

الجمهورية الجزائرية الشعبية الديمقراطية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة عين تموشنت
Université d'Ain Témouchent
Faculté de sciences et de Technologie
Département de Génie Civil



Projet de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme de **Master** en

Domaine: SCIENCES ET TECHNOLOGIES

Filière : Génie Civil

Spécialité : Structure

Thème

Etude d'un mortier à base d'adjuvant, fibres végétales et vase de dragage

Présenté Par :

Mr. MAMAN CHAMSOU IBRAHIM Moustapha

Mlle. SI BACHIR Nardjis

Devant le jury composé de:

Mme MAROUF Hafida	MCA	U.A.T.B.B	Encadrante
Mme ABDELBARI Salima	MCB	U.A.T.B.B	Examinatrice
Mme ABDESSALAM Rabha	MAA	U.A.T.B.B	Présidente

Année universitaire 2020/2021

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciements

Nous rendons grâce à Allah le tout clément et puissant de nous avoir donné la force et le courage de persévérer jusqu'à aboutir ce terme.

Nous tenons à remercier sincèrement les enseignants du département Génie Civil qui ont participé à notre formation au cours de toutes nos années d'études, et particulièrement, notre encadreur

*« Dr. **MAAROUF HAFIDA** » pour tous les efforts qu'elle a fournis pour nous faciliter et aider à accomplir notre travail, nous le remercions pour ses conseils avisés qui ont rendu ce travail possible.*

*Je remercie les membres du jury, Mme **ABELBARI SALIMA** et Mme **ABDESSALAM RABHA** d'avoir accepté de juger mon présent travail.*

Il nous est particulièrement agréable de remercier M. Kaddou Adel, Madame Kawter et Madame Najet d'avoir participé à notre partie pratique afin de réaliser noble travail ce travail.

Enfin, nous remercions tous ceux qui nous ont soutenu et aider de près et de loin pour la réalisation de ce travail.

Merci à tous.

DEDICACES

Je dédie ce mémoire à :

A ceux qui m'ont donné la vie, symbole de beauté, et de fierté, de sagesse et de patience.

Mes parents :

Ma mère qui a su être à mes côtés dans les moments difficiles sans laquelle je n'aurai pas abouti à ce stade d'étude, ainsi que chaque instant de bonheur qu'elle m'a procuré.

Mon père qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie. Puisse Dieu faire en sorte que ce travail porte son fruit ; Merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien permanent venu de toi.

Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce que tu mérites pour tous les sacrifices que tu n'as cessé de me donner depuis ma naissance, durant mon enfance et même à L'âge adulte.

*A la mémoire de mes très chers **grands-parents** : **Gnaouikheira, soufari Abdel Kader, Znaguiyamina et Si Bachir Miloud.** Que Dieu les accueille tous dans son vaste paradis.*

*A mes chères sœurs **ASMAA** et **AYDA** mes plus grandes source de bonheur, quim'ont encouragé et aider durant la réalisation de ce travail.*

*A mon neveu : **MOUHAMED AKRAM.***

Mes beaux-frères : FETHI et ALI.

A Mes amies surtout : SIDI YAKOUB WAFIA, MEGROUSSE LOUBNA, BOUZOUINA AMINA, et MOUSTFAOU SANAA qui m'ont toujours entouré et motivé à sans cesse devenir meilleur.

Mon binôme MOUSTAPHA et sa famille.

A toute ma famille et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible.

Nardjis.

DEDICACES

Je dédie ce mémoire :

*A la mémoire de ma très chère mère **Ramatou Elhadj Inoussa** qui est tout pour moi et qui nous a quitté tôt. Que le paradis Al firdaws soit sa demeure.*

*A mon très cher père **Maman Chamsou** qui a toujours été pour moi un exemple du père respectueux, honnête, sage, orageux de et unique à son genre je tiens à honorer l'homme que tu es.*

Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour l'estime et le respect que j'ai toujours eu pour papa et maman.

Ce modeste travail est le fruit de tous les sacrifices que vous avez déployés pour mon éducation et ma formation. Je vous aime papa et maman j'implore le tout-puissant pour qu'il pardonne maman et accorde une bonne santé et une vie longue et heureuse à papa.

*A mon chers frères **Issouf, Mahamadou, Abdoulatif, Nassir et Aboubaar. Que Dieu vous bénisse***

*A mon kinôme **Nardjis** pour son véritable courage ainsi que sa famille*

*A mes amis **Hatem et Saïd***

*Enfin à ma bien aimée **Fatima** pour le soutien qu'elle m'a apportée.*

Moustapha.

Résumé :

Vu l'accumulation des déchets dans notre environnement, nul n'ignore que la pollution de notre planète croit de la même façon que les demandes en énergie et en matière première.

L'utilisation de certains déchets dans les matériaux de construction, particulièrement, les mortiers et les bétons, est une technique de plus en plus utilisée, dans le but d'améliorer quelques propriétés mécaniques.

Les propriétés mécaniques du béton à base de fibres dépendent de plusieurs facteurs notant la mise en œuvre, le dosage et les types des fibres.

Ce travail a fait l'objet de la mise en valeur de grignon d'olive comme substituant au sable avec les pourcentages suivants : 25% et 50% et la vase calcinée à 850°C comme ajout au ciment d'un pourcentage 10% pour la confection d'un mortier dit MBE mortier équivalent.

Les résultats de la résistance mécanique étaient faibles par rapport au témoin mais vis-à-vis la résistance thermique elle a répondu positive, d'où le profil et la nécessité d'utiliser ce genre de matériau pour renforcer le confort thermique du bâtiment.

Mots Clés : Mortier, Vase, Résistance, MBE, Fibre végétale, Résistance thermique.

Abstract

Given the accumulation of waste in our environment, everyone knows that the pollution of our planet grows in the same way as the demands for energy and raw materials.

The use of certain wastes in construction materials, particularly mortars and concretes, is a technique increasingly used, with the aim of improving some mechanical properties.

The mechanical properties of fiber-based concrete depend on several factors including the processing, dosage and types of fibers.

This work has been the subject of the development of olive pomace as a substitute for sand with the following percentages: 25% and 50% and the mud calcined at 850 ° C as an addition to the cement with a percentage of 10% for making a mortar called MBE equivalent mortar.

The results for mechanical resistance were low compared to the control but with respect to thermal resistance it responded positively, hence the profile and the need to use this type of material to enhance the thermal comfort of the building.

Key words: Mortar, Vase, Resistance, MBE, Vegetable fiber, Thermal resistance.

ملخص

نظرًا لتراكم النفايات في بيئتنا، يعلم الجميع أن تلوث كوكبنا ينمو بنفس الطريقة التي ينمو بها الطلب على الطاقة والمواد الخام .

يعتبر استخدام نفايات معينة في مواد البناء ، وخاصة الملاط والخرسانة ، تقنية مستخدمة بشكل متزايد ، بهدف تحسين بعض الخواص الميكانيكية.

تعتمد الخصائص الميكانيكية للخرسانة القائمة على الألياف على عدة عوامل بما في ذلك المعالجة والجرعة وأنواع الألياف.

وقد خضع هذا العمل لتطوير ثقل الزيتون كبديل للرمال بالنسب التالية: 25% و 50% والطين المكلس عند 850 درجة مئوية كإضافة للأسمت بنسبة 10% لعمل هاون يسمى مدافع الهاون المكافئ MBE.

كانت نتائج المقاومة الميكانيكية منخفضة مقارنةً بالتحكم ولكن فيما يتعلق بالمقاومة الحرارية استجابت بشكل إيجابي، ومن هنا المظهر الجانبي والحاجة إلى استخدام هذا النوع من المواد لتعزيز الراحة الحرارية للمبنى.

الكلمات المفتاحية: الملاط، الطين المكلس، المقاومة، MBE، الياف نباتية ، مقاومة حرارية.

SOMMAIRE

Introduction générale.....	1
Chapitre I : Généralités sur les bétons autoplaçant	2
I.1 Introduction :.....	2
I.2 Historique :.....	3
I.3 Définition :.....	3
I.4 CARACTERISATION DES BAP A L'ETAT FRAIS :.....	3
I.4.1 Essai d'étalement (Slump flow) [NF EN 12350-8] :.....	4
I.4.2 Essai V-Funnel (NF EN 12350-9) :.....	5
I.4.3 Essai de la boîte en L (L-box test) [NF EN 12350-10] :.....	6
I.4.4 Essai J-Ring :	6
I.4.5 Essai de stabilité au tamis :	7
I.4.6 Essai de ressuage :	8
I.4.7 Essai à la boîte en U (U-Box) :	8
I.4.8 Essai à la colonne :.....	9
I.4.9 Essai à la bille :	9
I.5 Caractérisation d'un BAP à l'état durci (destructif et non destructif) :.....	9
I.5.1 Les essais destructifs du béton :.....	10
I.5.2 Essais non destructifs du béton :.....	11
I.6 Formulation des BAP :.....	15
I.6.1 Méthode japonaise[18] :	15
I.6.2 L'approche suédoise :	16
I.6.3 Formulation par volume de pate minimal :.....	16
I.6.4 Formulation par optimisation du squelette granulaire :.....	16
I.7 Les principaux constituants d'un BAP :	17
I.7.1 Les constituants de base :.....	17
I.7.2 Les additions minérales :	18
I.7.3 Les adjuvants :	18
I.8 Les avantages et inconvénients d'un BAP :.....	19
I.8.1 Les avantages :.....	19
I.8.2 Les inconvénients :	20
I.9 Domaine d'utilisation des BAP :	20
I.10 Fabrication et transport des BAP :.....	22

I.10.1 Fabrication :	22
I.10.2 Le transport :	22
I.11 Conclusion :	23
Chapitre II : Généralités sur les fibres végétales	24
II.1 INTRODUCTION :	24
II.2 Présentation de la fibre naturelle :	24
II.2.1 . Définition des fibres végétales :	25
II.2.2 Classification des fibres végétales :	25
II.2.3 . Caractéristiques Physiques et Mécaniques des Fibres Végétales :	26
II.2.4 Caractéristiques Chimiques des Fibres Végétales :	27
II.2.5 Méthodes d'extraction des fibres végétales :	28
II.2.6 Les avantages et inconvénients des fibres végétales.[33].....	28
II.3 Les grignons d'olives :	29
II.3.1 Définition :	29
II.3.2 Les types de grignon d'olives :	29
II.4 Caractéristiques chimiques :	30
II.4.1 Composition chimique d'olive :	30
II.4.2 Composition chimique des grignons :	30
II.5 Conclusion :	31
Chapitre III : Les sédiments de barrage	32
III.1 Introduction	32
III.2 Le phénomène de l'envasement :	32
III.2.1 Etapes de l'envasement d'un barrage	32
III.2.2 La réduction d'eau causé par l'envasement	33
III.3 Définition et origine de la vase :	35
III.4 Les constituants de la vase :	36
III.4.1 Granulométrie des sédiments :	37
III.5 Présentation du barrage de Fergoug :	38
III.5.1 Le Bassin versant du barrage de Fergoug :	38
III.6 Présentation du barrage Bouhanifia :	39
III.7 Les différentes techniques de dévasement :	39
III.7.1 Le soutirage :	39
III.7.2 Le dragage :	40
III.8 Les conséquences d'envasement :	43
III.8.1 Sur la retenue d'un barrage :	43

III.8.2 Sur la sécurité du barrage :	44
III.8.3 Sur la qualité des eaux :	44
III.9 Quelques moyens de lutte contre l'envasement en Algérie :	45
III.9.1 Aménagement des bassins versants :	45
III.9.2 Dévasements de barrage :	45
III.9.3 Surélévation des barrages :	46
III.10 Conclusion :	46
Chapitre IV : Caractéristiques des matériaux utilisés	47
IV.1 Introduction :	47
IV.2 Les matériaux utilisés dans le mortier :	47
IV.2.1 Le ciment :	47
IV.2.2 Eau de gâchage NF EN 1008 :	48
IV.2.3 L'adjuvant (Super- plastifiant) :	48
IV.2.4 Addition :	49
IV.2.5 Les Granulats (NF P18 – 540) :	51
IV.2.6 Les fibres végétales :	51
IV.3 Caractéristiques des matériaux utilisées :	52
IV.3.1 Sable :	52
IV.4 ESSAIS SUR MORTIERS :	60
IV.4.1 Formulation des mortiers :	60
IV.4.2 Essais Mécaniques :	61
IV.4.3 Essais physiques :	63
IV.5 Conclusion :	66
Chapitre V : Résultats & discussions	67
V.1 Introduction	67
V.2 CARACTERISATION DES MATERIAUX :	67
V.2.1 Ciment :	67
V.2.2 Eau :	67
V.2.3 Adjuvant :	67
V.2.4 Addition :	67
V.2.5 Les Granulats et les fibres végétales :	70
V.3 Résultat des essais mécaniques :	75
V.3.1 Essai de compression :	76
V.3.2 Essai de traction par flexion :	78
V.4 Résultat des essais physique :	80

V.4.1 Essai de porosité :.....	80
V.4.2 Essai d'absorption d'eau :	81
V.4.3 Essai de conductivité thermique :.....	82
V.5 Conclusion :.....	82
Conclusion générale et perspective.....	83

Liste des tableaux

Tableau I-1: La norme NF EN 206-9	5
Tableau II-1 : Les caractéristiques physiques et mécaniques de quelques fibres végétales[30].	27
Tableau II-2 :Composition chimiques des composants de l'olive mûre. [66]	30
Tableau II-3 : Composition chimique indicative des différents types de grignons [66]:.....	31
Tableau III-1 :Taux d'envasement (2002) [38]	34
Tableau III-2 :Classe granulométrique d'un matériau.	37
Tableau IV-1: Résistances mécaniques des ciments courants [1]......	48
Tableau IV-2: Classification des sables selon leurs grosseurs.	52
Tableau IV-3 :Classification des sables selon le module de finesse.	53
Tableau IV-4: Classification de la nature de sable en fonction d'E.S.	58
Tableau IV-5:Compositions des mortiers.	60
Tableau V-1: Composition chimique du ciment.	67
Tableau V-2: La composition chimique de la vase calciné.....	68
Tableau V-3: Analyse granulométrique de la vase.	68
Tableau V-4: La limite de liquidité de la vase.	69
Tableau V-5 : La limite de plasticité de la vase.	70
Tableau V-6 : Masse volumique absolue du sable et grignon d'olive.	71
Tableau V-7 : Masse volumique apparente du sable et grignon d'olive.....	71
Tableau V-8 : Porosité du sable et grignon d'olive.....	71
Tableau V-9 : Compacité du sable et grignon d'olive.	72
Tableau V-10 : Indice des vides du sable.....	72
Tableau V-11 : Equivalent de sable.	72
Tableau V-12 : Analyse granulométrique du sable.....	73
Tableau V-13: Analyse granulométrique du grignon d'olive.	74
Tableau V-14 : Résultats de l'essai de compression.....	76
Tableau V-15: Résultats de la résistance mécanique à la compression à 28 jours. [64].....	77
Tableau V-16 : résultats de la résistance à la compression à 7 jours, 28 jours et 62jours.[65]	78
Tableau V-17: Résultats de l'essai de traction par flexion.....	79
Tableau V-18 :Résultats de l'essai de traction par flexion.....	80
Tableau V-19: Variation de la porosité.	80
Tableau V-20 : Résultats de l'essai d'absorption d'eau.	81
Tableau V-21 : Résultats de l'essai de conductivité thermique.	82

Liste des figures

Figure I-1:Essai d'étalement[11].	4
Figure I-2 : L'essai V-funnel.	5
Figure I-3 :Essai de la boîte en L (L-box test).	6
Figure I-4: Essai J. Ring[12].	7
Figure I-5: Essai de stabilité au tamis	7
Figure I-6 :Essai de ressuage[15].	8
Figure I-7: Essai de la boîte en U.[11]	8
Figure I-8 : Essai de stabilité à la colonne.[14]	9
Figure I-9: Machine d'essai de compression.	10
Figure I-10: Mesure de la résistance à la traction par flexion.	11
Figure I-11 : Appareil de mesure[15].	13
Figure I-12: Mesures en transparence.	13
Figure I-13: Mesures en surface.	14
Figure I-14: Test au scléromètre.	15
Figure I-15: <i>Phénomène de floculation sur la pâte.[21]</i>	19
Figure I-16: <i>Effet d'un super plastifiant (Écartement des graines) [19].</i>	19
Figure I-17: le <i>pontAkashi Kaikyo</i> [22].	21
Figure I-18: La tour de londmark.	21
Figure I-19: Le stade de Fukuoka[22].	22
Figure II-1: Classification des fibres naturelles[25].	25
Figure II-2: Classification des fibres végétales selon l'origine[29].	26
Figure II-3: Le grignon d'olive.[36]	29
Figure III-1: Processus d'envasement d'un barrage Réservoir [37]	33
Figure III-2:Nombre de barrages en Afrique du nord	35
Figure III-3 :Capacité de stockage en Afrique du nord	35
Figure III-4: Envasement annuel en Afrique du nord.	35
Figure III-5 : Schéma de la composition simplifiée des sédiments portuaires[44]	36
Figure III-6 :Diagramme triangulaire utilisé pour les sols fins[46]	37
Figure III-7 :Situation géographique du barrage de Fergoug [40].	38
Figure III-8: Le barrage du Fergoug, ses ouvrages annexes et ses affluents.[39]	38
Figure III-9 :Localisation du barrage[48]	39
Figure III-10 : Pompe hydraulique.	41
Figure III-11 :Dragage hydraulique[53].	41
Figure III-12 :Dragage à l'américaine.	43
Figure III-13 :Répartition des techniques de dragage dans les Grands Ports Maritimes (gauche) et autres ports (droite) en % en 2010.[52]	43
Figure III-14 : Couleur verte de l'eau du barrage de SMBA.	44
Figure III-15 :Schéma du soutirage d'un courant de densité par les pertuis de vidange d'un barrage (schéma Remini, 2016).	45
Figure III-16 : Surélévation du barrage de la Visance ISL Ingénierie.[58].	46
Figure IV-1:L'adjuvant utilisé.	49

Figure IV-2: Le four à mouffle.	50
Figure IV-3:Vase avant calcination.	51
Figure IV-4:Vase après calcination....	51
Figure IV-5: Grignon d'olive.	51
Figure IV-6:méthode d'éprouvette graduée.	54
Figure IV-7: Essais d'équivalent de sable.	56
Figure IV-8 :Analyse granulométrique.	59
Figure IV-9: Remplissage des moules 4×4×16.	61
Figure IV-10: Essai de Compression.	62
Figure IV-11 : La presse utilisée pour l'essai de la résistance à la traction par flexion.....	63
Figure IV-12 : Essai de porosité.....	64
Figure IV-13: Essai d'absorption d'eau par capillarité.	65
Figure IV-14: Essai de conductivité thermique.....	66
Figure V-1: Courbe granulométrique du vase.....	69
Figure V-2: Courbe granulométrique du sable.....	74
Figure V-3: Courbe granulométrique du grignon d'olive.	75
Figure V-4: Variation de la résistance à la compression à 7jours, 28jours et 60jours.	77
Figure V-5: Variation de la résistance à la traction par flexion à 7jours, 28jours et.....	79
Figure V-6 :Variation de porosité.	81

Les symboles et abréviations :

C : Dosage en ciment du mortier.

E/C : Rapport eau / ciment.

ρ_{app} : La masse volumique.

M1 : Masse du récipient vide.

M2 : masse du récipient plein.

V : volume du récipient.

ρ_{abs} : La masse volumique absolue.

C : La compacité.

e: L'indice des vides.

Vvide : Le volume des vides.

Vsolide : Le volume des solides.

Es : Equivalent de sable.

ESV: Equivalent de sable visuel.

ESP : Equivalent de sable au piston.

h1 : la hauteur du sable propre + éléments fins (floculat).

h2 : la hauteur du sable.

