

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة

التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد البشير الإبراهيمي - برج بوعريريج

Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département Génie Civil

MÉMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER**

En : (Génie Civil)

Spécialité : (Matériaux)

Par : - LABBET Mouhammed Elamine

Sujet

Etude expérimentale d'un mortier haute performance à base des sédiments de dragages avec une évaluation environnemental et économique

Soutenu publiquement, le / / , devant le jury composé de :

BELKADI Ahmed Abderraouf	MCA	Univ-BBA	Président
BENAMMAR Abdelhafid	MCB	Univ-BBA	Examineur
BENOUADAH Abdelatif	MCB	Univ-BBA	Encadrant
CHEMALI Ramzi	MAB	Univ-BBA	Co-Encadrant

Année Universitaire 2022/2023

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

الحمد لله الذي بِنِعْمَتِهِ تَتِمُّ الصَّالِحَاتُ

Remerciements :

Dédié à tous ceux qui ont été une source d'inspiration et de soutien tout au long de ce parcours académique, je tiens à exprimer ma reconnaissance profonde et sincère.

Tout d'abord, je souhaite exprimer ma reconnaissance envers Dieu, qui m'a guidé(e) tout au long de ce parcours. C'est grâce à Sa grâce et à Sa bénédiction que j'ai pu surmonter les défis

À mes chers parents, vous êtes mes piliers inébranlables. Votre amour inconditionnel, votre dévouement et votre soutien constant ont été mon inspiration quotidienne. Vous avez sacrifié tant de choses pour me permettre de poursuivre mes études, et je vous en suis infiniment reconnaissant(e). Votre confiance en moi et vos encouragements ont nourri ma détermination et ont fait de ce mémoire une réalité.

À mes frères et aya, vous avez été bien plus que des compagnons de route. Votre présence, votre camaraderie et votre soutien indéfectible ont été une source de motivation inépuisable.

À feu mon ami Nazim, ton départ prématuré laisse un vide immense dans nos vies. Ta mémoire restera vivante en nous, et ton esprit d'accomplissement continuera de m'inspirer je suis reconnaissant(e) pour les moments partagés et les souvenirs que nous avons créés ensemble.

Enfin, je tiens à remercier le Dr Ramzi Chemali, mon encadrant, pour son soutien, son expertise et son dévouement tout au long de cette recherche académique. Votre mentorat éclairé, vos conseils avisés.

Merci du fond du cœur pour votre contribution précieuse à ce mémoire de fin d'études.

Avec toute ma reconnaissance,

LABBET Mouhammed Elamine

Sommaire :

Sommaire	<i>Error! Bookmark not defined.</i>
LISTE DES FIGURES Figure I-1 :	7
LISTE DES TABLEAUX	10
Résumé :	12
Abstract:	12
ملخص:	13
Introduction générale	14

I-CHAPITRE 01 : Etat de l'art

I-1 Les sédiments et leurs problématiques de gestion et de valorisation	19
I-1-1 Définition des sédiments :	19
I-1-2 Origine des sédiments :	19
I-1-3 Caractérisation des sédiments :	20
I-1-3-1 Granulométrie des sédiments :	20
I-1-3-2 Composition des sédiments :	21
I-1-4 La problématiques et gestion des sédiments de dragage :	22
I-1-4-1 La problématiques des sédiments de dragage des barrages en Algérie	22
I-1-4-2 valorisation des sédiments de dragage :	24
I-2 GENERALITES SUR LES MORTIERS	25
I-2-1 Historique des mortiers :	25
I-2-2 Définition de mortier :	26
I-2-3 Constituants des mortiers :	26
I-2-4 Différents types des mortiers :	27
I-2-5 Emplois des mortiers :	29

I-3- LES MORTIERS DE HAUTE PERFORMANCE:	31
<i>Introduction :</i>	31
I-3-1 <i>Caractéristiques des mortiers de haute performance</i>	31
I-3-2 <i>Matériaux des mortiers de haute performance :</i>	32
I-3-3 LE SUPERPLASTIFIANT	34
I-3-3-1 <i>Définition d'un superplastifiant :</i>	34
I-3-3-2 <i>Mécanismes d'action des plastifiants et superplastifiants :</i>	34
I-3-3-3 <i>L'effet des super plastifiants sur les bétons :</i>	37
I - 4 - LA THIXOTROPIE DES MORTIERS :	38
I-4- 1 <i>Définition de la thixotropie :</i>	38
I-4-2 <i>Approches du phénomène :</i>	40
I-4-3 <i>Caractéristiques du comportement des fluides thixotropes :</i>	41
I-4-4 <i>Etat de référence :</i>	42

II-CHAPITRE 02 : Matériaux et Matériels

<i>Introduction</i>	44
II-1 LES SEDIMENT DE DRAGAGE :	45
II-1-2 <i>L'analyse granulométrie par laser inferieur a 500 Um :</i>	46
II-1-2 <i>l'analyse chimique.</i>	47
II-2-3 <i>les limites d'Atterberg</i>	48
1- <i>la limite de liquidité :</i>	48
2- <i>la limite de plasticité</i>	49
3- <i>l'indice de plasticité :</i>	49
II-1-4 <i>masse volumique :</i>	50
II-2 LE SABLE :	51
II-2-1 <i>Equivalent de sable :</i>	51

II-2-2 Masse volumique des sables (NA EN 1097-6) _____	53
II-2-3 Analyse granulométrique par tamisage [NA EN 933-1] _____	54
II-3 LE CIMENT :	55
II-3-1 Présentation du ciment : _____	55
II-3-2 Domaines d'utilisation : _____	55
II-3-3 Analyse chimique : _____	56
II-3-4 Composition minéralogique du Clinker (Bogue) : _____	56
II-4 SUPERPLASTIFIANT	57
DESCRIPTION _____	57
II-4-1 Domaines d'application _____	57
II-4-2 Caractéristiques /Avantages _____	57
II-4 Information sur les produits _____	58

III-CHAPITRE 03 :Résultats et discussions

III-1 FORMULATION DU MORTIER.....	60
Introduction : _____	60
III-1 : La composition du mortier : _____	60
III-2 : Malaxage du mortier selon la norme EN 196-1 [107] : _____	61
III.12.2. Conservation des éprouvettes _____	62
III-2 LES RESULTATS : _____	63
Introduction : _____	63
III-2-1 Etat frais _____	63
III-2-1-1 L'essai d'étalement au cône d'Abrams : [NFEN12 350-8] _____	63
• Principe de l'essai	63
• Conduite de l'essai	63
• Les résultats de l'essai	63

<i>III-2-1-2 Mesure de la masse volumique a l'état frais :</i>	65
<i>III-2-2 Essais à l'état durci</i>	66
<i>III-2-2-1 Mesure de la masse volumique a l'état durci :</i>	66
<i>III-2-2-2 : La résistance à la compression :</i>	67
<i>III-2-2-2 : La résistance à la flexion :</i>	71
<i>Conclusion :</i>	73
<i>REFERANCE</i>	75

LISTE DES FIGURES

• Figure I-1 : Erreurs de prise en charge des vases draguées à Ferouz, (SEMCHA et al., 2015)-----	23
▪ Figure I-2 : Gestion des sédiments de dragage du barrage du Ferouz-----	23
▪ Figure I-3 : Les composition d'un mortier -----	26
▪ Figure I-4 Les type des mortiers -----	28
▪ Figure I-5 Application des mortiers-----	30
▪ FigureI-6 : Dispersion par répulsion électrostatique-----	36
▪ Figure I-7 : Dispersion par répulsion Stérique-----	36
▪ Figure I-8 Mécanismes d'action des plastifiants et superplastifiants-----	36
▪ Figure I-9Trois échelles caractéristiques dans une suspension-----	40
▪ Figure I-10 Explication physique du comportement thixotrope d' une suspension de ciment [ROU, 06]-----	41
▪ Figure II-1 : courbe granulométrique des sédiment utilisé-----	46
▪ Figure II-2 : courbe de la limite de liquidité -----	48
▪ Figure II-3 : image de l'essai de limite de plasticité -----	49

Liste des figures

- Figure II-4 Essai Equivalent de sable-----52
- Figure II-5: Courbe granulométrique du sable de (OUED SOUF)-----54
- Figure III-1: Le mélange de mortier-----60
- Figure III-2: Malaxeur de mortier (labo gc)-----61
- Figure III-3 : Bague de conservation des éprouvettes (laboratoire GC)-----62
- Figure III-4 : Photo du test d'étalment-----64
- Figure III-5 : Histogramme des Résultats du test d'étalement -----64
- Figure III-6: courbe de comparaison entre l'état frais et l'état durci-----66
- *Figure III-7 : L'essai de compression (au laboratoire GC)-----67*
- Figure III-9 : courbe de la résistance a la compression-----69
- Figure III-10 : essai de la résistance a la flexion (labo GC)-----71
- Figure III-11 : courbe de la résistance a la compression-----72

Liste des Tableaux

LISTE DES TABLEAUX

- Tableau I-1 : Synthèse des modes de gestion des sédiments de dragage (Rieussec, 2008)-----23
- Tableau I-2: Vitesses maximales appliquées au béton dans différentes géométries d'écoulement. Données tirées de [ROU, 06]-----43
- Tableau II-1 : Analyse chimique des sédiment utilisé-----47
- Tableau II-2 : limite de liquidité sédiment utilisé-----48
- Tableau II-3 : résultats de limite de plasticité-----49
- tableau II-4 : Classification du sol en fonction de l'indice de plasticité-----50
- Tableau II-5 : Différentes caractéristiques du sable utilisé.-----52
- Tableau II-6 : Les résultats de l'équivalent de sable par visuelle-----52
- Tableau II-7 : Résultats de la Masse volumique des sables-----53
- Tableau II-8 : Analyse chimique de ciment matine-----56
- Tableau II-9 : Composition minéralogique de ciment matine-----56
- Tableau II-10 : Propriétés physiques de ciment matine-----56
- Tableau II-11 : Temps de prise à 20 de ciment matine-----56
- Tableau II-12 : information de superplastifiant-----58
- Tableau III-1 Résultats de l'essai d'etalemn-----63
- Tableau III-2 la masse volumique des mortier a l'état frais -----65
- Tableau III-3 la masse volumique des mortier a l'état durci-----66
- Tableau III-4 : les résultats de la résistance a la compression-----68
- Tableau III-5 : les résultats de la résistance a la flexion-----71

Résumé :

Ce mémoire de master se concentre sur la valorisation des sédiments de dragage pour la production d'un mortier de haute performance. L'objectif est de développer une approche durable pour la gestion de ces sédiments en les transformant en une ressource utile tout en réduisant leur impact environnemental. La recherche comprend une analyse approfondie des caractéristiques des sédiments de dragage ainsi que des composants essentiels du mortier, tels que le sable, le ciment, l'eau et les additifs. En substituant progressivement le ciment par des sédiments de dragage, la formulation optimale du mortier est déterminée afin d'obtenir des performances élevées en termes de résistance et de durabilité. Les résultats obtenus à partir de cette étude permettront de démontrer la faisabilité et les avantages de valoriser les sédiments de dragage dans la production de mortiers de haute performance, tout en contribuant à la réduction de leur impact environnemental. Cette recherche ouvre la voie à des nouvelles opportunités pour l'utilisation durable des sédiments de dragage dans l'industrie de la construction.

Abstract:

This master's thesis focuses on the valorization of dredged sediments for the production of high-performance mortar. The objective is to develop a sustainable approach for the management of these sediments by transforming them into a useful resource while reducing their environmental impact. The research involves an in-depth analysis of the characteristics of dredged sediments and key components of the mortar, such as sand, cement, water, and additives. By gradually replacing cement with dredged sediments, the optimal formulation of the mortar is determined to achieve high performance in terms of strength and durability. The results obtained from this study will demonstrate the feasibility and benefits of valorizing dredged sediments in the production of high-performance mortar while contributing to the reduction of their environmental impact. This research opens up new opportunities for the sustainable use of dredged sediments in the construction industry.

ملخص:

تركز هذه المذكرة الجامعية للماستير على تسليط الضوء على تسخير رواسب الحفر لإنتاج ملاط عالي الأداء. الهدف هو تطوير نهج مستدام لإدارة هذه الرواسب من خلال تحويلها إلى مورد مفيد وتقليل تأثيرها البيئي. تتضمن البحث تحليلاً معمقاً لخصائص رواسب الحفر والمكونات الأساسية للملاط، مثل الرمل والإسمنت والماء والمضافات. عن طريق تحويل الإسمنت تدريجياً برواسب الحفر، يتم تحديد التركيبة المثلى للملاط للحصول على أداء متميز من حيث المتانة والصلابة. ستسمح النتائج التي تم الحصول عليها من هذه الدراسة بإثبات جدوى وفوائد تسخير رواسب الحفر في إنتاج الملاط عالي الأداء، مع المساهمة في تقليل تأثيرها البيئي. يفتح هذا البحث الباب أمام فرص جديدة للاستخدام المستدام لرواسب الحفر في صناعة البناء.

Introduction générale



Introduction générale

Introduction générale

Le développement durable et la préservation de l'environnement sont aujourd'hui des enjeux majeurs dans l'industrie de la construction. La gestion des sédiments de dragage, issus des opérations d'entretien des voies navigables, des ports et des zones côtières, constitue un défi important en termes d'impact environnemental et de coûts associés à leur élimination. Selon les statistiques, des millions de mètres cubes de sédiments de dragage sont générés chaque année, nécessitant des solutions efficaces pour leur traitement.

Les sédiments de dragage sont des matériaux complexes qui présentent une composition variée, comprenant des particules de sable, d'argile, de limon et parfois des éléments organiques. Leur caractérisation approfondie est essentielle pour évaluer leur potentiel d'utilisation dans la construction. Malheureusement, une grande partie de ces sédiments est souvent considérée comme des déchets et est éliminée dans des sites d'enfouissement, ce qui entraîne des coûts élevés et un impact environnemental néfaste.

Cependant, les sédiments de dragage ont un potentiel inexploité en tant que ressource valorisable. Leur utilisation dans la production de mortiers de haute performance présente des avantages significatifs, tels que la réduction de la dépendance aux matériaux vierges, la préservation des ressources naturelles et la diminution des émissions de gaz à effet de serre. En outre, l'utilisation des sédiments de dragage dans les mortiers peut offrir des performances améliorées, telles qu'une meilleure résistance mécanique, une meilleure durabilité et une réduction de la fissuration.

