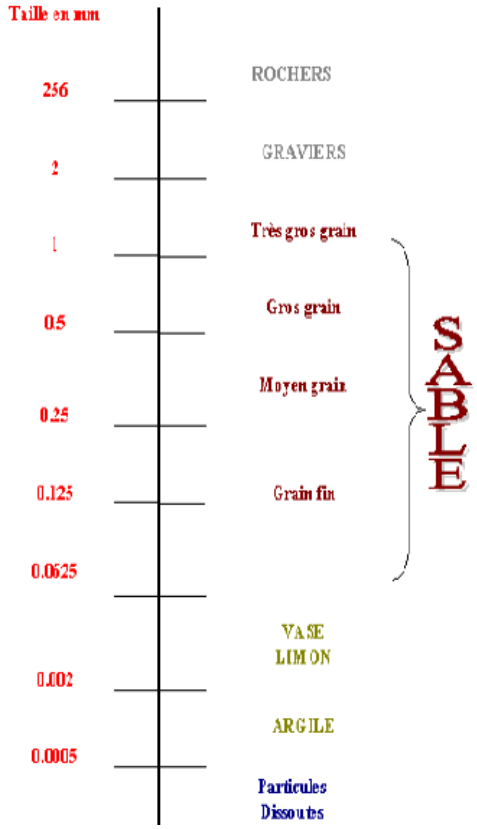


Figure 1.18. Classification des Sédiments par Taille selon l'échelle de Wentworth.

1.4.3 La définition de la sédimentation

La sédimentation est un phénomène naturel, elle est due à l'érosion des roches, des sols, la précipitation des sels comme les chlorure et les sulfates, les débris des plantes des coquilles et cadavres d'animaux ; leurs transport quotidien par les cours d'eau conduit à leurs envasement **[25].**

1.4.3.1 Les Processus de Transport et de sédimentation [26]

La désagrégation et l'altération des matériaux rocheux fournissent une matière meuble désorganisée et peu résistante, qui peut être entrainée par la gravité et les agents d'érosion. Les principaux agents d'érosion sont : l'eau, la glace et le vent. En particulier, les eaux courantes vont transporter la

matière meuble jusqu'à une nouvelle situation d'équilibre où une sédimentation va s'effectuer : voir figure (1.19).

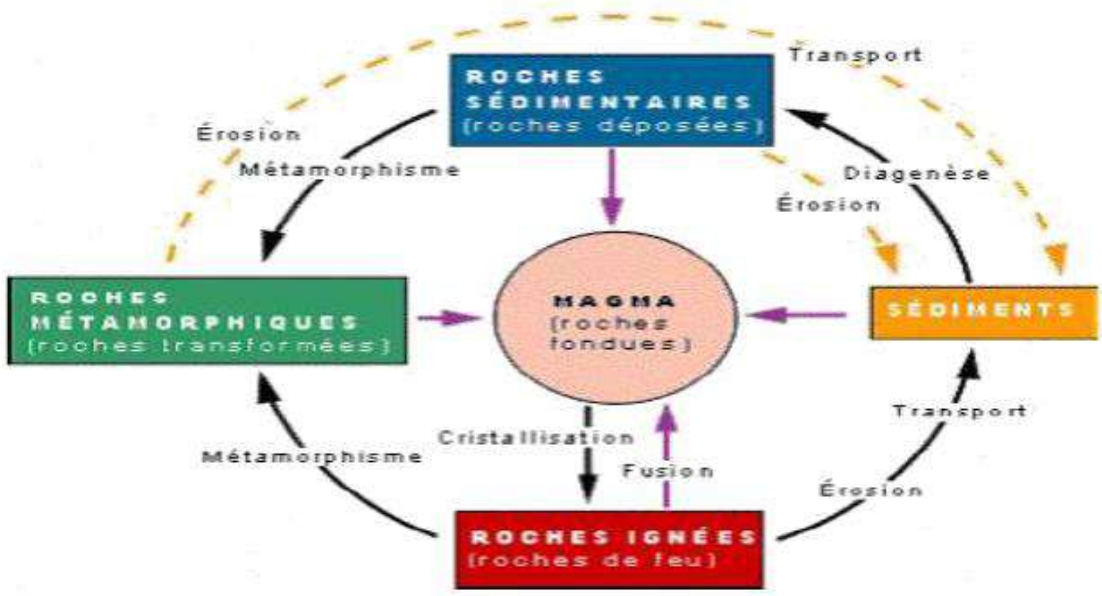


Figure 1.19. Cycle altération –transport – sédimentation (Philippe Joey 2005) **[26].**

Les sédiments ainsi formés seront d'abord des alluvions, c'est-à-dire le dépôt est parfois situé très loin de la partie d'origine de ses éléments. Les alluvions sont susceptibles de se transformer ensuite, par cimentation naturelle, en roches sédimentaires détritiques indurées. L'histoire de la terre étant longue et complexe, ce processus de cycle (altération-transportsédimentation) peut se reproduire plusieurs fois au cours des temps géologiques : voir figure (I.7).

Le faciès des sédiments sera lié à ses conditions de dépôt, en milieu marin, en milieu lagunaire, en milieu lacustre. Les principaux processus de formation et d'évolution des matériaux sédimentaires.

1.4.3.2 Problèmes posés par la sédimentation

La sédimentation dans les barrages pose d'énormes problèmes au niveau du réservoir lui-même, mais aussi en amont et en aval du réservoir. Elle entraine la réduction de la capacité utile du barrage, le blocage des organes de vidange, la sédimentation peut mettre la stabilité de l'ouvrage en danger.

Elle peut aussi accélérer l'eutrophisation du lac. Les sédiments en suspension dans l'eau distribuée par les canaux, à partir des barrages, se déposent dans ces ouvrages, réduisent leur débitante, et

rendent difficile leur exploitation (voir figure 1.20), et elle a même un impact sur la qualité de l'eau **[28].**

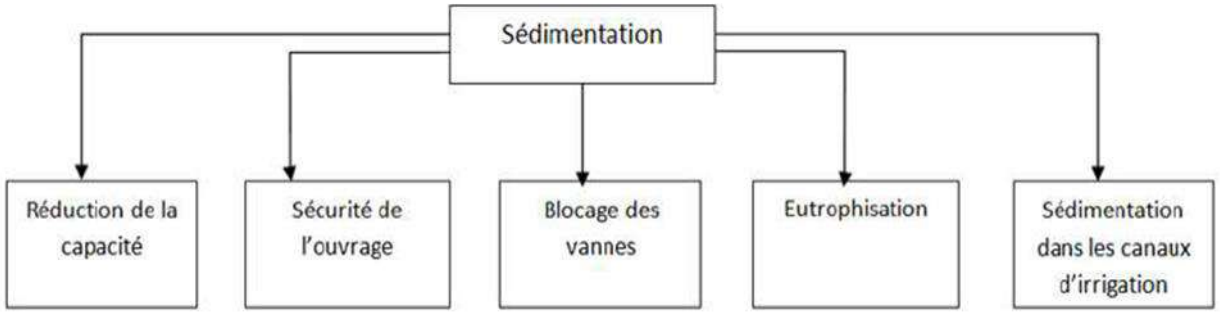


Figure 1.20. Un schéma représente les problèmes posés par la sédimentation **[28].**

- **Réduction de la capacité**

La réduction de la capacité de stockage de l'eau est sans aucun doute la conséquence la plus dramatique de l'envasement. Chaque année, le fond vaseux évolue et se consolide avec occupation d'un volume considérable de la retenue [**28**].

- **Sécurité de l'ouvrage**

L'envasement pose un problème sur la stabilité de l'ouvrage. On sait que pour une variation linéaire de la hauteur de la vase, la poussée progresse au quart de la hauteur.

La sédimentation des retenues à un impact sur la sécurité des barrages, par la mise en danger de la stabilité de l'ouvrage du fait de l'augmentation de la force hydrostatique produite par le remplacement accélère du volume d'eau par la vase. Ceci se traduit par l'accroissement de la masse spécifique qui peut atteindre 1,8 t/m3. Ce cas a été signalé aux barrages de Zardezas, et de K'sob.

On a signalé que si le taux de comblement d'une retenue dépasse 50% de la capacité initiale et la vase est en contact de l'ouvrage, dans ce cas, il faut prendre au sérieux la stabilité du barrage. C'est le cas des barrages d'Oued El Fodda, et de Foum El Gherza [**28**].

- **Blocage des vannes**

La présence des courants de densité dans une retenue accélère la sédimentation, et peut avoir comme impact l'obturation des organes de vidange. La non maitrise du mécanisme des courants de densité peut avoir un effet néfaste sur les vannes de fond. En effet, l'ouverture tardive des vannes de fond, par rapport à l'arrivée des courants de densité, favorise la consolidation des vases près des pertuis de vidange et rend plus difficile leurs manœuvres, un exemple sur le blocage des vannes est présenté dans (la figure 1.21).

Comme exemple, on peut citer le cas du barrage d'Oued El Fodda dont la vanne de fond a été bloquée depuis 1948 suite à la consolidation rapide de la vase. Actuellement, elle se trouve sous 40 m de hauteur de vase. La vanne du barrage de Foum El Gherza s'est obturée durant la période 1981-1989. Celle du barrage de Zardezas a été bloquée durant les années 90 [**28**].



Figure 1.21. exemple de blocage de la vanne de fond de la deuxième digue du barrage Boughezoul **[41].**

- **Accélération de l'eutrophisation**

Une fois déposées, les particules solides se tassent, et se consolident suivant leur nature, et les conditions physico-chimiques du milieu. Du fait de l'eutrophisation qui en résulte, la qualité de l'eau se dégrade très sérieusement [**28**].

Plusieurs cas ont été signales dans la région de l'Afrique du nord. En effet, les déficits en oxygène, enregistres près du fond du barrage El Khattabi (Maroc) au cours de la saison d'été, ont provoqué une activité de biodégradation dans les zones profondes [**28**].

- **Sédimentation dans les canaux d'irrigation**

Un autre problème délicat pose par la sédimentation qui s'étend cette fois-ci à l'aval du barrage. En effet, l'irrigation par l'eau chargée provoque le dépôt des sédiments dans les canaux. La section mouillée diminue avec le temps et par conséquent le débit d'écoulement.

Ce problème impose leur entretien, et leur dévasement d'une manière périodique.

1.4.4 Causes et origine de L'envasement [27]

1.4.4.1 Définition de l'envasement

L'envasement est un phénomène dont la dynamique est régulière et homogène. Les dépôts s'effectuent de façon linéaire le plus souvent homogène sur le fond des retenues. Cet envasement des retenues et des estuaires est lié directement aux phénomènes de l'érosion où les processus de ce phénomène ont des définitions diverses, suivant les auteurs. Nous avons retenu la définition qui combine l'arrachement (creusement de la surface du sol, dégradation et altération des roches), le transport et le dépôt de matériaux (voir Figure 1.22).

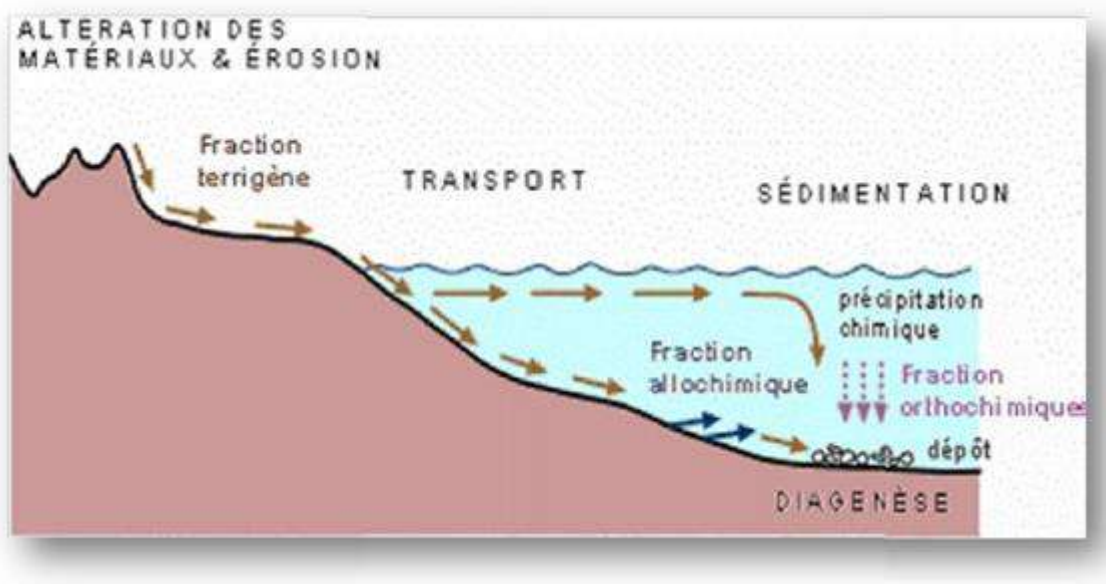


Figure 1.22. processus sédimentaires (P.Deslauries et J. Couveignes2001) **[27].**

1.4.4.2 L'origine de l'envasement

- L'origine de l'envasement se trouve dans le dépôt de particules solides, minérales et organiques sur le lit du cours d'eau. Elles sont transportées, par charriage, en suspension ou par ruissellement, pour se déposer dès que le débit du cours d'eau faible.
- L'érosion, le transport de matériaux et la sédimentation constituent les trois termes de l'évolution géodynamique de la croute terrestre conduisant à une pénéplanisation des reliefs montagneux sur l'ensemble du globe. Les agents de l'érosion qui sont principalement la pluie, le ruissellement et le vent, ainsi que des facteurs qui vont conditionner les quantités de particules arrachées: caractéristiques des pluies, des sols, de la végétation, de la topographie et enfin les activités humaines.
- La définition de l'érosion suivant la trilogie ≪creusement, transport et accumulation des matériaux≫ conduit à imaginer un système fluvial idéal comprenant 3 zones:

1. La zone 1 : correspond à la zone de production des matériaux (amont).
2. La zone 2 : est celle des transferts des matériaux arrachés en zone 1 (cours d'eau).
3. La zone 3 : couvre les sites des dépôts de ces matériaux (retenues et estuaires).