$r_i(g)$: Masse des refus partiels

$R_i(g)$: Masse des refus cumulés

$R(\%)$: Pourcentages des refus cumulés

$T(\%)$: Pourcentages des tamisât cumulés

Mf : Module de Finesse.

GO : grignon d'olives.

Msec : La masse sèche.

M eau : La masse dans l'eau.

Mair : La masse dans l'air.

ϵ : La porosité.

D : La diffusivité.

C : La chaleur spécifique.

K : La conductivité.

R : La résistivité.

BAP : béton autoplaçant.

Introduction générale

La gestion des déchets est un problème qui concerne le monde en général. Ces déchets présentent des teneurs en métaux lourds et/ou en matière organique élevées ce qui impacte plus ou moins notre l'environnement.

Dans le but de rendre notre milieu écologique, le progrès technologique envisage des méthodes de traitements pour les déchets afin de diminuer la pollution et opter pour une valorisation dans les matériaux de construction.

L'Algérie dispose d'une ressource importante en retenue d'eau (Les barrages) dont beaucoup d'entre eux sont menacés par le phénomène d'envasement et d'un patrimoine agricole (**les oliviers**) dont les grignons sont considérés comme des rebuts.

Notre étude s'intéressera à la confection d'un mortier auto plaçant à base de ces deux derniers déchets. Il a été scindé en cinq chapitres dont les trois (3) premiers sont basés sur une étude bibliographique et les deux (2) derniers sur la pratique portant chacun une thématique visant un des objectifs partiels de notre projet.

Le premier chapitre nous aidera à découvrir le béton autoplaçant, sa formulation normative ainsi que ses caractérisations à l'état frais et durcis.

Le deuxième chapitre nous donne un aperçu sur les fibres végétales notamment les grignons d'olive.

Le troisième chapitre va concerner la généralité sur les sédiments de barrage ainsi que la problématique de l'envasement puis la présentation des quelques barrages.

Le chapitre quatre caractérise les matériaux utilisés dans la confection de notre mortier.

Le dernier chapitre est consacré à la description des essais réalisés ainsi que la discussion des résultats.

Chapitre I :

Généralités sur les bétons autoplaçants

Chapitre I : Généralités sur les bétons autoplaçant

I.1 Introduction :

Le béton autoplaçant a été développé au Japon en 1988, il représente l'un des plus importantes avancées dans la technologie des bétons dans les deux dernières décennies.

Le béton autoplaçant (BAP) est un béton capable, sous le seul effet de la pesanteur, de se mettre en place dans les coffrages même les plus complexes et très encombrés sans nécessiter pour autant des moyens de vibration afin de consolider le mélange avec comme résultat un produit très homogène. Ce type de béton doit être apte à passer à travers les armatures les plus serrées avec, cependant, une vitesse dépendante de la viscosité du mélange. Pour remplir cette condition, le béton doit être très fluide, c'est-à-dire très déformable. Or ceci n'est possible que si le rapport eau/ciment est élevé ou si le béton contient un super plastifiant.[1]

Seulement, la fluidité n'est pas la seule propriété recherchée, car il faut bien s'assurer de l'homogénéité de l'ensemble pâte-granulats. De façon corollaire, le mélange du BAP doit être très cohésif et très stable lors de la mise en place et cela jusqu'à son durcissement. Ceci implique que le BAP doit présenter le minimum de tassement et de sédimentation des particules solides et éviter de présenter un ressuage trop fort, car cela génère une hétérogénéité des propriétés mécaniques, telle qu'une chute d'adhérence des armatures en partie supérieure des levées par rapport à celles situées en zone inférieure lors du coulage.[1]

Une bonne stabilité liée, entre autres, à la viscosité du mortier et de son seuil de cisaillement nécessite soit l'ajout d'un agent de viscosité afin d'améliorer la cohésion de l'ensemble, soit d'augmenter la teneur en matière cimentaire et de réduire la teneur en eau libre. Aussi une bonne stabilité peut être liée à une optimisation de la compacité granulaire. Or, l'augmentation de la teneur en liant n'est pas sans conséquence sur la durabilité, vu le dégagement de chaleur d'une part, et d'autre part, le risque de nuire à la capacité de remplissage, propriété très recherchée pour ce genre de béton.[2]

Cette complexité amène à combiner différents paramètres pour obtenir le niveau désiré en termes de résistance à la compression. Mais avant d'atteindre cette étape, il est indispensable de s'assurer d'une part de la bonne capacité de remplissage de ces bétons, donc une déformabilité supérieure à celle des bétons ordinaires[1]. D'autre part, il faut s'assurer de la stabilité du mélange et éviter, par conséquent, la ségrégation.[3] Très souvent, la satisfaction de ces deux exigences entraîne un compromis. En clair, en plus de garantir un étalement compris entre 500 et 700 mm et d'assurer une très bonne capacité de remplissage, il faut que l'agent de viscosité introduit pour améliorer la viscosité n'abîme pas la déformabilité du béton.[4]

I.2 Historique :

Les chercheurs K. OZAWA ET K. MAEKAWA de Université de Kochi (Tokyo) ont développé le premier prototype de BAP pendant l'été de 1988. Ces résultats ont été présentés par K. OZAWA pour la première fois au 2^{ème} Congrès de l'Asie de l'Est et Pacifique sur le Génie Civil et la Construction, tenu en Janvier 1989 à Chiangmai (Thaïlande). Trois années plus tard, en Mai 1992 au 4^{ème}, Congrès International CANMET & ACI à Istanbul, l'intervention de Ozawa a accéléré la diffusion mondiale du concept de cette nouvelle génération de béton.[5]

I.3 Définition :

Les BAP se distinguent des bétons ordinaires principalement par leurs propriétés à l'état frais, qui sont le résultat d'une formulation spécifique. Cette dernière doit pouvoir concilier deux propriétés à priori contradictoires : une très grande fluidité et une bonne résistance à la ségrégation (stabilité). L'association française de génie civil définit dans ses recommandations provisoires les BAP comme des bétons (très fluides, homogènes et stables).[6]

La mise en place, sous le seul effet de la gravité, nécessite une grande fluidité du matériau, mais il est aussi indispensable que le béton conserve une stabilité satisfaisante et une parfaite homogénéité. Ces deux propriétés contradictoires sont obtenues par l'ajout et le dosage adéquat de super plastifiants et de fines et/ou l'emploi d'agents de viscosité.

Un BAP doit être assez fluide pour pouvoir être mis en place avec un débit suffisant et remplir les coffrages sans apport de vibration sous l'effet de son propre poids tout en restant homogène. Cependant, lors de l'écoulement d'un béton fluide au droit d'un obstacle (par exemple, une armature de ferrailage), les gravillons ont tendance à venir en contact pour former des voûtes solides qui bloquent l'écoulement. C'est ce que l'on appelle le risque de blocage. Ainsi, le béton doit présenter une bonne résistance à la ségrégation en phase d'écoulement y compris au droit des armatures. Un béton auto plaçant doit aussi avoir une bonne résistance à la ségrégation statique (une fois mis en place) jusqu'à sa prise et rester homogène afin de satisfaire aux propriétés mécaniques souhaitées. Ainsi la difficulté du cahier des charges d'un BAP est la recherche d'un compromis satisfaisant entre une grande fluidité et une bonne résistance à la ségrégation aussi bien au repos qu'en écoulement.[7]

I.4 CARACTERISATION DES BAP A L'ETAT FRAIS :

Les BAP sont caractérisés principalement par les propriétés à l'état frais et par conséquent, la caractérisation et le contrôle des propriétés à l'état frais sont essentiels pour assurer les performances souhaitées des BAP.

Le comportement d'un BAP à l'état frais se différencie notablement de celui d'un béton ordinaire vibré (BOV). Son ouvrabilité se décline classiquement suivant : sa mobilité en milieu non confiné, sa mobilité en milieu confiné et sa stabilité (vis-à-vis de la ségrégation et du ressage)[8]. La caractérisation d'un tel béton est donc plus complexe que celle d'un béton traditionnel et implique des essais spécifiques.

Des recommandations de caractérisation ont été préconisées par l'Association Française de Génie Civil (AFGC). [9] D'abord provisoires, ces recommandations sont devenues in situ les essais de référence pour valider une formulation de BAP.

I.4.1 Essai d'étalement (Slump flow) [NF EN 12350-8] :

L'essai d'étalement s'est imposé comme l'essai le plus facile à réaliser, il permet de mesurer la consistance d'un béton. Cet essai s'effectue comme un essai d'affaissement au cône d'Abrams. On place en une seule fois un échantillon de béton dans un cône d'Abrams maintenu sur une plaque en acier horizontale et humidifiée (**Figure I-1**). Ensuite on lève d'un geste régulier et vertical le cône et on laisse s'écouler le béton.

Le premier résultat de cet essai est exprimé par la moyenne de deux mesures du diamètre de la galette de béton obtenue. Il nous renseigne sur la déformabilité du béton.[10]

Cependant l'affaissement étant toujours supérieur à 25 cm, on mesure le diamètre moyen (moyenne sur deux diamètres orthogonaux) de la galette de béton obtenue au bout d'une minute, ainsi que le temps nécessaire à l'obtention du diamètre d'une galette de 50 cm de diamètre. Cette dernière valeur donne une indication sur la viscosité du matériau. Une observation permet également de constater si une ségrégation horizontale a lieu ou non. Cet essai réalisable sur chantier ne nécessite qu'un petit échantillon de béton. Une valeur de 60 à 75 cm est en général visée pour obtenir un BAP.[11]

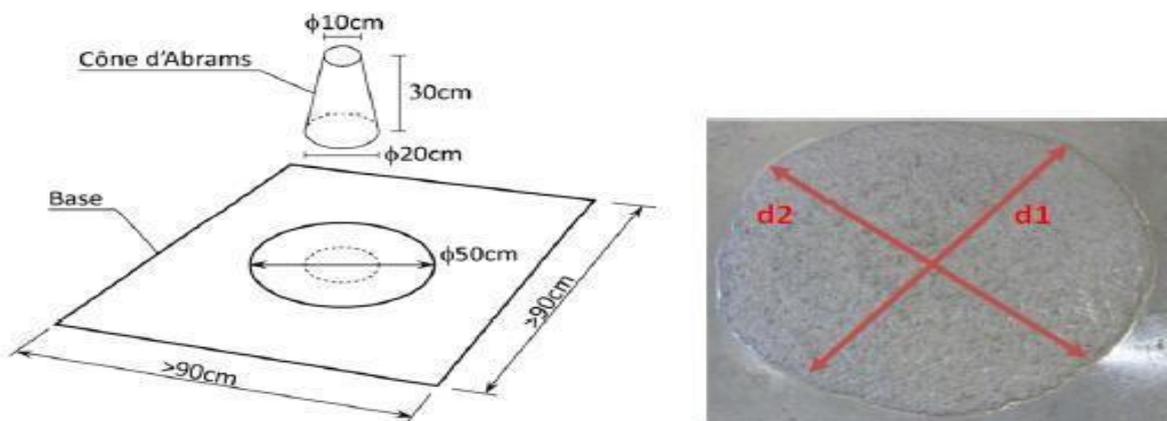


Figure I-1:Essai d'étalement[11].

La norme NF EN 206-9 prévoit une répartition des BAP en trois classes :

Tableau I-1: La norme NF EN 206-9

Classe	Etalement
SF1	550 à 650
SF2	660 à 750
SF3	760
à 850	

I.4.2 Essai V-Funnel (NF EN 12350-9) :

La procédure d'essai avec l'entonnoir est la suivante, l'entonnoir dont les dimensions sont définies sur la figure suivante est rempli de béton. Le clapet de fermeture situé à sa base est ensuite ouvert, ce qui provoque l'écoulement du béton, dont on mesure le temps nécessaire jusqu'à ce que l'entonnoir soit entièrement vidé. Ce temps d'écoulement est souvent le critère utilisé pour définir la viscosité du béton autoplaçant. Plus le béton s'écoule rapidement hors de l'entonnoir, plus sa viscosité est faible. Un temps d'écoulement compris entre 8 et 14 secondes est recommandé pour le BAP.[12]

. Le temps d'écoulement au V-Funnel dépend également du type d'application, mais n'est groupé que selon 2 classes :

- Classe VF1 : temps d'écoulement inférieur à 10s.
- Classe VF2 : temps d'écoulement compris entre 7 et 27s.

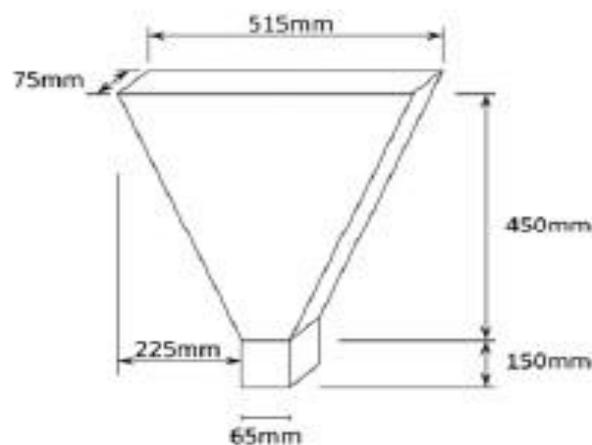


Figure I-2 : L'essai V-funnel.

I.4.3 Essai de la boîte en L (L-box test) [NF EN 12350-10] :

Tout comme l'essai à l'anneau Japonais, cet essai permet de caractériser la mobilité en milieu confiné, c'est-à-dire la ségrégation dynamique.

La partie verticale du L (**Figure I.3**) est remplie de béton en une seule fois. Après ouverture de la trappe, le béton s'écoule à travers un ferrailage standard (39 mm entre 3 barres Ø 14) qui correspond à des ouvrages très ferrillés mais qui peut être éventuellement allégé (58 mm d'espace libre entre deux barres)[6].

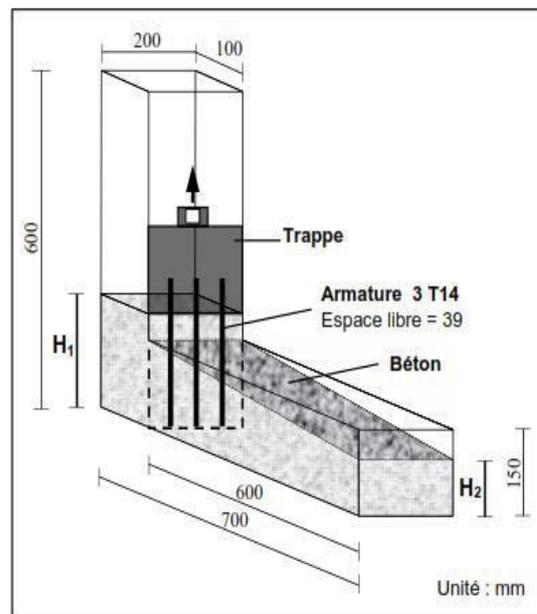


Figure I-3 :Essai de la boîte en L (L-box test).

I.4.4 Essai J-Ring :

Cet essai consiste à faire écouler le béton au travers de barres d'armatures afin de pouvoir évaluer sa tendance au phénomène de blocage, le béton s'écoule à partir du cône disposé au centre d'un anneau métallique (**Figure I.4**), on caractérise donc la tendance à la ségrégation et l'enrobage d'armatures, de plus, la répartition des granulats doit être homogène [12].

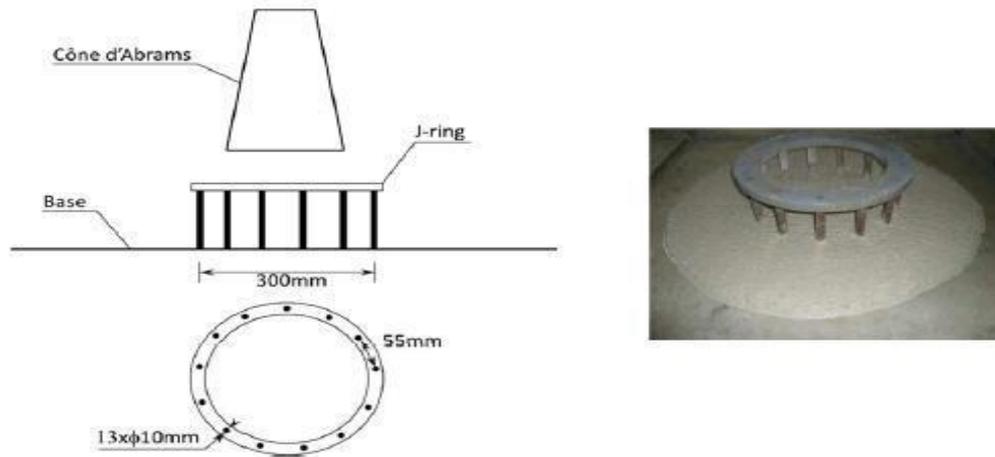


Figure I-4: Essai J. Ring[12].

I.4.5 Essai de stabilité au tamis :

Appelé aussi essai de caractérisation de la ségrégation des bétons autoplaçants, il vise à qualifier les bétons autoplaçants vis-à-vis du risque de ségrégation (**Figure I.5**). Il peut être utilisé en phase d'étude de formulation d'un béton autoplaçant en laboratoire, ou pour le contrôle de réception de la stabilité du béton livré sur chantier [13].

Cet essai complète les essais permettant d'apprécier la mobilité, en milieu confiné ou non, en caractérisant la stabilité. Il consiste à évaluer le pourcentage en masse de laitance (P_{laitance}) d'un échantillon de béton ($4,8 \pm 0,2$ kg) passant à travers un tamis de 5 mm.

Les critères d'acceptabilité d'une formulation d'un béton autoplaçant sont divisés en trois classes.[14]

- $0\% \leq \% P_{\text{laitance}} \leq 15\%$: stabilité satisfaisante,
- $15\% < \% P_{\text{laitance}} \leq 30\%$: stabilité critique : essai de ségrégation à réaliser in situ,
- $\% P_{\text{laitance}} > 30\%$: stabilité très mauvaise : ségrégation systématique, béton inutilisable.

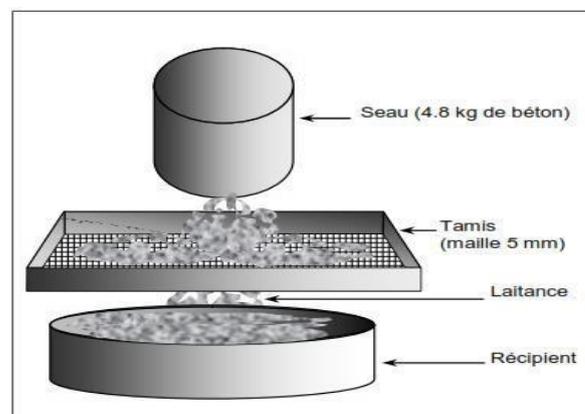


Figure I-5: Essai de stabilité au tamis

I.4.6 Essai de ressuage :

La capacité de ressuage peut être mesurée par l'essai à l'aéromètre modifié (développé par le LCPC) (**Figure I.6**) : le volume d'eau libéré par l'échantillon de béton remonte au-dessus du perchloroéthylène (dont la densité est supérieure à celle de l'eau : 1,59) dans une colonne graduée où il est facile de l'estimer, ce test semble cependant peu pratique à être utilisé étant donné la nocivité du produit employé. [15]

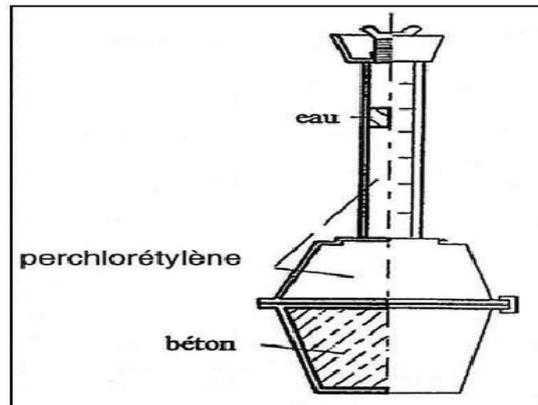


Figure I-6 :Essai de ressuage[15].