Dans ce contexte, ce mémoire de recherche se concentre sur la valorisation des sédiments de dragage dans la production d'un mortier de haute performance. L'objectif principal est de développer une approche durable pour gérer les sédiments de dragage tout en produisant un matériau de construction de qualité. Pour atteindre cet objectif, une caractérisation détaillée des sédiments de dragage sera réalisée, en tenant compte de leurs propriétés physico-chimiques, de leur granulométrie, de leur teneur en matière organique et de leur compatibilité avec les autres composants du mortier.

e premier chapitre de ce mémoire présente une revue générale des sédiments de dragage et des mortiers de haute performance. Il explore les différentes sources des sédiments de dragage, les méthodes de dragage et les problématiques associées à leur gestion. De plus, il examine les caractéristiques des mortiers de haute performance, tels que leur résistance mécanique, leur durabilité et leur comportement face à différents facteurs environnementaux.

Le deuxième chapitre se concentre sur la caractérisation des différents composants utilisés dans la formulation du mortier à base de sédiments de dragage. Il examine en détail les propriétés du sable, du ciment, de l'eau et des éventuels superplastifiants ou autres additifs. Cette caractérisation approfondie permettra de comprendre les interactions entre les différents composants et de garantir une compatibilité adéquate dans la formulation du mortier.

Le troisième chapitre présente la méthodologie utilisée pour formuler le mortier en remplaçant progressivement différentes proportions de ciment par des sédiments de dragage. Il met l'accent sur les critères de sélection des proportions de remplacement et sur la fixation d'une teneur constante de superplastifiant dans tous les mélanges. De plus, ce chapitre discute des différentes méthodes de mélange et de l'influence des paramètres de fabrication sur les propriétés finales du mortier.

Enfin, le quatrième chapitre présente les résultats obtenus à partir des essais de performance réalisés sur les mortiers formulés. Ces essais comprennent notamment des tests de résistance à la compression, de résistance à la flexion, de porosité et de durabilité. Les résultats obtenus permettront de quantifier l'impact du remplacement du ciment par des sédiments de dragage sur les performances du mortier et d'identifier les proportions optimales pour obtenir un mortier de haute performance.

En conclusion, ce mémoire de recherche vise à explorer la valorisation des sédiments de dragage dans la production d'un mortier de haute performance, en contribuant à la résolution des problèmes liés à la gestion des sédiments et à l'amélioration de la durabilité des matériaux de construction. Les statistiques révèlent un volume considérable de sédiments de dragage

Introduction générale

générés chaque année, ce qui souligne l'importance d'une approche durable pour leur gestion. Les résultats obtenus dans le cadre de cette étude peuvent fournir des connaissances précieuses pour l'industrie de la construction en termes de développement de solutions durables et de réduction de l'impact environnemental.



*CHAPITRE I :
Etat de l'art*

Chapitre I ; Etat de l'art

I-1 Les sédiments et leurs problématiques de gestion et de valorisation

I-1-1 Définition des sédiments :

Le terme sédiment a plusieurs définitions. Un sédiment est un dépôt de matières détritiques minérales et organiques. Les sédiments peuvent être d'origine allochtone, lorsqu'ils résultent de l'érosion du bassin par des forces dynamiques externes telles que le vent ou l'eau, ou d'origine autochtone, lorsqu'ils proviennent de la précipitation de composés minéraux (carbonates, phosphates, évaporites) et de la sédimentation de matière organique. (Organismes planctoniques morts). [BOUT, 98] définissent les sédiments comme de fines particules minérales avec quelques petits éléments rocheux entrecoupés de restes d'origine végétale ou animale. [RAM, 98],

I-1-2 Origine des sédiments :

La formation des sédiments peut s'expliquer par divers processus géologiques qui se sont produits au cours de l'histoire de la Terre.

- a- Origine des sédiments détritiques : Les sédiments détritiques sont formés à partir de l'altération mécanique des roches préexistantes. Ce processus peut être causé par l'érosion due aux précipitations, au vent ou à la glace. Les sédiments détritiques peuvent être transportés par l'eau, l'air ou la glace avant d'être déposés dans les bassins sédimentaires. Les roches détritiques les plus courantes sont les sables, les argiles et les graviers, qui sont souvent trouvés dans les environnements fluviaux, côtiers et glaciaires.
- b- Origine des sédiments biogènes : Les sédiments biogènes sont formés à partir de restes d'organismes vivants, tels que les coquilles, les squelettes ou les algues. Les sédiments biogènes peuvent être trouvés dans les environnements marins ou d'eau douce. Les roches biogènes les plus courantes sont les calcaires, qui sont formés à partir des coquilles et des squelettes de micro-organismes marins.
- c- Origine des sédiments chimiques : Les sédiments chimiques sont formés par précipitation à partir de solutions aqueuses. Ils sont souvent le résultat de processus tels que l'évaporation de l'eau de mer ou de l'eau douce ou la réaction chimique entre des fluides souterrains et les roches environnantes. Les roches chimiques les plus

Chapitre I ; Etat de l'art

courantes sont les évaporites, qui sont formées à partir de la précipitation de sels minéraux dissous dans l'eau de mer ou de l'eau douce.

- d- Origine des sédiments volcaniques : Les sédiments volcaniques proviennent de la fragmentation et de l'éruption de roches volcaniques. Les cendres, les scories et les autres débris émis lors d'une éruption volcanique peuvent être transportés sur de grandes distances avant d'être déposés dans des bassins sédimentaires. Les roches volcaniques les plus courantes sont les tufs, qui sont formés à partir de cendres volcaniques consolidées.

1-1-3 Caractérisation des sédiments :

Un sédiment se caractérise essentiellement par :

- Sa granulométrie,
- Sa composition minérale,
- Sa teneur en eau et en matière organique. [DUCH, 83]

1-1-3-1 Granulométrie des sédiments :

La granulométrie des sédiments se compose essentiellement d'une partie minérale grossière (fraction sableuse) et d'une partie fine (fraction de la vase) [LIF, 02]

- La fraction grossière des sédiments dont le diamètre supérieur à 63 μm se compose essentiellement de sables et de matières inorganiques silicatés. Les sédiments sableux ont une faible cohésion, une petite surface de contact entre les différentes particules du sédiment et peu d'affinité aux contaminants [UJE, 00].

- La fraction fine des sédiments dont le diamètre inférieur 63 μm , est constituée essentiellement de l'argile ayant un diamètre compris entre 0.2 μm et 2 μm , de silt ayant un diamètre compris entre 2 μm et 63 μm . Cette fraction fine contient généralement des argiles et des matières organiques [LIN, 98].

Chapitre I ; Etat de l'art

I-1-3-2 Composition des sédiments :

- **La phase eau** : Il s'agit d'une proportion très variable, qui dépend de plusieurs facteurs tels que les conditions de dragage et la localisation du dépôts. En général, on peut distinguer l'eau libre, l'eau capillaire, l'eau colloïdale et l'eau du film.
- La teneur en eau par rapport à la matière sèche dans les récipients varie entre environ 50 et 300 %.
- **La phase inorganique** : Cette fraction est principalement formée de minéraux provenant de l'écorce terrestre et de débris coquilliers. Elle se compose principalement d'argiles, de carbonates et de silicates.
- Les hydroxydes de fer, de manganèse et les substances organiques qui enrobent les particules inorganiques, leur procurent une grande capacité d'adsorption vis-à-vis des contaminants.
- Les Principaux minéraux constituant sa matrice sont le quartz, le feldspath, et les argiles (dont les trois principaux constituants sont la kaolinite, l'illite et la smectite).
- **Phase organique** : Les composés organiques présents dans les sédiments sont généralement d'origine naturelle. Ils proviennent de résidus végétaux, de micro-organismes ou de colloïdes humiques. Cette phase est constituée de polymères naturels, qui jouent un rôle important en tant qu'agents complexant.
- **Les métaux lourds** : Les métaux sont présents dans la nature et sont classés selon qu'ils sont essentiels ou non. Ce caractère varie d'un métal à l'autre et dépend de la concentration. 17 métaux sont considérés comme essentiels, dont 4 (Na, K, Ca et Mg) sont présents en grande quantité (supérieure à $>1 \text{ mmol kg}^{-1}$ poids frais), tandis que les treize autres sont présents à l'état de traces ($0,001$ à 1 mmol kg^{-1} poids frais) ou ultra traces ($< 1 \text{ } \mu\text{mol kg}^{-1}$ poids frais)

Chapitre I ; Etat de l'art

I-1-4 La problématiques et gestion des sédiments de dragage :

I-1-4-1 La problématiques des sédiments de dragage des barrages en Algérie

Comme de nombreux pays des régions semi-arides, l'Algérie est confrontée au problème de la diminution du volume d'eau dans les barrages en raison de la sédimentation. Celle-ci atteint 1,7 milliard de m³ dans les 74 barrages opérationnels, selon l'Agence nationale des barrages et des transferts [ANBT, 15]. Le changement climatique augmentera le phénomène de sédimentation dans ces régions. Car la très grande irrégularité spatiale et temporelle des précipitations fait ainsi peser une menace constante sur le remplissage des barrages des réservoirs [TOU, 18]. De plus, aujourd'hui, et surtout dans l'Ouest algérien, le réseau hydrographique est saturé. Les emplacements favorables à la construction de nouveaux barrages se font de plus en plus rares [REM, 19]. L'entretien du fond des réservoirs des barrages par dragage est une solution pour lutter contre la sédimentation. Cependant, ces opérations de nettoyage produisent de grandes quantités de sédiments, ce qui pose un problème environnemental important. L'exemple du dragage du barrage de Fergoug illustre les dommages environnementaux causés à la plaine de Macta. Les sédiments dragués, lorsqu'ils sont déposés sur les terres agricoles, forment une couche appelée « croûte de batance » qui empêche la croissance des plantes [BIS, 95]. La solution qui a été adoptée est celle d'une économie linéaire qui ne prenait pas en compte l'impact environnemental. Le modèle appliqué est "cradle to grave" (du "berceau à la tombe"). La figure 1 illustre le processus de la gestion des sédiments du barrage du Fergoug [SEM, 15] que l'on peut représenter sous forme du schéma représenté en figure 2, l'érosion du bassin versant par transport solide les sédiments sont déposés dans le lit de l'oued et dans la retenue du barrage. La deuxième étape est le dragage, les sédiments sont dragués mais ils sont considérés comme déchets ultimes, ils ne subissent aucun traitement et sont déposés en aval du barrage dans l'oued et par transport solide et entrainement se sont déposés sur la plaine de la Macta, [KAZ, 20]

Chapitre I ; Etat de l'art



Figure I-1. Erreurs de prise en charge des vases draguées à Fergoug, [SEM, 15]



Figure I-2 : Gestion des sédiments de dragage du barrage du Fergoug

Les sédiments dragués lorsqu'ils sont déposés sur les terres agricoles, forment une couche appelée "croûte de battance" qui empêche la croissance des plantes [BIS, 95]. La problématique des sédiments de dragage est assez complexe et nécessite une analyse multi échelle : la conscience écologique, le respect de la réglementation, et le volet socioéconomique [GRE, 04]. Le Tableau 1-1 présente une synthèse des options alternatives possibles pour la gestion des sédiments de dragage.

Tableau I-1: Synthèse des modes de gestion des sédiments de dragage [RIE, 08]

	Valorisation	Confinement
Milieu aquatique	<ul style="list-style-type: none"> • Création de cordons pré littoraux ou littoraux pour contrer l'action des agents hydrodynamiques • Comblement de dépression contre l'érosion • Création d'habitats aquatiques fauniques 	<ul style="list-style-type: none"> • Recouvrement <i>in situ</i> • Confinement en installation • Dépression naturelle • Dépression artificielle • Monticule • Dignes
En berge	<ul style="list-style-type: none"> • Remblai contre l'érosion • Recharge de plage • Reprofilage d'estrans vaseux • Restauration d'habitats riverains • Aquaculture 	<ul style="list-style-type: none"> • Installation de confinement d'atténuation • Installation de confinement sécuritaire
Milieu terrestre	<ul style="list-style-type: none"> • Matériau de recouvrement, de remplacement, de remplissage, de construction, ou de compostage • Amendement de sols 	<ul style="list-style-type: none"> • Cellule de confinement • LESC, LESM • Site d'élimination de matières dangereuses

Chapitre I ; Etat de l'art

I-1-4-2 valorisation des sédiments de dragage :

Diverses études ont été menées sur la valorisation des sédiments de dragage dans différents sous-secteurs du génie civil, comme son incorporation dans les techniques de construction routière [MEK, 13], briqueterie et céramique [SER, 18] et comme ajout minérales [BEL, 18], tous ces travaux nous montre l'importance de valorisation des sédiments dans ce domaine Par ailleurs des projets internationaux aussi a été réalisés carrément à la base de ces matériaux comme par exemple :

Blocs béton maritimes : un projet terminé en 2013 d'une enveloppe de 150 k€, et qui consiste à valoriser les sédiments non immersibles en blocs qui servent à stabiliser la jetée du Clipon à l'Avant-Port Ouest pour maîtriser l'agitation des plans d'eau.

Ainsi que plusieurs projets et chaires de valorisation :

NEO'BLOCK : a pour finalité de promouvoir une nouvelle filière de matériaux de construction écologiques issus de la transformation d'un déchet de masse coûteux pour les gestionnaires portuaires, gestionnaires de voies d'eaux et collectivités en un écoproduit performant et commercialisable à moyen terme par les industriels du secteur de la construction au sens large.

VALSE (2016-2019) : d'un montant de 4,17 M€, Interreg, qui vise la validation de filières transfrontalières de valorisation de matières. Le projet participe à la démonstration de la faisabilité de la réutilisation de matières et des bénéfices de l'économie circulaire

ECOSSED : une chaire portée par l'école des Mines de Douai associe des industriels, des gestionnaires de sédiments et des équipes de recherche en vue de développer des voies de valorisation pertinentes dans des applications routières ou des produits en béton.

I-2 GENERALITES SUR LES MORTIERS

I-2-1 Historique des mortiers :

L'utilisation de mortier remonte à l'Antiquité, où les premiers mortiers étaient composés de terre mélangée à de la paille ou de la chaux. Les Égyptiens utilisaient de la chaux vive et du sable pour construire leurs pyramides, tandis que les Romains ont perfectionné l'utilisation de mortiers à base de chaux et de cendres volcaniques.