Il ressort dans les processus de l'érosion que l'eau en est le principal agent moteur.

Elle est la cause première de l'altération des roches qui donnent des particules, du détachement et de l'arrachement des agrégats. L'énergie cinétique développée par le ruissellement permet l'enlèvement des agrégats détachés, le creusement du sol et le transport des matériaux qui sont déposés où accumulés progressivement avec la dissipation de cette énergie.

1.5 La vase et le déchet de la vase [29]

1.5.1 Définition

Le nom de vase (mot emprunte au Néerlandais) est la désignation d'une large famille de sédiments fins, argileux, plus ou moins organiques, pouvant atteindre des teneurs en eau importantes. Elles contiennent une phase minérale dont la granulométrie s'étend des sables, aux argiles et aux colloïdes, une phase organique et une phase liquide.

La vase peut se présenter aussi bien à l'état de suspension (crème de vase) que de sol cohérent (sédiment cohésif) présentant alors un caractère plastique, compressible et thixotropique. Elle contient souvent habitat d'une faune riche et diversifiée (vers, mollusques, bactéries).

Les vases sont des sols contenant plus de 90 % de particules inferieures à 0,2 mm, dont la matière organique M.O est comprise entre 2 et 10 %. Elles sont composées de sable, limon, argile et de colloïdes organiques. Elles sont en particulier très abondantes dans les estuaires. Elles sont fréquemment thixotropes (voir Figure 1.23).

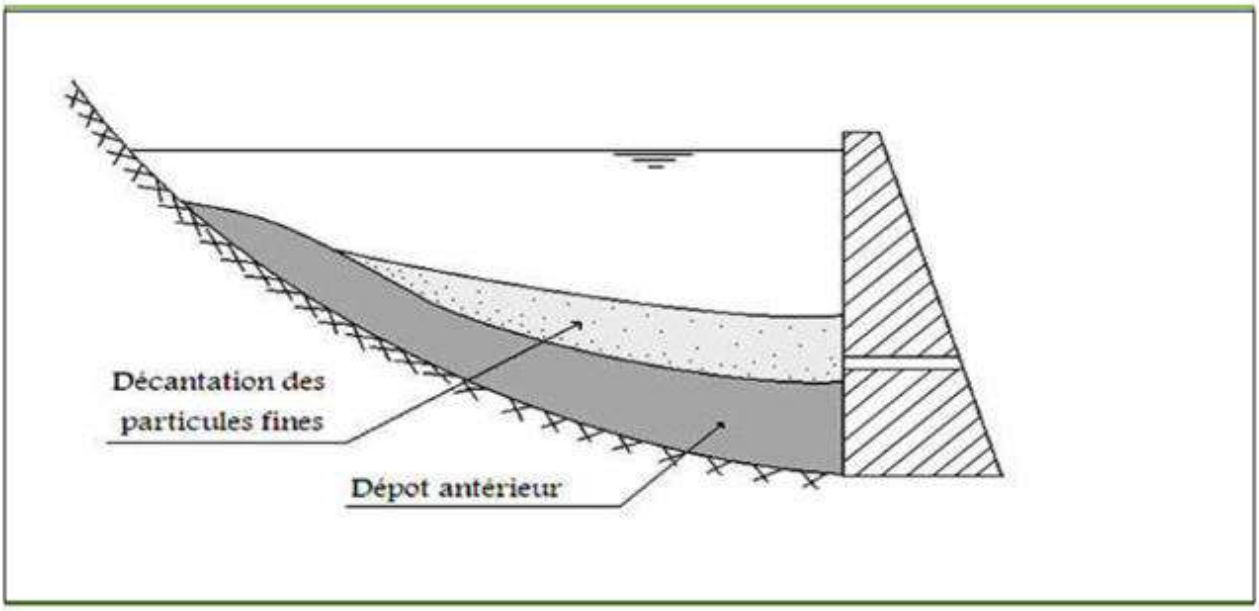


Figure 1.23. Formation de la vase au fond du barrage **[29].**

1.5.2 La définition proposée par Migniot [30]

«Les vases sont des sédiments complexes qui couvrent une gamme étendue de particules inférieures à 40 microns mais peuvent contenir une quantité notable d'éléments sableux».

Les différentes classes de sédiments interviennent rarement seules. On définit alors différents faciès lithologiques qui varient encore avec les auteurs et les pays, le tableau suivant (1.1) simplifiés la définition de la vase.

Tableau 1.1 : Les plus simples définitions des faciès d'après Allen (cité par Boutin, 2000) **[31].**

Dénomination	**Caractéristiques**
Sable	**Plus de 80% d'éléments supérieurs à 50 µm**
Sable vaseux	**De 20 à 80% d'éléments supérieurs à 50 µm**
Vase	**Plus de 80% d'éléments inférieurs à 50 µm**

1.5.3 Composition des vases

- **Structure physico-chimique des vases**

Les sédiments se composent d'une fraction solide et d'une fraction liquide (eau) qui est intimement liées les unes aux autres. Les proportions respectives de chacune de ces fractions sont variables d'un

milieu à un autre mais demeurent dans une fourchette, qui par expérience, peut être estimée si l'on considère des matériaux de type vases.

IL y a quatre éléments principaux constitués Les vases :

1. La matrice minérale (quartz, feldspaths ou carbonates).
2. La fraction argileuse (kaolinite, illite ou smectite).
3. la fraction organique (débris végétaux, micro-organismes, acide fulvique et humiques).
4. Une certaine quantité d'eau, présente sous différentes formes.

La distribution granulométrique d'un sédiment constitue son empreinte physique, elle caractérise la taille des particules (voir Figure 1.24), constituant la phase solide du matériau. Pour l'obtenir, il est procédé à un tamisage mécanique. En dessous d'une taille de 20 µm, il est nécessaire de recourir à des mesures au laser, qui utilisent le principe de la diffraction de la lumière cohérente sur un écoulement d'une suspension très diluée de fines. Il est communément considéré que les «Vases» correspondent à la fraction inférieure à 63 µm **[32].**

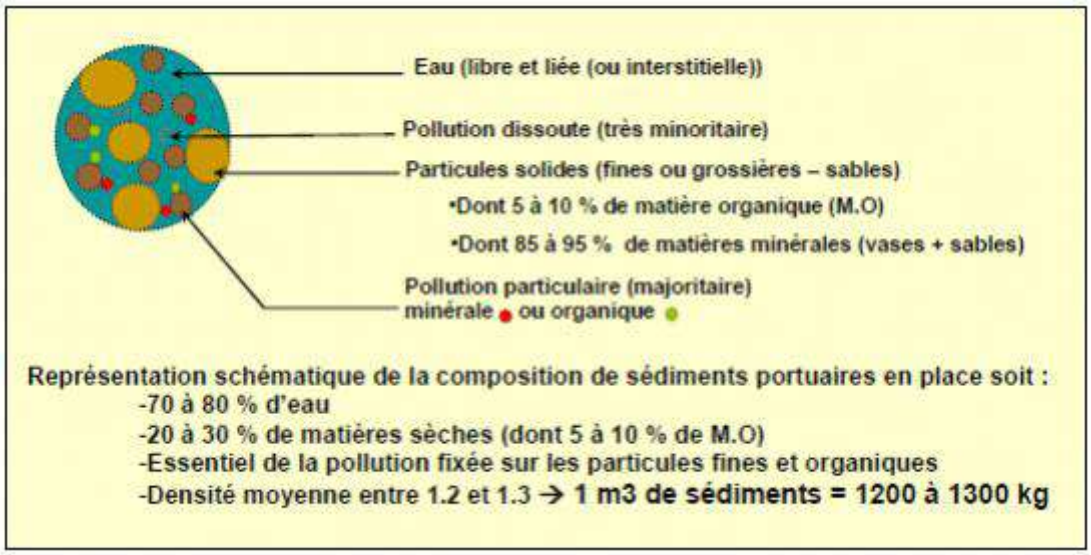


Figure 1.24. Schéma de la composition simplifiée des sédiments portuaires **[33].**

1.5.4 La valorisation de la vase du barrage Ghrib

1.5.4.1 Brèves histoires des barrages en Algérie [34]

L'Algérie perd par envasement 45 à 50 millions de m3 chaque année, ce qui représente une perte de capacité annuelle égale à 0,65 % de la capacité totale. Le volume de vase estime en 2006 était de 1,1 milliards de m3, soit un taux de comblement de 16 % de la capacité totale de 6,8 milliard de m3. Certains barrages ne contiennent pratiquement que de la vase, à l'exemple du Fergoug qui est envasé à 80 %, la figure (1.25) montre la répartition des barrages en exploitation dans Nord algérien, ainsi que le tableau (1.2) nous donne plusieurs informations sur les barrages du Nord.

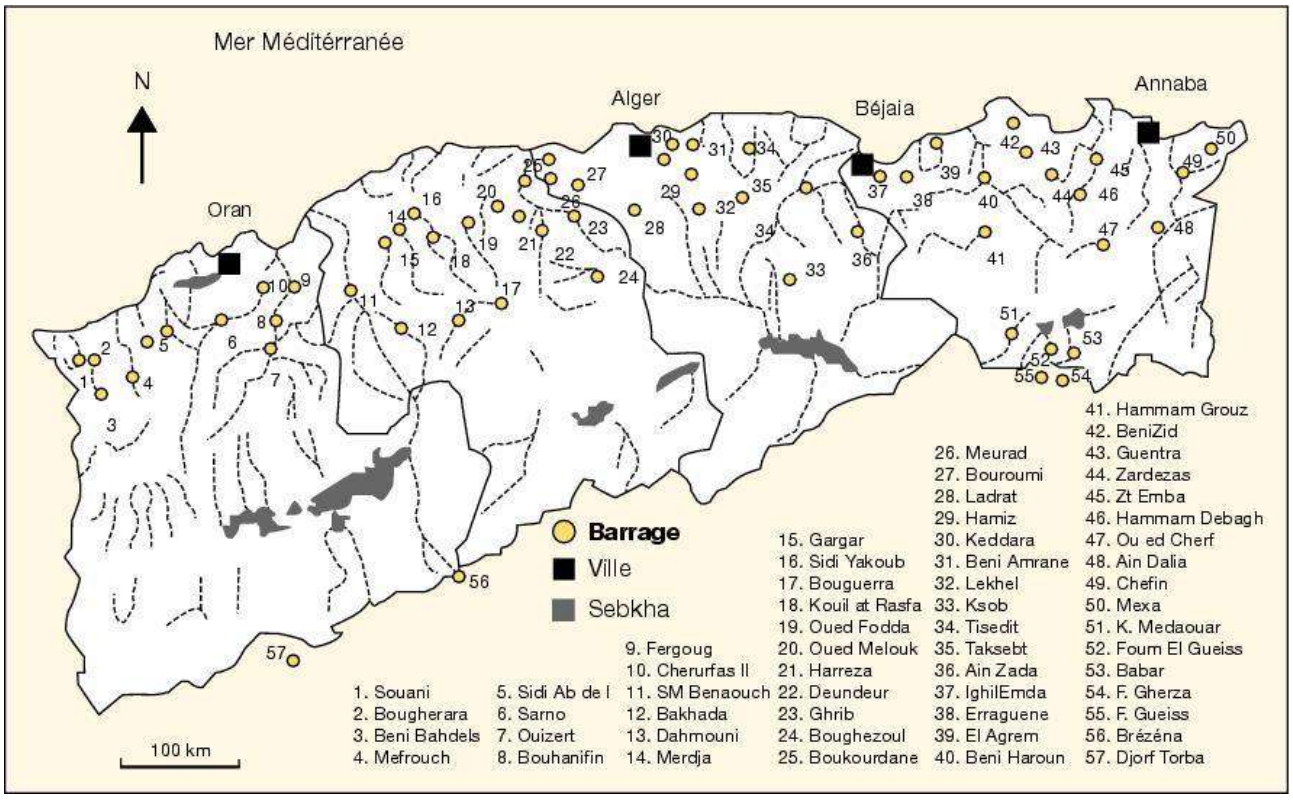


Figure 1.25. Répartition des barrages en exploitation dans le Nord algérien. (Remini B, LeducC, et Hallouche W, 2009) **[35]**.

Tableau 1.2 : Représentation des barrages les plus envasés, (ANBT 2012).

Barrage	Mise en service	Taux d'envasement annuel	Taux d'envasement en 2010 en (%)
Meurad	1840	0.005	77.4
Oued El Fodda	1932	1.507	51.6
Boughzoul	1934	0.294	40.6
Hamiz	1935	0.083	29.7
Bakhada	1936	0.191	25.2
Ghrib	1939	2.21	56.0
Bouhnifia	1948	0.041	97.8
Foum El Gharza	1950	0.602	76.9
Beni Behd	1952	0.156	14.4
Fergoug	1970	0.469	100
K 'sob	1977	0.604	67.6
Beni Amrane	1988	0.89	19.6

1.5.4.2 Description du Barrage de Ghrib :

Le barrage du Ghrib (représenté dans la figue ((1.27) et (1.28)) implanté sur l'oued Cheliff dans la région du Haut Cheliff (voir figure (1.29)) avec une capacité initiale de 300 millions de mètres cubes en moyenne a été mis en service en 1936 pour les parties basses et en 1939 pour son maximum.