I.4.7 Essai à la boîte en U (U-Box) :

Il est utilisé au Japon et en Angleterre, le principe est sensiblement le même que pour la boîte en L, le béton doit s'écouler à travers des armatures et remonter dans la deuxième partie du U de la boîte, une hauteur de remplissage supérieure à 300 mm est requise.[11]

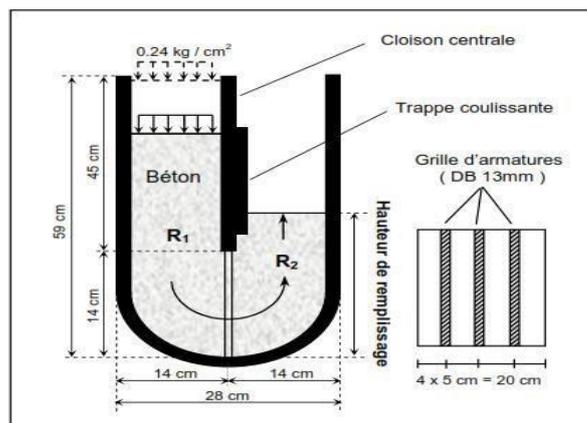


Figure I-7: Essai de la boîte en U.[11]

I.4.8 Essai à la colonne :

Cet essai a été développé indépendamment par le centre ACM de l'Université de Paisley (en 2002) et par l'Université de Ghent (en 2001).

Il s'agit de remplir une colonne et de laisser le matériau au repos pendant 1min, après cette phase de repos, la colonne est vibrée à l'aide d'une table à secousses, les échantillons des différentes parties de la colonne (haut, milieu, fond) sont prélevés, chaque prélèvement est lessivé et tamisé afin de ne récupérer que les gros granulats qui sont ensuite pesés.[14]

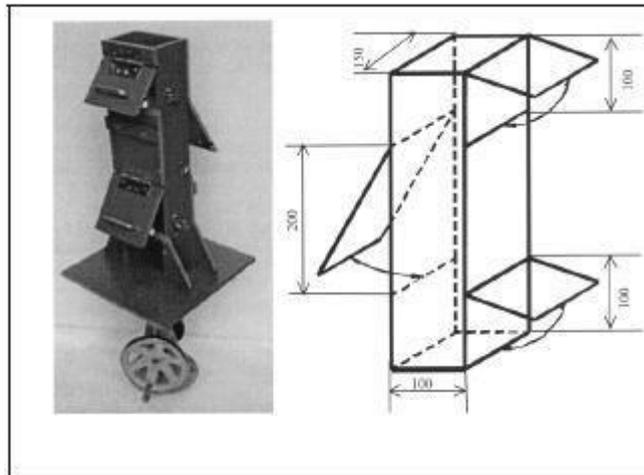


Figure I-8 : Essai de stabilité à la colonne.[14]

Le critère de stabilité de cet essai est le suivant :

- Si le rapport entre la masse de l'échantillon supérieur/ masse de l'échantillon inférieur est supérieur à 0,95 alors le béton a une bonne résistance à la ségrégation.
- Si ce rapport est inférieur à 0,9 il y a un risque de ségrégation du béton. Cet essai permet d'obtenir une certaine appréciation de la ségrégation (gradation de la ségrégation). Le principe est simple et les résultats sont obtenus directement.
- Cependant, la réalisation d'un essai nécessite un appareillage spécifique (colonne et balances pour les pesées) et prend du temps. [14]

I.4.9 Essai à la bille :

L'essai s'agit de mesurer l'enfoncement d'une bille de même dimension que les gros granulats, immergée dans un échantillon de béton, la densité apparente de la bille peut être ajustée grâce à un contrepois et le déplacement de la bille est mesuré par un capteur LVDT relié à un ordinateur. Les résultats sont donc obtenus directement.[14]

I.5 Caractérisation d'un BAP à l'état durci (destructif et non destructif) :

Le béton doit être soumis à différents essais mécaniques de caractérisation :

A) Les essais destructifs :

- Les essais de compression.
- Les essais de traction par flexion.

- Module d'élasticité

B) Les essais non destructifs :

- Essai d'auscultation dynamique.
- Essai à scléromètre

I.5.1 Les essais destructifs du béton :

I.5.1.1 Les essais de compression :

Les essais de mesure de la résistance à la compression sont réalisés sur des éprouvettes cylindriques 16x32 cm conformément aux prescriptions de la norme ou bien des éprouvettes 10x10x10 cm. Ce test fournit la force de compression [N] qui génère la rupture de l'échantillon.



Figure I-9: Machine d'essai de compression.

I.5.1.2 Les essais de traction par flexion :

Cet essai très utilisé permet de simuler le type de sollicitation le plus courant dans les éléments des ouvrages (Figure I.10). Les éprouvettes utilisées pour ce type d'essai sont propre uniquement aux mortiers. La résistance à la traction par flexion est obtenue par l'application de la formule de résistance des matériaux suivante : $\sigma = \frac{Mf}{a2I}$, avec le moment de flexion :

$$Mf = F.L4$$

Où F est la charge de rupture, L la portée, I l'inertie de flexion, et a le côté du prisme [16].

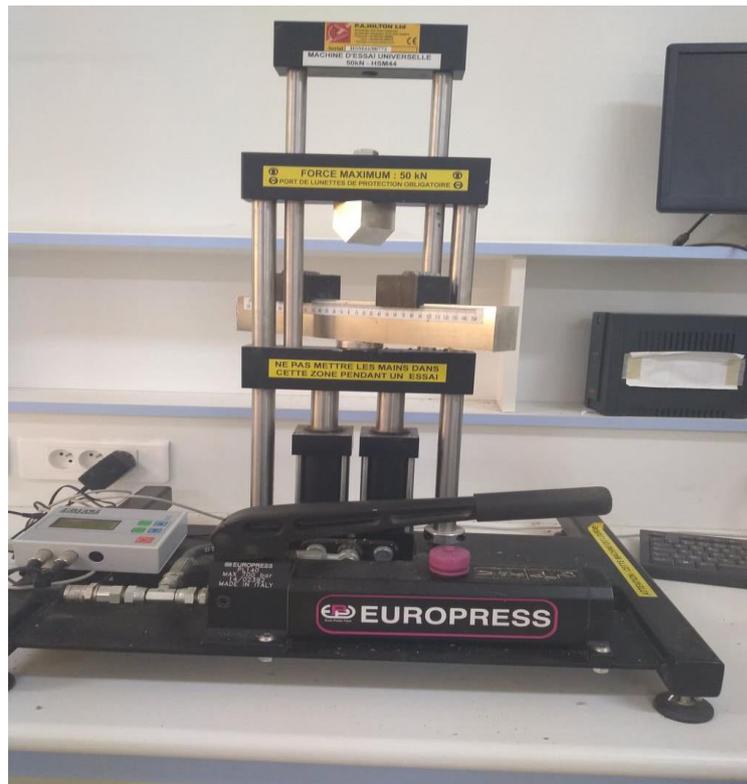


Figure I-10: Mesure de la résistance à la traction par flexion.

I.5.1.3 Module d'élasticité :

Les différents matériaux de BAP peuvent montrer un différent comportement de relation contrainte-déformation si les BAP contiennent une basse quantité de gros granulats on se réfère à la formule réglementaire du module ($E_{ij} = 11000f_{cj} 1/3$), celui-ci ne dépend que de la résistance du béton, ainsi, à résistance égale, un béton autoplaçant aurait donc le même module qu'un béton vibré.

Certains auteurs ont trouvé que le module élastique de BAP coïncide bien avec celui de BV avec des propriétés similaires.

Par contre, le module élastique de BAP est inférieur à celui de BV donc le BAP est plus rigide. On a trouvés qu'avec une résistance donnée le module élastique de BAP est inférieur à celui de BV, ce comportement est dû à la petite dimension de grains de BAP et la quantité élevée de pâte de ciment. En effet, dans un béton formulé avec des granulats classiques, le module de la matrice (6000-25000 MPa) est environ de 3 à 15 fois plus faible que celui des granulats E_g (60000 à 100000 MPa).[1]

I.5.2 Essais non destructifs du béton :

a) Définition :

Les problèmes de qualité rencontrés dans les structures en béton apparaissent à différentes phases de la réalisation des ouvrages, c'est pour cette raison que depuis longtemps il y a une demande accrue pour des méthodes plus précises et, en même temps, plus souples d'évaluation de la qualité du béton.

Le contrôle par essais destructifs nécessite la confection d'éprouvettes prélevées représentant un échantillon. Ce contrôle ne peut être effectué à 100 % ou tout au moins sur un échantillonnage significatif. De plus, l'échantillon prélevé n'est pas toujours représentatif du béton de la structure réelle. Ainsi, pour répondre à ces problèmes, on a développé une gamme d'essais in situ appelés « Essais non destructifs » venant compléter les essais destructifs. Les essais non destructifs consistent à prendre des mesures qui n'endommagent pas les constructions. Ils représentent des méthodes de reconnaissance couramment appliquées aux structures de bâtiments [16].

Les essais non destructifs peuvent jouer un rôle exceptionnel dans la garantie de la qualité du béton et dans le développement ultérieur de la technologie de construction. La signification de ces essais se développera considérablement à l'avenir, parce que sa technologie de mesure automatisée et la réduction de la taille de l'appareillage de mesure ouvriront des applications entièrement nouvelles.

b) But d'utilisation :

Ces essais sont rapides et faciles à mettre en œuvre, et apportent de surcroît une réponse globale à l'échelle d'une structure ou d'un ouvrage, dans le cadre de contrôles d'ouvrages neufs ou en construction comme de diagnostics d'état d'ouvrages anciens.

c) Principaux domaines d'application :

Les essais non destructifs permettent de contrôler la qualité de la construction et mesurer Les essais non destructifs permettent de contrôler la qualité de la construction et mesurer de façon in directe les caractéristiques des matériaux à savoir :

- La résistance
- L'homogénéité
- La porosité
- La durabilité...

d) Avantages de ces méthodes réside dans :

Les méthodes non destructives présentent les avantages suivants.

- La performance ou l'apparence de la structure n'est pas modifiée.
- La possibilité de suivre le changement des propriétés du béton dans le temps.
- Une plus grande sécurité, et une meilleure planification de la construction.
- Une progression plus rapide et plus économique.

I.5.2.1 Essai d'auscultation dynamique :

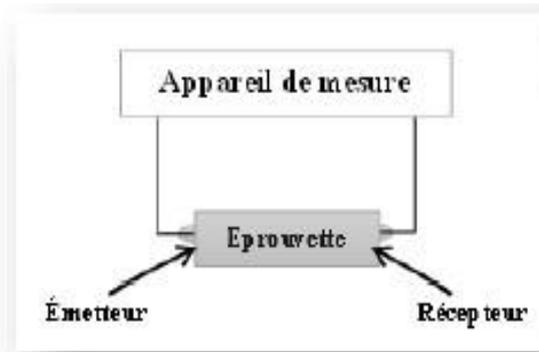


Figure I-11 : Appareil de mesure[15].

a) Mode Opérateur

- Poncer et égaliser la partie de la surface de l'élément à ausculter ou le transducteur sera Fixé,
- Employer un matériau intermédiaire entre les deux et en prenant soin de vérifier que l'appareil est bien appliqué contre la surface à tester à l'aide d'un matériau d'interposition comme la vaseline, un savon liquide ou une pâte constituée de Kaolin et de glycérol.

b) Points de mesures :

Le nombre de points de mesures dépend des dimensions de l'ouvrage à tester. Pour un grand panneau (dalle, voile, radier, etc.) les points de mesures sont situés aux intersections d'un quadrillage d'une maille de 0.5m. Le cas des petits éléments (poteaux, poutres, etc.), les mesures se font en six points.

c) Manières de mesure :

La détermination de la vitesse de propagation des ultrasons se fait de trois manières, suivant le type de l'élément à tester.

d) Mesure en transparence (directe) :

Les mesures en transparence sont utilisées dans le cas des éprouvettes, des poteaux ou de certaines poutres. Les transducteurs sont appliqués sur les deux faces de l'élément à tester.

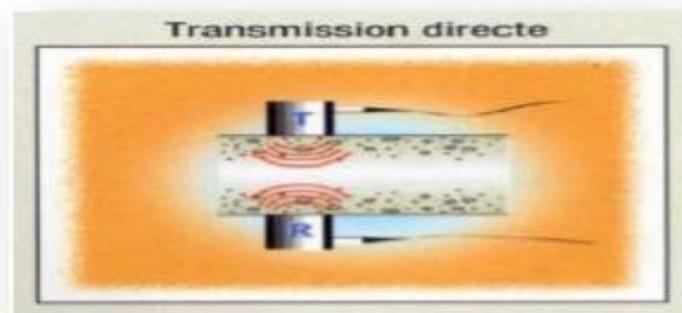


Figure I-12: Mesures en transparence.

e) Mesures en surface (indirecte) :

Elles sont utilisées sur tous les éléments de structure et sur les éprouvettes, mais plus particulièrement sur les dalles et éléments en longueur (figure I.15).

L'émetteur est maintenu en un point fixe, le récepteur est déplacé successivement à des distances marquées à l'avance.

Après avoir relevé le temps correspondant à un point considéré, on passe au point suivant :



Figure I-13: Mesures en surface.

I.5.2.2 Essai à scléromètre :

Le principe fondamental de l'essai au scléromètre est que le rebond d'une masse élastique dépend de la dureté de la surface sur laquelle frappe la masse. Dans l'essai au scléromètre (I.14) une masse de 1.8 kg montée sur un ressort a une quantité potentielle fixe d'énergie qui lui est transmise par un ressort tendu à partir d'une position fixe, ce que l'on obtient en pressant la tête du marteau contre la surface du béton mis à l'essai. Lors de son relâchement, la masse rebondit depuis la tête, toujours en contact avec la surface du béton et la distance qu'elle parcourt, exprimée en pourcentage de l'extension initiale du ressort est appelée l'indice de rebondissement. Cet indice est indiqué par un curseur qui se déplace le long d'une règle graduée.[17]



Figure I-14: Test au scléromètre.

I.6 Formulation des BAP :

Dans cette partie sont présentées les grandes méthodes de formulation des bétons autoplaçants, des empiriques aux plus sophistiquées. En effet plusieurs approches ont été faites pour répondre aux exigences de l'ouvrabilité des BAP

I.6.1 Méthode japonaise[18] :

Développée en 1990 à l'université de Köchi cette méthode consiste à privilégier le volume de la pâte au détriment de celui des granulats, le béton obtenu est ainsi pauvre en dosage des granulats, par conséquent le cout économique n'a pas été optimisé. Les principes de formulation et leur application sont les suivants :

a) Le dosage des gravillons :

Les chercheurs japonais ont montré que le béton formulé avec un volume de gravillon limité à la moitié de sa capacité, possède une compacité performante et moins de risque de blocage.

Notons que la compacité d'un mélange des grains revient d'un mélange au rapport du volume de grains et du volume total du système grains + vides. Elle dépend bien sûr du mode de compactage.

b) Dosage du sable

Le volume du sable est posé forfaitairement à 40 % du volume de mortier du béton. La fluidité du béton est garantie par la réduction des fractions granulaires.

c) Dosage en liant :

Ce dosage n'a pas été précisé par cette méthode, Du coup on peut se baser sur les normes en fixant un dosage de 350kg/m^3 au minimum. Par contre les rapports (E/C) et (F/C)

respectivement eau sur ciment et Filler sur ciment peuvent être fixés selon le critère de résistance

d) Dosage de l'eau et du superplastifiant :

Les dosages en eau et en super plastifiant sont déterminés au moyen d'essais sur mortiers, dont le volume de sable est fixé à 40 %. On réalise des mesures d'étalement avec un cône à mortier et des mesures d'écoulement à L'entonnoir.[18]

I.6.2 L'approche suédoise :

Cette méthode est basée sur la méthode japonaise décrite ci-dessus, le principe est d'intégrer l'approche de l'évaluation du risque de blocage dans le processus de formulation. Pour chaque rapport G/S on estime le volume de pâte critique pour le blocage, on retiendra ensuite le rapport G/S qui vérifie les propriétés rhéologiques recherchées. Les dosages des fines, de l'eau et du superplastifiant sont ajustés pour avoir une viscosité suffisante, un faible seuil de cisaillement, et une résistance souhaitée. Cette approche permet une meilleure optimisation du squelette granulaire. Néanmoins le critère blocage ne peut pas être appliqué sur chaque type de granulats.[18]

I.6.3 Formulation par volume de pâte minimal :

Le béton est considéré comme un matériau biphasique comprenant une partie fluide qui est la pâte (eau, liant et adjuvant) et d'une partie solide ou granulaire. La pâte joue un rôle de fluidité en évitant le frottement entre les granulats d'une part, et d'autre part écarte les gravillons pour éviter le phénomène de blocage. Les chercheurs prouvent qu'il existe un minimum de volume de pâte pour assurer ces deux rôles.[18]

I.6.4 Formulation par optimisation du squelette granulaire :

Elle consiste à formuler les BAP en optimisant la porosité formée par le système de grains solides du ciment aux gravillons. Etant donné que la compacité de la pâte augmente la résistance à la compression, l'ouvrabilité dépend aussi de l'arrangement du squelette granulaire.

Lorsque la phase interstitielle est occupée par l'eau de gâchage, plus cette quantité d'eau qui écarte les grains est importante, plus la suspension est fluide. A quantité d'eau constante, si on minimise la porosité de l'empilement de grains, on maximise en conséquence le volume d'eau disponible pour fluidifier le mélange. Cet exemple simple nous montre donc le lien entre compacité et rhéologie. De Larrard et Sedran ont développé un modèle décrivant mathématiquement un empilement, à partir des caractéristiques des grains qui le composent (forme, granulométrie). Le modèle permet le calcul de la compacité du béton et d'un indice représentatif de son degré de serrage à l'aide de ces variables sont modélisées la viscosité et le seuil de cisaillement du béton. Le modèle est implanté dans un logiciel (Bétonlab Pro2), qui permet aussi de simuler les autres propriétés du béton (résistance, déformations différées, etc.).

Ses auteurs proposent un cahier des charges spécifique pour les BAP, avec des indices pour estimer la capacité de remplissage et la stabilité du béton.[19]

I.7 Les principaux constituants d'un BAP :

Le choix des matériaux constitutifs pour la formulation de béton autoplaçant peut être assez particulier du point de vue proportionnel et de leur choix. Il convient de faire un choix pragmatique du type de liant, de la granulométrie des agrégats, ainsi que les additifs.

On peut scinder les matériaux intervenant dans la formulation du BAP en 3 catégories, à savoir :

- Les matériaux de base (ciment, eau de gâchage et granulats).
- Les additifs additions minérales.
- Les adjuvants chimiques[18]

I.7.1 Les constituants de base :

a) Les granulats :

Le choix des granulats pour les BAP est très important. Il s'agit en fait de déterminer leur granulométrie permettant de minimiser le plus possible le volume d'air dans le but d'améliorer les propriétés du béton. Les granulats se divisent principalement en deux catégories soient les gravillons ($\Phi > 5$ mm) et le sable ($\Phi \leq 5$ mm). Dans le cas des BAP, les gravillons sont essentiellement caractérisés par leur dimension maximale, cette dimension étant principalement limitée à 20 mm afin d'empêcher le risque de blocage lors de la mise en place. Les gravillons roulés ou concassés peuvent en principe être utilisés. En outre, le sable recommandé à la confection des BAP doit comporter des quantités assez fortes d'éléments fins ($\Phi \geq 0.125$ mm), dans la plage de 4 à 8 %. Ainsi, ses grains passants au tamis de 2 mm doivent être compris entre 38 et 42 %. Cette optimisation de sable permet d'améliorer le comportement rhéologique des BAP, mais elle entraîne un surcoût supplémentaire[18]

b) Le ciment :

Tous les types des ciments normalisés sont utilisables pour formuler le BAP. Cependant le pouvoir de jouer sur le contrôle et la variation de la quantité des additions chimique reste un avantage pour l'utilisation du ciment portland, car ce dernier est constitué essentiellement du clinker dépourvu d'ajouts minéraux.^[1]

c) L'eau de gâchage :

Pour aboutir à une meilleure confection de BAP l'eau utilisée doit être exempt de tout élément chimique pouvant attaquer les constituants du béton.