Au Moyen Âge, l'utilisation de mortiers à base de chaux et de sable s'est répandue en Europe, et des techniques plus sophistiquées ont été développées pour la construction de cathédrales et de châteaux. Les maçons ont appris à mélanger la chaux avec d'autres matériaux tels que des pierres concassées ou de la brique pour créer des mortiers plus résistants.

Au cours de la Renaissance, les architectes ont commencé à utiliser des mortiers à base de plâtre pour les murs intérieurs et pour les finitions de surface, tandis que les mortiers de chaux étaient utilisés pour les murs extérieurs. Au XVIIIe siècle, la découverte de l'utilisation du ciment Portland a permis de développer des mortiers encore plus résistants et durables.

Au XXe siècle, l'industrie de la construction a connu une croissance rapide, et de nouveaux types de mortiers ont été développés pour répondre aux besoins de construction modernes. Les mortiers à base de ciment sont devenus plus courants pour la construction de bâtiments modernes, tandis que les mortiers de chaux sont restés populaires pour la restauration de bâtiments historiques.

En résumé, l'utilisation de mortier remonte à l'Antiquité, et les mortiers ont évolué au fil du temps pour devenir plus sophistiqués et plus résistants. Les différents types de mortiers ont été développés pour répondre aux besoins de construction spécifiques, en fonction de la nature de la construction, de la résistance requise, et de l'environnement dans lequel le mortier sera utilisé.

Chapitre I ; Etat de l'art

I-2-2 Définition de mortier :

Le mortier est un mélange constitué de sable, d'eau et d'un liant, qui peut être la chaux ou le ciment. On peut également trouver des polymères dans la composition de certains mortiers

Ce mélange pâteux sert notamment à lier entre eux les matériaux de construction. Ses proportions sont différentes de celles du béton et il ne comporte pas de gravier.

En général, le mortier doit être produit avec peu d'eau : en général 20 kg de mélange pour environ 4 L d'eau. Cependant, il est important de vérifier les indications fournies par le fabricant. On l'applique ensuite par couche uniforme (ou avec des rainures). La surface ne doit pas être humidifiée lors de l'application. [WEB]

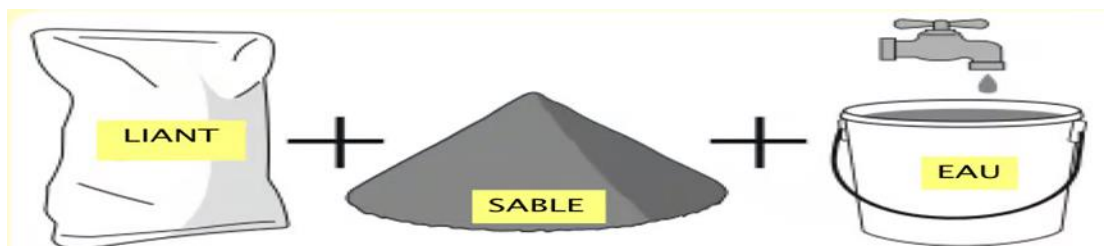


Figure I-3 Les composition d'un mortier

I-2-3 Constituants des mortiers :

Les principaux constituants des mortiers sont :

- a- **Le liant** : C'est un matériau qui lie les autres composants du mortier ensemble. Le liant est généralement un liant hydraulique, tel que le ciment, qui durcit lorsqu'il est mélangé avec de l'eau pour former une pâte solide qui lie les autres matériaux ensemble.
- b- **Le sable** : Le sable est un matériau granulaire qui est ajouté au liant pour améliorer la résistance et la durabilité du mortier. Le sable doit être propre et exempt de tout contaminant pour garantir une bonne adhérence et une bonne résistance.
- c- **L'eau de gâchage** : L'eau de gâchage est l'eau ajoutée au mortier pour hydrater le liant et permettre au mortier de durcir et de se fixer en place. La quantité d'eau ajoutée doit être suffisante pour permettre une bonne consistance du mortier, mais pas trop pour éviter une faible résistance et une fissuration.

Chapitre I ; Etat de l'art

- d- **Additifs** : Des additifs spécifiques peuvent être ajoutés au mortier pour améliorer ses propriétés, tels que des agents de rétention d'eau pour prolonger le temps de travail, des adjuvants pour améliorer la résistance et la flexibilité, des pigments pour la coloration, des agents d'adhérence pour améliorer l'adhérence aux surfaces, ou des agents de remplissage pour réduire la densité du mortier.

En fonction de l'utilisation spécifique du mortier, d'autres matériaux peuvent également être ajoutés, tels que des fibres pour améliorer la résistance à la traction, des granulats pour augmenter la densité et la résistance, ou des matériaux ignifuges pour améliorer la résistance à la chaleur. Il est important de choisir les matériaux et les proportions appropriées pour garantir la qualité et la durabilité du mortier.

I-2-4 Différents types des mortiers :

- a- **Les mortiers de ciment** : Les mortiers de ciment sont largement utilisés dans la construction moderne en raison de leurs nombreux avantages. Tout d'abord, les mortiers de ciment ont une résistance mécanique élevée et peuvent supporter des charges importantes, ce qui en fait un matériau idéal pour les applications de construction où la résistance est essentielle. De plus, les mortiers de ciment sont durables et résistent à l'usure et à la dégradation, ce qui leur confère une durée de vie prolongée. Leur facilité d'utilisation, leur bonne adhérence à la plupart des surfaces et leur disponibilité en différentes résistances et compositions en font également un choix polyvalent pour les applications de construction, tels que la construction de murs, de dalles, de chapes, de fondations, de piliers, etc.
- b- **Les mortiers de chaux** : Les mortiers de chaux présentent plusieurs avantages qui en font un matériau de construction populaire et largement utilisé dans la construction durable. Tout d'abord, leur perméabilité à la vapeur d'eau permet une circulation d'air naturelle, évitant ainsi la formation de moisissures et de pourriture. De plus, leur adaptabilité à une grande variété de matériaux de construction tels que la brique, la pierre, la terre cuite, etc. offre une flexibilité dans la construction et leur faible impact environnemental en raison de leur fabrication à partir de matières premières naturelles les rend écologiques et renouvelables. Leur souplesse permet de s'adapter aux

Chapitre I ; Etat de l'art

mouvements naturels des murs et d'éviter les fissures, tandis que leur esthétique lisse et authentique ajoute une touche traditionnelle aux bâtiments historiques et patrimoniaux.

- c- **Les mortiers bâtards** : Les mortiers bâtards, également appelés mortiers hydrauliques, sont des mélanges de chaux et de ciment qui combinent les avantages des deux matériaux. Ils sont couramment utilisés dans la construction pour leur résistance et leur durabilité, tout en conservant certaines propriétés des mortiers de chaux, telles que la perméabilité à la vapeur d'eau et la souplesse. Les mortiers bâtards sont également faciles à travailler et ont une bonne adhérence à la plupart des surfaces, ce qui les rend idéaux pour les applications de construction telles que la maçonnerie, la pose de carreaux, les enduits de finition, etc. Cependant, leur utilisation excessive peut réduire leur capacité à respirer, entraînant une accumulation d'humidité dans les murs et une dégradation prématurée

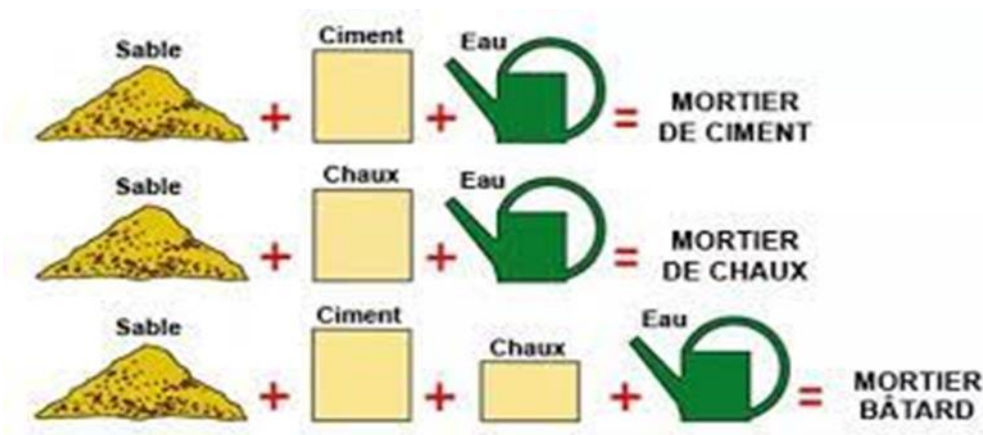


Figure I-4 Les type des mortiers

- d- **Les mortiers réfractaires** : sont composés de différents matériaux, tels que le ciment réfractaire, la silice, le sable réfractaire et d'autres additifs spécifiques. Ils sont souvent mélangés avec de l'eau pour former une pâte qui peut être facilement appliquée sur la surface à sceller.

L'un des avantages des mortiers réfractaires est leur capacité à résister à des températures élevées, ce qui en fait un choix idéal pour les projets qui nécessitent une isolation thermique élevée. De plus, les mortiers réfractaires peuvent également offrir une bonne résistance aux produits chimiques, à l'eau et aux acides.

Chapitre I ; Etat de l'art

Il est important de noter que les mortiers réfractaires doivent être manipulés avec soin et préparés selon les instructions du fabricant. Les erreurs de préparation peuvent entraîner une mauvaise adhérence ou une fissuration du matériau.

e- **Les mortiers industriels secs prémélangés** : Comme la plupart des produits industriels, ces mortiers font l'objet de contrôles à tous les stades de leur élaboration, ce qui constitue pour l'utilisateur une sécurité. Les avantages présentés par ces produits sont :

- Un pré dosage de composition constante, garant de régularité et de qualité.
- Un gain de temps pour préparer le mortier.
- Des chantiers plus propres les producteurs proposent de nombreuses formules standard répondant à la plupart des besoins.

I-2-5 Emplois des mortiers :

- a- **Le hourdage de maçonnerie** : La construction réalisée en éléments maçonnés (blocs de béton, pierre de taille, briques), nécessite leur assemblage avec un mortier qui doit présenter des caractéristiques mécaniques suffisantes pour assurer la transmission des charges et une compacité suffisante pour être étanche.
- b- **Les enduits** : ce domaine d'application constitue l'un des plus vastes débouchés des mortiers. A côté des enduits traditionnels en trois couches décrites dans la norme NF P 15-201-1 et 2 (DTU 26.1), se développent aujourd'hui des enduits monocouches épais, ainsi que des enduits isolants.
- c- **Les chapes** : ont pour fonction d'assurer la mise à niveau du dallage et la régularité de sa surface les chapes peuvent constituer la finition elles peuvent aussi constituer le support d'un revêtement de sol.
- d- **Les scellements et les calages** : La multiplicité des problèmes de scellement et décalage a conduit les producteurs de mortiers industriels à mettre au point des produits spécifiques adaptés aux travaux à réaliser : scellements d'éléments découverte, d'éléments de second œuvre, de mobiliers urbains, de regards de visite.

Chapitre I ; Etat de l'art

Enduit de façade



Colle à carrelage



Enduit de sol



Maçonnerie



Figure I-5 Application des mortiers

I-3- LES MORTIERS DE HAUTE PERFORMANCE :

Introduction :

Les mortiers de haute performance sont des mélanges de mortier spéciaux qui offrent des performances supérieures par rapport aux mortiers traditionnels en termes de résistance, de durabilité, d'adhérence et de maniabilité. Ces mortiers sont souvent utilisés dans des projets de construction exigeants où des performances exceptionnelles sont requises, tels que des structures de génie civil, des ponts, des tunnels, des piscines, des canalisations et des éléments préfabriqués.

Les mortiers de haute performance peuvent être formulés à partir de différents types de liants, tels que le ciment Portland, les liants hydrauliques spéciaux, les mélanges de ciments et de fumées de silice, les mélanges de ciments et de métakaolin, et les mélanges de ciments et de cendres volantes. Des adjuvants spéciaux peuvent également être ajoutés pour améliorer les performances des mortiers, tels que des superplastifiants, des accélérateurs de prise, des agents d'adhérence et des fibres.

Les mortiers de haute performance offrent une résistance supérieure à la compression, à la flexion et à la traction, ainsi qu'à l'abrasion et à la corrosion. Ils sont également capables de résister aux cycles de gel/dégel et ont une durée de vie plus longue que les mortiers traditionnels. Les mortiers de haute performance ont une consistance et une maniabilité supérieures, ce qui facilite leur mise en œuvre et leur application. En général, les mortiers de haute performance sont conçus pour offrir des performances exceptionnelles dans des conditions de construction exigeantes.

I-3-1 Caractéristiques des mortiers de haute performance

Les mortiers de haute performance se distinguent par leurs caractéristiques supérieures par rapport aux mortiers traditionnels. Voici quelques-unes des caractéristiques typiques des mortiers de haute performance :

- a- **Résistance accrue :** Les mortiers de haute performance offrent une résistance supérieure à la compression, à la flexion et à la traction, ainsi qu'à l'abrasion et à la corrosion. Ils sont également capables de résister aux cycles de gel/dégel.

Chapitre I ; Etat de l'art

- b- **Adhérence améliorée** : Les mortiers de haute performance adhèrent mieux aux surfaces et aux matériaux, réduisant ainsi le risque de fissuration et de délamination.
- c- **Durabilité** : Les mortiers de haute performance ont une durée de vie plus longue que les mortiers traditionnels, en raison de leur résistance accrue à la corrosion, à l'abrasion, aux produits chimiques et aux cycles de gel/dégel.
- d- **Retrait et déformation réduits** : Les mortiers de haute performance subissent moins de retrait et de déformation que les mortiers traditionnels, ce qui réduit le risque de fissuration.
- e- **Consistance et maniabilité** : Les mortiers de haute performance ont une consistance et une maniabilité supérieures, ce qui facilite leur mise en œuvre et leur application.
- f- **Faible perméabilité** : Les mortiers de haute performance ont une perméabilité réduite, ce qui les rend plus résistants à l'eau et aux agents chimiques.

En général, les mortiers de haute performance offrent des performances supérieures dans toutes les applications où ils sont utilisés, ce qui les rend adaptés pour des projets de construction exigeants nécessitant une haute qualité et une longue durée de vie. Cependant, il est important de noter que les caractéristiques des mortiers de haute performance peuvent varier en fonction de leur composition et de leur utilisation spécifique, il est donc important de consulter un professionnel pour déterminer le mortier approprié pour chaque projet.