L'ouvrage est une digue en enrochement de 700.000m3 bétonnée, constitué au moins à 30% d'air (interstitiel) longue de 400 m pour une hauteur de 65m désenvasé de 1950 à 1954, en 1950 il irrigue une superficie de 30.000 hectares et fournit 13700 kW en électricité pour l'Algérois (voir Figure 1.26) **[36].**

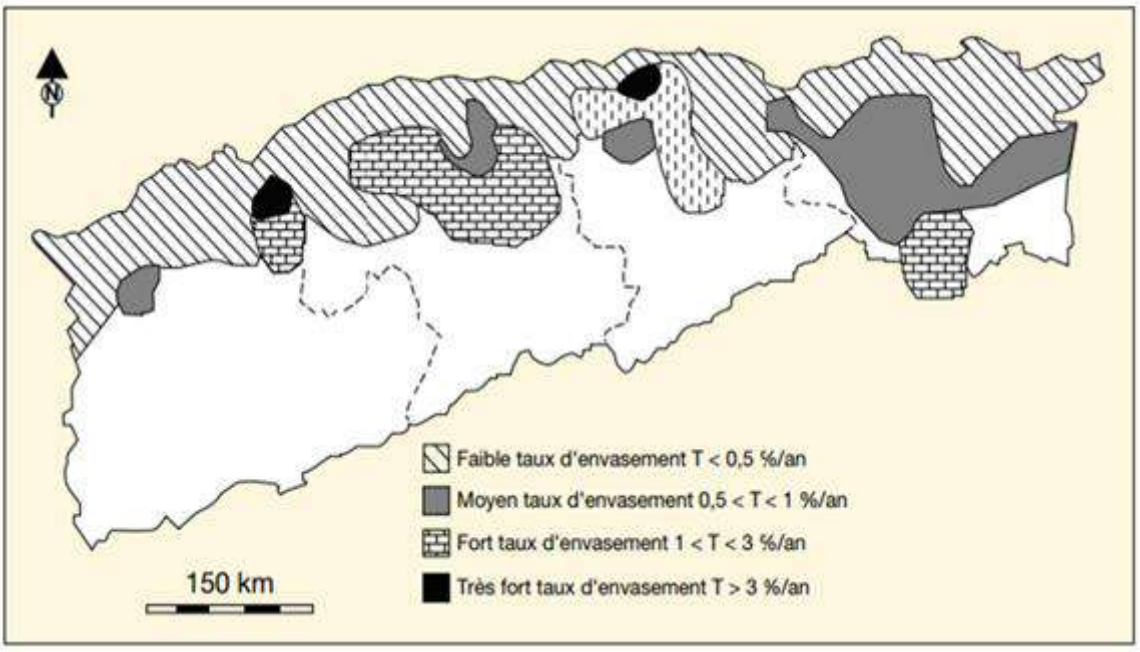


Figure 1.26. Carte de sensibilité des barrages à l'envasement, (Remini et Hallouche, 2007) **[34].**



Figure 1.27. Vue sur le barrage de Ghrib.

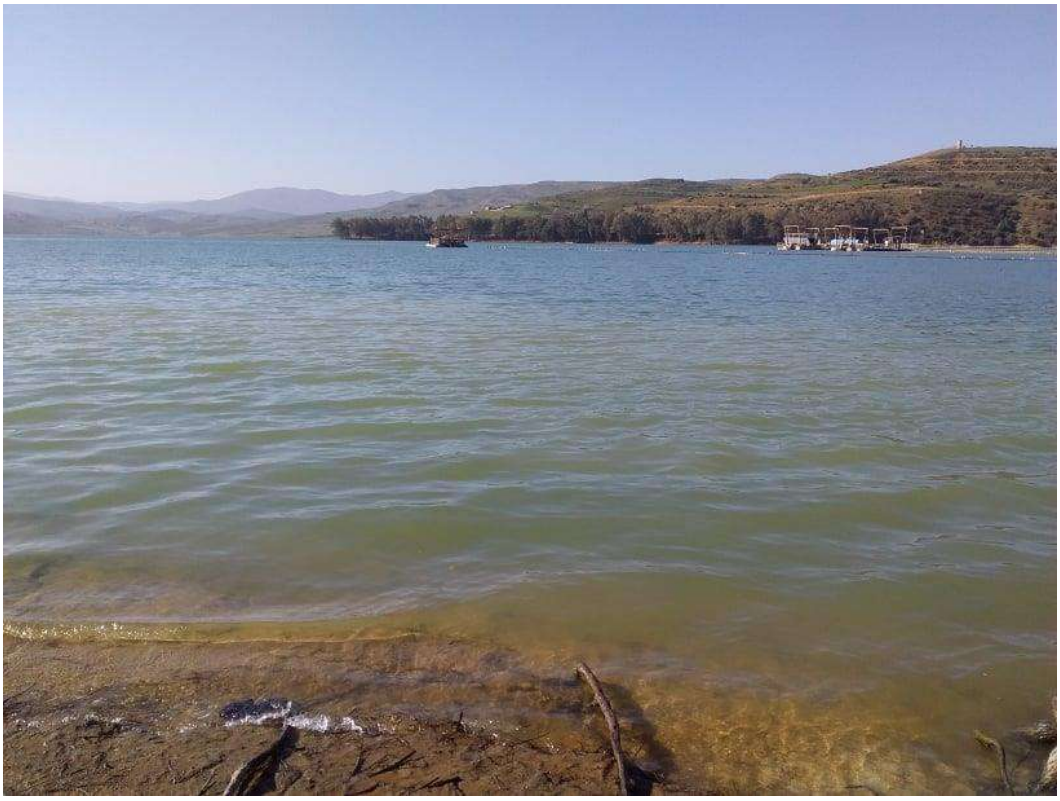


Figure 1.28. Vue sur le barrage de Ghrib.



Figure 1.29. Situation géographique du barrage de Ghrib **[37].**

Le tableau suivant (1.3) présente la fiche technique de barrage Ghrib obtenu par l'administration de ce dernier.

Tableau 1.3 : Fiche technique de barrage Ghrib.

Année de mise en eau	**1939**
Superficie du bassin versant	**23300 km²**
Capacité initiale	**280 Hm^3**
Année de la surélévation	**2005**
Capacité après surélévation	**185.317 hm**
Apport moyen annuel	**89.00 Hm^3**
Envasement annuel	**3.18 Hm^3**
Volume régularisé	**120.00 Hm^3**
Cote de retenue normale (ancien)	**427.50 m**
Cote de revenue normale (après surélévation)	**432.00 m**

Source : barrage Ghrib.

1.5.5 Moyens de lutte contre l'envasement en Algérie

Il existe plusieurs moyens de lutte contre ce phénomène, les chasses, le dragage ou le soutirage des courants de densité ou bien la surélévation ou plus encore l'utilisation nouvelle des barrières végétales. L'opération la plus classique de curetage des barrages et en même temps la plus coûteuse concerne le dévasement (l'enlèvement des boues de fond par des moyens mécaniques). Depuis les années 2000, plus de 20 millions de m3 de vase ont été extraits de nos barrages **[38].**

1.5.5.1 La conservation des sols [39]

Comme moyen de minimiser la pénétration de matériaux solides dans une retenue, deux méthodes de conservation des sols utilisées pour freiner l'érosion :

A. L'implantation de structures anti-érosion.

B. L'aménagement des bassins versants et des cours d'eau

Il s'agit de l'aménagement des bassins versants par la réalisation de la correction torrentielle des thalwegs, et l'aménagement de cours d'eau : en créant des ouvrages de correction dans la gorge du torrent, ouvrages qui arrêteront les matériaux et diminueront la pente, qui sont des aménagements déterminants, réduisant l'érosion à sa source.

B-1 Le reboisement, restauration des sols, confection de banquettes, plantation des cultures suivant les courbes de niveau et fixation des berges des oueds ≪ Le revêtement des berges pour réduire leur érosion≫. D'après les services de l'AEP au ministère des Ressources en eau, le reboisement, c'est une action préventive. Vingt-sept bassins versants sont concernés par les opérations de reboisement pour protéger les barrages face à l'érosion. Comme le bassin versant des issers (barrage de Beni Amrane) qui fait 3700 km2 ou celui de Beni Haroun, 7200 km2. Il y a également, ajoute-t-il, la nature du sol pour déterminer les espèces d'arbres à planter. Pour 2010, il est prévu de consacrer un budget de 18 milliards de DA à ces opérations **[40].**

B-2 La réalisation des barrages de décantation à l'amont [39]

On peut construire plusieurs types de structures dans le bassin. par exemple, des bassins de rétention conçus soit pour retenir les matériaux solides définitivement pendant la durée de vie de l'ouvrage, soit pour stocker les matériaux solides provenant du ruissellement crée par un certain nombre d'orages entre des vidanges périodiques. L'exemple en Algérie, c'est le cas du barrage de BOUGHEZOUL situé à la ville de MEDEA qui est exploité partiellement comme bassin de décantation du barrage de Ghrib, Il réduit l'envasement de Ghrib de près de 24 %.

B-3 La réalisation des barrages de chasses [39]

Le barrage de chasse transforme les faibles débits, en provenance de l'oued en ondes à grand débit au moyen des vannes de fond qui provoquent d'un courant de densité. Le rendement des opérations de soutirage peut être augmenté par la création d'ondes de crues artificielles provenant d'un barrage de chasse réalisé à l'amont du barrage à protéger. (Les spécialistes déconseillent le recours à ce procédé (chasse) dans les pays arides et semi-arides suite au temps important de remplissage de l'ouvrage.) La méthode utilisée pendant les premières crues pour les barrages de moindre importance (tel que barrage du Hamiz, Beni Amrane, K'sob, ...). Cette méthode est efficace quand elle est possible. Elle consiste à vider complètement le barrage au début de l'automne et à le laisser vider, toutes vannes ouvertes, jusqu'aux premières pluies. La première crue enlève sans difficulté les vases de l'année non encore consolidées.

1.5.5.2 Soutirage

Une méthode pratique qui consiste à évacuer les sédiments draines par les courants de densité sur le fond de la retenue en utilisant des pertuis de vidange (vannettes de dévasement ou vanne de fond) du barrage. Les opérations de chasses et le soutirage des courants de densité doivent être maitrises afin d'arriver à évacuer le maximum de vase avec un minimum d'eau.

En Algérie, D'après Remini, La technique du soutirage peut être un moyen efficace de lutte contre l'envasement des retenues de barrages en Algérie compte tenu de son faible cout et surtout de la présence des courants de densité dans l'ensemble des retenues. Son rendement peut atteindre 70 % des apports solides totaux entrants dans la retenue, c'est à dire que la durée de vie de l'ouvrage sera augmentée d'un tiers. Le barrage d'Ighil Emda est parmi les premiers au monde à avoir été équipé d'un dispositif installe spécialement pour le soutirage des sédiments. La durée de vie de ce barrage est ainsi multipliée par trois.

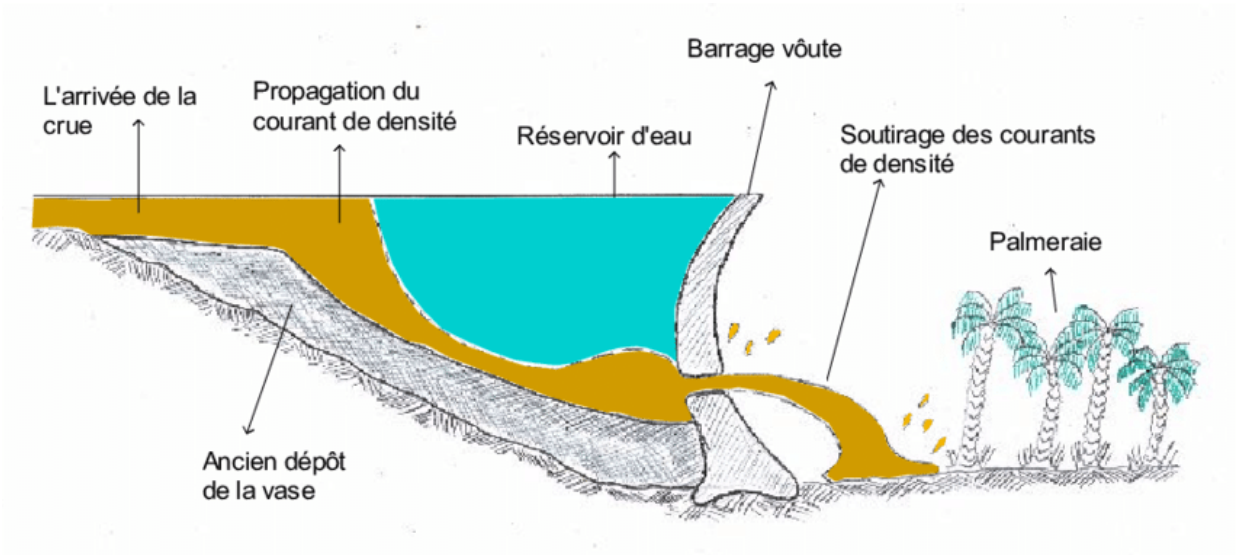


Figure 1.30. Schéma du soutirage d'un courant de densité par les pertuis de vidange d'un barrage **[41].**

1.5.5.3 la surélévation des digues [42]

La surélévation (voir figure (1.31)) constitue l'une des techniques qui permettent de prolonger la vie d'un barrage. L'augmentation de la hauteur de la digue permet de compenser le volume d'eau perdu en profondeur occupé par la vase. Cette opération est très encourageante. En Algérie, neuf barrages ont été surélevés. Toutes les opérations de surélévation en Algérie ont permis de récupérer jusqu'en 2007 une capacité de 100 millions de m3.