L'eau non potable doit faire l'objet d'une analyse chimique afin de savoir sa teneur en des

I.7.2 Les additions minérales :

L'emploi des pouzzolanes minérales pour faire des mortiers et des bétons est connu depuis l'Antiquité. Ces pouzzolanes désignent un grand nombre d'additions minérales aux origines diverses, mais qui présentent tous, le fait d'être fins et de réagir en présence d'eau et de chaux.

De nos jours, des quantités considérables de plusieurs types de ces additions continuent d'être utilisées. Nous présentons ci-dessous les différentes additions minérales éventuelles qu'on peut incorporer dans les compositions des BAP.[18]

De nos jours, plusieurs additions minérales existent dans le marché à savoir : les fillers calcaires, la fumée de silice, le laitier de haut fourneau et les cendres volantes ; sont mélangées au ciment ou parfois incorporées directement lors du malaxage pour modifier les propriétés du béton à l'état frais et durci. Ce sont des additions fines définies comme la fraction granulométrique d'un granulat qui passe au tamis de 0,063 mm (Norme NF EN 933 -

8). En remplissant les micro-vides dans l'empilement des agrégats (sable, graviers), ces additions minérales confèrent aux bétons frais de meilleures qualités de maniabilité et améliorent aussi l'imperméabilité. Ces ajouts font augmenter la cohésion et entraînent donc une diminution du ressuage et de la ségrégation du béton.[20]

I.7.3 Les adjuvants :

L'adjuvant est un produit incorporé au moment du malaxage du béton à un dosage inférieur ou égal à 5 % en masse du poids de ciment du béton, pour modifier les propriétés du mélange à l'état frais et / ou à l'état durci.

Chaque adjuvant est défini par une fonction principale et une seule.

Un adjuvant peut présenter une ou plusieurs fonctions secondaires.[21]

L'utilisation des adjuvants avait commencé déjà du temps des Romains et des Grecs qui les ajoutaient au mélange de la chaux et des pouzzolanes pour édifier leurs constructions. À cette époque les adjuvants du béton étaient le sang et le blanc d'œuf.[22]

Dans le cas des BAP les adjuvants utilisés sont ceux qui jouent sur la rhéologie du béton, car cette catégorie leur est une propriété principale.

Il existe le superplastifiant et les agents colloïdaux.

a) Le superplastifiant :

Ce sont des réducteurs d'eau à haute efficacité, et se présentent généralement sous forme de liquide. Ils sont composés de longues molécules organiques de masse élevée. Les plus couramment utilisés sont les sels de sodium ou de calcium du polynaphtalène sulfoné, et les sels de sodium de la polymélamine sulfonée[22].

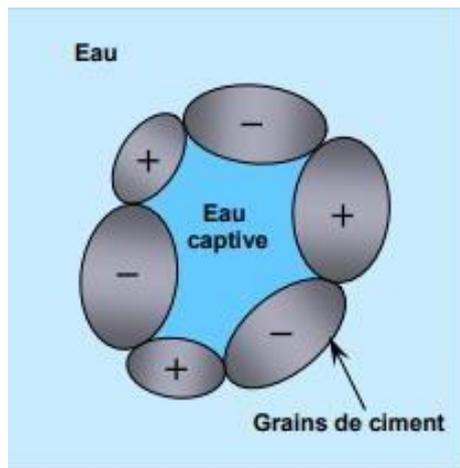


Figure I-15: Phénomène de floculation sur la pâte.[21]

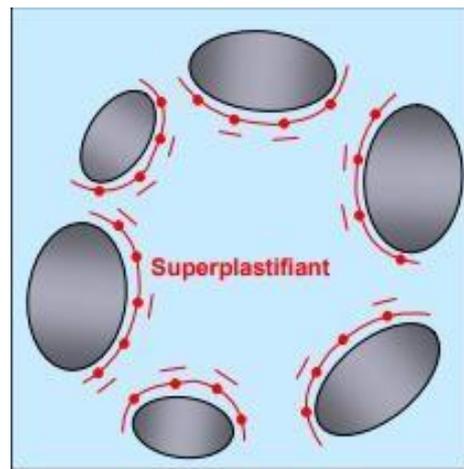


Figure I-16: Effet d'un superplastifiant (Écartement des graines) [19]

b) Agents colloïdaux

L'incorporation d'un super plastifiant dans un béton augmente son ouvrabilité tout en réduisant sa viscosité. Néanmoins, ce dernier peut présenter des effets néfastes en le rendant sensible à la ségrégation et au ressuage.

Pour neutraliser ces effets l'utilisation d'une quantité importante reste impérative.

L'objectif d'agent de viscosité est d'augmenter la viscosité du béton, c'est un polymère qui interagit avec l'eau.

L'optimisation de la fluidité requiert la compatibilité du couple plastifiant-agent de viscosité et l'ajustement de leur dosage.[23]

I.8 Les avantages et inconvénients d'un BAP :

I.8.1 Les avantages :

Les BAP sont dotés des avantages extraordinaires du point de vue technique, écologique et économique.

a) Avantages techniques :

- Facilité et rapidité la mise en œuvre du béton.
- Réalisation d'éléments de forme complexe.
- Bétonnage en milieux fortement ferraillés.

b) Avantages écologiques :

- Valorisation des déchets de construction (récupérés des chantiers, industries, carrières, stations de concassage...).
- Diminution de la quantité de CO₂ émise par l'industrie cimentaire (due à la réduction de la quantité de ciment nécessaire au BAP).

c) Avantages économiques :

- Réduction du cout de main d'œuvre et du temps de bétonnage.
- Absence de systèmes de vibration réduisant ainsi les couts et les nuisances sonores dans et au voisinage du chantier[18]

I.8.2 Les inconvénients :

La composition des BAP implique un dosage délicat des matières premières. Il est donc préférable de faire appel à une entreprise spécialisée pour réaliser ces bétons. La liquidité des BAP est très précise et réclame donc un partenariat entre la société de fabrication et l'entrepreneur du chantier. En effet, suivant le type de coffrage, sa disposition ou sa taille, on préférera plutôt un type de liquidité ou un autre. Cela rajoute donc des contraintes dans les préparatifs du chantier puisque beaucoup de discussions s'imposent. De plus, la rigueur dans les délais est de mise, sans quoi la liquidité du béton peut varier. Cet aspect prend beaucoup plus d'importance que pour les bétons vibrés. Rajoutons à cela que les matières premières en elles-mêmes sont spécifiques et ne sont pas toujours disponibles de stock chez les fabricants. [16].

I.9 Domaine d'utilisation des BAP :

Les BAP sont utilisables aussi bien pour la réalisation d'ouvrages horizontaux que verticaux, sur tous les types de chantier, de bâtiments ou de génie civil et pour la réalisation de nombreux produits préfabriqués en béton la plupart des ouvrages peuvent être réalisés en BAP (voiles, poteaux, piles, planchers, dalles, dallages, fondations, éléments de façade, mobiliers urbains, etc.) les BAP sont particulièrement adaptés à la réalisation de structures pour lesquelles la mise en œuvre d'un béton classique est délicate, c'est-à-dire, présentant des

- Densités de ferrailage importantes.
- Formes et géométries complexes : voiles, courbes....
- Voiles minces et de grande hauteur : piles de pont....
- Voiles complexes avec de nombreuses réservations ou de grandes ouvertures.
- Exigences architecturales et qualité de parement particulière.

A titre illustratif, citons quelques ouvrages énormes réalisés avec BAP

Le pont Akashi Kaikyo, le plus long pont suspendu au monde (3910 m) ou 390000 m³ de béton autoplaçant ont été versés dans les coffrages des fondations et des piliers très congestionnés sans vibration (OKAMIRA et coll.1994).



Figure I-17: le pont Akashi Kaikyo [22].

· **La tour Landmark Tower**, où un béton autoplaçant a été mis en place avec succès dans 66 colonnes de 40 m de hauteur chacune **HAYAKAWA et coll.**



Figure I-18: La tour de Landmark.

· **Le stade de Fukuoka**, où 10000m³ de béton autoplaçant ont été utilisés pour des sections très ferrillées et de formes compliquées **Izinni et coll.** [22]



Figure I-19: Le stade de Fukuoka[22]

I.10 Fabrication et transport des BAP :

I.10.1 Fabrication :

En principe les BAP épousent tous les types de malaxeurs. Les mêmes consignes sont aussi préconisées que dans fabrication des bétons vibrés, lors de l'introduction de différents constituants du béton dans le malaxeur.

L'intensité et le temps de malaxage ainsi que l'ordre d'introduction des constituants sont des facteurs qui influent fortement sur l'homogénéité du béton, sur l'effet optimal des additions et des adjuvants, c'est la raison pour laquelle on fixe le temps de malaxage à 120 secondes, cette moyenne peut être ajustée selon l'efficacité du malaxeur. [24]

I.10.2 Le transport :

Le béton autoplaçant doit être transporté dans un camion malaxeur en raison de sa fluidité.

Comme dans le cas d'un béton vibré, la fluidité du béton peut se modifier durant le transport, la manière et l'ampleur de cette modification sont fonction de plusieurs paramètres :

- Le type d'adjuvant, la durée de transport, le dosage en eau et la température. Dans une certaine mesure il est possible de corriger ces modifications pour vérifier les exigences d'ouvrabilité souhaitées au moment du déchargement sur chantier
- Dans le cas de rajouts d'adjuvant dans le camion, il est recommandé de respecter impérativement le temps de malaxage minimal recommandé pour assurer la dispersion de l'adjuvant et sa répartition homogène dans l'ensemble du chargement de béton. En revanche tout ajout d'eau est à proscrire. [22]

I.11 Conclusion :

Après une étude bibliographique riche basée sur les méthodes ainsi que les tests empiriques nous avons découvert les propriétés rhéologiques assez performantes du BAP ainsi que les avantages suivants :

- Le béton autoplaçant se compacte sous l'effet de la gravité, sans vibration (pas de nuisance sonore)
- Une fluidité et viscosité élevée sans aucun risque de ségrégation.
- Capacité de passage dans les milieux confinés
- Capacité de remplissage sans l'intervention humaine pour la mise en place (un optimum économique).
- Une résistance à la compression et à la traction avec un module d'élasticité comparable à celle du béton ordinaire.
- Le retrait plastique est plus important que celle du béton ordinaire.
- Le principe des formulations consiste à choisir une proportion optimale des différents constituants pour obtenir les meilleures caractéristiques du béton.
- Le facteur le plus important dans la formulation d'un BAP est l'eau. En effet, le principe de ce type de béton est de diminuer la quantité d'eau utilisée tout en assurant une bonne maniabilité et une résistance à la ségrégation à l'état frais. La diminution de la teneur en eau conduit à de bonnes caractéristiques mécaniques.

Chapitre II :

Généralités sur les fibres végétales

Chapitre II : Généralités sur les fibres végétales

II.1 INTRODUCTION :

Les fibres naturelles sont considérées comme étant des fibres très importantes et très utiles, qui sont en concurrence avec les fibres synthétiques ou artificielles, en particulier, dans les domaines de la qualité, la durabilité et l'économie de leur production. Les fibres d'origine naturelle sont réparties en 3 catégories. On distingue :

- Les fibres végétales extraites des plantes ; des graines comme le coton, des tiges comme le lin, le kéraf, le jute et le chanvre, des feuilles comme le sisal et l'abaca, et les fruits comme les fibres de coco.
- Les fibres animales extraites des poils d'animaux comme le cachemire, la chèvre, le chameau, et le mohair, des sécrétions d'insectes comme la soie.
- Les fibres minérales comme l'amiante.

Les fibres végétales se démarquent des fibres de verre par leurs propriétés mécaniques spécifiques élevées grâce à une faible densité, qui induira lors d'applications structurales un gain de masse se traduisant par une économie d'énergie. De plus, les fibres végétales ont aussi l'avantage d'être biosourcées et certaines sont disponibles annuellement. C'est pour cela que les fibres végétales ont commencé à faire leur apparition en remplacement des fibres de verre afin de fabriquer des matériaux composites plus respectueux de l'environnement.

II.2 Présentation de la fibre naturelle :

Il existe une grande variété de fibres naturelles classées en trois grandes familles en fonction de leurs origines (végétale, animale, minérale) dans le cadre de ce mémoire nous nous intéressons au type végétal. Les différents types de fibres naturelles sont présentés sur **(Figure II.1)**.

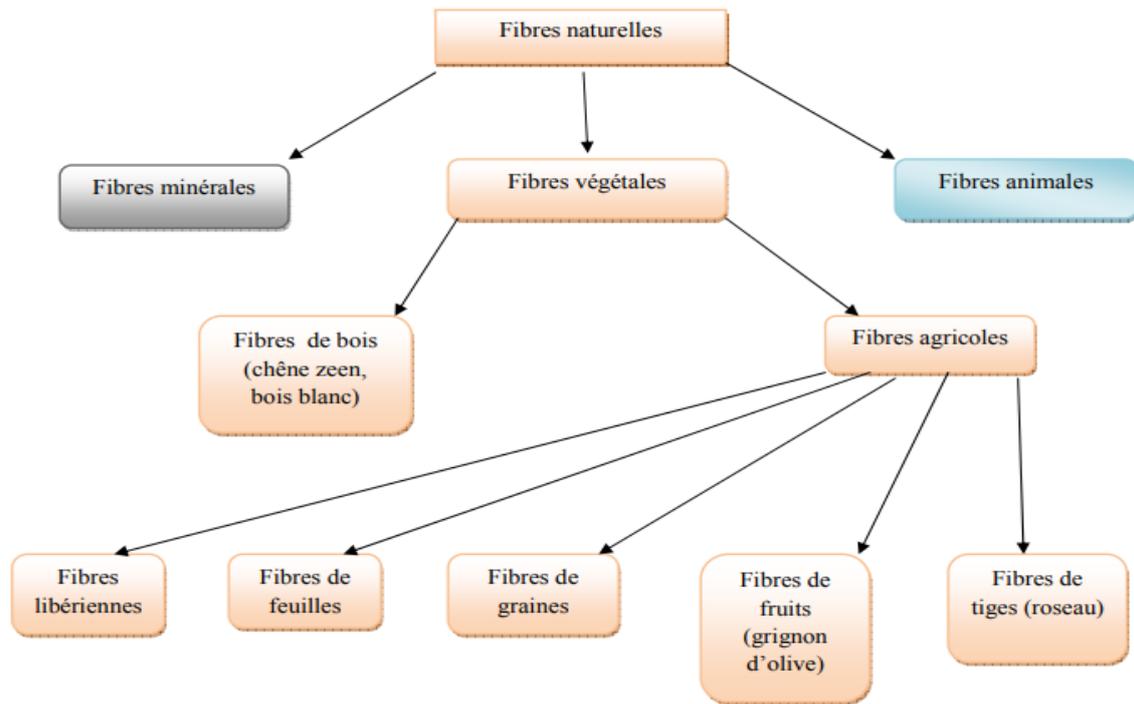


Figure II-1: Classification des fibres naturelles[25].

II.2.1 . Définition des fibres végétales :

Les fibres végétales sont des structures biologiques fibrillaires composées de cellulose, hémicelluloses et de lignine. Ils résistent aux alcalise et à la plupart des acides organiques, mais sont détruites par les acides minéraux forts. Il y a quatre sortes de fibres végétales : les fibres provenant des poils, les fibres du liber, et les fibres extraites des troncs de certaines graminées. Elles sont souvent utilisées dans la fabrication du papier et dans les panneaux de construction [26]. En proportion relativement faible d'extractibles non azoté, de matière protéique brute, de lipide et de matières minérales. Les proportions de ces constituants dépendent énormément de l'espèce, de l'âge et des organes de la plante.[27], [28]

II.2.2 Classification des fibres végétales :

Il existe cinq groupes de fibres végétales subdivisé selon leur origine : les fibres libériennes provenant des tiges et d'écorce de tiges de plantes annuelles, les fibres extraites de feuilles, de graines et de fruits, les fibres dures extraites des tiges de plantes.

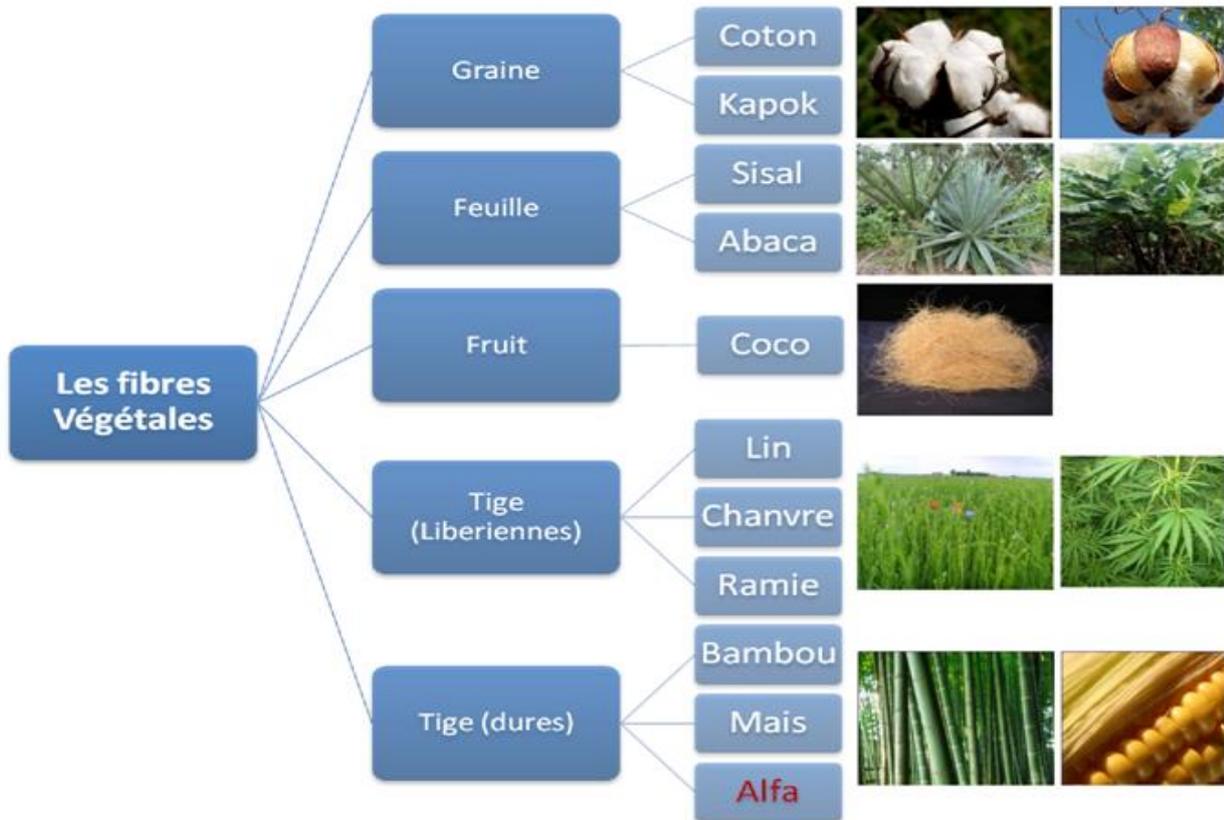


Figure II-2: Classification des fibres végétales selon l'origine[29].