I-3-2 Matériaux des mortiers de haute performance :

Les mortiers de haute performance peuvent être formulés à partir d'un large éventail de matériaux, chacun ayant des propriétés spécifiques qui permettent d'obtenir les performances requises. Les principaux matériaux utilisés dans les mortiers de haute performance sont les suivants :

- a- **Liants** : Les liants sont des composants clés des mortiers qui sont responsables de l'adhérence des particules entre elles et de la solidité du matériau final. Les principaux types de liants utilisés dans les mortiers sont le ciment Portland, le ciment alumineux, le ciment à la chaux, le ciment de laitier et le ciment géopolymère. Chacun de ces types de liants peut être utilisé seul ou en combinaison avec d'autres liants pour produire des mortiers avec des propriétés spécifiques.

Chapitre I ; Etat de l'art

- b- **Agrégats** : Les agrégats utilisés dans les mortiers de haute performance sont soigneusement sélectionnés en fonction de leur granulométrie, de leur forme et de leur texture. Les agrégats naturels, tels que le sable de silice et sédiment de dragage , sont utilisés pour leur résistance à l'usure et leur stabilité dimensionnelle. Les agrégats artificiels, tels que les billes de verre, sont utilisés pour leur résistance à la corrosion, leur légèreté et leur capacité à renforcer le mortier. Les fibres synthétiques sont également utilisées pour renforcer le mortier et prévenir les fissures.
- c- **L'eau de gâchage** : Gâchage est la quantité d'eau totale ajoutée au mélange sec de mortier. L'eau d'hydratation est la quantité d'eau absorbée par le liant (ciment, chaux ...). Elle est nécessaire pour l'hydratation du liant, le mouillage des granulats, et la facilité de mise en œuvre du mortier. Gâchage à l'eau de mer est à éviter, surtout pour le béton armé. Les caractéristiques des eaux requises pour la confection des mortiers et des bétons sont précisées dans la norme NA-442. Les mortiers devraient contenir la quantité d'eau maximale compatible avec Une ouvrabilité optimale
- d- **Pigments** : Les pigments sont ajoutés aux mortiers de haute performance pour améliorer leur esthétique et leur résistance aux UV. Les pigments peuvent être utilisés pour donner au mortier une couleur spécifique qui correspond à celle des matériaux de construction avoisinants, ou pour créer des motifs ou des textures dans le mortier. Les pigments organiques sont utilisés pour les couleurs vives et les pigments inorganiques sont utilisés pour les couleurs plus sombres.
- e- **Les adjuvants** : sont ajoutés aux mortiers de haute performance pour améliorer leurs propriétés. Les superplastifiants sont utilisés pour améliorer la maniabilité du mortier sans compromettre sa résistance. Les accélérateurs de prise sont utilisés pour raccourcir le temps de prise du mortier, ce qui permet une mise en service plus rapide. Les agents d'adhérence sont utilisés pour améliorer l'adhérence du mortier aux surfaces de construction, tandis que les fibres sont utilisées pour renforcer le mortier et prévenir les fissures.

I-3-3 LE SUPERPLASTIFIANT :

I-3-3-1 Définition d'un superplastifiant :

Le superplastifiant est un type d'adjuvant utilisé dans la fabrication de béton pour améliorer sa capacité de coulage et sa résistance. Il s'agit d'un produit chimique qui est ajouté au mélange de béton afin d'améliorer ses propriétés physiques et mécaniques.

Les superplastifiants sont des polymères synthétiques qui sont généralement ajoutés au béton en faibles quantités, généralement entre 0,1% et 0,5% du poids du ciment utilisé. Ils sont souvent utilisés dans les projets de construction de grande envergure, tels que les ponts, les tunnels et les gratte-ciels, où des exigences élevées en matière de performance du béton sont nécessaires. Il existe deux types principaux de superplastifiants : les superplastifiants à base de sulfonates et les superplastifiants à base de polycarboxylates. Les superplastifiants à base de sulfonates sont les plus anciens et les plus couramment utilisés, mais ils ont tendance à provoquer une diminution de la résistance du béton à long terme. Les superplastifiants à base de polycarboxylates sont plus récents et ont tendance à offrir une meilleure performance à long terme, mais ils sont également plus coûteux. En somme, le superplastifiant est un adjuvant chimique qui permet d'améliorer les propriétés physiques et mécaniques du béton en augmentant sa fluidité et sa résistance. Il est utilisé dans les projets de construction de grande envergure pour produire du béton de haute qualité qui répond à des exigences élevées en matière de performance et de durabilité.

I-3-3-2 Mécanismes d'action des plastifiants et superplastifiants :

Un superplastifiant permet de réduire la quantité d'eau et donc d'augmenter la résistance mécanique du béton tout en contrôlant sa rhéologie. Il devient possible de rapprocher considérablement les grains de ciment lorsqu'ils s'hydratent durant le mélange. Cet effet, permet ainsi de confectionner des bétons à matrice cimentaire très dense et très imperméable qui présentent une résistance à la pénétration des agents agressifs sans commune mesure avec celle des bétons ordinaires.

La grande majorité des superplastifiants actuellement utilisés dans l'industrie du béton sont des poly-naphtalènes sulfonates (PNS) ou des poly-mélanges sulfonates (PMS) dont le mode d'action est essentiellement la répulsion électrostatique. Plus récemment, deux nouvelles

Chapitre I ; Etat de l'art

familles de produits ont été mises au point : les polyacrylates (PA) et les polycarboxylates (PC).

Ces superplastifiants hauts réducteurs d'eau à effet fluidifiant prolongé sont des polymères acryliques (chargés négativement) sur lesquels sont fixés des polymères non chargés (Poly oxydes d'éthylène) ou présentant des groupements terminaux anioniques. Spécialement Conçu pour le béton de bâtiment et de génie civil, ils permettent la confection de bétons à hautes performances. Leur action dispersante, liée aux groupements poly oxydes d'éthylène très encombrants, est principalement due à des forces de répulsion stériques. Ces adjuvants présentent deux effets qui peuvent être à l'origine de la dispersion :

- la défloculation par répulsion électrostatique suite à l'adsorption de molécules portant de nombreuses charges de même signe (Figure I-6).
- la lubrification des grains par répulsion stérique due à l'encombrement des molécules (Figure I-7).
- Les polyacrylates sont les plus efficaces. Ils permettent une grande diminution de l'eau de gâchage pour une fluidité donnée, ce qui entraîne l'augmentation importante de la résistance. En outre, ils assurent un meilleur maintien de la fluidité dans le temps. L'action prolongée de ces nouveaux adjuvants peut s'expliquer de la manière suivante :
- Les adjuvants traditionnels s'absorbent essentiellement à plat, les hydrates qui se forment à la surface des particules les recouvrent très rapidement et les rendent, dès lors, inefficaces. Le phénomène est accentué lorsque l'adjuvant est introduit dans l'eau de gâchage,
- Les nouveaux superplastifiants s'adsorbent aussi par l'intermédiaire de leurs charges anioniques mais leurs groupements poly-oxydes d'éthylène (neutres électriquement et hydrophiles) se prolongent loin dans l'eau : il faut donc plus de temps pour les recouvrir

Chapitre I ; Etat de l'art

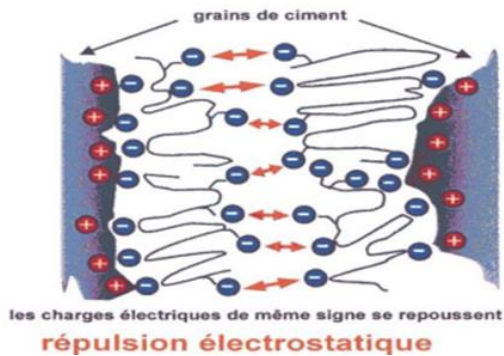


Figure I-6: Dispersion par répulsion électrostatique

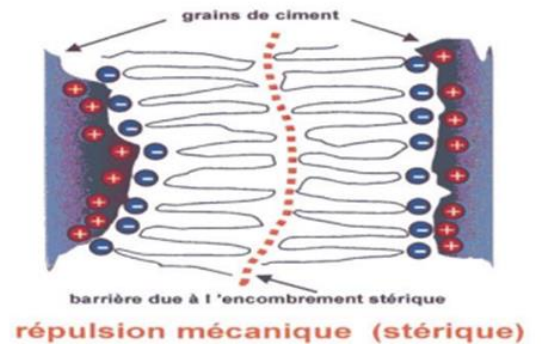


Figure I-7: Dispersion par répulsion Stérique

La combinaison des polycarboxylates avec les poly-naphtalènes sulfonâtes semble améliorer l'efficacité en contrôlant la perte de fluidité dans le temps. L'efficacité des superplastifiants est améliorée par un bon malaxage lors de la fabrication. L'augmentation de l'énergie de malaxage permet l'amélioration de la dispersion et l'efficacité Du superplastifiant et d'assurer une meilleure homogénéité du matériau.

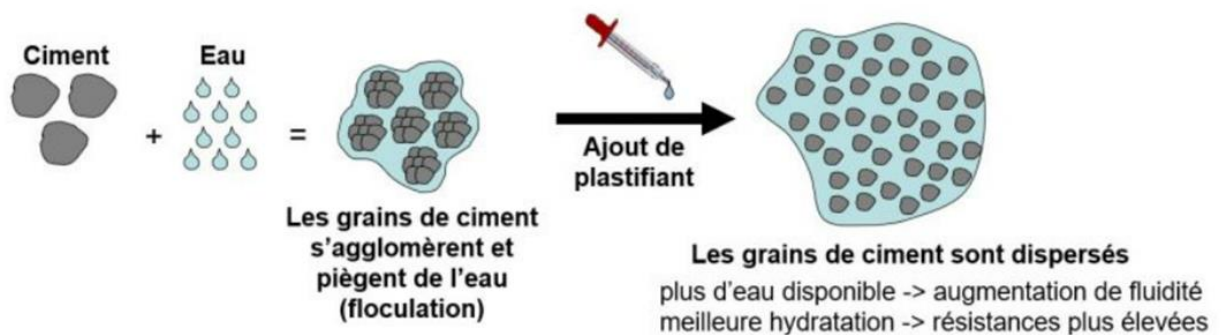


Figure I-8 Mécanismes d'action des plastifiants et superplastifiants

Chapitre I ; Etat de l'art

I-3-3-3 L'effet des super plastifiants sur les bétons :

- a- L'effet sur le béton à l'état frais
- Diminution de la teneur en eau.
 - Amélioration de l'ouvrabilité.
 - Maintien de l'ouvrabilité dans le temps (jusqu'à 2h30 à 3h00 à 20°C).
 - Diminution du ressuage.
 - Diminution de la ségrégation.
 - Amélioration de la pompabilité des bétons.
 - Réduction du retrait hydraulique.
- b- L'effet sur les bétons a l'état durci
- Amélioration des résistances mécaniques à court et long terme.
 - Diminution du retrait (due à la réduction du rapport E/C)
 - Amélioration de la compacité.
 - Amélioration de la liaison béton / acier.
 - Réduction de la porosité capillaire de la pâte de ciment.
 - Diminution du coefficient de la perméabilité.

I - 4 - LA THIXOTROPIE DES MORTIERS

I-4- 1 Définition de la thixotropie :

Il existe plusieurs définitions dans la littérature traitant de la rhéologie depuis Peterfi Thixotropie, dont certaines sont incomplètes et parfois erronées. Ces définitions listent Barnes [BAR, 97] a montré un développement constant au fil des ans. donc :

- En 1927, Freundlich et Rawtzing définissent la thixotropie comme une propriété des gels Les suspensions concentrées passent d'un état de gel à un état liquide et vice versa. La resolidification peut être répétée plusieurs fois et de manière réversible à température et température vitesse constante. Cette définition ne mentionne pas le facteur temps

- La thixotropie s'étend progressivement aux matériaux visqueux Des modifications peuvent être apportées par flux, mais ni l'état de gel ni le temps ne sont impliqués. Sur cette base, Pryce-Jones a défini la thixotropie en 1934 comme La viscosité augmente au repos et diminue sous pression couper

- En 1949, la société américaine de rhéologie appréhendait la thixotropie comme la propriété d'un corps dont le rapport (viscosité apparente) contrainte de cisaillement et vitesse de cisaillement diminue en fonction du temps sous une vitesse de cisaillement constante. Cette définition ne fait mention ni de l'état gel, ni de la réversibilité du phénomène.

- En 1967, Bauer et Collins ont défini la thixotropie comme une réduction réversible et isotherme en fonction du temps d'application des contraintes pour les propriétés rhéologiques module d'élasticité, contrainte seuil et la viscosité du système

- En 1987, Barnes, Hutton, et Walters ont défini la thixotropie comme la diminution dans le temps de la viscosité apparente sous une vitesse de cisaillement ou une contrainte constante, suivi par une recouvrance graduelle quand la contrainte ou la vitesse de cisaillement est supprimée

- Le dictionnaire de rhéologie, édité par le groupe français de rhéologie en 1999, définit la thixotropie de la manière suivante : un corps est dit thixotrope si, après un long temps de repos, une sollicitation mécanique (contrainte ou vitesse de cisaillement) est brusquement appliquée, puis maintenue constante, la viscosité apparente diminue en fonction du temps

Chapitre I ; Etat de l'art

d'application de la sollicitation. Après un repos plus ou moins long après la suppression de la sollicitation mécanique, le corps retrouve son état initial. Cette pléthore de définition est due au fait que bien que la thixotropie corresponde à l'un des comportements non Newtoniens plus ou moins bien identifié depuis longtemps, elle reste difficile à appréhender et à maîtriser. La difficulté dans la compréhension et la maîtrise de la thixotropie est liée d'une part à la complexité de la microstructure et d'autre part au fait que le phénomène dépend : - de l'histoire mécanique et thermique antérieure du matériau et du temps, - des caractéristiques de l'excitation (amplitude, durée, taux de variation,...), - de la manière d'appliquer les sollicitations (sollicitations constantes, croissantes, décroissantes, ...), - des conditions d'essai (instruments, protocoles expérimentaux,...)