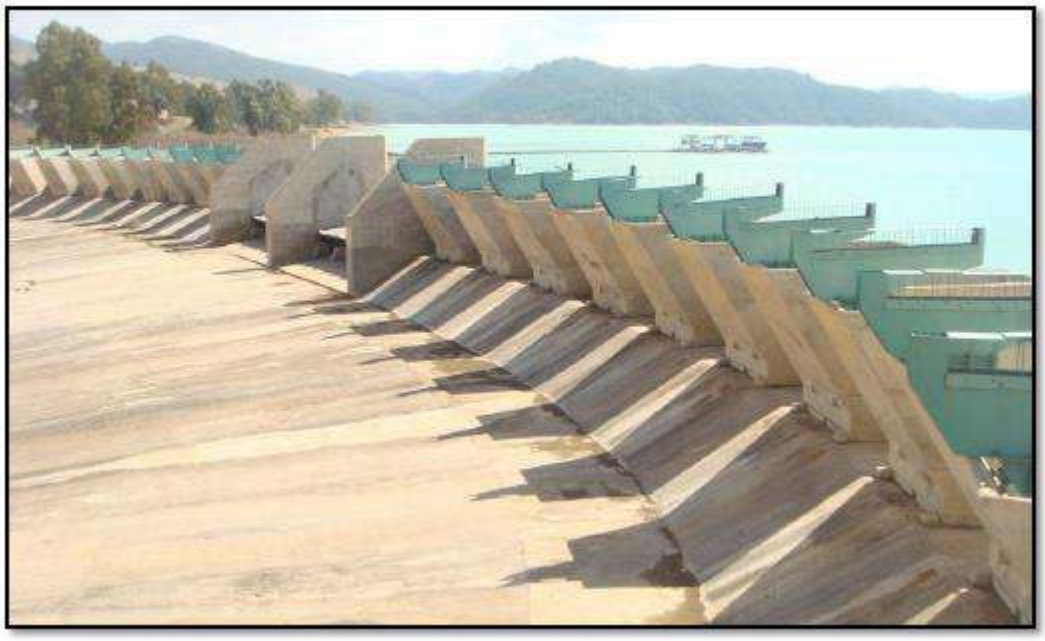


Figure 1.31. Surélévation du barrage Ghrib par des hausses fusibles (Azzi, 2016) **[54].**

1.5.5.4 Extraction par siphonnement [43]

La méthode d'évacuation des sédiments par un siphon à un barrage a été envisagée pour la première fois par Jandin, au siècle dernier, L'ingénieur Jandin a développé et utiliser cette méthode entre 1892 et 1894, pour évacuer des sédiments avec un siphon à travers le barrage de Djidiowia en Algérie. 1,4 x 106 m 3 de limons et d'argile ont été évacués en trois ans.

L'appareil de Jandin se composait d'un tuyau flexible d'un diamètre de 61 cm, avec une capacité d'évacuation de 1,53 m3 /s dans des conditions normales d'opération. A partir d'une ouverture dans le bas du barrage, il était relié à des pontons flottants en tôle, ce qui permettait de déplacer le tuyau dans la retenue dans un rayon d'environ 1.6 km. Une turbine installée près de l'embouchure du tuyau, et actionnée par l'écoulement dans le tuyau, était reliée à un appareil à roues coupantes près de la prise d'eau du tuyau, qui était conçu pour remuer les sédiments. Hannoyer (1974) a développé une nouvelle méthode basée sur le principe de "l'hydro aspirateur" propose par Jandin 80 ans auparavant : voir figure (1.32). Un tuyau flexible est relié à la vidange de fond. Le tuyau est amovible afin de créer une charge pour évacuer les sédiments. Il n'y a pas besoin de pompe. Le tuyau peut avoir une longueur de plus de 2 km, et il est attaché à des flotteurs afin de rester au-dessus de la surface de la vase.

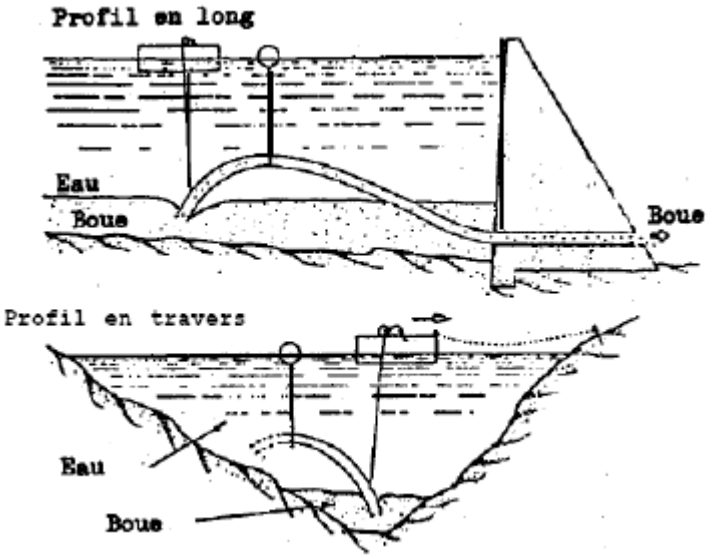


Figure 1.32. Représente de façon schématique la disposition de "l'hydro aspirateur".

1.5.5.5 Dragage

Le dragage est une opération ayant pour objet le prélèvement de matériaux, notamment boues, limons, sables et graviers, au fond d'un cours d'eau ou d'un plan d'eau à l'aide de moyens mécanique, hydraulique ou pneumatique dans le but d'aménagement ou d'entretien, c'est-à dire tous travaux nécessaires pour rétablir un cours d'eau dans sa largeur et sa profondeur naturelle . Cela exclut un approfondissement ou un élargissement du lit.

D'après Musa 1981, dans sa thèse, définit les dragages comme étant ≪des terrassements effectués sous l'eau avec des engins flottants au moyen de procédé mécanique ou par aspiration≫. En fait, les procédés peuvent être mécaniques, hydrauliques ou pneumatiques. Cette définition correspond assez bien à l'idée que l'on se fait aujourd'hui du dragage dans notre environnement très industrialisé.

Le dragage peut également être défini de façon générale comme l'ensemble des actions caractérisées par un prélèvement de matière par excavation sous l'eau par un déversement de ces produits dans la veine de l'eau, coté aval de la retenue ou sur le rivage.

L'opération de dragage peut se décomposer en plusieurs étapes : Etudes préalables et caractérisation des sédiments, choix de la filière de destination, extraction des boues, transport des matériaux de dragage, et traitement, mais selon certains auteurs, la récupération d'une capacité de stockage par dragage est une opération très couteuse qui n'est pas économique.

Pour les grandes retenues. Depuis les années 2000, plus de 20 millions de m3 de vase ont été extraits de nos barrages. Un nombre important de barrages ont été récupérés par la technique de dragage et leur durée de vie se trouvent prolongée de plusieurs années **[44]**.

A. Techniques de dragage [45]

Il est courant de classer les équipements de dragage selon leur principe général de fonctionnement, trois catégories peuvent êtres recensées :

A-1 Les dragages hydrauliques

Ils sont réalisés par des dragues suceuses aspiratrices, les matériaux sont désagrégés par rotation d'un outil et mis en suspension pour être aspirés et évacués par des pompes vers les points de stockage. Cette technique est utiliser dans le barrage de K'sob de Msila, la drague utilisée est une drague suceuse à désagrégateur (voir photo 1.33). La vase fait 20 mètres de profondeur ce qui à amener spécialement dans ce barrage à utiliser une élinde de 30 mètres pour l'atteindre **[45]**.



Figure 1.33. Equipements drague du barrage K'sob M'sila **[45].**

A-2 Dragage mécanique

Ils s'effectuent grâce à des engins à godet qui opèrent soit depuis les berges (pelle mécanique) (voir figure 1.34), soit depuis la surface (pelle sur ponton, drague à godet….etc.) **[45]**.



Figure 1.34. L'équipement du dragage mécanique **[46].**

A-3 Dragage à l'Américaine

C'est une technique particulière qui consiste à provoquer la remise en suspension des sédiments au moyen d'une hélice ou d'air comprimé dans les cours d'eau ou chenaux à fort courant, comme l'illustre (voir photo (1.35)) Les sédiments sont repris dans le flux et se redéposent le plus souvent en aval. Dans certains cas, une conduite de refoulement peut assurer le transfert des sédiments à plusieurs kilomètres du lieu de dragage.

Le dragage à l'américaine consiste à rejeter en continu dans la veine d'eau les matériaux dragués afin d'utiliser le courant naturel pour évacuer les produits. Elle se pratique pour des fleuves et rivières à fort débit **[45].**



Figure 1.35. L'équipement du dragage à l'Américaine **[47].**

B. La nécessité des opérations de dragage [42]

Les facteurs qui poussent à envisager le dragage sont liés soit à des considérations hydrauliques, soit à l'entretien et à la restauration du milieu. Le dragage peut avoir les objectifs suivants :

- Procéder à des travaux d'excavation sous l'eau dans les retenues des barrages) la récupération de la capacité de stockage).
- Extraire les sédiments immergés tel que sable, gravier, argile, les métaux précieux et les agents fertilisants.
- La navigation gênée ou rendue impossible par l'envasement : Entretenir et approfondir les voies navigables.
- Nettoyer des fonds pollués.
- Améliorer ou maintenir la capacité de débit des cours d'eau en augmente les profondeurs naturelles.

C. Quantité des matériaux dragués et immergés en Europe

La problématique de l'envasement des ports européens a nécessité la publication de rapport annuel [4] faisant état du bilan des quantités de matériaux dragués (voir figure (1.36)) accompagné de leur qualité (teneur en métaux lourds).

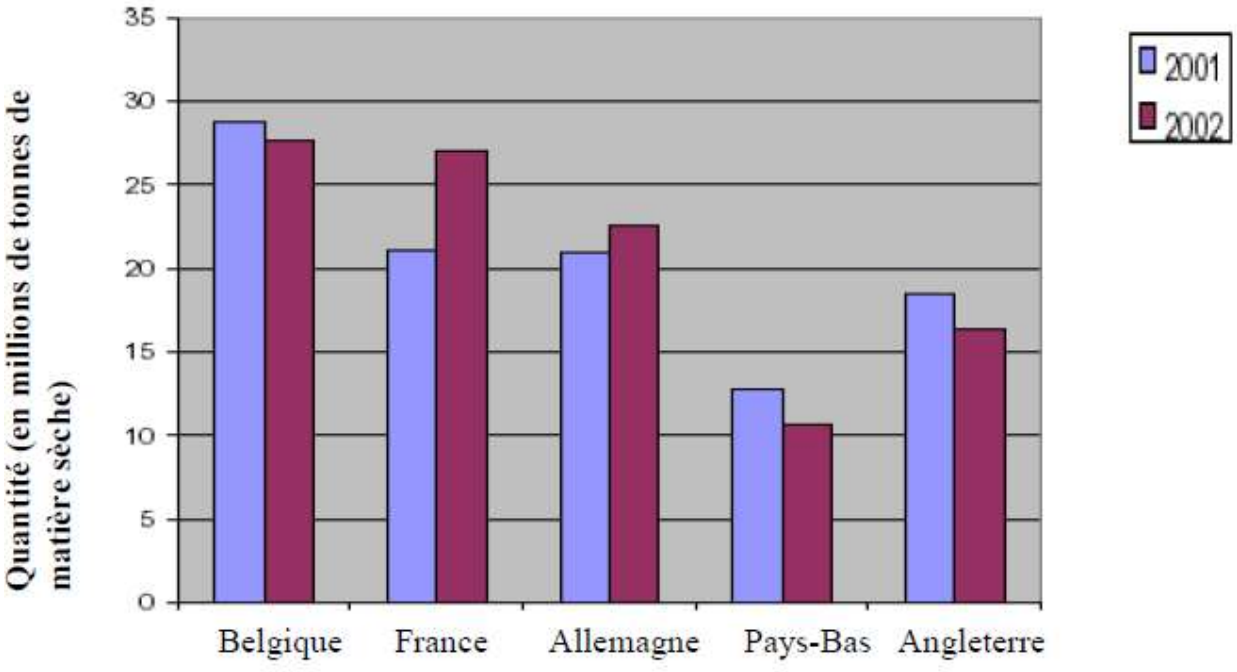


Figure 1.36. Quantité de matériaux dragués et immergés dans quelques pays européens del'Atlantique Nord-Est en 2001 et 2002 (source OSPAR commission, 2003) **[48].**

1.5.6 Les domaines d'utilisations de la vase du barrage

- **Utilisation de la vase dans l'industrie du ciment :**

Dans un esprit de développement durable et pour une bonne gestion de l'environnement, plusieurs domaines pour l'utilisation de la vase en tant que matière première et non plus comme déchet ont été ciblés notamment le génie civil. Il consiste à valoriser la vase issue du barrage de Fergoug en tant que matériaux de construction entrant dans la composition des bétons en l'utilisation, après calcination pour la rendre active, en dosage définis substituables au ciment (10, 15 ,20) de vase par rapport au dosage au masse du ciment. Les bétons ainsi confectionnés sont testés vis-à-vis du comportement mécanique (compression et traction) et du retrait, les résultats obtenus montrent de belles perspectives pour les bétons à bas de vase qui affichent des performances mécaniques et un comportement au retrait satisfaisant **[44]**.

- **Utilisation dans l'industrie des matériaux rouges**

Les matériaux rouges sont essentiellement les briques, les tuiles, les éléments pour planchers, les conduit de fumée, les carreaux rustiques, … etc. Les mélanges de production des matériaux rouges sont composés de l'argile, sable, calcaire, feldspath et d'autres ajouts.

Comme la nature de la vase de la plus part des barrages est une argile, elle peut être utilisée comme matière première dans l'industrie des matériaux rouge. Selon sa composition minéralogique et chimique, la vase est utilisée seule ou en la mélangeant avec une autre argile.

Une étude a été effectuée par (Boualem R, 2004), sur deux échantillons de la vase du barrage de Bouhanifia, une comparaison avec l'argile utilisée dans la fabrication de la brique, il a pu constater que les résultats issus des analyses chimiques et minéralogiques effectuées sur la vase prélevée au niveau de la retenue du barrage Bouhanifia sont bien conformes aux normes internationales de la fabrication des briques.