II.2.3 . Caractéristiques Physiques et Mécaniques des Fibres Végétales :

Une fibre végétale est caractérisée par son diamètre sa densité et son teneur en eau et son pourcentage d'absorption d'eau physiquement et par sa résistance à la traction, son élongation à la rupture et son module d'élasticité mécaniquement.

Tableau II-1 : Les caractéristiques physiques et mécaniques de quelques fibres végétales[30].

Fibres	Référence	Densité (g/cm ³)	Allongement à la rupture (%)	Résistance à la traction (MPa)	Module de Young (GPa)
Cotton	[1]	1.5-1.6	7.0-8.0	587-597	5.5-12.6
Jute	[1]	1.3	1.5-1.8	393-773	26.5
Lin	[1]	1.5	2.7-3.2	345-1035	27.6
Chanvre	[1]	--	1.6	690	--
Ramie	[1]	--	3.6-3.8	400-938	61.4-128
Sisal	[1]	--	2.6	278	--
	[12]	1.37	5.2	363	15.2
	[19]	0.75-1.07	2.08-4.08	577.50	10.94-26.70
	[22]	1.5	2.0-2.5	511-635	9.4-22.0
Noix de coco	[1]	1.2	30.0	175	4.0-6.0
	[12]	1.17	37.7	107	2.8
	[19]	0.67-1.00	13.7-41.0	174	2.5-4.5
	[22]	1.33		72	2.0
Palmier	[16]	0.51-1.08	7.5-17.4	170-290	2.1-5.25
Dattier					

II.2.4 Caractéristiques Chimiques des Fibres Végétales :

La composition chimique des fibres végétales est formée de trois principaux constituants à savoir : la cellulose, l'hémicellulose et la lignine .[31].

A. La Cellulose :

C'est la principale composante des fibres végétales. C'est un polymère naturel du premier plan. Généralement, les fibres végétales sont constituées par une chaîne de fibres en cellulose.

B. Hémicellulose :

L'hémicellulose présente dans toutes les parois de ces fibres, est un polysaccharide à chaîne courte ramifiée et repliée sur elle-même. C'est le constituant responsable de l'élasticité des fibres et qui permet aux parois de s'allonger pendant la croissance.

C. Lignine :

La lignine constitue la colle qui lie les fibres végétales entre elles ainsi que leurs parois. C'est un polymère tridimensionnel provenant de la copolymérisation de trois alcools phénylpropénoïques.

II.2.5 Méthodes d'extraction des fibres végétales :

Les fibres végétales sont extraites des plantes. Le processus d'extraction a un impact majeur sur le rendement en fibres et la qualité finale de la fibre. Les procédures peuvent être divisées en procédé de séparation biologique, mécanique et chimique (utilisation des bactéries et enzymes), on procède par la combinaison de deux ou plusieurs traitements différents dans certains cas, c'est-à-dire un traitement mécanique suivi d'un chimique, ou bien un traitement chimique suivi d'un traitement biologique, etc. Par exemple, pour avoir des fibres d'alfa filable, l'extraction a été effectuée par un procédé mécanique suivi d'une extraction chimique et finalement les fibres obtenues sont traitées par une enzyme. [32]

La méthode d'extraction traditionnelle, le rouissage, utilise des bactéries existant dans l'environnement pour dissoudre les extractibles. Certaines bactéries, utilisées lors du rouissage à l'eau et certains champignons utilisés lors du rouissage à la rosée se sont révélés très efficaces pour attaquer les substances non cellulosiques des plantes et libérer la fibre. Bien que le rouissage atmosphérique fournisse des fibres de qualité, il requiert un temps d'extraction relativement long durant lequel le contrôle de la qualité de la fibre n'est pas aisé. Une méthode de rouissage très pratiquée utilise des solutions alcalines, des solutions d'acide doux et des enzymes pour accélérer le processus de libération de la fibre.

II.2.6 Les avantages et inconvénients des fibres végétales.[33]**➤ Les Avantages :**

- Demande peu d'énergie pour être produite.
- Bonne isolation thermique et acoustique.
- Non abrasif pour les outillages.
- Pas d'irritation cutanée lors de la manipulation des fibres.
- Propriétés mécaniques spécifiques importantes (résistance et rigidité).
- Neutre pour l'émission de CO₂.
- Faible coût.
- Ressource renouvelable.

➤ Les inconvénients :

- Pour des applications industrielles, demande de la gestion d'un stock
- Renfort discontinu
- Faible tenue thermique (200 à 230 °C max).
- Faible stabilité dimensionnelle.

- Faible stabilité dimensionnelle.
- Mauvaise tenue en vieillissement.
- Variation de qualité en fonction du lieu de croissance de la météo...
- Fibres anisotropes.

II.3 Les grignons d'olives :

II.3.1 Définition :

Récemment, de nombreuses recherches ont été menées sur le développement de l'utilisation des composants végétaux dans le béton afin de stimuler les effets positifs que peuvent apporter ces nouveaux constituants dans les caractéristiques du béton et des mortiers.

Le grignon d'olive est le résidu de l'extraction de l'huile d'olive, il représente environ 25 % des olives traitées et il est composé de la coque du noyau réduit en morceaux, de la peau et de la pulpe broyée de l'olive[34]. Il contient encore une certaine quantité de matière grasse (3 à 7 %) et une importante quantité d'eau (la margine) variable selon la variété des olives et surtout du procédé d'extraction.[35].



Figure II-3: Le grignon d'olive.[36]

II.3.2 Les types de grignon d'olives :

II.3.2.1 Le grignon brut :

C'est le résidu de la première extraction de l'huile par pression de l'olive entière. Renferment la coque du noyau, réduite en morceaux, la peau et la pulpe broyée de l'olive, environ 25% d'eau et encore une certaine quantité d'huile qui favorisent leur altération rapide.

II.3.2.2 Le grignon épuisé :

Diffèrent essentiellement par une plus faible teneur en huile et une teneur en eau réduite du fait qu'ils ont été déshydratés au cours du processus de l'extraction.

II.3.2.3 Le grignon partiellement dénoyauté :

Il est constitué essentiellement par la pulpe (mésocarpe) et contiennent encore une petite proportion de coques qui ne peuvent être séparées complètement par les procédés de tamisage ou de ventilation utilisés.

II.4 Caractéristiques chimiques :

II.4.1 Composition chimique d'olive :

Afin de comprendre les variations de composition chimique pour les différents types de grignons il peut être utile de rappeler (**Tableau II-2**) la composition chimique des différents composants de l'olive

Tableau II-2 :Composition chimiques des composants de l'olive mûre. [66]

Partie	Matières Az. totales	Matières Grasses	Cellulose brute	Matières minérales	Extractif non azoté
Epicarpe	9,8	3,4	2,4	1,6	82,8
Mesocarpe	9,6	51,8	12,0	2,3	24,2
Endocarpe (noyau et amande)	1,2	0,8	74,1	1,2	22,7

La partie la plus riche en huile est le mésocarpe (ou pulpe), et celle plus riche en cellulose brute l'endocarpe (ou noyau).

II.4.2 Composition chimique des grignons :

Les grignons bruts sont pauvres en matières azotées et riches en cellulose brute. Ils restent relativement riches en matières grasses. Le dénoyautage partiel par tamisage ou ventilation réduit les teneurs en cellulose brute. (**Tableau II.3**).

Les pulpes, du fait de la séparation totale du noyau avant pression, ont la valeur la plus faible en cellulose brute.

Tableau II-3 : Composition chimique indicative des différents types de grignons [66]:

Type	Matière Sèche	% de la Matière Sèche			
		Matières minérales	Mat. Az. totales	Cellulose brute	Matières Grasses
Grignon brut	75–80	3–5	5–10	35–50	8–15
Gr. gras part. dénoyauté	80–95	6–7	9–12	20–30	15–30
Grignon épuisé	85–90	7–10	8–10	35–40	4–6
Gr. épuisé part. dénoyauté	85–90	6–8	9–14	15–35	4–6
Pulpe grasse	35–40	5–8	9–13	16–25	26–33

II.5 Conclusion :

Dans ce chapitre on a parlé sur l'utilisation des fibres végétales et de leurs nouvelles applications. L'étude des propriétés chimiques, physiques et mécaniques des fibres qui sont en cours d'exploitation permet de nous guider lors de la caractérisation des nouveaux matériaux fibreux tels que celui de notre étude « les grignons d'olives ». Nous avons présenté les fibres végétales, leur classification et leurs caractéristiques générales, les méthodes d'extraction des fibres végétales et leurs avantages et inconvénients. Ainsi, on a défini les grignons d'olives et présenter aussi leurs caractéristiques chimiques.

Chapitre III :

Les sédiments de barrage

Chapitre III : Les sédiments de barrage

III.1 Introduction

L'Algérie figure de la liste des pays victimes de phénomène de l'envasement. Ce phénomène prend au fur et à mesure l'ampleur. Plusieurs millions de mètre cube font l'objet de l'opération de dragage chaque année. Ce produit dragué constitue potentiellement une ressource intéressante, il joue le rôle d'un substituant partiel dans la fabrication des matériaux à base de ciment. Cette substitution est faite après l'activation de la vase par la calcination à une température élevée.

Bien que la thématique de valorisation des sédiments soit encore dans ses débuts, de nombreux travaux de recherches se sont développés ou sont en cours de préparation. En effet ces produits constituent une ressource précieuse et immense et ne devrait pas être considérés comme des déchets. Le présent chapitre s'attache à décrire le phénomène d'envasement des barrages algériens notamment les deux barrages concernés par la présente étude en l'occurrence les barrages de Fergoug et Bouhanifia (ouest algérien). Il décrit également les divers modes de valorisation possibles des sédiments issus des opérations de dévasement de ces barrages.

III.2 Le phénomène de l'envasement :

Le phénomène de l'envasement des barrages est l'aboutissement d'un processus naturel d'érosion des bassins versants et du sapement des berges des cours d'eau. Ce phénomène naturel enregistre les valeurs les plus élevées dans les régions arides et semi arides comme le Maghreb et plus particulièrement l'Algérie. L'envasement qui représente les dépôts successifs des sédiments, pose des problèmes de quantité et de qualité des eaux des barrages. En matière de quantité, l'infrastructure hydrotechnique Algérienne forte de 74 grands barrages, d'une capacité de 8 milliards de m³ est amputée annuellement d'une capacité de plus de 50 millions de m³. A titre d'exemple, le barrage de Sidi M'Hamed Ben Aouda (Relizane) a reçu un volume de vase égal à 6,7 millions de m³ par année durant la période 1995-2003. Le barrage de l'Oued Fodda (Chlef) capte annuellement un volume de vase de 3,2 millions de m³. Au total, environ 20 grands barrages sont fortement menacés par le comblement total du réservoir à court terme si les moyens techniques de lutte ne sont pris en compte.[37]

III.2.1 Etapes de l'envasement d'un barrage

Le processus de l'envasement d'un barrage débute dans la première phase par l'arrachage des particules fines de leurs positions initiales par le ruissèlement. Dans la seconde phase, les sédiments seront drainés par les cours d'eau jusqu'au barrage. Enfin dans la troisième partie, les particules seront pièges pour se décanter et se tasser au fond du lac du barrage (**fig. 1**)

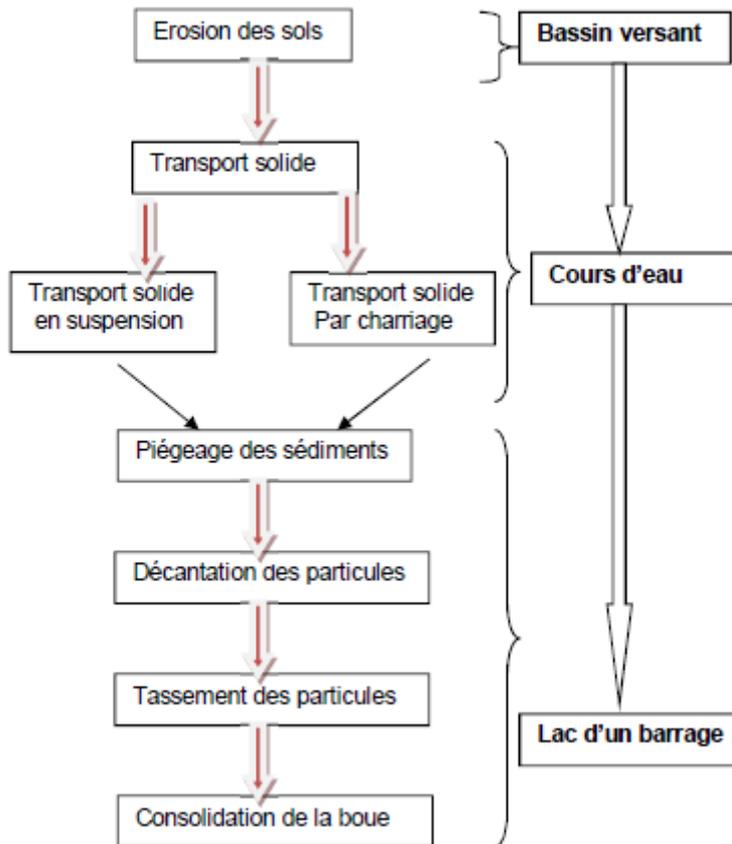


Figure III-1: Processus d'envasement d'un barrage Réservoir [37]

III.2.2 La réduction d'eau causé par l'envasement

Les pays de l'Afrique du nord comme l'Algérie, le Maroc, et la Tunisie, détiennent plus de 220 barrages d'une capacité de plus de 20 milliards de m³. Chaque année, un volume de 120 millions de m³ de vase se dépose dans les réservoirs. Le tableau 1 représente le taux de sédimentation d'une dizaine de barrages des plus envasés de l'Afrique du nord.

Il est à constater, que le taux de sédimentation annuel est évolué à 50.106 m³ uniquement pour les dix barrages sur les 220. Ce qui représente 40% de l'envasement annuel du nombre total. Cependant, le barrage Mohamed V (Maroc) est le premier barrage de l'Afrique du nord, il reçoit annuellement un volume de vase égal à 11,6.106 m³. Les quatre barrages marocains Mohamed V, Eddahabi, El Massira, et Ben El Ouidane reçoivent annuellement une quantité de vase de 30.106m³, l'équivalent de ce que les 114 barrages algériens reçoivent annuellement.

Tableau III-1 :Taux d'envasement (2002) [38]

Barrages	Année de mise en eau	Capacité en 10^6 m^3	En moy ann. $10^6 \text{ m}^3/\text{an}$	Taux de sédimentation (%)
Mohamed V (Maroc)	1967	725	11.6	56
Mansour Edahabi (Maroc)	1972	592	4.8	24
El Massira (Maroc)	1979	2724	9	7.5
Bir El ouidane (Maroc)	1953	1484	4.5	15
Mellegue (Tunisie)	1954	332	5.94	85
Sidi Salem (Tunisie)	1981	555	5.6	21
Gharib (Algérie)	1939	280	3.2	72
Oued El foda (Algérie)	1932	228	2.31	71
IghilEmda (Algérie)	1953	155	1.33	42
Bougezoul (Algérie)	1934	55	0.66	81

Les figures ci-dessous illustrent l'envahissement de la vase dans les trois pays à savoir l'Algérie, le Maroc et la Tunisie[39]

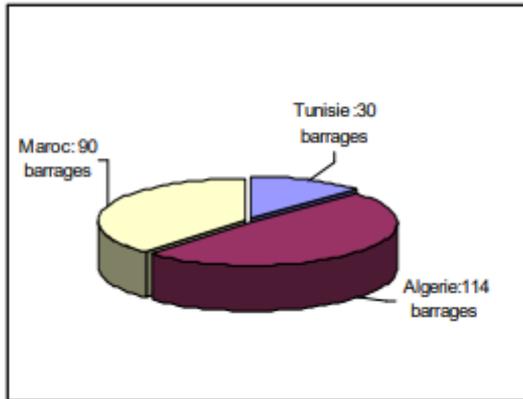


Figure III-2: Nombre de barrages en Afrique du nord

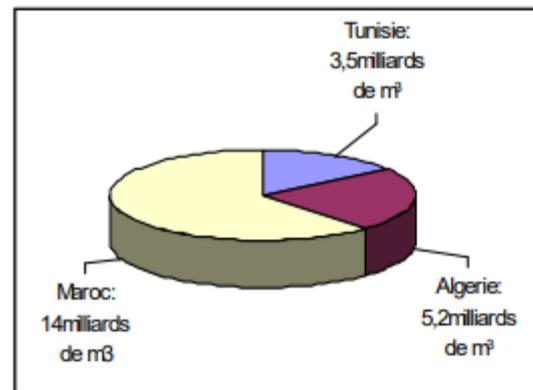


Figure III-3 : Capacité de stockage en Afrique du nord

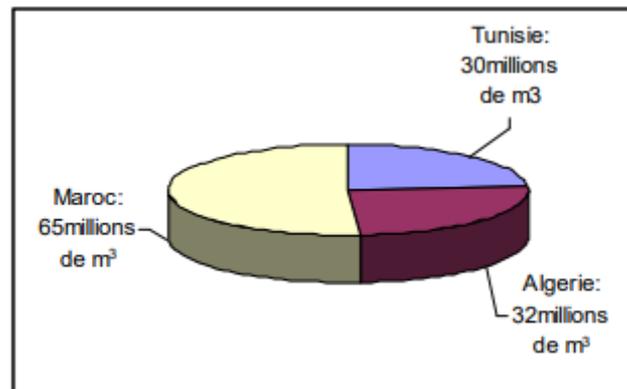


Figure III-4: Envasement annuel en Afrique du nord.

III.3 Définition et origine de la vase :

Les sédiments, plus communément appelés vases, sont définis comme « un ensemble constitué par la réunion de particules plus ou moins grosses ou de matières précipitées ayant, séparément, subi un certain transport ». La sédimentation désigne l'ensemble des processus par lesquels ces particules organiques ou minérales en suspension et en transit cessent de se déplacer[40]

On distingue 2 origines de sédiments :

- l'origine endogène de la sédimentation provient de la production autochtone du milieu. Cette production primaire engendre des débris de macrophytes (plantes aquatiques, cadavres de microphytes et d'animaux).[41]

L'origine exogène vient d'un apport de matières allochtones. Celles-ci sont issues du ruissellement des fleuves, des effluents ou de l'atmosphère. Cet apport peut être d'origine naturelle (érosion des sols, décomposition de la matière végétale), ou anthropique (apports de

matière en suspension, de matières organiques, de nutriments ou de micro-polluants en raison des rejets agricoles, industriels et domestiques).[42]

III.4 Les constituants de la vase :

Les sédiments se composent d'une fraction solide et d'une fraction liquide (eau) qui est intimement liées les unes aux autres. Les proportions respectives de chacune de ces fractions sont variables d'un milieu à un autre mais demeurent dans une fourchette, qui par expérience, peut être estimée si l'on considère des matériaux de type vases

IL y a quatre éléments principaux constitués Les vases :

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

La distribution granulométrique d'un sédiment constitue son empreinte physique, elle caractérise la taille des particules, constituant la phase solide du matériau. Pour l'obtenir, il est procédé à un tamisage mécanique. En dessous d'une taille de 20 μ m, il est nécessaire de recourir à des mesures au laser, qui utilisent le principe de la diffraction de la lumière cohérente sur un écoulement d'une suspension très diluée de fines.[43]

Il est communément considéré que les « Vases » correspondent à la fraction inférieure à 63 μ m. Le schéma ci-dessous retrace les grands ensembles de la composition des sédiments portuaires vis-à-vis notamment de leur siccité ou de leur granulométrie.