- De plus la thixotropie étant un phénomène instationnaire, elle peut interférer avec les effets d'inertie du fluide et/ou de l'appareil, et parfois avec la viscoélasticité du matériau (si les temps caractéristiques de la thixotropie et de la viscoélasticité sont de même ordre de grandeur). Cette difficulté d'appréhender la thixotropie conduit souvent à confondre la thixotropie avec la rhéofluidification, alors que les deux phénomènes sont différents. En effet, la rhéofluidification correspond à une diminution de la viscosité apparente en fonction de la vitesse de cisaillement appliquée. De plus, elle ne donne aucune information sur un éventuel régime transitoire [JAR, 04b]. Cette différence est également bien soulignée par Coussot [COU, 99]. Pour ce dernier, la thixotropie correspond à une évolution temporelle du comportement du fluide ou de sa viscosité alors que les conditions aux limites sont fixées (la vitesse de rotation de l'outil ou le couple appliqué) tandis que la rhéofluidification correspond aux évolutions de la viscosité en fonction du régime d'écoulement. Cette évolution temporelle de la viscosité reflète le temps mis par la microstructure pour se modifier sous cisaillement ou au repos. La modification de la microstructure d'un matériau rhéofluidifiant est instantanée tandis que celle d'un fluide thixotrope dépend du temps de regroupement ou de la destruction de la microstructure. Ainsi, si la relaxation ou la récupération du matériau est rapide, il est rhéofluidifiant, si elle est lente, il est thixotrope.

Donc, la thixotropie peut être définie de différentes manières, ce qui conduit à des applications pratiques distinctes. Les rhéologues ont divisé les définitions en deux groupes. Le premier groupe, selon la perspective de Pryce-Jones, se concentre sur l'aspect temporel de la thixotropie, c'est-à-dire les évolutions temporelles de la structure du système en réponse à un

Chapitre I ; Etat de l'art

cisaillement ou à un repos, et les effets rhéologiques qui en résultent, comme les évolutions temporelles de la viscosité. Cette définition est pratique expérimentalement.

Le deuxième groupe, généralement constitué d'industriels, comprend le phénomène selon le point de vue de Freundlich et Rawtzig. Il se concentre uniquement sur les évolutions de la structure du matériau sous l'action d'une sollicitation mécanique, en conférant aux liquides des propriétés de gel. Cette propriété particulière est utilisée dans de nombreuses applications pratiques, comme les peintures, les adhésifs, le ketchup, les vernis, etc. L'aspect temporel est ignoré, car pour éviter les coulures, il est nécessaire que la cinétique de restructuration soit beaucoup plus rapide que la mise en écoulement du film sous la gravité.

Une définition complète de la thixotropie doit inclure à la fois la transition de phase liquide/phase gel et les évolutions temporelles de la microstructure du fluide. Actuellement, la définition de la thixotropie couramment utilisée dans la communauté des rhéologues est celle du groupe français de rhéologie.

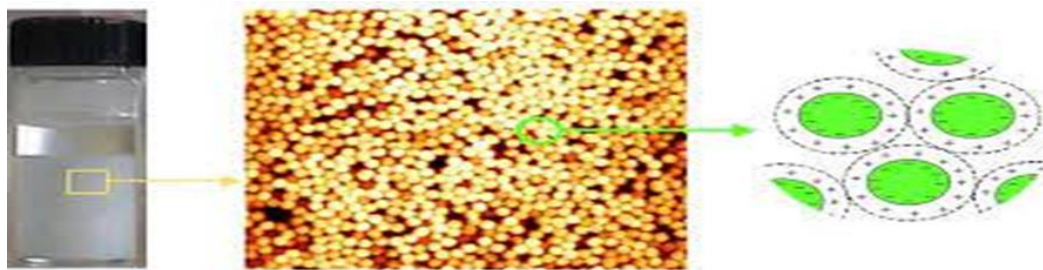


Figure I-9 Trois échelles caractéristiques dans une suspension

I-4-2 Approches du phénomène :

Tout liquide, possédant une structure interne ou microstructure, peut avoir un comportement thixotrope. A la notion de microstructure [BAR, 97] ou unité structurale [QUE, 06] correspond :

- Les floculats, les agrégats, les amas, les amas d'amas, dans les suspensions, qui emprisonnent une fraction du fluide suspendant,
- Un taux moyen d'orientation favorable des fibres ou des molécules asymétriques dans l'écoulement, une distribution spatiale favorable

Chapitre I ; Etat de l'art

des particules, des gouttes qui déforment leur surface dans les émulsions, pour se placer dans une position de minimum d'énergie.

- Une densité d'enchevêtrements dans les polymères, un nombre de liens, de jonctions, de liaisons, des associations moléculaires dans les polymères.

Les suspensions sont des fluides qui possèdent une microstructure, ce qui entraîne un couplage entre la structure du fluide et son écoulement. Les forces engendrées par l'écoulement ont une influence sur ces microstructures et modifient les propriétés du fluide. La thixotropie résulte de la lente évolution de la structure de la suspension en réponse à l'écoulement. Selon une approche proposée par Scott et Blair en 1949, cette évolution est due à l'existence de potentiels secondaires où les particules forment des liens ou des jonctions faibles qui peuvent être facilement détruits par l'agitation mécanique et qui se reforment au repos. Cette approche rejoint celle proposée par Coussot, basée sur l'évolution des puits de potentiel qui emprisonnent les particules. [BAR, 97], [COU, 05], [ROU, 06]

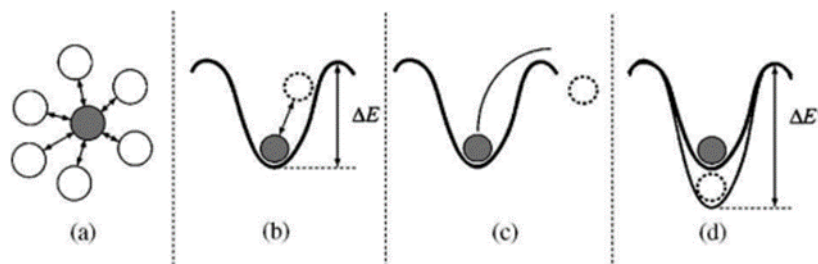


Figure I-10 Explication physique du comportement thixotrope d'une suspension de ciment [ROU, 06]

I-4-3 Caractéristiques du comportement des fluides thixotropes :

Les fluides thixotropes se caractérisent par un comportement non-Newtonien, c'est-à-dire que leur viscosité ne reste pas constante avec le taux de cisaillement. Au lieu de cela, la viscosité diminue lorsque le taux de cisaillement augmente, ce qui signifie que ces fluides présentent un comportement pseudo plastique.

De plus, les fluides thixotropes ont la capacité de récupérer leur viscosité initiale après une période de repos, ce qui est connu sous le nom de thixotropie. Cette récupération de la

Chapitre I ; Etat de l'art

viscosité peut être rapide ou lente en fonction de la nature du matériau, de son état initial et des conditions environnementales.

I-4-4 Etat de référence :

Afin de pouvoir comparer les échantillons, il est nécessaire de réaliser les essais dans les mêmes conditions expérimentales. Cependant, l'introduction de la matière dans la cellule de mesure entraîne une contrainte non maîtrisable et non reproductible qui peut induire des erreurs de mesure et donc altérer le comportement réel du matériau. Pour éviter cela, il est important de mener les essais à partir d'un même état initial reproductible. Deux états de référence sont généralement utilisés : l'état complètement structuré et l'état complètement déstructuré, mais aucun de ces deux états ne peut être atteint en pratique.

L'état de référence idéal correspondrait à une structuration complète obtenue après un temps de repos suffisant pour que la structure interne du matériau n'évolue plus sensiblement. Cependant, pour les matériaux dont le temps de restructuration est très long, il n'est pas facile d'utiliser cet état de référence. Cela est particulièrement vrai pour les systèmes réactifs tels que les matériaux cimentaires. En effet, l'évolution temporelle de la structure interne de ces matériaux est liée à la fois aux évolutions réversibles dues à la thixotropie et aux évolutions irréversibles causées par le vieillissement du matériau ou les processus d'hydratation du ciment. Pour les temps de repos assez longs (supérieurs à 30 minutes), les évolutions irréversibles liées à l'hydratation du ciment deviennent prépondérantes et viennent se superposer aux évolutions réversibles responsables de la thixotropie.

Ainsi, l'état de référence souvent utilisé correspond à une déstructuration complète obtenue après un cisaillement à vitesse élevée, car aucun malaxeur n'est assez puissant pour déstructurer complètement le matériau. En théorie, une déstructuration complète est obtenue à des vitesses de cisaillement infinies. Dans ces conditions, l'état de déstructuration pris en compte comme état de référence est celui correspondant à une déstructuration maximale, qui est obtenu en soumettant le matériau à un cisaillement maximal. Il est important de noter que la vitesse de cisaillement maximale dépend de l'appareil utilisé, et les gammes de vitesses utilisées dans les malaxeurs à béton et les principaux rhéomètres peuvent être trouvées dans les spécifications de chaque appareil.

Chapitre I ; Etat de l'art

Tableau I-2 : Vitesses maximales appliquées au béton dans différentes géométries d'écoulement. Données tirées de [ROU, 06]

Géométrie d'écoulement	Vitesse de cisaillement maximum estimée (s^{-1})
Malaxeur à béton	10 - 60
Camion toupie	10
Pompage	20 - 40
Coulage du béton	10
Tattersall two-point test (MKIII)	5
Rhéomètre BML	10
Rhéomètre BTRheom	15



CHAPITRE II
Matériaux et Matériels

Chapitre II ; Matériaux et Matériels

Introduction

Dans ce chapitre, nous introduisons les matériaux et les équipements utilisés dans notre étude. Nous décrivons les différentes catégories de matériaux ainsi que leurs propriétés et caractéristiques pertinentes. De plus, nous présentons les équipements et les instruments spécifiques que nous avons utilisés pour mener à bien nos expériences et analyses.

L'étude que nous avons réalisée nécessitait une sélection rigoureuse des matériaux afin d'obtenir des résultats fiables et significatifs. Nous avons utilisé différents types de matériaux, tels que les sédiments dragués du barrage de tichy-haf le sable et le ciment, ainsi que d'autres additifs et adjuvants (superplastifiant)

Nous commençons par présenter en détail les caractéristiques des sédiments dragués que nous avons utilisés. Nous décrivons leur origine, leur composition granulométrique, leur densité apparente, leur composition chimique, ainsi que d'autres propriétés pertinentes. Ces informations sont essentielles pour évaluer la faisabilité technique de l'utilisation de ces sédiments dans les mortiers.

Ensuite, nous détaillons les caractéristiques des mortiers de référence que nous avons préparés. Nous décrivons les ingrédients utilisés, tels que le ciment, le sable, le superplastifiant ainsi que les proportions et les mélanges spécifiques qui ont été réalisés.

Enfin, nous détaillons les équipements et les instruments utilisés dans notre étude. Cela comprend des équipements de laboratoire tels que des tamiseurs, l'appareil d'analyse granulométrique par diffraction laser.

L'introduction de ce chapitre matériaux et matériels permet aux lecteurs de comprendre les principaux éléments utilisés dans notre étude et fournit un aperçu des méthodes et des procédures que nous avons suivies pour évaluer la faisabilité technique de l'utilisation des sédiments dragués dans les mortiers.

II-1 LES SEDIMENT DE DRAGAGE :

II-1-2 L'analyse granulométrie par laser inférieure à 500 μm :

L'analyse granulométrique par laser est une méthode avancée de caractérisation de la taille des particules d'un matériau. Elle utilise un appareil qui mesure la distribution des tailles de particules en utilisant la diffraction de la lumière laser.

Dans notre étude, nous avons réalisé une analyse granulométrique par laser pour déterminer la taille des particules du matériau testé. Cette analyse a été effectuée en utilisant un appareil spécifique capable de mesurer les particules de taille inférieure à 500 μm .

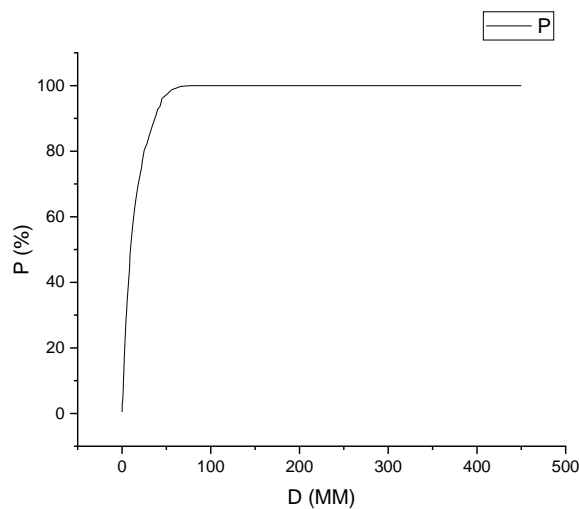


Figure II-1 : courbe granulométrique des sédiments utilisé

En conclusion, les résultats de l'analyse granulométrique indiquent que 100% des particules de notre sédiment sont inférieures à 80 μm , ce qui nécessite une évaluation plus approfondie de l'impact de ces particules fines sur les propriétés du mortier et sa faisabilité dans le contexte de notre étude

Chapitre II ; Matérielux et Matériels

II-1-2 l'analyse chimique :

Tableau II-1 :Analyse chimique des sédiments utilisé

	<i>Na₂O</i>	<i>MgO</i>	<i>Al₂O₃</i>	<i>SiO₂</i>	<i>K₂O</i>	<i>SO₃</i>	<i>CaO</i>	<i>TiO₂</i>	<i>Fe₂O₃</i>	<i>SrO</i>
(Mass%)	0.573	1.89	13.2	41.2	1.61	0.603	28.3	0.798	3.91	0.132

D'après les résultats de l'analyse chimique montrent que les principales phases du sédiment sont le quartz, la calcite, la brushite et la muscovite, plusieurs éléments clés sont présents en quantités significatives, tels que SiO₂ (41.2%), Al₂O₃ (13.2%), CaO (28.3%), et Fe₂O₃ (3.91%). Ces éléments sont couramment présents dans les matériaux utilisés dans la fabrication de mortiers.

La teneur élevée en SiO₂ suggère que votre sédiment contient une quantité importante de silice, ce qui peut potentiellement améliorer la résistance mécanique du mortier. De plus, la présence d'Al₂O₃ et de CaO peut également contribuer aux propriétés de durabilité du matériau, tandis que Fe₂O₃ peut influencer la couleur du mortier.