Une autre étude a été réalisée par le même auteur Boualem R. En 2006 sur la possibilité de l'utilisation de la vase de 11 barrages les plus envasé en Algérie dans les différents domaines de fabrications des matériaux rouges. Des échantillons de vase prélevés au niveau des vannes de fond de ces barrages ont fait l'objet de cette étude. La figure suivante donne la répartition des barrages étudiés dans les quatre bassins hydrographiques.

La répartition des échantillons de briques pleines a été réalisée dans plusieurs laboratoires de briqueteries d'Alger .les deux matières (vase et argile) ont été traitées séparément (séchage à l'air libre, broyeur à bille, puis tamisage au moyen d'un tamis de 1mm), après ce traitement, des pates céramiques plastiques sont préparées à la main. Chaque pate préparée est soumise au façonnage

dans une étireuse (façonnage par étirage).les échantillons de briques semi –finis sont soumis à deux modes de séchages successifs (séchage naturel puis séchages dans l'étuve à 105 – 110 C).

Les briques sèches sorties de l'étuve ont été cuites dans un four tunnel à une température de cuisson de 900° C pendant 32 heures et 30 minutes.

Après la comparaison entre les résultats des analyses chimiques de l'argile jaune utilisée comme matière première pour la fabrication des produits rouges (voir figure 1.37) et celle de la vase des barrages étudiés, il ressort qu'il ressemble bien à celle de l'argile jaune **[44]**.



Figure 1.37. L'utilisation de la vase du barrage dans les fabrications des briques et tuiles **[44].**

- **Utilisation de la vase dans l'industrie de la céramique [51]**

Les analyses chimiques de la vase de Gargar confirment qu'elle est utilisable dans la fabrication de la céramique jusqu'à un taux de 65%. Ces analyses sont complétées par des rhéologiques afin d'identifier l'écoulement de la barbotine préparée par la vase dans le broyeur et à travers le circuit jusqu'à l'arrivée à l'atomiseur, là où la barbotine est transférée en poudre pour le pressage par la suite.

Le comportement rhéologique de la barbotine préparée par la vase est identique à celui de la barbotine préparée par l'argile de Nedroma, les deux sont obéies au model Herschel Bulkley.

L'argile de Nedroma est utilisée comme matière première dans l'usine de fabrication des carreaux de revêtement Céramis Souaflia. Le produit final doit répond à certains exigences et normes pour qu'il trouve sa place dans le marché à savoir les dimensions, le poids, l'absorption et la résistance à la flexion.

Des éprouvettes sous forme des petits carreaux de dimension 55x110 mm² ont été préparée par deux types de mélanges: un basé sur l'argile de Nedroma et un autre basé sur la vase du barrage de

Gargar. Les carreaux préparés par la vase du barrage ont confirmé la possibilité d'utiliser la vase dans la céramique.

- **Utilisation comme matériau de construction dans les travaux hydraulique [51]**

Il existe plusieurs exemples d'utilisation de la vase dans le domaine de réalisation des travaux publics et hydrauliques. La vase peut être utilisée comme une argile crue naturel dans la réalisation du noyau d'argile des retenues collinaires, comme une couche de base dans le bassin d'une station d'épuration par lagunage et même dans la réalisation d'une décharge public sous forme d'une couche aussi, la vase peut être utilisée aussi comme une argile cuite sous forme des matériaux et pierre de la maçonnerie.

- **L'utilisation dans la fabrication des matériaux de construction [50]**

En Algérie, l'exploitation de la vase pour la fabrication des matériaux de construction peut s'avérer utile vu le déficit en matériaux de construction que connait le pays.

Une étude (B.Remini 2006) orientée vers l'utilisation de la vase pour la fabrication de la brique a été réalisée sur la vase de onze barrages algériens les plus envasés exemple : *barrage Lakhel (Bouira) : (voir photo (1.38)), et a donné des résultats satisfaisants.

La vase doit être considérée comme un produit bénéfique et non un simple rejet dont les difficultés de stockage posent un problème d'environnement. Valorisée, elle peut être une alternative aux coûts des opérations de dragage.

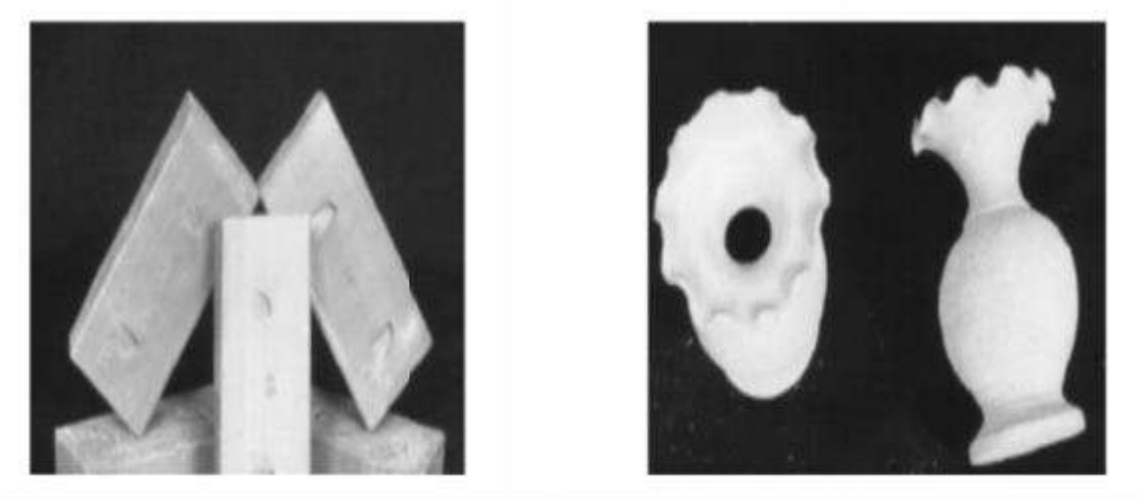


Figure 1.38. Briques et récipients à base de la vase du barrage Lakhel (Bouira) **[50].**

- **Utilisation dans le domaine d'agricole**

- **Comme fertilisant des terres agricoles**

Plusieurs études ont été élaborées dans ce domaine. A titre d'exemple, en 2000 Labiod a mis en évidence une possibilité d'utiliser la vase du barrage de Fergoug et celle de Bouhanifia comme fertilisant des terres agricoles.

Selon Vilain 1987, un bon sol cultivé est composé de 96 à 98% de la matière minérale et de 1 à 3% de la matière organique. Cette dernière jeu un rôle très important dans l'équilibre du bilan hydrique du sol ; diminue aussi la remonté capillaire des eaux et l'évaporation pendant les périodes du manque d'eau et garde une humidité par sa caractéristique d'emmagasinement de l'eau.

L'ajout de la vase de barrage à un sol avec sa caractéristique argileuse et fine permettra de corriger la granulométrie et la porosité.

La vase est caractérisée aussi par une richesse en matière organique (jusqu'à 18%) donc elle peut être utilisé comme fertilisant des terre pauvres (Belhadri M ,1997).

A titre d'exemple, si on considère que la terre traité est composé d'un sol nul en matière organique, l'ajout de 20% à 30% de vase de barrage permettra de la corriger jusqu'à 3%.

Avant l'utilisation de la vase et la transportée vers les terres à traiter, elle doit être laissé séché au soleil .La mise en place se fait à l'aide des tracteurs remorqués ou des camions à benne.

La vase est déchargée sous forme d'une couche d'épaisseur qui varie de 20 à 50 cm. l'étape suivante est le travail du sol par un labour simple (tracteur) ou par un labour profond (bulldozer) suivant le type et profondeur de la zone racinaire des cultures :

- Culture maraichère ; une profondeur de 50 cm.
- Agro –culture ; une profondeur jusqu'à 1.5 m **[44]**.

1.6 Conclusion

- Des quantités importantes sont évacuées périodiquement par les vannes de fond des barrages et posent de graves problèmes à l'aval de l'ouvrage. Au lieu de rejeter la vase issue du dragage dans le milieu naturel comme un déchet, on la donne une valeur par la réutiliser dans le domaine de génie civil.
- D'après les travaux déjà réalises dans ce domaine, le traitement et l'étude de la vase en vue de sa valorisation a donné de très bons résultats. La réutilisation de la vase vise deux objectifs: éviter les problèmes d'ordres écologiques poses par le rejet des sédiments dans la nature d'un cote et de faire l'économie.

- La valorisation des déchets reste ouverte, à d'autres utilisations et possibilités, permettant ainsi d'élargir la gamme des matériaux de construction, de réduire les déchets à la source et de développer l'utilisation des matériaux recyclés dans les chantiers.

Chapitre 2 :
Caractérisation des matériaux et Méthodes d'essais

2.1. Introduction

Ce chapitre a pour objectif de présenter les différents matériaux et les techniques expérimentales utilisées dans notre étude. Pour la première partie on présente les caractéristiques et les propriétés des matériaux de base utilisés dans la composition de nos bétons, à savoir : le ciment, les ajouts minéraux (marbre blanc), le sable, l'adjuvant et l'eau de gâchage. Sur béton frais dans une seconde partie, on exposera la méthode de formulation adoptée dans les différentes compositions des bétons de sable. . Ensuite nous présenterons par la suite les différents essais réalisés au cours de notre étude et leurs modes opératoires (état frais et durci).

Les différents essais effectués au laboratoire de Génie Civil de l'université de Médéa et celui de la SETAM de Médéa au cours de cette étude sont les suivants :

A l'état frais

- Essais d'étalement au mini cône,
- Essai d'écoulement à l'entonnoir (V-Funnel test).

A l'état durci

- Essai de compression sur demi-prisme d'éprouvettes 4×4×16 cm 3 à l'âge de 7 et 28 jours.

2.2 Caractérisation des Matériaux utilisés

2.2.1 Sable

Le sable utilisé dans cette étude est un sable de carrière d'OUED SOUF situé à 500 Km au Sud Est de la capitale d'Alger, sa classe granulaire est 0/3. La figure (2.1) suivante donne un aperçu sur la nature du sable utilisé. L'analyse granulométrique de sable utilisée est présentée sur (la Figure 2.2) et Les caractéristiques physiques du sable utilisé sont regroupées dans le tableau (2.1) ci-dessous [**58].**



Figure 2.1. Le sable roulé utilisé.

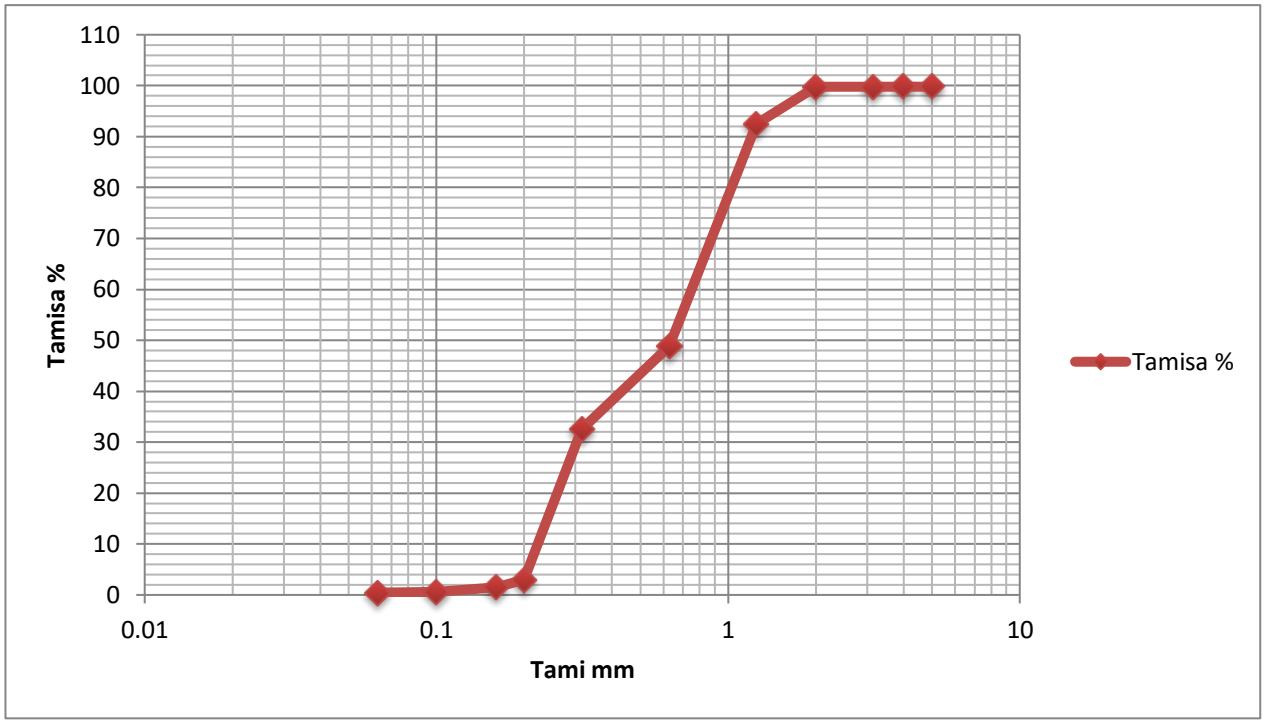


Figure 2.2. Courbe granulométrique de sable utilisée [58].

Tableau 2.1 : Caractéristiques physique de sable utilisé [58].

Caractéristiques	Sable	Normes
Classe granulaire	0/3	NF EN 933-1 **[60]**
Module de finesse	2.25	NF EN 933-1 **[60]**
Masse volumique absolue (Kg/ m^3)	2.63	NF EN 1097-6 **[61]**
La compacité (%)	1.56	NF EN 1097-3 **[62]**
La porosité (%)	59	NF EN 1097-3 **[62]**
Equivalent de sable (%)	41	NF EN 1097-3 **[62]**
Coefficient d'absorption d'eau (%)	8109	NF EN 933-8 **[63]**
Coefficient d'absorption d'eau (%)	0.42	NF EN 1097-6 **[61]**

2.2.2 Ciment

Un seul type de ciment est utilisé au cours de cette étude expérimentale présenté dans la figure (2.3). Il s'agit d'un ciment résistante au sulfate composé CEM I/A 42.5 (CRS)**,** produit par cimenterie (Msila) sous le nom "Mokaouem plus ".