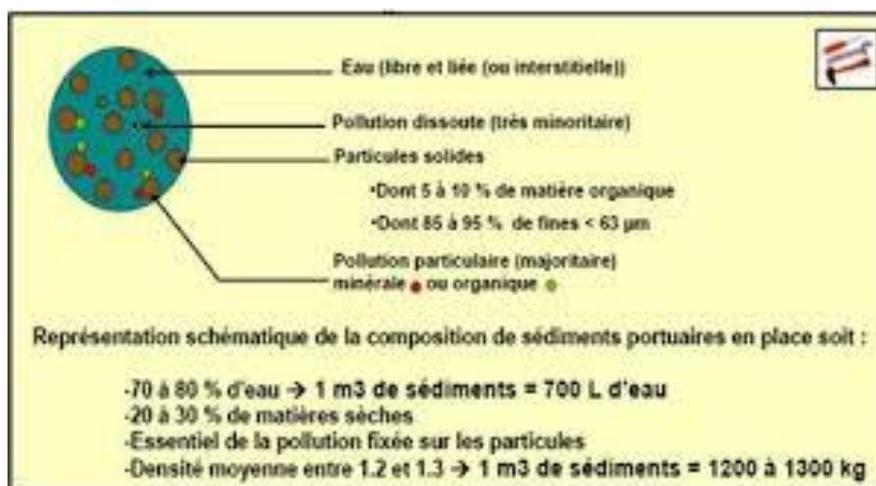


Figure III-5 : Schéma de la composition simplifiée des sédiments portuaires[44]

III.4.1 Granulométrie des sédiments :

La distribution granulométrique d'un sédiment et plus globalement, de n'importe quel matériau, constitue son empreinte physique. Elle caractérise en effet la taille des particules constituant la phase solide du matériau. D'autre part, la répartition de fréquence de taille des grains explique la répartition des sédiments dans un milieu aquatique. En effet, les grosses particules restent en amont tandis que les plus fines se retrouvent en aval. Les différentes classes granulométriques couramment utilisées sont présentées dans le tableau 2.[39]

Tableau III-2 :Classe granulométrique d'un matériau.

Diamètre	Dénomination
> 20 mm	Cailloux
2 mm à 20 mm	Graviers
63 μm à 2 mm	Sables (gros et fins)
2 μm à 63 μm	Limons (ou silt)
< 2 μm	Argiles

Une vase est généralement constituée des 3 dernières classes : sables, limons et argiles. Précisons que le terme d'argile utilisé en minéralogie n'a pas le même sens que celui utilisé en granulométrie. Ici, c'est un critère uniquement basé sur la taille des particules et non sur leur composition chimique et minéralogique. Pour classer les matériaux fins dont la taille des particules est inférieure à 2 mm, les géotechniciens utilisent le diagramme triangulaire des sols fins de la figure 2. Ce type de diagramme est particulièrement adapté aux sédiments.[45]

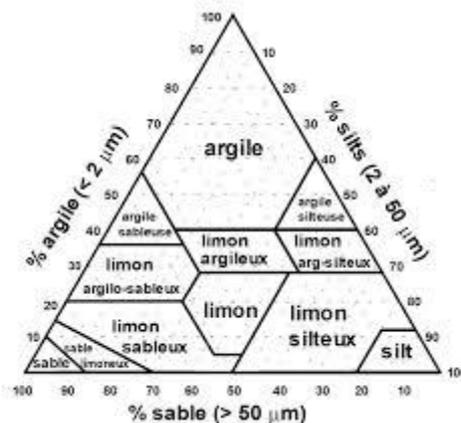


Figure III-6 :Diagramme triangulaire utilisé pour les sols fins[46]

III.5 Présentation du barrage de Fergoug :

Le barrage Fergoug est une illustration concrète des aires privilégiées de dépôt des matières solides érodées. Le barrage de Fergoug situé à 20 km en amont de Mohammédia sur la route de Mascara dans l'ouest de l'Algérie (**figure III-7**), a été construit dès l'installation des 1erscolons dans l'Oranie. Dans son état actuel, c'est un barrage en terre de capacité initiale en 1963, de 18 millions de m³.

Sa capacité à chuter a 17 millions de m³ en 4 ans, et de 1970 à 1987, le taux d'envasement a été de 0,75 m³ par an.[39]

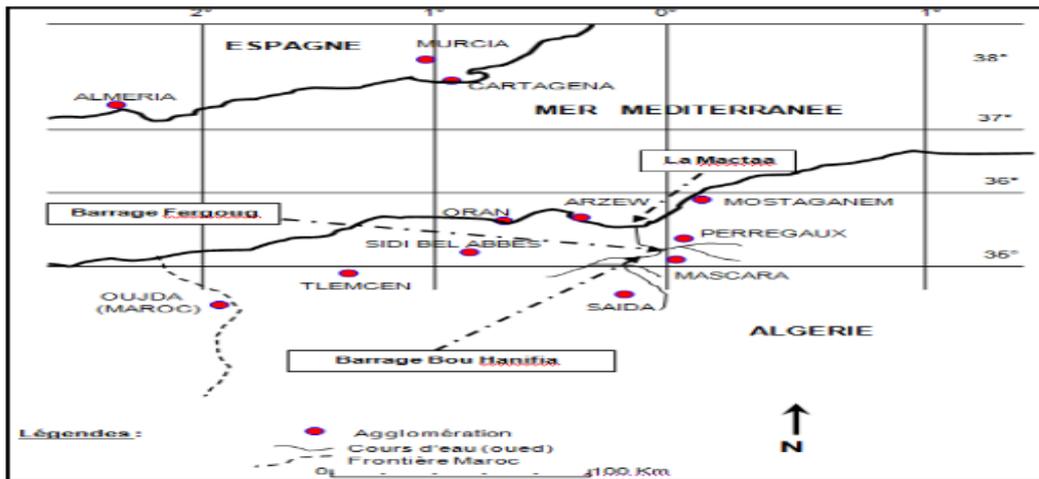


Figure III-7 :Situation géographique du barrage de Fergoug [40].

III.5.1 Le Bassin versant du barrage de Fergoug :

Un bassin versant est l'ensemble des dénivellations du relief qui fusionnent en un système hydraulique unique délimitant un déversement superficiel. Le barrage de Fergoug est alimenté principalement par Oued El Hammam (**figure III-8**) [40]

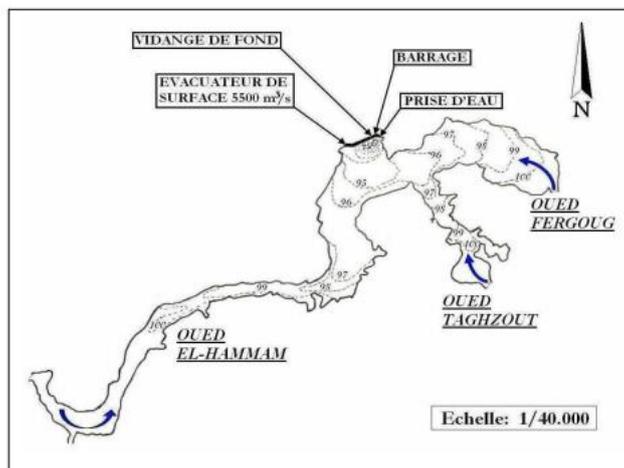


Figure III-8: Le barrage du Fergoug, ses ouvrages annexes et ses affluents.[39]

III.6 Présentation du barrage Bouhanifia :

Bouhanifia (ou Bouhanifia El Hammamet, soit Bouhanifia-les Bains) est une commune de la wilaya de Mascara, située au sud-est de Mascara. Elle abrite une station thermale très réputée en Algérie, Hammam Bouhanifia, dont l'origine date de l'antiquité romaine.

1930 a vu la construction du barrage hydraulique de Bouhanifia, à 4500 mètres du village. Il s'agit d'un barrage en enrochements armés, de 460 m de longueur totale en crête, s'élevant à 56 m au-dessus du talweg ; sa largeur au sommet est de 5 m, elle atteint 125 m à la base.[47]

Le barrage de Bouhanifia fait également parti du triplex formé par trois barrages en cascade (Ouzert-Bouhanifia-Fergoug).

Il est destiné à :

- L'alimentation en eau potable des couloirs Bouhanifia-Hacine ; Bouhanifia-Mascara, Tizé ; Bouhanifia-Sfisef, Graia et la ville de Bouhanifia
- Le transfert des eaux vers le barrage de Fergoug pour l'alimentation en eau potable des localités de Mohamadia et Sig.
- Le transfert des eaux vers le barrage de Fergoug pour l'irrigation de la plaine de Hacine et Habra 5500 ha[43]

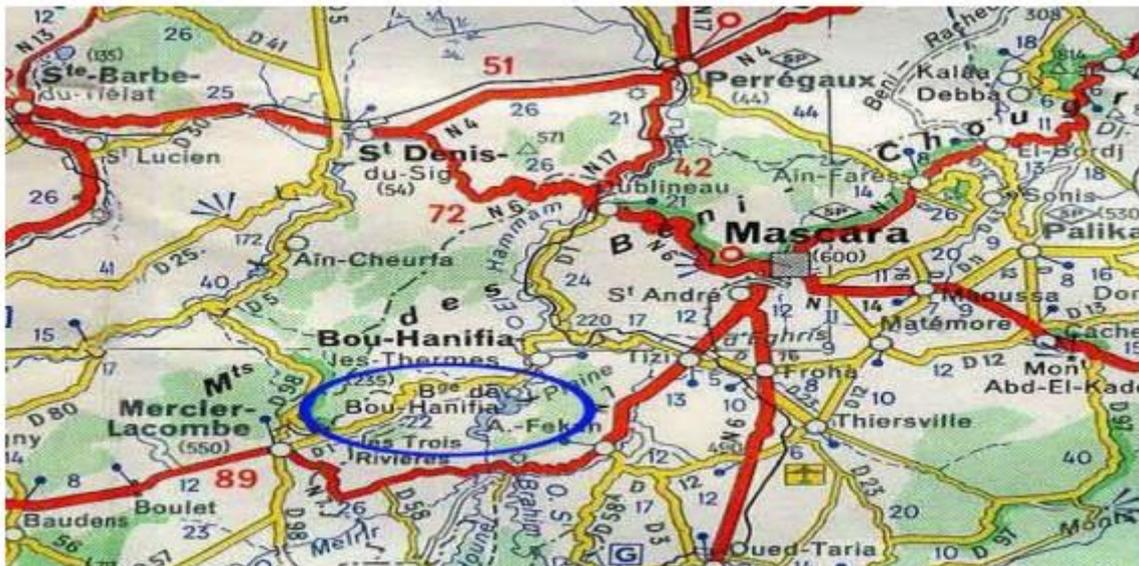


Figure III-9 : Localisation du barrage[48]

III.7 Les différentes techniques de dévasement :

III.7.1 Le soutirage :

La technique la moins coûteuse pour évacuer le sédiment reste le dragage "le soutirage". Il se fait par les pertuis de vidange du barrage. Cette technique qui peut contribuer effectivement à augmenter la durée de vie d'un réservoir nécessite la bonne connaissance des écoulements

divers dans la retenue, en plus de la dotation des ouvrages à annexer au barrage dès sa conception initiale. En effet, un système de batteries de vannes spécialement conçues pour l'entraînement des sédiments est nécessaire. Son application est conseillée à certains sites qui favorisent l'apparition de courants de densité.

Ces courants de densité sont très concentrés en sédiments, qui nécessitent l'ouverture des vannes de fond et de dégager le maximum de sédiments avec une perte d'eau minimum.[49]

III.7.2 Le dragage :

On appelle dragage l'opération qui consiste à extraire les matériaux situés sur le fond d'un plan d'eau. L'objectif peut être de réaliser des travaux de génie portuaire (creusement de bassins ou de chenaux), d'entretenir les chenaux fluviaux ou maritimes empruntés par les navires lorsqu'ils ont été comblés par les sédiments, d'effectuer des opérations de remblaiement pour reconstituer les plages ou gagner des terres sur la mer ou d'extraire des granulats marins pour répondre aux besoins du secteur de la construction.[50]

III.7.2.1 Les différents types de dragage :

On distingue trois types de dragage qui diffèrent selon la nature des sédiments à draguer et le type de travaux à réaliser : entretien, approfondissement, aménagements de nouvelles aires portuaires.

- **Les dragages d'entretien :** sont des opérations répétitives, visant à extraire les sédiments déposés qui gênent la navigation : ils sont quasi permanents dans les ports d'estuaires et périodiques dans les ports ouverts sur la mer.
- **Les dragages d'approfondissement :** sont entrepris lorsqu'il devient nécessaire d'adapter le seuil de navigation à la taille des navires. Ces travaux nécessitent de déplacer d'importants volumes de sédiments et demandent des moyens de dragages importants.
- **L'aménagement de nouvelles aires portuaires :** occasionne souvent le déplacement d'importants volumes de matériaux divers : roche, sable, terre, argile, graviers ou vases.[51]

III.7.2.2 Les techniques de dragage

Les techniques et outils de dragage existants sont nombreux et conditionnent la manière dont les fonds seront remaniés pour une opération donnée. Afin de définir les effets et impacts potentiellement associés aux prélèvements ou plus largement à la remobilisation des matériaux, il est nécessaire de comprendre les processus mécaniques en jeu.

Il existe plusieurs techniques, citons quelques exemples :

- Les dragages hydrauliques,
- Les dragages mécaniques,
- Les dragages hydrodynamiques (injection d'eau, à l'américaine, rotodévasage),[52]

III.7.2.2.1 Dragage a aspiration hydraulique :

Cette technique nécessite une drague suceuse refouleuse et une conduite flottante et terrestre pour l'évacuation du produit dragué (vase et eau) jusqu'à la zone de rejet. Les (figures III.10) et(III-11) montrent cette technique de dragage. Les matériaux sont désagrégés par jets d'eau sous pression ou par rotation d'un outil et mis en suspension pour être aspirés et évacués par des pompes vers les points de stockage.[49]



Figure III-10 : Pompe hydraulique.



Figure III-11 : Dragage hydraulique[53].

Les avantages de cette technique comprennent :

- Réduction des coûts de main-d'œuvre et de capital.

- Moins d'énergie et d'émissions.
- Réduction des matériaux et des coûts de maintenance.
- Sûr et efficace[53].

III.7.2.2.2 Dragage mécanique :

Il consiste au dragage par des moyens :

- Dragage à godets : C'est une technique qui nécessite un tapis roulant pour l'évacuation des produits dragués de la retenue jusqu'à la zone de rejet,
- Benne preneuse : C'est un engin qui sera mis sur un ponton flottant et nécessite des chalands pour évacuer le produit dragué,
- Matériel de terrassement : Il consiste au dragage avec un matériel tel que bulls, pelles hydrauliques, chargeurs hydrauliques et camions pour le transport de vases,

NB : Cette solution de dragage ne peut être réalisée que si la retenue est vide.

Toutefois la technique de dragage la plus appropriée nécessite au préalable la résolution des problèmes :

- L'extraction et le transport des vases de la retenue en utilisant un volume d'eau minimum ;
- La définition et localisation de la zone de rejet susceptible de recevoir les matériaux dragués de la retenue,
- Kilomètres du lieu de dragage. Le L'exploitation en continu de la retenue d'eau en même temps que le dévasement.[49]

III.7.2.2.3 Le dragage hydrodynamique (A l'Américaine) :

C'est une technique particulière qui consiste à provoquer la remise en suspension des sédiments au moyen d'une hélice ou d'air comprimé dans les cours d'eau ou chenaux à fort courant, comme l'illustre la (**figure III-12**) . Les sédiments sont repris dans le flux et se redéposent le plus souvent en aval. Dans certains cas, une conduite de refoulement peut assurer le transfert des sédiments à plusieurs dragage à l'américaine consiste à rejeter en continu dans la veine d'eau les matériaux dragués afin d'utiliser le courant naturel pour évacuer les produits. Elle se pratique pour des fleuves et rivières à fort débit.[49]



Figure III-12 :Dragage à l'américaine.

Le dragage hydraulique constitue la technique majoritaire tant dans les grands ports maritimes que dans les autres ports, où elle représentait en 2010 respectivement 71,3 % et 86,3 % des opérations. Le dragage mécanique arrive en deuxième position, le plus souvent en appui d'un dragage hydraulique sur des configurations opérationnelles spécifiques : on parle alors de dragage mixte. Pour les petits ports dont la configuration spatiale ne permet pas une intervention par dragage hydraulique, les dragages mécaniques sont majoritaires. La figure ci-dessous illustre.[53]

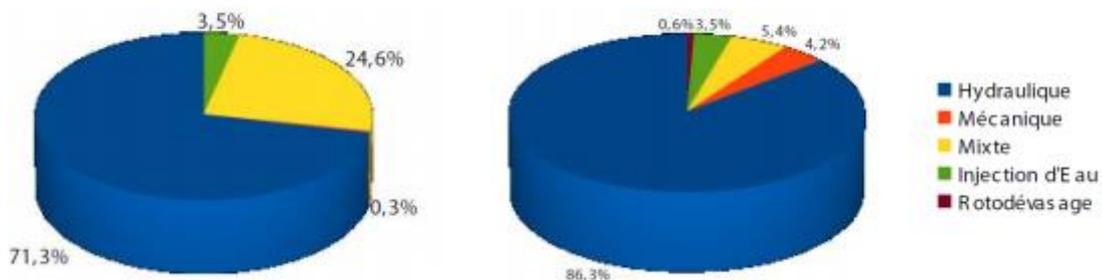


Figure III-13 :Répartition des techniques de dragage dans les Grands Ports Maritimes (gauche) et autres ports (droite) en % en 2010.[52]

III.8 Les conséquences d'envasement :

III.8.1 Sur la retenue d'un barrage :

L'envasement de la retenue d'un barrage affecte sa capacité de stockage et par suite réduit son volume utile disponible, ce qui se traduit par une diminution des niveaux des services rendus

par la retenue. Cette diminution du service rendu se manifeste soit par une diminution des volumes fournis, soit par une diminution de leur garantie ou parfois une conjugaison des deux. L'impact de la diminution annuelle du volume régularisé, faible au début de la mise en service d'un ouvrage, devient de plus en plus important au fur et à mesure de l'augmentation des besoins en eau à satisfaire à partir du barrage.[54]

III.8.2 Sur la sécurité du barrage :

L'envasement des retenues affecte la sécurité des barrages par :

- La mise en danger de la stabilité de l'ouvrage du fait de l'augmentation de la poussée hydrostatique causée par le remplacement progressif des volumes par les sédiments et l'accroissement de la densité des eaux stockées du fait de la suspension,
- L'opposition à l'ouverture de des vannes en cas de nécessité de diminution du plan d'eau dans la retenue dans certaines situations d'urgence,
- L'altération des caractéristiques de résistance des ouvrages due aux réactions chimiques au sein des dépôts et particulièrement celles liées au cycle du soufre et aux caractéristiques d'agressivité de l'eau,
- La gêne de l'auscultation de l'ouvrage. En effet, les sédiments déposés peuvent empêcher la mise en œuvre de moyens d'inspection subaquatiques et contrarient également les inspections visuelles après vidange en masquant le parement amont et en interdisant l'accès depuis la cuvette.[54]

III.8.3 Sur la qualité des eaux :

Il n'y a pas une relation directe entre la vase et l'eau, mais la présence d'une quantité importante de vase dans un barrage accélère l'eutrophisation des eaux du lac du barrage (**figure III-14**). [37]



Figure III-14 : Couleur verte de l'eau du barrage de SMBA.

III.9 Quelques moyens de lutte contre l'envasement en Algérie :

L'envasement des barrages est l'un des grands problèmes hydrauliques qui menace l'existence de l'infrastructure hydrotechnique en Algérie. Les moyens de lutte contre l'envasement des barrages comme suit :

III.9.1 Aménagement des bassins versants :

Le meilleur moyen technique de lutte contre l'envasement est situé au niveau de la source de production des particules, c'est-à-dire au niveau du bassin versant. Diverses méthodes sont appliquées comme : le reboisement, la réalisation des banquettes et l'aménagement des ravines par la correction torrentielle.[55]

III.9.2 Dévasements de barrage :

Pour des solutions préventives, des tentatives de reboisement et des corrections torrentielles ont été appliquées sur plusieurs bassins versants. En parallèle, des opérations de dévasement se déroulent sur plusieurs barrages. Deux modes de dévasement peuvent être opérés au niveau d'un barrage. Il s'agit d'un dévasement périodique et d'un dévasement occasionnel.