Chapitre II ; Matérieux et Matériels

II-2-3 les limites d'Atterberg

1-la limite de liquidité :

On a déterminé la limite de liquidité par l'essai de Casagrande (la coupelle a chocs) selon la norme NF P94-051-

Les résultats de l'essai :

Tableau II-2 : limite de liquidité sédiment utilisé

Nombre de coup	15	26	35
Teneur en eau	42.2%	30.09%	26.18%

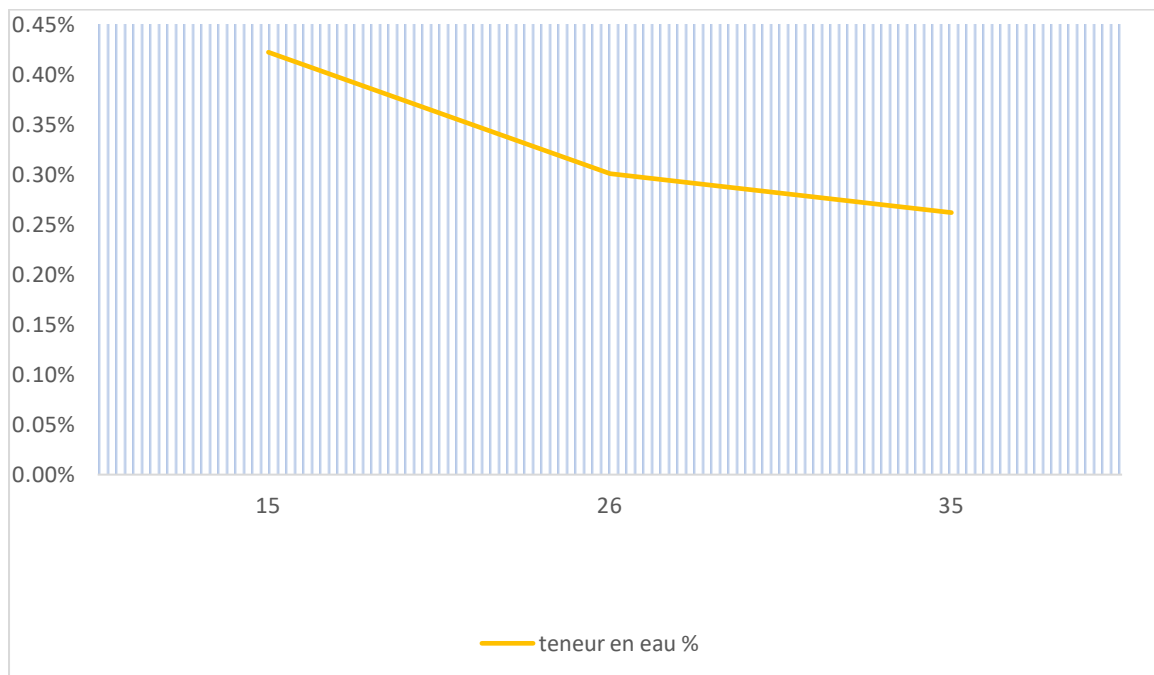


Figure II-2 : courbe de la limite de liquidité

La limite de liquidité est la teneur en eau qui correspond à 25 coups

WI=31.20%

2-la limite de plasticité

Chapitre II ; Matériaux et Matériels



Figure II-3 : image de l'essai de limite de plasticité

Tableau II-3 : résultats de limite de plasticité

Poids sec (g)	Poids de l'eau (g)	W(%)
2.68	0.48	17.97
3.45	0.41	11.88

la limite de plasticité est la moyenne des teneurs en eau correspondant $W_p = 14.895\%$

3-l'indice de plasticité :

L'indice de plasticité est un paramètre géotechnique utilisé pour évaluer la plasticité d'un sol. Il donne une indication de la capacité d'un sol à changer de forme sans se fissurer lorsqu'il est soumis à des contraintes. L'indice de plasticité (IP) est la différence entre la limite de liquidité et la limite de plasticité donc

$$I_p = W_l - W_p = 31.2 - 14.895 = 16.305\%$$

Conclusion: D'après ce qui est trouvé, on peut donner la classification du sol étudié comme le montre le tableau II-3

Chapitre II ; Matérieux et Matériels

Tableau II-4 : Classification du sol en fonction de l'indice de plasticité

Indice de plasticité	Etat du sol
0-5	Non plastique
5-15	Peu plastique
15-40	Plastique
>40	Très plastique

et d'après **tableau II-4** on déduit que notre sédiment est plastique

II-1-4 masse volumique :

Voici les étapes générales pour réaliser un essai de densité d'argile :

- Prélever un échantillon représentatif d'argile dans le terrain.
- Sécher l'échantillon dans un four pour éliminer l'humidité.
- Mesurer la masse de l'échantillon séché à l'aide d'une balance précise.
- Déterminer le volume de l'échantillon d'argile en utilisant la méthode du pycnomètre ou tout autre dispositif de mesure approprié.
- Calculer la masse volumique de l'argile en divisant la masse de l'échantillon par son volume.
- Il est important de noter que la méthode de calcul peut varier en fonction des spécifications de l'essai utilisé. Par conséquent, il est recommandé de se référer à une norme spécifique, telle que la norme NF P94-051 mentionnée précédemment, pour obtenir la méthode de calcul précise pour la masse volumique de l'argile selon cette norme.

La masse volumique de notre sédiment est : 1072 kg/m^3

Chapitre II ; Matérieux et Matériels

II-2 LE SABLE :

Dans notre étude, nous avons effectué des tests pour caractériser les propriétés du sable utilisé. Les tests comprenaient l'analyse granulométrique par tamisage, la mesure de la masse volumique, du module de finesse et de l'équivalent de sable.

II-2-1 Equivalent de sable :

L'équivalent de sable (E.S) est une mesure qui permet de déterminer la proportion d'impuretés argileuses, limoneuses ou ultrafines présentes dans le sable. Ces impuretés peuvent être nuisibles pour le béton, car la présence d'argile ou de particules colloïdales perturbe la réaction d'hydratation des liants hydrauliques, entraînant un retard de prise voire un arrêt de durcissement.

Le principe de cette mesure repose sur la différence de vitesse de sédimentation des grains présents dans le sable. L'équivalent de sable (E.S) est calculé en rapportant la hauteur de la partie sédimentée à la hauteur totale du floculat et de la partie sédimentée, puis en multipliant ce rapport par 100.

Il existe deux types d'équivalents de sable :

E.S.V (Équivalent de sable visuel) : Mesuré visuellement, il permet une estimation approximative de la présence d'impuretés dans le sable.

Il est important de noter que cette mesure donne une indication de la qualité du sable utilisé dans le béton et permet d'évaluer le niveau d'impuretés argileuses ou limoneuses présentes.

Un E.S élevé indique un sable de meilleure qualité, tandis qu'un E.S faible indique la présence d'impuretés potentiellement nuisibles. $ESV = \frac{H_2}{H_1} \times 100\%$ (eq II-1)

Avec :

H₁ : hauteur floculat)

H₂ : hauteur de sable

Chapitre II ; Matériels et Matériels

Tableau II-5 : Qualité du sable en fonction des valeurs d'équivalent de sable ESV et ESP
(BRETTE Alain)

ESV	NATURE ET QUALITE DE SABLE
ES <65	Sable argileux : risque de retrait au de gonflement à rejeter pour des bitons de qualité.
65<ES<75	Sable légèrement argileux de propriétés admissible convient parfaitement pour des bétons de qualité courante quand on ne craint pas particulièrement le retrait.
75<ES<85	Sable propre à faible pourcentage de fines argileux convient parfaitement pour des bétons de haute qualité.
ES ≥85	Sable très propre : absence totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau



Figure II-4 Essai Equivalent de sable

Tableau II-6 : Résultats de l'équivalent de sable par visuelle

Essai n°	H1	H2	ESV %	E.S.V _{moy} (%)
1	10.4	9.0	88.46	85.89
2	10.4	8.9	85.57	
3	10.4	8.7	83.65	

Chapitre II ; Matérieux et Matériels

D'après Tableau II-6 et le Tableau II-5 Avec un résultat d'équivalent de sable (E.S) = 85.89, cela indique que notre sable est relativement propre avec une faible proportion d'impuretés fines, telles que les argiles. Cependant, il n'y a pas une absence totale de fines argileuses.

II-2-2 Masse volumique des sables (NA EN 1097-6)

Détermine les spécifications relatives à la masse volumique des sables utilisés dans la construction. Selon cette norme, la masse volumique des sables est généralement exprimée en kilogrammes par mètre cube (kg/m^3).

Il convient de noter que la masse volumique des sables peut varier en fonction de différents facteurs, tels que la granulométrie, la compacité et les propriétés spécifiques du matériau. Par conséquent, il est recommandé de se référer aux spécifications fournies par le fabricant ou de réaliser des tests spécifiques sur le sable utilisé pour obtenir la valeur précise de la masse volumique conformément à la norme NF P18-555.

Tableau II-7 : Résultats de la Masse volumique des sables

Masse volumique absolue (g/cm^3) [NA EN 1097-6]	Masse volumique apparente (g/cm^3) [NA EN 1097-6]
2,620	1.551

Chapitre II ; Matériaux et Matériels

II-2-3 Analyse granulométrique par tamisage [NA EN 933-1]

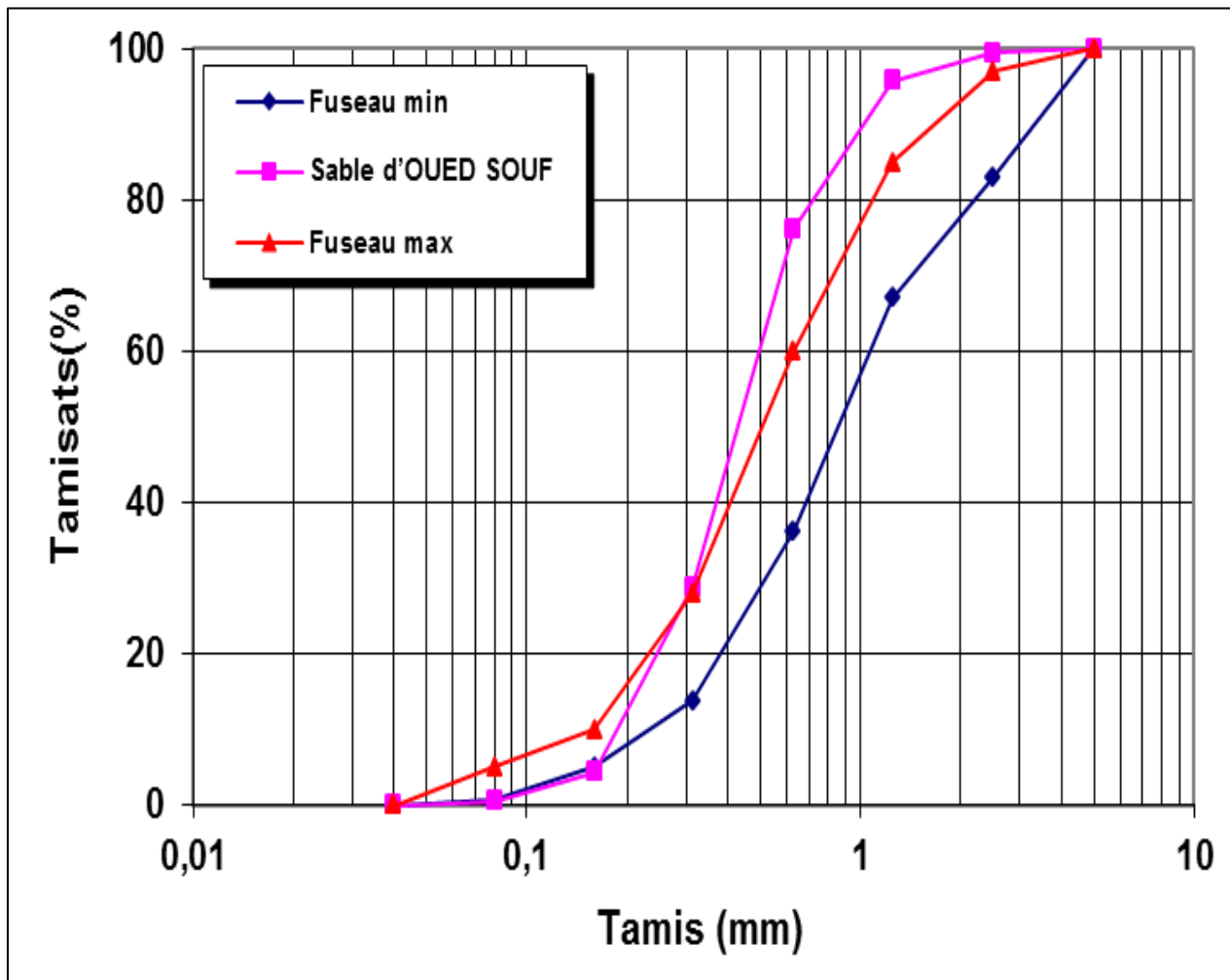


Figure II-5 : Courbe granulométrique du sable de dune (OUED SOUF).

Il est important de souligner que le sable utilisé se trouve dans la plage d'équivalence recommandée, ce qui confirme son adéquation pour être utilisé dans la préparation d'un mortier.

II-3 LE CIMENT :

II-3-1 Présentation du ciment :

Matine NA442 CEM II/B-L 42,5 N Ciment gris est un type de ciment destiné à la construction d'ouvrages d'art, d'infrastructures et de superstructures pour bâtiments. Il est certifié et conforme aux normes algériennes (NA442-2013) et européennes (EN 197-1)

[WEB01]

II-3-2 Domaines d'utilisation :

Ce ciment gris Matine (NA442 CEM II/B-L 42,5 N) est utilisé dans divers domaines de construction, tels que :

- **Ouvrages d'art** : Il peut être utilisé pour la construction de ponts, tunnels, barrages, digues, etc. Les propriétés de haute performance du ciment en font un matériau adapté à des structures nécessitant une durabilité élevée et une résistance mécanique.
- **Infrastructures** : Ce ciment est approprié pour la construction de routes, autoroutes, voies ferrées, aéroports et autres infrastructures nécessitant des matériaux de construction robustes et résistants.
- **Superstructures pour bâtiments** : Il peut être utilisé pour la construction de fondations, piliers, murs, dalles et autres éléments structurels des bâtiments. Son utilisation dans les superstructures garantit une qualité élevée du béton et une performance solide.