Le Ciment CRS (ciment résistant aux sulfates) est constitué de

- 95% de clinker, des constituants secondaires (de 0 à 5%) peuvent être incorporés dans

Ce ciment;

- Du sulfate de calcium sous forme de gypse est rajouté en tant que régulateur de prise.



Figure 2.3. Le ciment utilisé.

- **Analyse et caractérisation**

Le Tableau **2.2** résume l'Analyse chimique du ciment et composition hypothétique du clinker, selon la fiche technique du ciment.

Tableau 2.2 Analyse chimique du ciment **[58]**

Analyse chimique du ciment	Perte au feu (%)	≤ 4
	Résidus insolubles (%) (NA 5042)	≤ 3
	Teneur en sulfates SO3 (%) (NA 5042)	≤ 3.5
	Teneur en oxyde de magnésium MgO (%)	≤ 5.5
Composition hypothétique du clinker	Silicates tricalciques C3S (%)	≤ 50
	Aluminates tricalciques C3A (%)	≤ 5

- **Essais physiques**
- **La finesse**

La finesse du ciment influe d'une façon considérable sur la résistance mécanique, la consistance normale et le temps de prise. La finesse est déterminée par la surface spécifique de Blaine. Elle est calculée en fonction du temps à l'aide du perméabilimètre de Blaine d'après la norme [NF P 15-476] **[58]**.

- **La consistance normale**

C'est la quantité d'eau de gâchage qu'il faut ajouter à une quantité de ciment préalablement pesée pour obtenir une pâte dite normale, elle est mesurée à l'aide de l'appareil de Vicat d'après la norme [NF P 15-431] **[64]**.

- **Le temps de prise**

Le début et la fin de prise sont déterminés à l'aide de l'aiguille de Vicat sur une pâte de consistance normale placée dans un moule tronconique d'après la norme NF P 15-473 **[65]**.

Le Tableau 2.3 résume les résultats des essais physiques sur le ciment utilisé.

Tableau 2.3 Caractéristique physiques du ciment. **[58]**

Caractéristiques	**Valeurs**
Finesse (Cm^2/g)	4050

Consistance normale (%)	27
Le temps de prise (min)	2:40-3:45
Surface spécifique de Blaine (cm^2/g)	3200 ±250

- **Essais mécaniques sur le ciment**

Selon la fiche technique les essais mécaniques sur le ciment ont été effectués conformément à la norme NF P 15-471 **[66]** sur des éprouvettes prismatiques 4x4x16 cm^3 à raison de trois éprouvettes rapportées à la moyenne par âge. Le mortier utilisé est un mortier normalisé: 450 g de ciment, 1350 g de sable naturel et 225 g d'eau. Les résultats obtenus par cet essai sont acceptables pour la confection d'un béton et sont résumés dans le Tableau.**2.4**.

Tableau 2.4 : Evolution de la résistance du ciment en fonction de l'âge **[58].**

Ages (jour)	**Résistance à la compression (MPa)**
2	19.3
28	49.5

2.2.3 Ajouts (fillers)

Les fillers utilises au cours de ce travail sont les déchets de marbre (figure (2.4)). Ils sont obtenus par broyage des déchets abandonnés dans la nature. Rappelons que les fins de marbre sont les plus adaptés au béton et il donne tune meilleure performance (figure 2.5).

Leurs caractéristiques physiques sont mentionnées dans le Tableau 2.5.

Tableau 2.5 : Caractéristiques physiques des fins de marbre utilisé **[58]**

Caractéristiques	valeurs
La masse volumique apparente (Kg/m3)	1.083
La masse volumique absolue (Kg/ m3	2.73
La finesse	3200
La compacité (%)	39.6
La porosité (%)	60.4





Avant **Après**

Figure 2.4. Les déchets de marbre.



Figure 2.5. Procédure de broyage de fillers de marbre.

2.2.4 Adjuvant

L'adjuvant utilisé au cours de ce travail est un Super plastifiant-Haut réducteur d'eau fabriqué par la société, Algérienne GRANITEX, commercialisé sous l'appellation 'MEDAFLOW30', sous forme de liquide, de couleur brai clair, de PH égal à 6-6.5, de densité 1,07 ± 0,01 et de teneur en chlore<0.1g/L

2.2.5 Eau de gâchage

Pour la confection des éprouvettes on a utilisée est une eau potable du robinet, exempte d'impureté set propre.

2.2.6 Déchets de la vase

Les déchets de la vase utilisés dans cette étude est de barrage Ghrib situé à la wilaya de Ain Defla (figure (2.6)). Les déchets une fois réceptionnés, ils ont fait l'objet d'un concassage par un concasseur à mâchoires de laboratoire qui nous a permet d'obtenir un matériau dont les grains sont de dimensions 0-5 mm. Après, les déchets sont subis un broyage par un broyeur à disque pour les transforme en poudre fine et calciné dans un four à moufle sous une température de 900 C° .Les caractéristiques physique de déchets de vase utilisés sont présentés dans le tableau ci-dessus



Figure 2.6. Les déchets de la vase utilisés broyé et calciné.

Le processus de préparation et de transformation par traitement thermique de la vase et détaillé ci-dessous :

- Séchage : La vase est tout d'abord séchée à l'étuve à 105°C (figure (2.7)) ;
- b- Concassage : La vase étuvée est concassée pour faciliter son broyage (figure (2.8)) ;
- c- Broyage : La vase concassée est broyée à l'aide d'un broyage électrique (figure (2.9)) ;
- d- Tamisage : La vase broyée est tamisée par voie sèche au tamis de 80 µm (figure (2.10)) ;
- e- Calcination : C'est un traitement thermique effectué sur la vase préparée préalablement par cuisson dans un four. Des précautions ont été prises pour éviter les chocs thermiques, la vitesse de cuisson a été réglée à 5 degrés par minute. La température de cuisson de 900°C (figure (2.11))., a été maintenue constante pendant 5 heures pour obtenir à la fin le produit final qui est la vase calcinée et qui a été conservée à l'abri de l'air et de l'humidité (figure (2.12)).

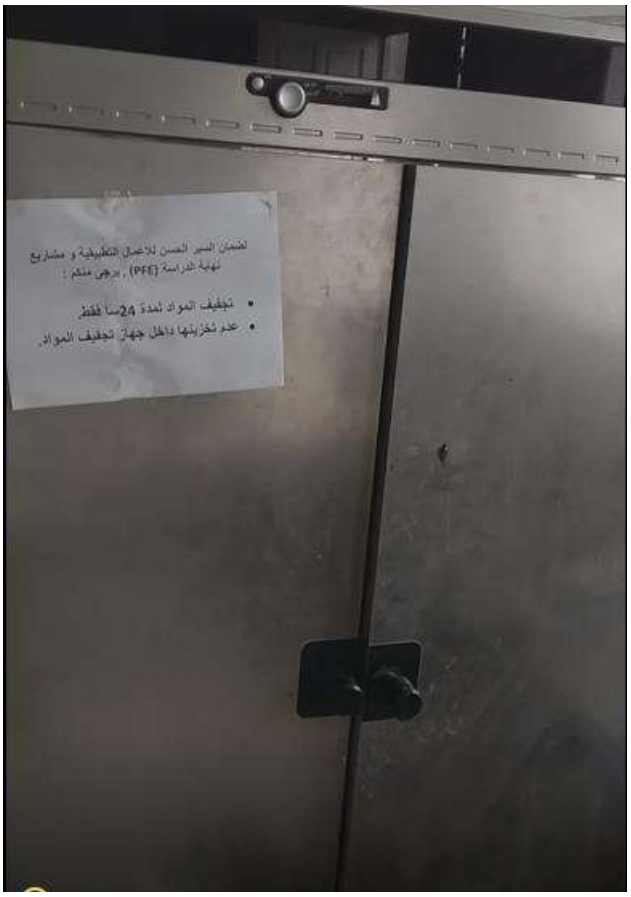


Figure 2.7. La vase est dans l'étuve à 105°c.

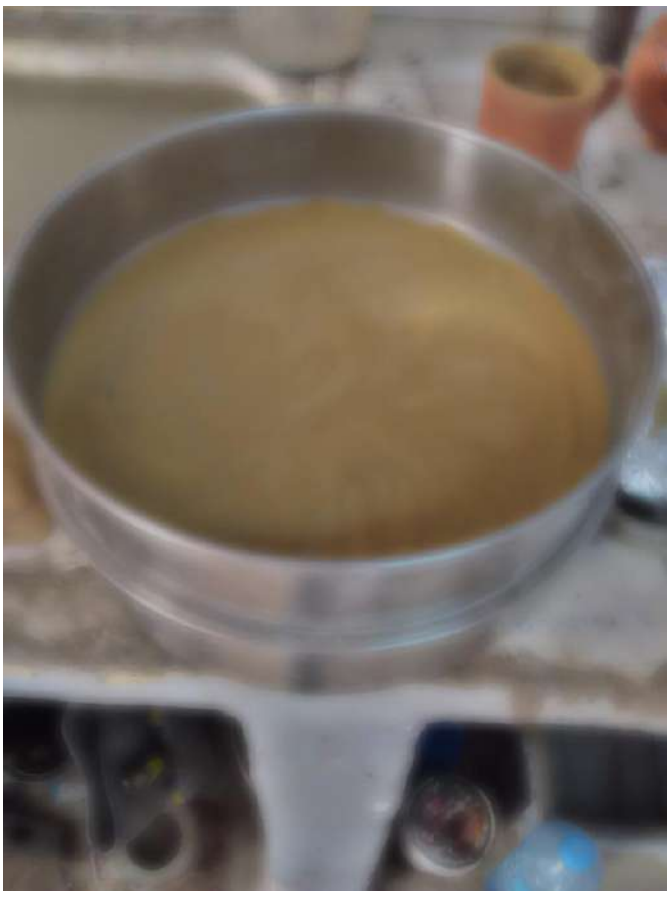


Figure 2.8. La vase tamisée au 80µm.



Figure 2.9. Broyeur à disque utilisé.



Figure 2.10. la vase est met dans l'appareil de Los Angeles pour faciliter le broyage.



Figure 2.11. la calcination de la vase avec 900°c.



Figure 2.12. la vase prête au malaxage.

Tableau 1.6 : Résultats des analyses chimiques **[71]**.

	OXYDES (%)										
La vase du barrage	**SiO2**	**Al2O3**	**Fe2O3**	**CaO**	**MgO**	**SO3**	**K2O**	**Na2O**	**PF**	**TiO2**	**MnO**
Ghrib	**29,6**	**13,7**	**5**	**2,1**	**1,6**	**-**	**1,1**	**0,3**	**-**	**-**	**-**

Tableau 2.7 : Résultats des analyses granulométriques **[71].**

La vase	**Grain (mm)**		
	Sable(%)	**Limon(%)**	**Argile(%)**
Ghrib	**15**	**65**	**20**

Tableau 2.8 : Résultats des analyses minéralogiques **[71].**

La vase du barrage	**Quatrz**	**Calcaire**	**Dolomite**	**Feldspate**	**Min.raux Ferrig.nes**	**Kaolinite**	**Illite**	**Chronite**	**Montmorillonite**	**Inter straties Ix**
Ghrib	**8**	**18**	**1**			**20**	**30**	**5**		

2.3 Composition des mélanges

La composition du béton de sable pour la confection des éprouvettes est basée sur la méthode expérimentale de projet de SABLOCRETE 1994 (voir tableau (2.9). Les déchets de vase sont incorporés dans la masse du béton de sable fluide par substitution volumique du ciment avec de pourcentage de 10% ,20%,30% et 40%.

Tableau 2.9 Compositions des Béton de sable fluide à base déchet de la vase pour (1m3)

Béton	Sable (Kg /m3)	Ciment (Kg /m3)	Fillers De Marbre (Kg /m3)	La vase (Kg /m3)	Eau 1 (l/m3)	Eau2+ Adj. (l/m3)
BSFT	1400	400	200	00	167	83+0.6
BSFVB 10%	1400	360	200	60	167	83+6
BSFVB 20%	1400	320	200	120	167	83+7.2
BSFVB 30%	1400	280	140	180	167	83+7.8
BSFVB 40%	1400	240	120	240	167	83+9

Avec :

BSFT : Béton de sable fluide témoin.

BSFVB : Béton de sable fluide

2.4 Malaxage et conservation

Le malaxage des bétons de sable fluide se fait en malaxeur à mortier d'une capacité de 5 L (figure (2.13)), pour la confection des éprouvettes 4×4×16cm. L'introduction des constituants se fait du plus gros au plus fin. Le but recherché est de répartir, le plus régulièrement possible, chaque constituant afin d'assurer un mélange homogène et d'obtenir ainsi les mêmes propriétés **[58]**.
Le malaxage de chaque mélange se fait de la manière suivante :

- On verse les gros grains (le sable).
- Puis en ajoute les fillers et le ciment après on malaxe à sec pendant 30 sec.
- On verse deux tiers d'eau de gâchage, puis on malaxe pendant 1 minute.
- Après on ajoute de super plastifiant avec le tiers de la quantité d'eau nécessaire et on mélange pendant 1 minute (figure 2.14).
- Après, malaxé le mélange à vitesse rapide pendant 3 minutes, puis on laisse le mélange repose 3 minute.
- Puis lancer vitesse rapide pendant 1 minute et 30 sec.

- L'Introduction du déchet de la vase a été effectuée au départ (après l'introduction du sable).