- Dévasement périodique : Soutirage des courants de densité

A l'arrivée des crues, l'ouverture des pertuis de vidange permet de soutirer les courants de densité qui se rapprochent du mur du barrage (**figure III-15** et **figure III-16**). Grâce à la forte concentration en particules fines, le courant de densité arrive au pied du barrage après avoir parcouru plusieurs kilomètres. La technique de soutirage des courants de densité a obtenu de très bons résultats au niveau des barrages d'IghilEmda et d'Erraguene. Avec un rendement de 55%, la durée de vie du barrage d'IghilEmda a triplé[56].

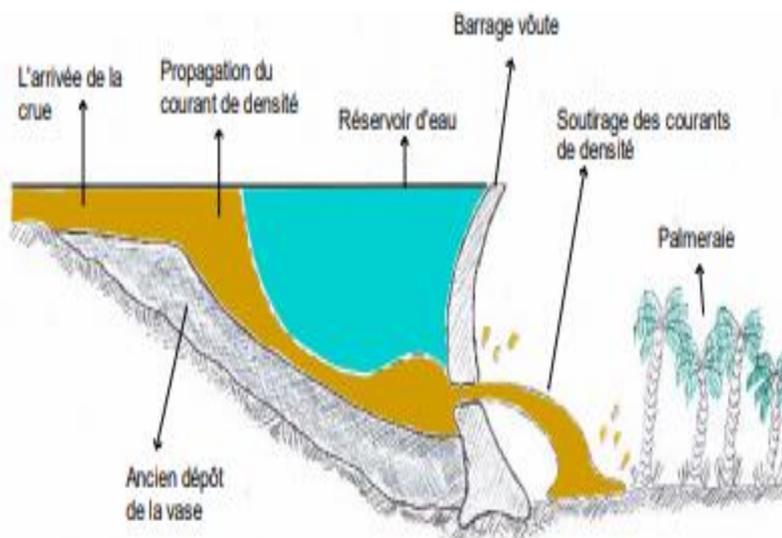


Figure III-15 :Schéma du soutirage d'un courant de densité par les pertuis de vidange d'un barrage (schéma Remini, 2016)

III.9.3 Surélévation des barrages :

Cette technique a été réalisée sur cinq barrages à savoir, Fergoug, Mefiouch, Bakhada, K'sob et Zardéas. La surélévation de barrage permet d'augmenter la capacité de la retenue donc compenser la valeur envasée. Exemple d'une surélévation (**figure III-17**).[57]



Figure III-16 : Surélévation du barrage de la Visance | ISL Ingénierie.[58]

III.10 Conclusion :

D'une manière explicite, Après la consultation d'une bibliographie riche, nous avons projeté dans ce chapitre un aperçu sur la généralité de sédiments de barrage notamment le phénomène d'envasement ainsi ses conséquences.

En effet l'Algérie figure dans la liste des pays dont les ouvrages hydrauliques sont menacés par ledit phénomène, vis-à-vis de la qualité d'eau ainsi que la sécurité de l'ouvrage.

Le phénomène présente un impact sur la durée de vie de l'ouvrage. Cette dernière est calculée en fonction du taux d'envasement. En Algérie la durée de vie de la plupart des barrages est estimée à une trentaine d'année à cause de ce phénomène. Leur exploitation est en dessous de leur capacité. Le dragage de la retenue reste un véritable enjeu non seulement pour prolonger la durée de vie d'un barrage mais aussi pour valoriser le sédiment en tant que matériau de construction.

Chapitre IV :
*Caractéristiques des matériaux
utilisés*

Chapitre IV : Caractéristiques des matériaux utilisés

IV.1 Introduction :

Nous présenterons dans ce chapitre, les caractéristiques des matériaux et les méthodes utilisées pour réaliser les différents essais expérimentaux de notre programme de recherche. Les essais ont été effectués au Laboratoire de pédagogie de notre Université Belhadj Bouchaib Ain temouchent. Les protocoles pour la conduite des essais sont conformes aux normes en vigueur en Algérie (Normes NA).

IV.2 Les matériaux utilisés dans le mortier :

IV.2.1 Le ciment :

Le ciment est un liant hydraulique qui se présente sous forme de poudre minérale fine. Son hydratation avec l'eau forme une pâte faisant prise et dont le durcissement est progressif. Grâce à ses caractéristiques, ce composant permet la transformation d'un mélange sans cohésion en un corps solide [59].

Le ciment utilisé pour la formulation des différentes compositions de mortier est un ciment **CEM II/A-P** de classe **42.5N** provenant de la cimenterie de Béni-saf (wilaya d'Ain temouchent).

Les principaux constituants du ciment portland sont :

- Le silicate bicalcique (C₂S) 2CaOSiO₂
- Le silicate tricalcique (C₃S) 3CaOSiO₂
- L'aluminate tricalcique (C₃A) 3CaOAl₂Fe₂O₃
- Le ferroaluminate tétracalcique (C₄AF) 4CaOAl₂O₃Fe₂O₃

IV.2.1.1 Les différents types de ciment :

Le ciment est constitué principalement de clinker (K) qui est un matériau hydraulique et de constituants secondaires. Il y a cinq types principaux de ciment, ils sont notés CEM et numérotés en chiffres romains :

- **CEM I** : Ciment Portland (CPA) : Ce ciment est composé du seul clinker. Parmi les ciments Portland, il faut signaler le ciment blanc qui permet de réaliser des produits et bétons esthétiques et décoratifs
- **CEM II** : Ciment Portland composé (CPJ) : Ce ciment est composé de clinker broyé avec des cendres volantes.
- **CEM III** : Ciment de haut-fourneau (CHF) : mélange de clinker broyé avec du laitier granulé.
- **CEM IV** : Ciment pouzzolanique (CPZ).
- **CEM V** : Ciment composé (CLC) : ce type de ciment est composé de trois constituants, le clinker, les cendres volantes et le laitier de haut fourneau. [2]

Tableau IV-1: Résistances mécaniques des ciments courants [1].

Désignation de la classe de résistance	Résistance à la compression en (MPa)			
	Résistance à 2jours	Résistance à 7jours	Résistance à 28 jours	
32.5 N	-	≥ 16	≥ 32.5	≤ 52.5
32.5 R	≥ 10	-		
42.5 N	≥ 10	-	≥ 42.5	≤ 62.5
42.5 R	≥ 20	-		
52.5 N	≥ 20	-	≥ 52.5	-
52.5 R	≥ 30	-		

IV.2.2 Eau de gâchage NF EN 1008 :

L'eau est un élément indispensable dans la composition du mortier dont elle influe de manière Considérable sur la maniabilité et l'ouvrabilité, assure l'hydratation du ciment et permet de lier les constituants entre eux. Selon la norme **NF EN 1008** l'eau doit être propre. Dans notre cas on a utilisé l'eau potable du réseau public d'Ain temouchent.

IV.2.3 L'adjuvant (Super- plastifiant) :

Produit incorporé au moment du malaxage du béton ou mortier à une dose inférieure ou égale à 5% en masse de la teneur en ciment du béton ou mortier, pour modifier les propriétés du mélange. Il existe plusieurs types d'adjuvants qui sont régis par la norme NF EN 934-2, mais ceux qui conditionnent l'ouvrabilité du mortier sont les super-plastifiants.

Le principal effet des super-plastifiants est une meilleure distribution des grains de ciment et en conséquence le mélange d'une plus grande quantité de ciment dans un même volume d'eau donné [60].

L'adjuvant utilisé est un super plastifiant haut réducteur d'eau, se présente sous forme liquide, fabriqué par la société BASF Construction Chemicals Algeria SARL.

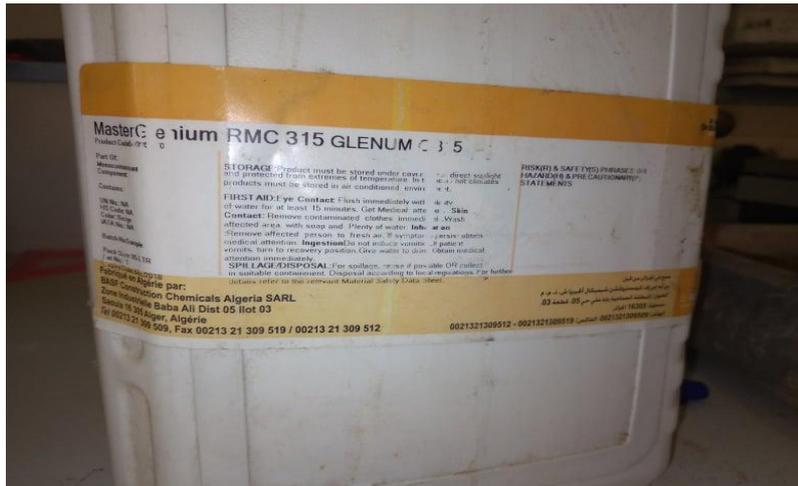


Figure IV-1:L'adjuvant utilisé.

IV.2.4 Addition :

Nous avons utilisé dans notre étude un type d'addition : la vase calcinée du barrage de Bouhanifia de wilaya de Mascara.

IV.2.4.1 Préparation des sédiments (vase) :

Toute la quantité utilisée est prélevée du barrage du Bouhanifia de Mascara. Le processus de préparation et de transformation par traitement thermique de la vase est détaillé ci-dessous :

- **Séchage** : L'échantillon de vase est d'abord séché naturellement à l'air libre, afin d'éliminer l'humidité et faciliter son broyage ainsi que son tamisage.
- **Concassage** : La vase séchée est concassée pour faciliter son broyage.
- **Broyage** : La vase concassée est totalement broyée.
- **Calcination** : la vase broyée subit un traitement thermique par cuisson à 850°C dans un four de capacité 1200°C.[61]



Figure IV-2: Le four à moufle.

➤ **Tamissage** : La vase calcinée est tamisée par voie sèche à travers un tamis de 80 μm . La vitesse de cuisson doit être réglée à 5°C/min afin d'éviter les chocs thermiques, ensuite, la température de cuisson qui est de 850°C est maintenue constante pendant 05 heures pour obtenir à la fin le produit final qui est la vase calcinée. Celle-ci doit être conservée à l'abri de l'air et de l'humidité dans des sacs hermétiques.



Figure IV-3: Vase avant calcination.

Figure IV-4: Vase après calcination

IV.2.5 Les Granulats (NF P18 – 540) :

Les granulats sont l'ensemble de grains inertes compris entre 0 mm et 40 mm (sable, graviers et cailloux) dont l'origine peut être naturelle ou artificielle, destinés à la confection du mortier, béton, couches de fondation, de bases de roulement des chaussées, des assises de voies ferrées.

Dans notre projet on a utilisé : le sable de carrière de l'Entreprise Nationale des Granulats unité d'El Maleh.

IV.2.6 Les fibres végétales :

Leur rôle principal est plutôt de contrôler la fissuration et de modifier le comportement du matériau une fois la matrice fissurée, en comblant ces fissures et en fournissant ainsi une certaine ductilité à la post-fissuration, l'association des fibres végétales avec la matrice cimentaire soulève de nombreux problèmes à l'état frais et à l'état durci, des traitements différents sont appliqués à la fibre végétale avec de diverses méthodes dans le but d'améliorer l'adhérence fibre-ciment [62].

La fibre végétale utilisée dans notre recherche est le grignon d'olive.

Nous avons utilisé le grignon d'olive brute dans notre recherche, après l'avoir lavé, séché à l'air libre afin d'éliminer la matière grasse superficielle. Nous l'avons concassé puis tamisé à l'échelle du sable de carrière, c'est-à-dire passant par le tamis 4mm.



Figure IV-5: Grignon d'olive.

IV.3 Caractéristiques des matériaux utilisées :

IV.3.1 Sable :

a) Définition :

Le sable est une matière solide granulaire constituée de petites particules provenant de la désagrégation de matériaux d'origine minérale (essentiellement des roches) ou organique (coquilles, squelettes de coraux, etc.) ,le sable est l'élément qui assure au béton et au mortier, selon ses qualités, une influence prépondérante, il participe à la résistance, il donne la cohésion du mélange. Il provient des roches, ils sont chimiquement inertes.

b) Classification des sables :

- Selon leurs grosseurs :

Tableau IV-2: Classification des sables selon leurs grosseurs.

Qualité de sable	Grosueur
Sable fin	0.08 à 0.315 mm
Sable moyen	0.315 à 2.00 mm
Sable gros	2.00 à 5.00 mm

➤ Selon leur provenance :

- Sable de rivière : est constitué de gros grains grossiers. Idéal pour la fabrication de béton, chape, cimenterie ou d'un mortier très durable.
- Sable de dune :
- Sable de carrière ou de concassage.

➤ Selon le module de finesse :

Tableau IV-3 : Classification des sables selon le module de finesse.

Sable	Module de finesse (MF)	Refus cumul sur les tamis 0.633(%)
Gros	3.4 à 2.4	50 à 75
Moyen	2.5 à 1.9	35 à 50
Fin	2 à 1.5	20 à 35

IV.3.1.1 Caractéristiques physiques de sable utilisés :

➤ Masse volumique (absolue) NF P 18-555 :

La masse volumique absolue P_s est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat, sans tenir compte des vides pouvant exister dans ou entre des grains, c'est-à-dire le rapport de la masse du matériau sur le volume absolu.

• Matériel nécessaire

- ✓ Des éprouvettes graduées en plastique.
- ✓ Une tige agitatrice.
- ✓ Un entonnoir pour le remplissage.
- ✓ Une balance de portée 5 kg, précision 1g
- ✓ Des bacs en plastique pour effectuer les essais.

• Mode opératoire : Méthode de l'éprouvette graduée

- ✓ Placer l'éprouvette dans le bac en plastique.
- ✓ Verser de l'eau dans l'éprouvette (presque mi-hauteur) et noter V1.
- ✓ Préparer un échantillon de sable de masse M (environ 300 g).
- ✓ Verser l'échantillon dans l'éprouvette à l'aide d'un entonnoir et provoquer le départ des vides (air) en remuant le mélange avec la tige agitateur.
- ✓ Noter le nouveau volume d'eau dans l'éprouvette V2.
- ✓ Vider le sable dans un bac en plastique et jeter son contenu.



Figure IV-6:méthode d'éprouvette graduée.

La masse volumique absolue est donnée par : $\rho_{\text{abs}} = \frac{M}{V_2 - V_1} [\text{g}/\text{cm}^3]$.

➤ **Masse volumique Apparente : [NF P 18 – 554] :**

La masse volumique apparente d'un matériau est la masse volumique d'un mètre cube de matériau pris en tas, comprenant à la fois des vides perméables et imperméables de la particule ainsi que les vides entre particules.

1) Masse volumique à l'état lâche :

C'est la masse par unité de volume y compris des vides existants entre les grains.

- **Matériel nécessaire :**
 - ✓ Un récipient cubique ou cylindrique de volume connu
 - ✓ Une règle à araser métallique.
 - ✓ Une main écope pour le remplissage.
 - ✓ Une balance de portée 2,5 kg, précision 1 g.
 - ✓ Des bacs en plastique pour effectuer les essais.
- **Mode opératoire**
 - ✓ Déterminer le volume du récipient = V.
 - ✓ Noter la masse du récipient propre et vide = M1.
 - ✓ Placer le récipient dans le bac en plastique.
 - ✓ Verser les granulats secs, par couches successives et sans tassement : utiliser les mains comme entonnoir naturel.

- ✓ Araser à l'aide de la règle métallique par un mouvement horizontal de va et vient.
- ✓ Noter la masse du récipient rempli = M2.

La masse volumique apparente est donnée par : $\rho_{app} = \frac{M2-M1}{V} \text{ [g/cm}^3\text{]}$.

Avec :

M1 : masse du récipient vide.

M2 : masse du récipient plein.

V : volume du récipient.

2) Masse volumique à l'état compact :

C'est la masse du matériau par unité de volume après compactage compris les vides restant entre les grains, elle est souvent supérieure à la masse volumique à l'état lâche.

• Mode opératoire :

Même méthode que celle de l'état lâche, après remplissage du récipient et le compactage par tassement à 30 secousses manuelle, jusqu'au remplissage du récipient après on nivelle ce dernier et on le pèse, soit M2 la masse de l'ensemble (sable + récipient).

La masse volumique à l'état compacte est donnée par la formule suivant :

$$\rho_{app} = \frac{M2-M1}{V} \text{ g/cm}^3\text{]}.$$

➤ Porosité : [NF P 18 – 554]

La porosité est l'ensemble des vides (pores) d'un matériau solide, ces vides sont remplis par des fluides (liquides ou gaz), elle est par définition le complément à l'unité de la compacité. Elle peut être déterminée par la formule suivante :

$$P (\%) = \left[1 - \frac{\rho_{app}}{\rho_{abs}} \right] \times 100$$

➤ Compacité :

La compacité d'un matériau est le volume des vides présenté par une quantité donnée de granulats.

La compacité donnée par la formule : $C = \frac{\rho_{app}}{\rho_{abs}} = 100 - P$

➤ Indice des vides :

L'indice des vides noté e est le rapport exprimé en pourcentage entre le volume des vides et le volume solide. L'indice des vides exprime la compacité de l'arrangement granulaire d'un sol :

Un faible indice des vides correspond à une faible proportion de vide dans un sol, donc à un arrangement granulaire compact.

$$e = \frac{V_{vide}}{V_{solide}} = \frac{P}{100 - P}$$

➤ **Equivalent de sable : NF 18-598**

L'équivalent du sable permet d'apprécier la qualité et la quantité des fines. Cet essai a pour but de mesurer la propreté d'un sable. L'essai est effectué sur la fraction 0/5mm du matériau à étudier.

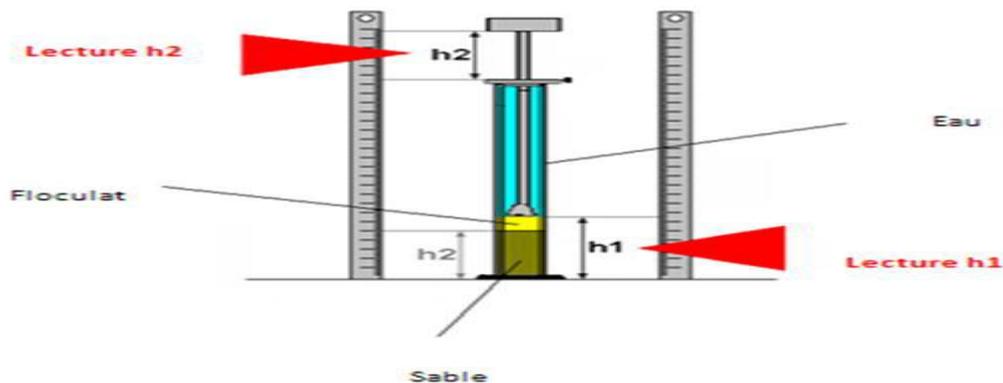


Figure IV-7: Essais d'équivalent de sable.