En résumé, le ciment Matine convient aux projets de construction nécessitant des bétons de haute performance, notamment dans les ouvrages d'art, les infrastructures et les superstructures des bâtiments. [WEB01] .

Chapitre II ; Matériels et Matériels

II-3-3 Analyse chimique :

Tableau II-8 Analyse chimique de ciment Matine[WEB01]

	A.	Valeur
PERTE AU FEU (%) (NA5042)	B.	10.0 ±2
TENEUR EN SULFATES (S03) (%)	C.	2.5 ±0.5
TENEUR EN OXYDE DE MAGNESIUM MGO (%)	D.	1.7 ±0.5
TENEUR EN CHLORURES(NA5042) (%)	E.	0.02 ±0.05

II-3-4 Composition minéralogique du Clinker (Bogue) :

Tableau II-9 : Composition minéralogique de ciment matine [WEB01]

	F.	VALEUR
C3S (%)		60 ±2
C3A (%)		7.5 ±1

II-3-5 Propriétés physiques :

Tableau II-10 Propriétés physiques de ciment Matine[WEB01]

	VALEUR
CONSISTANCE NORMALE (%)	26.5±2.0
FINESSE SUIVANT LA METHODE DE BLAINE (CM ² /G) (NA231)	3 700 - 5 200
RETRAIT A 28 JOURS (UM/M)	< 1 000
EXPANSION (MM)	≤ 3.0

II-3-6 Temps de prise à 20° :

Tableau II-11 Temps de prise à 20 de ciment Matine [WEB01]

	VALEUR
DEBUT DE PRISE (MIN)	150+30
FIN DE PRISE (MIN)	230+50

II-4 SUPERPLASTIFIANT

DESCRIPTION

Ce sont des produits qui, sans modifier la consistance, permettent de réduire fortement la teneur en eau du béton donné, ou qui, sans modifier la teneur en eau, en augmentent considérablement l'affaissement (ou l'étalement), ou qui produisent les deux effets à la fois [18]

Le **SikaSPL** est un superplastifiant hautement réducteur d'eau de la dernière génération, à bon maintien de rhéologie et haute résistance initiale [WEB02]

II-4-1 Domaines d'application

SikaSPL grâce à la forte réduction d'eau, l'excellente fluidité combinée à une forte cohésion et grâce aux caractéristiques autocompactantes est utilisé pour les types de béton ci-après:

- béton autocompactant (SCC),
- béton à faible E/C
- béton à haute résistance initiale et à long terme,
- béton à bon maintien de rhéologie.
- béton à faible porosité.

SikaSPL peut être utilisé avec d'autres adjuvants

II-4-2 Caractéristiques /Avantages

SikaSPL agit par différents mécanismes. Son action se situe sur la surface d'absorption du grain de ciment et la séparation de chacun de ces grains. Il influence aussi le processus d'hydratation. Grâce à ses propriétés, on obtient les résultats ci-dessous :

- Comportement autocompactant,
- Fort réducteur d'eau,
- Très grande fluidité,
- Bon maintien de rhéologie,
- Haute résistance initiale,

Chapitre II ; Matériaux et Matériels

- Diminue la vitesse de carbonatation du béton.

SikaSPL ne contient pas de chlorure ou autres produits favorisant la corrosion des aciers. Il peut aussi être utilisé sans restriction pour les bétons armés et précontraints. [WEB02]

II-4 Information sur les produits

Tableau II-12 : information de superplastifiant [WEB02]

<i>Base chimique</i>	<i>Éther polycarboxylique</i>
<i>Aspect / Couleur</i>	<i>Liquide, transparent, jaunâtre</i>
<i>Densité</i>	<i>1.070 g/ml ($\pm 0,020$) (à 20°C)</i>
<i>Valeur pH</i>	<i>4.2 ($\pm 1,5$)</i>
<i>Contenu de matière sèche</i>	<i>30.00 %</i>
<i>Teneur totale en ions chlorure</i>	<i>$\leq 0,10$ %</i>
<i>Teneur en Alcalis (Na₂O Eq)</i>	<i>$\leq 1,0$ %</i>
<i>Dosage r ecommandé Le dosage recommandé est de :</i>	<i>Comme superplastifiant: 0,2 à 2,5 % du poids du ciment. Des dépassements de dosage sont possibles. Le dosage exact se détermine par des essais puisqu'il est fonction de la nature des composants du béton, des qualités recherchées et des conditions climatiques. Un retard de prise peut être observé, au dosage maximum, en fonction du ciment utilisé et des conditions climatiques.</i>



CHAPITRE III
Résultats et discussions

CHAPITRE III : Résultats et discussions

III-1 FORMULATION DU MORTIER

Introduction :

Dans ce chapitre, nous avons choisi le mortier normal, également connu sous le nom de mortier ordinaire. Le mortier normal est l'un des types les plus couramment utilisés dans l'industrie de la construction en raison de sa polyvalence et de ses performances satisfaisantes dans de nombreuses applications.

III-1 : La composition du mortier :

Tous les mortiers normalisés ont été préparés par mélange de 1350 g de sable, 450 g de ciment, 225 g d'eau et différents pourcentages de sédiments de dragage 0%, 5%, 10%, 15%, 20%. Ces échantillons ont été démoulés après 24h et placés dans un Bac d'eau maintenu à 23 ° C. Les tests de compression ont été effectués sur des mortiers à 7,



28 et 90 jours, selon la norme EN 196-1 [107]

Figure III-1: Le mélange de mortier

CHAPITRE III : Résultats et discussions

III-2 : Malaxage du mortier selon la norme EN 196-1 [107] :

- Introduire l'eau en premier dans la cuve du malaxeur, y verser ensuite le (ciment+ sédiment) mettre le malaxeur en marche à vitesse lente.
- Après 30 s de malaxage, introduire régulièrement le sable pendant les 30 s suivants. Mettre alors le malaxeur à sa vitesse rapide et continuer le malaxage pendant 30s



supplémentaires

Figure III-2: Malaxeur de mortier (labo gc)

CHAPITRE III : Résultats et discussions

III.12.2. Conservation des éprouvettes

Le démoulage de toutes les éprouvettes a été effectué 24h après le coulage puis conservées sous l'eau à une température de $20 \pm 2^\circ\text{C}$.



Figure III-3 : Bague de conservation des éprouvettes (laboratoire GC)

CHAPITRE III : Résultats et discussions

III-2 LES RESULTATS

Introduction :

Le présent chapitre est consacré à la présentation et à l'analyse des résultats obtenus dans le cadre de cette étude. Après avoir énoncé clairement l'objectif principal de notre travail et décrit en détail la méthodologie employée pour collecter les données, il est maintenant temps de partager les découvertes significatives et les conclusions tirées de cette recherche.

III-2-1 Etat frais

III-2-1-1 L'essai d'étalement au cône d'Abrams : [NFEN12 350-8]

Cet essai est particulièrement adapté au béton très fluide, fortement dosé en superplastifiant.

Principe de l'essai

La consistance est appréciée dans cet essai par l'étalement que connaît un cône de mortier soumis à son propre poids et à une série de secousses. Plus l'étalement est grand et plus le mortier est réputé fluide.

Conduite de l'essai

L'essai consiste à remplir avec le mortier étudié le moule tronconique placé au centre du plateau carré. Le mortier est mis en place en 2 couches et compacté par 10 coups au moyen du pilon. Après avoir arasé le béton avec une truelle, le moule est retiré verticalement. Le plateau est alors soulevé de 4 cm par un côté (le côté opposé étant maintenu par l'articulation) et relâché en chute libre 15 fois de suite en 30 secondes. Si le mortier forme une galette approximativement circulaire et sans ségrégation, l'essai est valable. La moyenne des mesures du diamètre de la galette dans deux directions parallèles au côté du plateau définit la consistance mesurée sur la table à secousse. Elle est arrondie au cm le plus proche, l'intervalle des bons résultats est de 18cm à 25cm

Les résultats de l'essai

Tableau III-1 Résultats de l'essai d'étalement

Pourcentage de sédiment	0%	5%	10%	15%	20%
-------------------------	----	----	-----	-----	-----

CHAPITRE III : Résultats et discussions

Étalement (cm)	25.2	23.5	22.3	21.5	17
--------------------------	------	------	------	------	----

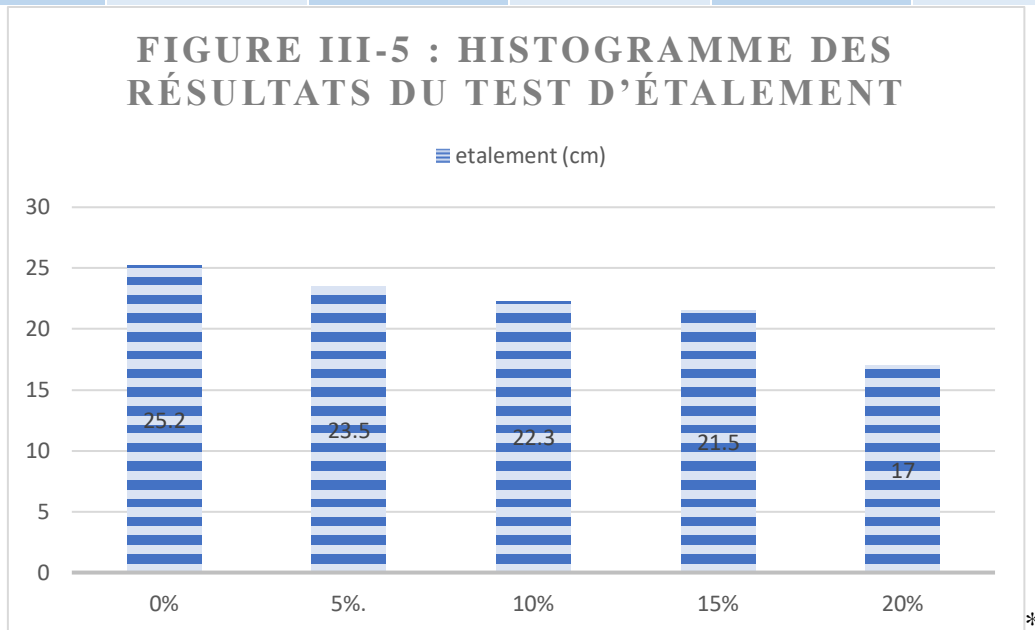


Figure III-4: Photo du test d'étalement

CHAPITRE III : Résultats et discussions

Les résultats indiquent qu'à mesure que le pourcentage de sédiment augmente, l'étalement du mortier diminue. L'échantillon sans sédiment (0%) présente le plus grand étalement de 25.2 cm, tandis que l'échantillon avec 20% de sédiment présente un étalement plus faible de 17.0 cm.

Cela peut être attribué au fait que l'ajout de sédiment augmente la viscosité du mortier, ce qui limite sa capacité à s'étaler. Plus le pourcentage de sédiment est élevé, plus le mortier devient épais et difficile à manipuler.

III-2-1-2 Mesure de la masse volumique a l'état frais :

La masse volumique à l'état frais des différents mortiers déterminé selon la norme européenne (EN 12350-5). Le tableau (III.2), présentés les résultats obtenus de la masse volumique mesurée des différentes masses des mortier réaliser.

Tableau III-2 la masse volumique des mortiers à l'état frais

Mortier %	Mortier témoin 0%	5%	10%	15%	20%
La masse volumique (kg/m ³)	2122.04	2085.93	2079	2019.53	2000

CHAPITRE III : Résultats et discussions

III-2-2 Essais à l'état durci

III-2-2-1 Mesure de la masse volumique a l'état durci :

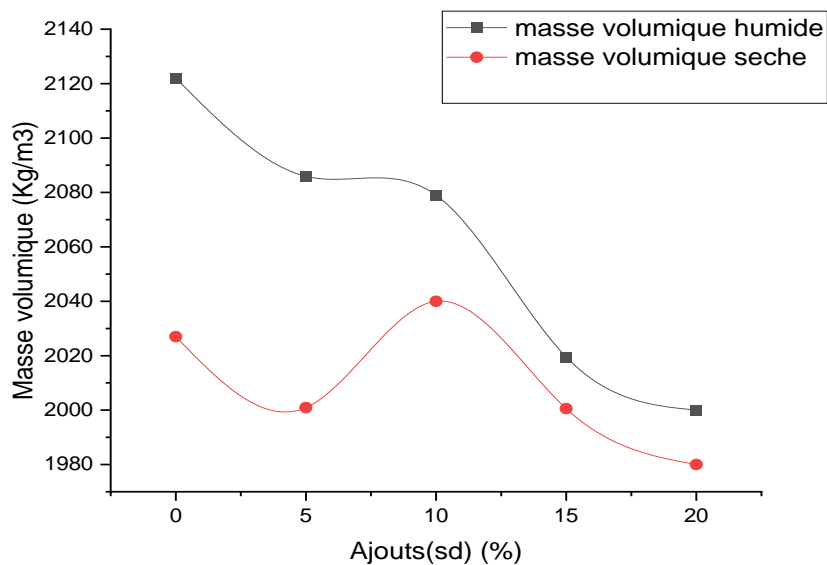
La masse volumique à l'état durci des différents mortiers est déterminée selon la norme européenne (EN 12350-5). Le tableau (III.3) donne les résultats obtenus à partir de la masse volumique mesurée des différentes masses de mortier à fabriquer..

Tableau III-3 la masse volumique des mortiers a l'état durci

Mortier %	Mortier témoin 0%	5%	10%	15%	20%
La masse volumique (kg/m3)	2027.34	2000.93	2040	2000.53	1980

Ces résultats illustrent la densité du mortier en fonction du pourcentage d'additif utilisé, avec peu de différence entre le mortier témoin et les autres pourcentages, avec une légère diminution de densité par rapport au pourcentage frais et 10 %. Donne le meilleur résultat.

En résumé, l'état frais du mortier présente une masse volumique généralement plus élevée en raison de la présence d'eau de gâchage, tandis que l'état durci montre une masse volumique



CHAPITRE III : Résultats et discussions

Figure III-6: Courb de comparaison entre la masse volumique à l'état frais et à l'état durci

Plus basse, reflétant la compaction des particules et la réaction de durcissement. Les deux états fournissent des informations essentielles sur les propriétés du mortier et doivent être analysés conjointement pour une compréhension complète du matériau.

III-2-2-2 : La résistance à la compression :

La résistance à la compression est la caractéristique la plus importante recherchée pour le mortier durci. On classe le mortier en fonction de sa résistance mécanique en compression mesurée à 7 et 28 jours. Elle est exprimée en MPa.