- Mesure la densité et l'ouvrabilité du béton frais immédiatement au fin malaxage **[58].**

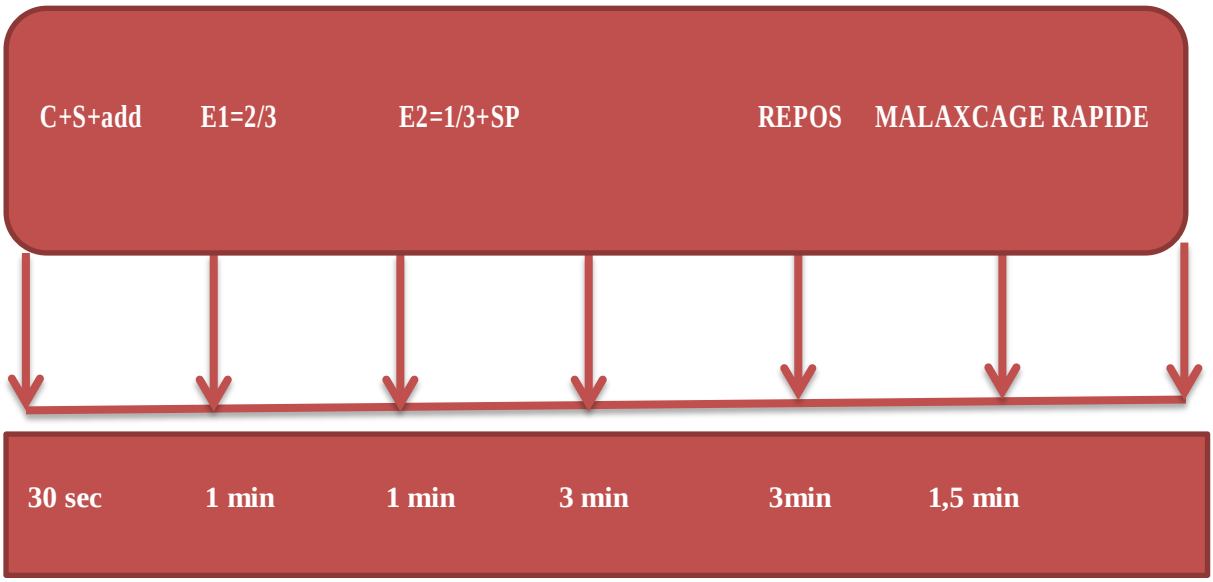


Figure 2.13. Séquence de malaxage du béton de sable fluide.



Figure 2.14. procédure de malaxage au laboratoire.

2.5 Essai réalisé sur le béton à l'état frais

Les différents essais réalisés sur le béton de sable fluide obtenus sont résumés dans le tableau (2.10) ci-dessous :

Tableau 2.10 Essais sur bétons frais.

Essais	**Appareil**
Etalement	mini cône
Densité	Moule (1L) + balance

2.5.1 L'étalement au mini-cône

L'essai d'étalement consiste à remplir un moule tronconique place sur une surface horizontale lisse, une fois le moule soulève, le diamètre d'étalement du mortier est mesure suivant deux directions perpendiculaire, la moyenne est retenu. La figure 2.15 montre les étapes de l'essai d'étalement mini cône selon la recommandation selon la recommandation EFNARC 2002 **[58]**.



Figure 2.15. Mesure de l'étalement du béton de sable fluide.

2.5.2 La densité

La masse volumique du béton de sable a été mesurée selon la norme NF EN 12350-6 **[66]** NA436 (voir figure (2.16)) **[67]**.



Figure 2.16. Mesure de la densité du béton de sable fluide.

2.6 Préparation et conservation des éprouvettes

Les différents types de bétons de sable fluide sont tous fabriqués dans l'environnement de laboratoire. Le béton de sable fluide a été coulé dans des moules métalliques de forme prismatiques 4x4x16 cm destinées aux essais de compression et de variation dimensionnelles (voir figure (2.17)), ainsi que des éprouvettes 4×10×10 cm destinées pour les essais thermiques conformément à la norme NF EN 12390-2 **[68].**



Figure 2.17. Fabrication des éprouvettes

Après la confection, toutes les éprouvettes ont été couvertes afin d'éviter le risque d'évaporation excessive et le retrait plastique. Après 24 heures de la confection, les éprouvettes ont été démoulées et conservées dans l'eau à 20°C ± 2°C.

2.7 Essai réalisé sur le béton à l'état durci

Les différents essais réalisés sur le béton de sable fluide obtenus sont résumés dans le tableau (2.11) ci-dessous :

Tableau 2.11 Essais sur bétons durci.

Essais	Appareil
Résistance à la compression	Presse Hydraulique (2000KN)
Résistance à la flexion	Presse Hydraulique (2000KN)

2.7.1 Resistance a la compression

La résistance à la compression a été mesurée selon la norme [NF EN 196-1]**[69]** par compression axiale pour demi-prisme d'éprouvettes prismatiques de dimensions (4×4×16) cm, à l'âge 3,7 et 28 jours, à l'aide d'une presse hydraulique de capacité maximale de 2000 KN (figure (2.19)) conforme à la norme [NF P 18-412]**[70]** pendant l'essai, la vitesse de chargement est constante.

La résistance à la compression est le rapport entre la charge de rupture et la section transversale de l'éprouvette correspond à la contrainte moyenne d'écrasement sur trois éprouvettes à chaque âge d'essai (3j.7j.28j).

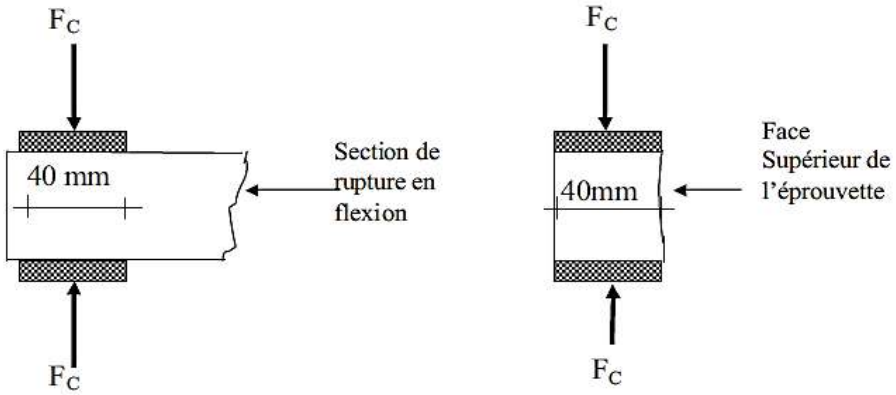


Figure 2.18. Dispositif de rupture à la compression.

La contrainte de rupture est calculée comme suit :

$$R_C = \frac{F_C}{b^2} \text{(Equation 2.1)}$$

R_C : Résistance à la compression en (MPa) ;

F_C: Charge de rupture en (N) ;

b : Côte de l'éprouvette est égale à 40mm.



Figure 2.19. La presse Hydraulique (2000KN).

2.7.2 Essai de la résistance à la traction par flexion

À l´âge requis, les éprouvettes sont brisées par flexion en deux moitiés selon la norme [EN 196-1] **[69]**. C'est l'essai le plus couramment utilisé. Il consiste à rompre en flexion (Par trois points), une éprouvette de (4x4x16) cm de côté **a** et de longueur L (voir figure (2.20)).

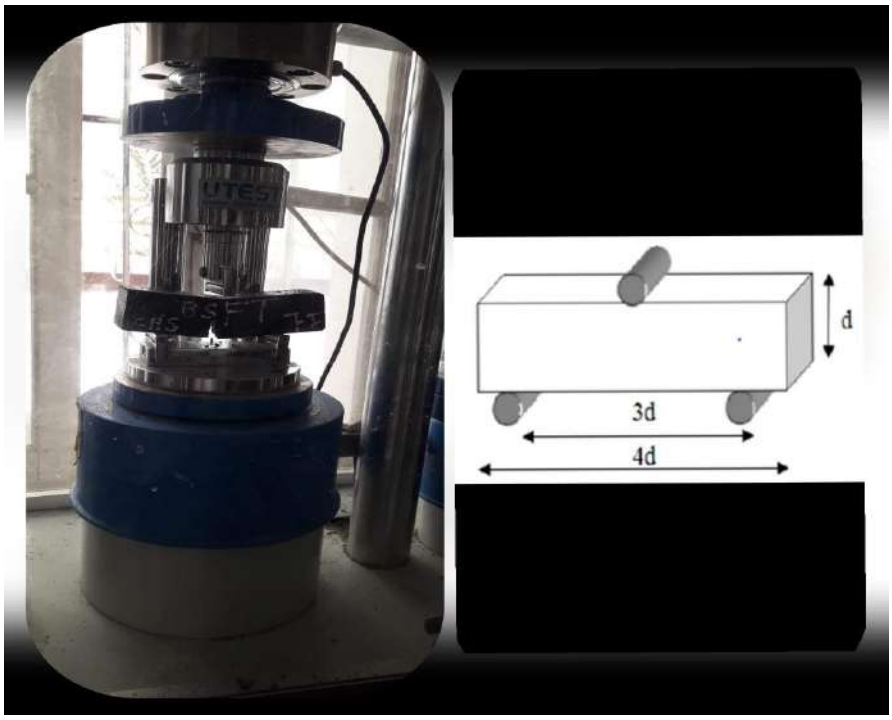


Figure 2.20. Essai de traction par flexion sur béton.

La contrainte de flexion sur la fibre inférieure est donnée par la formule suivante :

$$\sigma_t = \frac{M}{I} v$$

Avec :

M : Moment de flexion entre les deux points d'application de la charge : $M = \frac{FfL}{4}$

I : Moment d'inertie de la section transversale : $I = \frac{d4}{12}$

v : La distance de la fibre inférieure la plus éloignée : $v = \frac{d}{2}$

La résistance à la traction par flexion est calculée donc par la formule suivante :

$$\sigma_t = \frac{M15FfL}{d3}$$

2.8 Variables étudiées

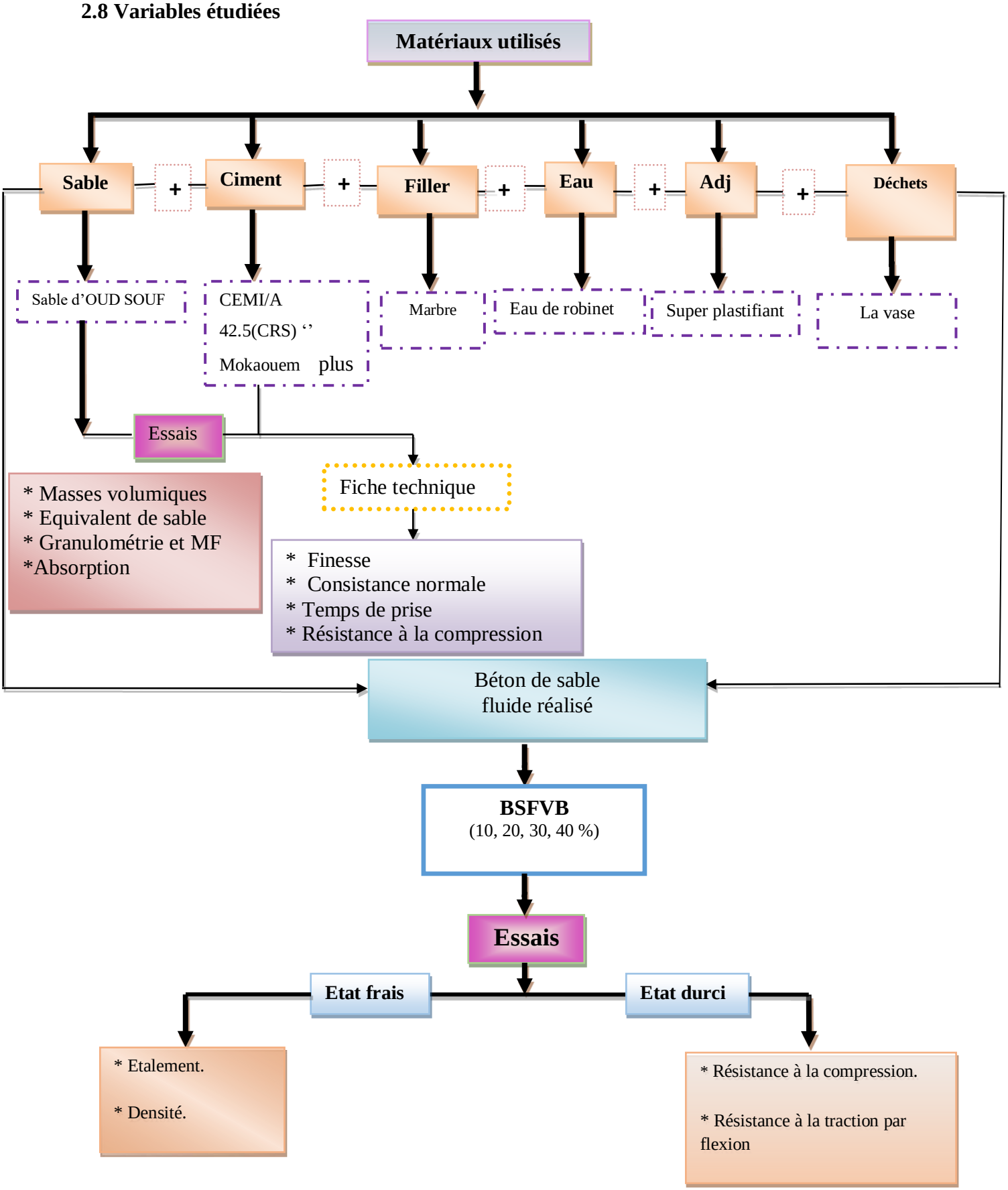


Figure 2.21. Variables étudiées.

2.9 Conclusion

Le recyclage et la valorisation des déchets de la vase de barrage Ghrib dans la masse de béton de sable fluide constituent une alternative économique et technologique importante dans certains pays en voie de développement. Cette étude présente une contribution à l'étude de l'effet des déchets de la vase sur les propriétés frais et durci des bétons de sables fluide.