Figure III-7 : L'essai de compression (au laboratoire GC)

CHAPITRE III : Résultats et discussions

Et voici les résultats de l'essai dans le tableau

Tableau III-4 : les résultats de la résistance à la compression

Type de mortier	La résistance à la compression du mortier (MPa)					
	7j			28j		
Mortier 0%	21.937	22.711	25.133	25.213	27.189	29.597
	24.825	24.216		24.155	24.855	
	26.772	30.337		23.415	23.159	
Mortier 05%	20.814	16.595	17.476	28.230	29.174	24.396
	18.392	17.749		23.829	25.295	
	16.985	14.321		20.829	19.019	
Mortier 10%	11.67	9.967	17.946	25.995	21792	28.983
	13.641	13.621		20.558	19.742	
	15.138	15.334		18.186	19.104	
Mortier 15%	21.898	22.648	13.228	29.745	27.488	20.896
	17.557	18.653		26.605	26.244	
	12.722	14.199		31.122	32.697	
Mortier 20%	16.189	16.717	15.296	19.578	20.782	20.731
	15.952	15.189		22.226	21.739	
	13.244	14.486		20.899	19.166	

CHAPITRE III : Résultats et discussions

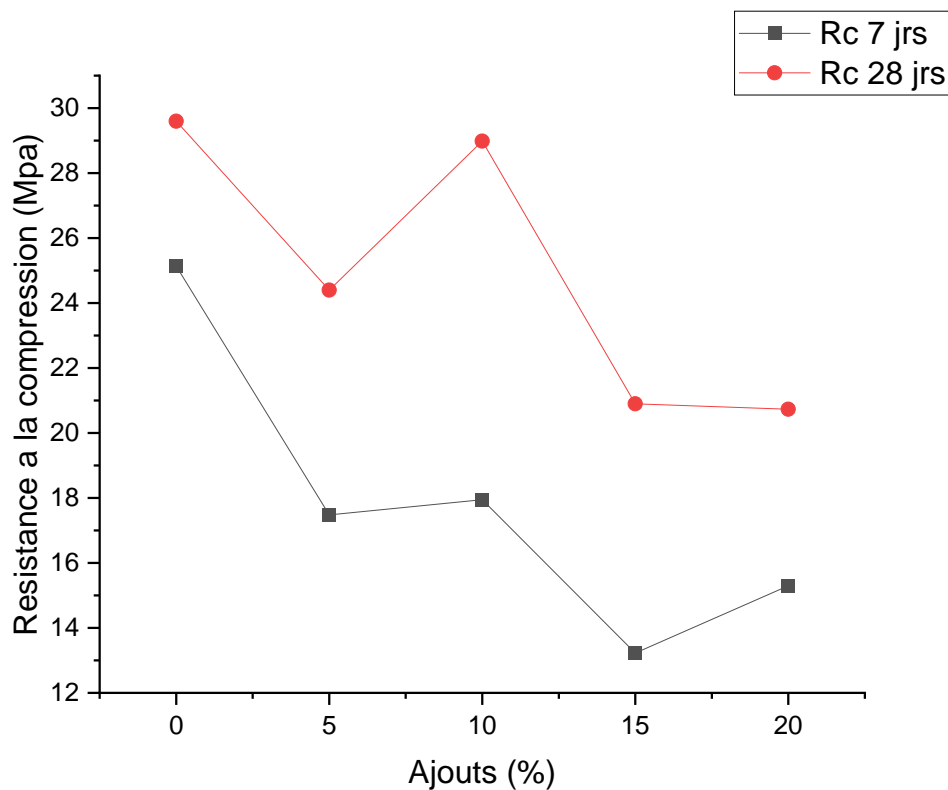


Figure III-8: courbe de la résistance à la compression

Commentaire :

- Résistance à 7 jours : Les valeurs de résistance à 7 jours montrent des différences significatives entre les échantillons de mortier. Par exemple, le mortier avec 0% de sédiments de dragage présente la plus grande résistance à 7 jours (25.133 MPa), tandis que les autres mélanges montrent des résistances plus faibles. Cela peut indiquer que l'ajout de sédiments de dragage peut avoir un impact négatif sur la résistance à court terme du mortier.
- Résistance à 28 jours : À 28 jours, les valeurs de résistance montrent une certaine variation, mais elles sont généralement plus élevées que celles à 7 jours. Le mortier avec 10% de sédiments de dragage présente la plus grande résistance à 28 jours (28.983 MPa), suivi par le mortier avec 0% de sédiments de dragage. Cela suggère que certains mélanges avec des proportions spécifiques de sédiments de dragage peuvent atteindre des niveaux de résistance comparables à ceux du mortier sans sédiments.

CHAPITRE III : Résultats et discussions

- Influence du pourcentage de sédiments de dragage : Les résultats indiquent que l'augmentation du pourcentage de sédiments de dragage peut avoir un impact variable sur la résistance à la compression du mortier. Par exemple, le mortier avec 15% de sédiments de dragage présente une résistance inférieure à la plupart des autres mélanges. Cependant, le mortier avec 10% de sédiments de dragage montre une résistance élevée à 28 jours, suggérant qu'une proportion plus élevée de sédiments peut être bénéfique dans certains cas.



Figure III-10 : essai de la résistance a la flexion (labo GC)

CHAPITRE III : Résultats et discussions

III-2-2-2 : La résistance à la flexion :

Tableau III-5 : les résultats de la résistance à la flexion

Type de mortier	La résistance à la flexion du mortier (MPa)			
	7j		28j	
Mortier 0%	9.246	9.177	11.233	11.533
	8.544		11.350	
	9.741		12.015	
Mortier 05%	6.794	7.234	8.454	9.012
	7.538		9.117	
	7.371		9.165	
Mortier 10%	6.980	7.443	9.015	9.22
	7.763		8.875	
	7.059		9.176	
Mortier 15%	7.352	7.267	8.774	8.183
	7.723		7.975	
	7.256		9.964	
Mortier 20%	7.33	6.964	8.371	8.021
	6.520		8.114	
	7.042		7.580	

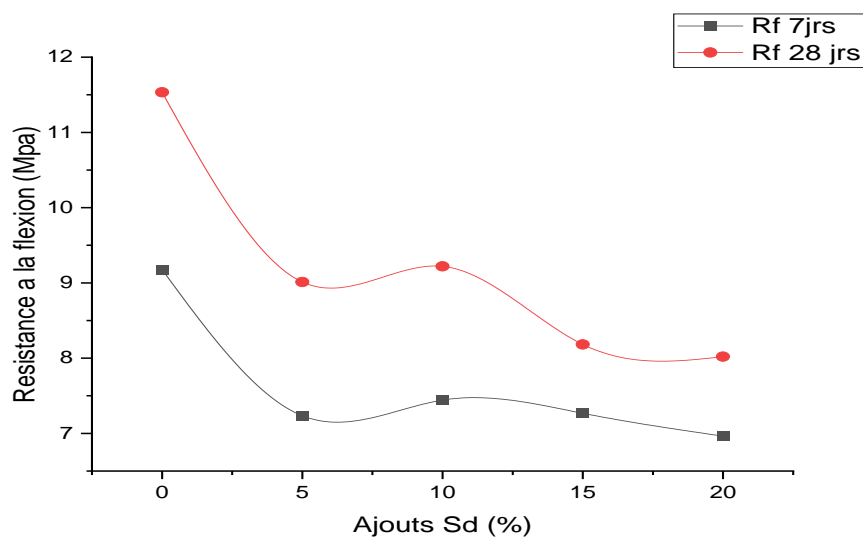


Figure III-11 : courbe de la résistance à la flexion

Commentaire :

Les résultats indiquent que l'ajout de sédiments de dragage dans le mortier peut avoir un impact négatif sur la résistance à la flexion. Le mortier sans sédiments de dragage présente la plus grande résistance à la flexion à la fois à 7 jours et à 28 jours. Cependant, il est important de prendre en compte d'autres facteurs tels que la durabilité, la cohésion et d'autres propriétés spécifiques à chaque application pour évaluer la performance globale du mortier.

Conclusion



Conclusion

Conclusion

Conclusion :

En résumé, cette thèse nous a permis d'étudier la valorisation des sédiments de dragage pour la réalisation d'un mortier performant. Les résultats obtenus ont démontré la faisabilité de cette approche durable de la gestion des sédiments tout en offrant une solution innovante pour réduire son impact environnemental.

Au cours de cette étude, nous avons analysé les propriétés des sédiments dragués et évalué leur compatibilité avec les principaux composants du mortier tels que le sable, le ciment, l'eau et les adjuvants. En remplaçant progressivement le ciment par des sédiments dragués, la formulation du mortier a été optimisée, d'où des performances élevées en termes de résistance et de durabilité.

Les résultats obtenus ont montré que le remplacement du ciment par des sédiments dragués, jusqu'à un certain pourcentage, permet la production d'un mortier performant tout en contribuant à réduire la quantité de ciment utilisée. Cela présente des avantages à la fois économiques et environnementaux, car cela réduit la dépendance vis-à-vis des ressources naturelles et minimise les impacts associés à l'extraction de ces ressources.

De plus, la valorisation des sédiments de dragage dans la production de mortiers performants offre de nouvelles opportunités pour une utilisation plus durable de ces matériaux. En les transformant en une ressource utile, nous pouvons réduire le besoin de stockage ou d'élimination coûteux des boues et encourager leur réutilisation dans l'industrie de la construction.

Cette thèse a démontré le potentiel et les avantages de l'utilisation des sédiments dragués dans la production de mortiers à haute performance. Les connaissances acquises grâce à ces recherches ouvrent la voie à de nouvelles perspectives pour une gestion plus durable des sédiments et contribuent au développement de pratiques respectueuses de l'environnement dans l'industrie de la construction.

REFERANCE

- ANBT (2015). Agence Nationale des Barrages et Transferts
<http://www.mre.gov.dz/presentation-de-lanbt/> (Consulté le 15 janvier 2020).
- [BAR, 97] : Barnes, H.A., Thixotropy-a review, Journal of Non Newtonian Fluid Mechanics, Vol.70, No.1, pp.1-33, May, 1997
- [BEL, 18] : BELGUESMIA, k., BELAS BELARIBI,S., AMIRI,O., LEKLOU,N., BELARIBI, O. (2018), Influence of treated sediment substitution percentage on workability, strength and porosity of SCC, Journal of Materials and Engineering Structures, Vol 5,No 1
- [BIS, 95] : LE BISSONNAIS Y., LE SOUDER C. (1995). Mesurer la stabilité structurale des sols pour évaluer leur sensibilité à la battance et à l'érosion. Etude et Gestion des sols, 2,1, pp 43-56.
- [BOUT, 98]M.BOUTOUIL., (1998). Traitement des vases de dragage par stabilisation / solidification à base de ciment et additifs.
- [COU, 05] : Coussot, P., Rheometry of paste suspensions and granular materials, John Wiley and Sons, New Jersey, 2005
- [COU, 99] : Coussot, P. et Ancey, C., Rhéophysique des pâtes et des suspensions, Ed. EDP Sciences, 1999
- [DUCH, 83] DUCHAUFUO , P., (1983), Pédologie - 1: pédogenèse et classification, Masson - 1983, 491p.
- [GRE, 04] : Grégoire, P., (2004). Modèle conceptuel d'aide à la décision multicritère pour le choix négocié d'un scénario de dragage maritime. Artois.
- [JAR, 04a] : Jarny, T., Thixotropie des pâtes cimentaires. Thèse de Doctorat de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Décembre, 2004
- [KAZ, 20] : Kazi Aoual F.,Touhami K. (2020). La gestion des sédiments et le développement de l'économie circulaire en Algérie,
- [LIN, 98] Lin, J.-G., Chen, S.-Y., 1998. The relationship between adsorption of heavy metal and organic matter in river sediments. Environment International 24, 345-352.

Référence

- [LIF, 02] LIFE, 2002. Méthodes de gestion et de réutilisation des sédiments pollués. Agence de l'eau Picardie. Pôle de Compétence des sites et sols pollués. Etude réalisée par In Vivo, France, p. 126.
- [MEK, 13] : MEKSI, A., (2013). Valorisation des sédiments de dragage en technique routière. Magister : Géotechnique et environnement : Université Moulay Tahar saida
- [QUE, 06] : Quemada, D., Modélisation rhéologique structurelle. Dispersions concentrées et fluides Complexes, Ed. TEC& DOC, Lavoisier, 2006
- [RAM, 98] RAMADE, F., (1998). Dictionnaire encyclopédique des sciences de l'eau, France.
- [REM, 19] : REMINI A. (2019). L'Algérie : de la boue au fond des barrages, que faire ? Algeria: the mud at the bottom of the dams, what to do? Larhyss Journal, n°40, pp 213-247.
- [ROU, 06] : Roussel. N, A thixotropy model for fresh fluid concrete: theory, validation and applications, Cement and Concrete Research, Vol.36, No.10, pp.1797-1806, 2006
- [SER, 18] : SERBAH., Boumediene., (2018) Cartographie des sédiments de dragage des barrages de l'ouest Algérien : Une solution de valorisation en BTC. Université de Tlemcen - Abou Bekr Belkaid
- [SEM, 15] : SEMCHA A. (2015). Valorisation de la vase de barrage dans la production d'une brique, Présentation orale, Séminaire sur les enjeux des sédiments et leur valorisation dans les matériaux de construction, Université de Cergy-Pontoise, France.
- [TOU, 18] : TOUAHIR S., ASRI A., REMINI B., SAAD H. (2018). Prédiction de l'érosion hydrique dans le bassin versant de l'oued Zeddine et de l'envasement du barrage Ouled Mellouk (Nord-Ouest algérien), Géomorphologie : relief, processus, environnement, Vol. 24(2)
- [UJE , 00] : Ujevic, I., Odzak, N., Baric, A., 2000. Trace métal accumulation in different grain size fractions of the sediments from a semi-enclosed bay heavily contaminated by urban and industrial wastewaters. Water Research 34, 3055-3061.
- [WEB] <https://www.futura-sciences.com/maison/definitions/maison-mortier-5408/>

Référence

- **[WEB02]** : <https://dza.sika.com/fr/construction/adjuvants-pour-beton/beton-projete/superplastifiants/sika-viscocrete-665.html>
- **[WEB01]** : <https://www.lafarge.dz/ciment-matinetm>