Cette partie de l'étude a successivement traité les points suivants :

- Caractérisation des matériaux utilisés dans les compositions des BSF

- La méthode de formulation utilisée, est appelée méthode théorique SABLOCRETE.;

- Les procédures expérimentales et les essais réalisés sur les différents bétons de sable fluide à base de déchets de la vase à l'état frais et à l'état durci au cours de cette étude.

Conclusions générales

L'objectif de ce travail est de déterminer l'effet de la vase provienne du barrage SED GHRIB dans la région du Ain defla sur les propriétés à l'état frais et à l'état durci d'un béton de sable fluide. La synthèse bibliographique et l'analyse des résultats expérimentaux nous permettent de tirer les conclusions suivantes :

- La vase calcinée améliore la fluidité à l'état frais du mortier fluide. Et plus le pourcentage de d'introduction de cette dernière augment, plus on besoin de mois d'adjuvant superplastifiant, pour avoir une fluidité satisfaisante ;

- La densité à l'état frais de béton de sable fluide est diminuée en fonction d'augmentation de pourcentage de la vase calciné.

Sur la base des résultats obtenus, on peut conclure que la valorisation des déchets de la vase dans le béton de sable fluide permet de protégé l'environnement vis-à-vis les pollutions et de contribué à l'économie du pays.

Recommandations

Nous recommandons pour des futurs travaux l'étude :

- Durabilité du béton de sable fluide à base de la vase calciné.
- Pompage de béton de sable fluide à base de la vase calciné.
- Influence de la vase calciné sur les propriétés rhéologiques du béton de sable fluide.
- Propriété thermiques des bétons de sable fluide à base de la vase calciné.

Références bibliographiques

[1] Impact de la production des déchets sur l'environnement Est-ce que la production des déchets a une influence sur l'environnement ? Samedi 28 janvier 2012, par AusraStravinskaite, Juan Pablo Gonzalez, popularité: 100%.

[2] GADRI KARIMA, Contribution à l'étude d'un béton de sable avec fibres et résine destine pour la réparation mince des structures, mémoire de magister, université MOHAMED KHIDER BISKRA, 03/ 07/ 2007.

[3] : BENAISSA Imene, « béton de sable fibré projeté pour panneau 3d », thèse présentée en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat « LMD » en Génie Civil, université des sciences et de la technologie d'Oran, 25 octobre 2015.

[4] Bétons de sable-Caractéristiques et pratiques d'utilisation, projet national de recherche et de développement SABLOCRETE, Presses de l'ENPC, 1996.

[5] REZIG Salima, Optimisation de la formulation du béton de sable dans le cadre de valorisation des matériaux locaux, SOUTENANCE DE MEMOIRE DE MAGISTER En Génie Civil,Université Mohamed Khider –Biskra.

[6] http://www.jacqueslanciault.com/2018/09/16/metro-de-saint-petersbourg-musee-de-vodka-russe/

[7] https://www.researchgate.net/figure/Pieces-presentant-un-bel-aspect-de-surface-qualite-de-peau-satine-et-uniforme-dapres_fig2_318760988

[8] CHAUVIN, J.J. GRIMALDI, G. « Les bétons de sable» Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées (LCPC) N°157, Sept. 1988.

[9] Roubaix (France), Archives nationales du monde du travail, fonds cucms, 1995 060 1490.

[10] SABLOCRETE, (1994) « Béton de sable », Presse de l'école nationale des ponts et chaussées, Paris, France.

[11] SAITI ISSAM, Étude d'un procédé d'élaboration d'un béton léger cellulaire à base de sable de dune de la région de GHARDAIA, Mémoire, En vue de l'obtention du diplôme de magistère Filière : Génie civil.

[12] BEDERINA, «caractéristiques mécaniques et micro structure de béton de sable » mémoire de magistère université de Laghwat ,2000.

[13] DREUX, G.J.Festa, « Nouveau guide du béton et de ses constituants » édition Eyrolles, France, 1986.

[14] Abdeljalil ZRI, Sujet : Mise en place d'une nouvelle approche de formulation d'une matrice cimentaire à base de sable de dragage : application aux bétons de sables et granulats, thèse de doctorat.

[15] Article L. 541-3 Code de l'Environnement - Livre V, Titre IV – chapitre 1er relatif à L'élimination des déchets et à la récupération des matériaux. 2007-2017 Legifrance p. (561-562)

[16] Article L. 541-1-1 Code de l'Environnement, Prévention et gestion des déchets 2007-2017 Legi-france p. (559).

[17] Mr. CHELABI HAMZA et TALEB ZAHIR, Amélioration des propriétés mécaniques du plâtre de construction avec des déchets plastiques et verre, en vue de l'obtention du diplôme de Master en génie civil, UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ de BOUIRA, 2016/2017.

[18] CourardL."Valorisation des déchets et sous-produits dans le génie civil" Notes de cours (Université de Liège, Faculté des Sciences Appliquées, Service des Matériaux deConstruction, 1998), 195 p.

[19] Karim Ouamane, DG L'AND au service de la gestion des déchets industriels Alger, 25 mai 2017.

[20] Quebaud M., "Caractérisation des granulats recyclés - Etude de la composition et du comportement de bétons incluant ces granulats", Thèse de doctorat, Université d'Artois, France, décembre 1996.

[21] SPERANDIO K., identification des facteurs mobilisateurs des stratégies de gestion des déchets ménagers mises en oeuvre par les collectivités locales, thèse de doctorat, l'institut national des sciences appliquées de Lyon, 2001.

[22] MICHEL M." Valorisations des déchets et des sous-produits industriels "EdMassion, Paris (1981).

[23] J.BEAUCHAMP : Sédiments et roches sédimentaires. Available from https://www.u-picardie.fr/~beaucham/courssed/sed-1.htm

[24] J.BEAUCHAMP : Les milieux de sédimentation. Available from https://www.u-picardie.fr/beauchamp/cours-sed/sed-2.htm

[25] Marouf Hafida, « Valorisation des sédiments issus du dragage du barrage de Bouhanifia et du port d'Oran », thèse présentée pour obtenir le grade de Docteur en science en génie civil, Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem, 2017/2018.

[26] P. JOEY : Cours de géologie appliquée au génie civil chapitre 02 : notions de pétrographie, 2005.

[27] D. TESSIER : Recherches expérimentales sur l'organisation des particules dans les argiles. Application à l'étude de 4 pâtes argileuses « calciques » en voie de dessiccation. Thèse pour l'obtention du diplôme d'ingénieur CNAM. Laboratoire de géologie appliquée, 1975.

[28] BOUKEMMOUM Nour El Houda et NOUAOURIA Abdessalam, Valorisation des sédiments de barrages Cas du barrage de Ain Dalia (Souk Ahras), Mémoire, en vue de l'obtention du diplôme de Master en génie civil, l'Université 8 Mai 1945 de Guelma, juillet 2019.

[29] Agence de l'eau de France 2002], [Chapitre 1/Formation des sols GGC 112 C.

[30] Semcha A. Valorisation des sédiments de dragage : Applications dans le BTP, cas du barrage de Fergoug. These de l'universite de Reims Champagne-Ardenne, 2006.

[31] Boutin. R, 2000 «Dragage et rejets en mer. Les produits de type vase », Presses de l'école nationale des ponts et chaussées, ISBN 2-85978-336-9, Paris, 307p.

[32] N. PROULHAC, K. LANN: Rapport Final du Schéma Directeur de gestion et de valorisation des sédiments de dragage de Rouen et Tancarville. Département de La Gironde .Bassin d'Arcachon, 2006.

[33] IDRA Environnement SA. CG33 / EPIC Arcachon/ SIBA. (juin 2006). « Rapport final du schéma directeur du traitement des vases portuaires (SDTVP) du bassin d'Arcachon».174p.

[34] Remini B., Hallouche W. (2007). Studying sediment at Algeria's dams. Int Water Power Dam Construction; 59: 42-5.

[35] Remini B., Leduc C. and Hallouche W. (2009). Evolution des grands barrages en régions arides : quelques exemples algériens, Sécheresse 2009 ; 20 (1) : 96-103.

[36] http://popodoran.canalblog.com/archives/2013/11/24/28500505.html

[37] google maps

[38] Agence Nationale des barrages (1990) revue Algérie.

[39] B. REMINI, J.M. AVENARD, A. KETTAB : Livre de l'envasement des barrages pages 5 à 89,1997.

[40] M. KASSOUL, A. ABDELGADER, M. BELORGEY : Caractérisation de la sédimentation des barrages en Algérie, Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science, Volume 10, numéro 3, 1997, p. 339-358, Université du Québec - INRS-Eau, Terre et Environnement (INRS-ETE), ISSN : 0992-7158, 1718-8598.

[41] REMINI B.et BENSAFIA D 2016, ENVASEMENT DES BARRAGES DANS LES REGIONS ARIDES EXEMPLES ALGERIENS, Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°27, Sept 2016, pp. 63-90.

[42] LINSSEN : Rapport final de la commission internationale pour l'étude des effets du dragage et de l'évacuation des produits de dragage sur l'environnement : bulletin de l'association internationale permanente de navigation, annexe au bulletin N°27, p.99, 1977.

[43] B. ROLAND : Livre de dragage et rejets en mer les produits de types vase p.153, Presses de l'école nationale des ponts et chaussées, ISBN :2859783369,9782859783365, pp 307,2000.

[44] Benasla Mohammed, Caractérisation de la vase de dragage du barrage de l'Oued Fodda et valorisation en tant que matériau de construction, mémoire de fin d'études Pour l'obtention du diplôme de Doctorat LMD, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed BOUDIAF, 2014/2015.

[45] LEDJILOT Mohamed et MAZARI Mourad, « Mesures préventives contre l'envasement des barrages en Algérie avec étude de cas (barrage K'sob) », Soutenance en vue de l'obtention du diplôme de Master en hydraulique, Université Akli Mohand Oulhadj-Bouira ,2017/2018.

[46] https://www.graddredging.com/dragages-mecaniques/#&gid=1&pid=1

[47] https://www.eworldtrade.com/pd/headdredging/hydraulic-inch-river-cutter/676834/

[48] LIFE, 2002: « Méthodes de gestion et de réutilisation des sédiments pollués », Projet européen LIFE réalisé par In Vivo, l'Agence de l'eau Artois Picardie, le Pôle de Compétence des sites et sols pollués. Source : Agence de l'eau Artois Picardie – http://www.eau-artois-picardie.fr

[50] A. MANSER : Erosion et envasement des barrages.

[51] BENAHMED HALIMA, Valorisation des sédiments d'envasement du barrage de kramis dans le domaine de génie civil, SETOUNANCE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE MAGISTER, Université des Sciences et de la Technologie d'ORan.

[52] https://mainsvertes.org/2019/03/19/tout-savoir-sur-les-dechets-en-algerie-partie-1/

[53] http://www.ccpays-solesmois.fr/vivre-ici/dechets/dechets-dangereux/

[54] AZZI, F. 2016. Etude de l'expansion de la capacité d'un barrage reservoir par la realisation d'un deversoir a hausses fusibles (Cas du barrage du Ghrib, W.Ain Defla).mémoir de fin d'étude. Ecole Nationale Superieure de l'Hydraulique. Blida.

[55] http://www.cmca-ra.com/

[56] https://www.algerie360.com/vol-de-cables-courtiers-des-dechets-et-cri-dalarme-des-entreprises-les-combines-de-la-mafia-du-cuivre/

[57] http://www.cecif.com/produits/fiche-8228-les-dechets-de-fer.html

[58] Ikhlef Khadidja et Zirari Imen, valorisation de déchets de fonderie dans le béton de sable, projet de fin d'étude pour l'obtention du diplome de Master en Génie Civil, Universitaire Yahia FARES de Médéa, 2018.

[59] http://www.zhengkefr.com/drying-equipment/rotary-dryer/fly-ash-rotary-dryer.html

[60] NF EN 933-1, 1997, « Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats. Partie 1: Détermination de la granularité. Analyse granulométrique par tamisage », AFNOR.

[61] NF EN 1097-6, 2001, « Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats. Partie 6: Détermination de la masse volumique réelle et du coefficient d'absorption d'eau », AFNOR.

[62] NF EN 1097-3, 1998, « Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats. Partie 3: Méthode pour la détermination de la masse volumique en vrac et de la porosité inter granulaire », AFNOR

[63] NF EN 933-8, 1999, « Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats. Partie 8: Evaluation des fines. Equivalent de sable », AFNOR.

[64] NF P 15-431, Normes AFNOR : « Liants hydrauliques – technique des, essais détermination du temps de prise sur mortier normal », Février 1994.

[65] NF P 15-476, Normes AFNOR : « Méthodes d'essais des ciments- Détermination de la finesse », Aout 1990.

[66] NF P 15-471, Normes AFNOR : « Méthodes d'essais des ciments - Partie 1 : Détermination des résistances mécaniques », Aout 1995.j.

[66] NF EN 12350-6, 1999, « Essai pour béton frais. Partie 6 : Masse volumique ».AFNOR.

[67] NA 442, Normes Algérienne : "Ciment - Composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants" 1994, 2000.

[68]NF EN 12390-2, 2001, « Essai pour béton durci. Partie 2 : Confection et conservationdes éprouvettes », AFNOR.

[69]CEN EN 196-1, Normes AFNOR : « Méthodes d'essais des ciments –Partie 1 : détermination des résistances mécaniques (indice de classement P15- 471) », Aout 1995.

[70]Norme Francaise, NF P 18-412 « Béton : Caractéristiques communes des machineshydrauliques pour essais de compression, flexion et traction des matériaux durs», Normeenregistrée, Déc. 1981.

[71] REMINI B, ENVASEMENT DES BARRAGES DANS LES REGIONS ARIDES EXEMPLES ALGERIENS, Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°05, Juin2006, pp. 75-89.