• **Mode opératoire :**

- ✓ Tamiser une quantité de sable (masse supérieure à 500 g).
- ✓ Prendre une quantité de 120 g.
- ✓ Remplir l'éprouvette de solution lavante jusqu'au premier repère (10cm).
- ✓ Verser la prise d'essai (120g) dans L'éprouvette avec un entonnoir et taper fortement à plusieurs reprises avec la paume de La main afin de chasser toutes les bulles d'air et favoriser le mouillage de l'échantillon.
- ✓ Laisser reposer pendant 10 minutes.
- ✓ Fermer l'éprouvette avec un bouchon en caoutchouc et lui imprimer 90 cycles de 20cm de cours horizontales en 30 secondes à la main à l'aide d'un agitateur mécanique.
- ✓ Ensuite en lève le bouchon, le rincer avec la solution lavante au-dessus de l'éprouvette, Rincer ensuite les parois de celle-ci.
- ✓ Faire descendre le tube laveur dans l'éprouvette, le rouler entre le pouce et l'index en faisant tourner lentement le tube et l'éprouvette et en imprimant en même temps au tube un léger piquage. Cette opération a pour but de laver le sable et de faire monter les éléments fins et argileux. Effectuer cette opération jusqu'à ce que la solution la vante atteigne le 2ème repère.
- ✓ Laisser ensuite reposer pendant 20 minutes.3

• **Equivalent de sable visuel : (E.S.V) :**

Après 20 minutes de dépôt de sable, on lit la hauteur h1 du niveau supérieur du floculant jusqu'au le fond de l'éprouvette à l'aide d'une réglette.

Ensuite on mesure également avec le régle la hauteur h_2 comprise entre le niveau supérieur de la partie sédimentaire et le fond de l'éprouvette.

$$E.S.V = (h_2 / h_1) * 100 (\%)$$

Avec :

h_1 : la hauteur du sable propre + éléments fins (floculat).

h_2 : la hauteur du sable.

- **Equivalent de sable piston : (E.S.P)**

Dans le cas des sables, le degré de propreté est fourni par un essai appelé "équivalent de sable piston (Esp)" qui consiste à séparer le sable des particules très fines qui remontent par floculation à la partie supérieure de l'éprouvette où l'on a effectué le lavage. L'essai est fait uniquement sur la fraction de sable 0/2 mm.

Introduire le piston dans l'éprouvette et laisser descendre doucement jusqu'à ce qu'il repose sur le sédiment, cet instant bloquer le manchon du piston, et sortir celui-ci de l'éprouvette.

Introduire la règle dans l'encoche du piston jusqu'à ce que de zéro vienne buter contre la face intérieure de la tête du piston, soit h_2' la hauteur lue et correspondant à la hauteur de la partie sédimentée.

$$E.S.P = (h_2' / h_1) * 100(\%)$$

Avec :

h_1 : la hauteur du sable + floculat.

h_2' : la hauteur du sable ($h_2' < h_1$).

Les valeurs de l'équivalent de sable indiquent la nature du sable en fonction du moyen de mesure en permettant d'en apprécier la qualité pour composer un béton.

Tableau IV-4: Classification de la nature de sable en fonction d'E.S.

Equivalent de sable visuel	Equivalent de sable piston	Nature et qualité du sable
E.S < 65	E.S < 60	Sable argileux : Risque de retrait ou de gonflement à rejeter pour des bétons de qualité.
65 < E.S < 75	65 < E.S < 70	Sable légèrement argileux de propriété admissible pour des bétons de qualité courante quand on ne craint pas particulièrement le retrait.
75 ≤ E.S ≤ 85	70 ≤ E.S ≤ 80	Sable propre à faible pourcentage de farine argileux convient parfaitement pour des bétons de haute qualité.
ES ≥ 85	ES > 80	Sable très propre : L'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.

➤ **Analyse granulométrique : [NF P 18 – 560]**

- **But de l'essai :**

L'essai d'analyse granulométrique permet de déterminer la grandeur des grains qui constituent un granulat et la répartition dimensionnelle des grains de chaque grandeur.

- **Principes de l'essai :**

Le principe de l'essai est de fractionner le matériau en différentes coupure au moyen de tamis. Les dimensions de mailles et le nombre des tamis sont choisis en fonction de la nature et de la grosseur du granulat. Les masses des différents refus sont rapportées à la masse initiale sèche du matériau. Les pourcentages ainsi obtenus sont exploités soit sous forme numérique, soit sous forme graphique (courbe d'analyse granulométrique).

- **Mode opératoire :**

-Commencer par dresser la colonne des tamis. Les ouvertures des tamis doivent être croissantes de bas en haut. Les tamis à prendre en compte sont n'oubliez pas le fond et le couvercle des tamis. Les tamis à prendre en compte sont : 5 – 3,15 - 2,5 – 2 – 1,25 -1 -0,63 – 0,5 - 0,25- 0,16 – 0,125 – 0,063.

- ✓ Peser les tamis vide.
- ✓ Prendre un kilogramme de sol.
- ✓ Verser le sol sur le tamis supérieur puis fermer la colonne par le couvercle.
- ✓ Placer la colonne des tamis sur le vibreur.
- ✓ Procéder à l'agitation pendant 5 minutes.
- ✓ Peser les tamis avec les refus partiels en commençant par le tamis supérieur (la masse perdue ne doit pas dépasser 1% de la masse de la prise).



Figure IV-8 :Analyse granulométrique.

➤ **Module de Finesse (EN 12620) :**

C'est un facteur très important, qui nous permet de juger la grosseur du matériau, il est au 1/100 de la somme des refus exprimés en pourcentage sur les différents tamis de la série suivante : 0.16 - 0.315 - 0.63 - 1.25 -2.5 et 5 (mm) et calculé par la relation :

$$Mf = \sum \frac{Rc}{100}$$

Les normes soviétiques spécifient le Mf des sables comme suit :

Sable gros : Mf > 2.5

Sable moyen : $2 < M_f < 2.5$

Sable fin : $1.5 < M_f < 2$

Sable très fin : $1 < M_f < 1.5$

IV.4 ESSAIS SUR MORTIERS :

IV.4.1 Formulation des mortiers :

Différents mortiers, préparés à base de ciment Portland seul ou mélangés à un ajout minéral (10% de la vase calciné) et le sable mélangé avec les grignons d'olives avec différents pourcentages.

Afin d'étudier en parallèle l'effet des différents pourcentages des ajouts sur la résistance mécanique à la compression et à la traction par flexion du mortier, on a choisi pour la vase un pourcentage de 10% pour les additionner au ciment CPA. Pour les mêmes raisons les différents pourcentages de grignon d'olive ajoutés au sable sont (25% et 50%).

Le **tableau IV.5** donne les différents dosages des matériaux entrant dans la confection des différents mélanges de mortiers :

Tableau IV-5: Compositions des mortiers.

Type de mortier	Sable (g)	Ciment (g)	Grignon d'olive (GO) (g)	La vase (g)	E/C
GO50%+10%vase	675	405	675	45	0,72
GO25%+10%vase	1012,5	405	337,5	45	0,72
GO 50%	675	450	675	0	0,72
GO 25%	1012,5	450	337,5	0	0,72
Témoin	1350	450	0	0	0,5

Concernant le dosage de l'adjuvant on a utilisé 9g pour le mortier témoin et 10g pour les autres types.

Le mortier normalisé décrit précédemment est réalisé à l'aide d'un malaxeur, dans une cuve de cinq litres répandant aux caractéristiques de la norme NFP 15-411. Cette cuve nous permet de réaliser la quantité de mortier nécessaire à l'élaboration des séries d'éprouvettes de 4x4x16 destinées pour les essais de compressions, de traction par flexion, de porosité...etc. La préparation de mortier se fait comme suit :

1. On introduit l'eau et le super plastifiant en premier dans le malaxeur et on verse ensuite le ciment avec la vase.
2. Aussitôt après, on met le malaxeur en marche à vitesse lente.

3. Après 30 s de malaxage, on introduit régulièrement le sable mélangé avec les grignons d'olives pendant les 30 s suivantes.
4. On met alors le malaxeur à sa vitesse rapide et on continue le malaxage pendant 30s supplémentaires.
5. On arrête le malaxeur pendant 1 min et 30 s. Durant les 15 premières secondes, on enlève au moyen d'une raclette de caoutchouc le mélange adhérent aux parois et au fond du récipient en le repoussant vers le milieu de celui-ci.
6. On reprend ensuite le malaxage à grande vitesse pendant 60 s.
7. On arrête enfin le malaxeur.

IV.4.2 Essais Mécaniques :

IV.4.2.1 Confection des éprouvettes :

Les moules 4×4×16 sont remplis avec les mortiers préparés. Le serrage du mortier dans ce moule est obtenu en introduisant le mortier en deux couches et compactés mécaniquement à l'aide d'une table à choc en appliquant au moules 60 chocs à chaque fois. Les moules ont été couverts de film plastique et stockés dans l'environnement du laboratoire. Après 24 heures, les échantillons ont été démoulés et conservés sous l'eau saturée de chaux, de sorte que l'eau de cure ne dissout pas la chaux contenue dans le mortier durci jusqu'à la période de l'essai dans l'eau à une température de $20 \pm 1^\circ\text{C}$.



Figure IV-9: Remplissage des moules 4×4×16.

IV.4.2.2 Essai compression : [NF EN 206-1]

➤ **Le but :**

Déterminer la résistance à la compression des mortiers.

➤ **Mode opératoire :**

Chaque demi-prisme est centré entre les deux plateaux d'une presse, on applique un chargement à une vitesse constante durant toute l'application de la charge jusqu'à la rupture. Après, on relève la force de rupture pour chaque demi éprouvette. Les résistances mécaniques des éprouvettes ont été déterminées à l'âge de 7, 28 et 60 jours.



Figure IV-10: Essai de Compression.

IV.4.2.3 Essais de traction par flexion : NF P18-408 :

➤ **But de l'essai :**

Cet essai a aussi pour but de déterminer la résistance en traction du mortier. C'est un essai qui consiste à écraser un prisme (4x4x16cm³) de mortier placé horizontalement entre deux plateaux d'une presse.

➤ **Mode opératoire :**

- ✓ Placer le prisme dans le dispositif de flexion avec une face latérale de moulage.
- ✓ Appliquer une charge verticalement par le rouleau de chargement sur la face latérale opposé jusqu'à rupture.



Figure IV-11 : La presse utilisée pour l'essai de la résistance à la traction par flexion

IV.4.3 Essais physiques :

IV.4.3.1 : Essai de porosité :

La technique utilisée est une variante de la porosité à l'eau par pesée hydrostatique recommandée par l'AFREM.[63].L'essai a été réalisé sur des échantillons qui sont mis dans une étuve à une température de 105°C jusqu'à atteindre une masse constante (M_{sec}).Lorsque les échantillons sont entièrement secs, ils sont immergés dans l'eau. La masse (M_{eau}) est la masse des spécimens immergés dans l'eau et suspendu avec un fil, alors que (M_{air}) est la masse du spécimen dans l'air immédiatement retirée de l'eau et toujours maintenue mouillé.

La porosité est définie en utilisant l'équation suivante

$$\mathcal{E} = \frac{M_{air} - M_{sec}}{M_{air} - M_{eau}} \times 100$$

.



Figure IV-12 : Essai de porosité

IV.4.3.2 Essai d'absorption d'eau :

L'essai a été réalisé sur des échantillons qui sont mis dans une étuve à une température de 105°C, quand on les sort on les pèse. Après, les peindre avec une couche de résine et les laisser sécher puis les peser, nous répétons cette étape une deuxième fois. Ensuite, mettre les éprouvettes dans l'eau et les peser après 15min, 30min et 1h



Figure IV-13: Essai d'absorption d'eau par capillarité.

IV.4.3.3 Essai de conductivité thermique :

La conductivité représente la quantité de chaleur transférée par unité de surface et par unité de temps. Cet essai permet de déterminer plusieurs paramètres pour un échantillon qui sont : la conductivité thermique, la diffusivité, la résistivité et la chaleur spécifique à une certaine température.

La conductivité thermique caractérisant le comportement des matériaux lors du transfert thermique par conduction.

- **Mode opératoire :**

- ✓ Perçage des différentes éprouvettes utilisées dans l'essai.
- ✓ Mettre l'aiguille de l'appareil dans le trou et on prend les résultats quand la température est constante.



Figure IV-14: Essai de conductivité thermique.

IV.5 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons identifié tous les matériaux entrant dans la composition de mortier et les essais qu'on a fait. C'est une étape nécessaire avant d'entamer l'étude expérimentale de ces mortiers. La vase issue du dragage de Bouhanifia a nécessité une calcination afin de la rendre plus active.

Chapitre V :

Résultats & Discussions

Chapitre V : Résultats & discussions

V.1 Introduction

Ce dernier chapitre présente, les résultats des travaux expérimentaux qui ont été réalisés dans le cadre de notre recherche, ainsi que leurs interprétations. Il s'agit des essais sur les différents types de mortiers à base de grignon d'olive et du vase.

Dans cette étude, les paramètres mécaniques et physiques ont été mesurés sur une série d'éprouvettes de (4×4×16) cm³.

Les résistances mécaniques des mortiers ont été déterminées à l'âge de 7, 28 et 60 jours.

V.2 CARACTERISATION DES MATERIAUX :

V.2.1 Ciment :

Le ciment utilisé dans notre recherche est le ciment Portland de la classe (CEM II/A-P42, 5N) composé à la pouzzolane naturelle de la cimenterie de BENI – SAF.

V.2.1.1 Caractéristiques chimiques du ciment :

Tableau V-1: Composition chimique du ciment.

Constituants	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO ₃	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	CaOL
Pourcentage	56.59	25.10	5.89	3.21	1.07	0.50	0.60	2.42	1.10

V.2.2 Eau :

L'eau de gâchage utilisé est celle du laboratoire de notre université BELHADJ BOUCHAIB.

V.2.3 Adjuvant :

Le Master G GLenium RMC315 de la société BASF Construction Chemicals Algeria SARL à zone industrielle Baba Ali.

V.2.4 Addition :

Nous avons utilisé comme addition la vase de barrage de Bouhanifia de la wilaya de mascara.

V.2.4.1 Analyse chimique du vase calcinée :

Tableau V-2: La composition chimique de la vase calciné.

Élément	Teneur en %
SiO ₂	40.79
Al ₂ O ₃	12.65
Fe ₂ O ₃	4.17
CaO	16.69
MgO	2.80
SO ₃	0.06
K ₂ O	1.90
Na ₂ O	0

V.2.4.2 Analyse granulométrique du vase calciné :**Tableau V-3: Analyse granulométrique de la vase.**

Dimensions du tamis (mm)	Masse de refus cumulés (g)	Refus cumulés (%)	Tamisât cumulés (%)
5	2.09	01	99
2	5.72	02	98
1	9.03	03	97
0.63	10.61	04	96
0.4	19.84	07	96
0.16	34.65	12	93
0.08	11.88	04	88

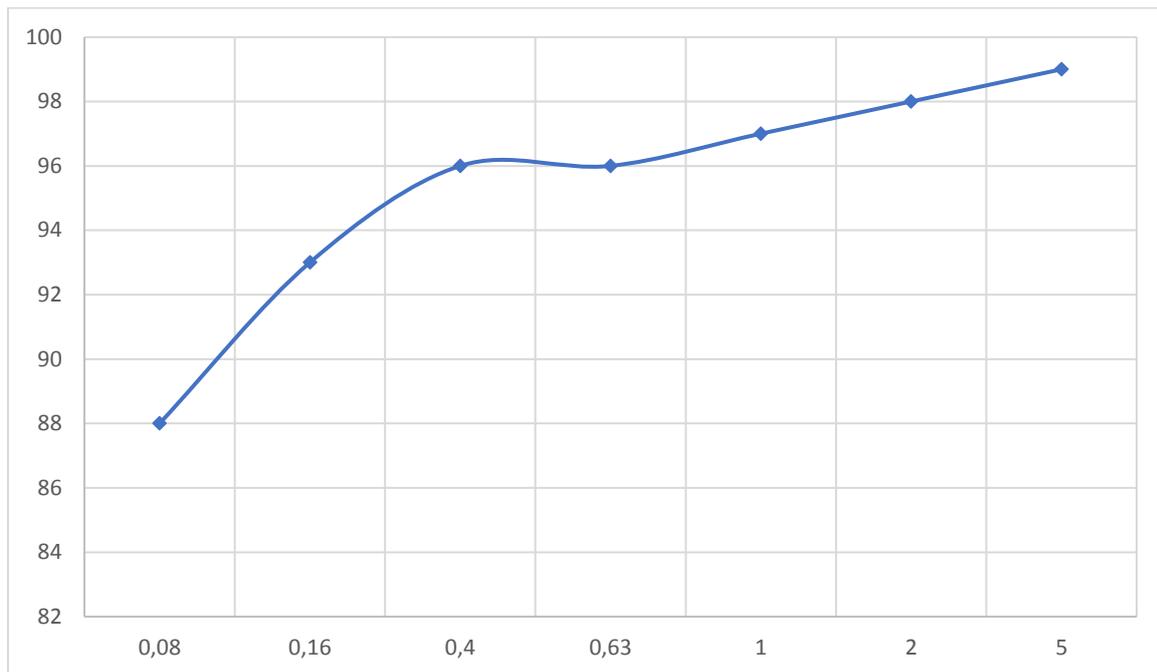


Figure V-1: Courbe granulométrique du vase.

V.2.4.3 Limite d'Atterberg :

Cet essai a pour but de déterminer la limite de liquidité et de plasticité.

V.2.4.3.1 La limite de liquidité :

Tableau V-4: La limite de liquidité de la vase.

	1 ^e essai	2 ^e essai	3 ^e essai
Nombre de coups	20	25	30
N° de la tare	161	138	12
Masse totale humide (g)	36,36	38,133	37,065
Masse totale sec (g)	34,902	36,442	35,997
Masse de la tare (g)	30,317	32,591	33,507
Masse de l'eau	2,04	1,69	1,07
Masse du sol sec (g)	4,58	3,85	2,49
Teneur en eau (%)	44,39	43,88	42,89

La limite de liquidité est obtenue par la moyenne de trois (3) essais :

WL= 44%.

V.2.4.3.2 La limite de plasticité :

Tableau V-5 : La limite de plasticité de la vase.

	1 ^e essai	2 ^e essai
N° de la tare	33	24
Masse totale humide (g)	34,340	32,955
Masse totale sec (g)	34,136	32,752
Masse de la tare (g)	33,257	31,873
Masse de l'eau	0,20	0,20
Masse du sol sec (g)	0,90	0,88
Teneur en eau (%)	22,69	23,09

La limite de plasticité est obtenue par la moyenne de ces trois essais :

W_p =21%

V.2.5 Les Granulats et les fibres végétales :

Dans notre recherche nous avons utilisé comme granulats seulement le sable de carrière qui provient de la carrière d'El MALEH.

Et les grignons d'olive comme fibres végétales.

V.2.5.1 Caractéristiques physiques :

- **Masse volumique Absolue :**

Tableau V-6 : Masse volumique absolue du sable et grignon d'olive.

Matériaux	M (g)	V1 (cm ³)	V2 (cm ³)	ρ_{abs} (g/cm ³)
Sable de Carrière	300	600	720	2,5
Grignon d'olive	100	250	330	1,25

➤ **Masse volumique Apparente :**

Tableau V-7 : Masse volumique apparente du sable et grignon d'olive.

Matériaux	M1 (g)	M2 (g)	V (cm ³)	ρ_{app} (g/cm ³)
Sable de Carrière	1396,4	2906,34	1000	1,51
Grignon d'olive	1396,4	680,23	1000	0,71

Une grande différence de masse volumique apparente et absolue entre les grignons d'olive et le sable de carrière. Cette différence entre les deux matériaux est due à la forme des grains.

➤ **Porosité :**

Tableau V-8 : Porosité du sable et grignon d'olive.

Matériaux	ρ_{app} (g/cm ³)	ρ_{abs} (g/cm ³)	P (%)
Sable de Carrière	1,51	2,5	39,6
Grignon d'olive	0,71	1,25	43,2

La porosité du grignon d'olive supérieure à celle du sable de carrière, nous expliquons la différence de ces résultats qu'il y a beaucoup de vide entre les grains du grignon d'olive (Présence d'huile).

➤ **Compacité :**

Tableau V-9 : Compacité du sable et grignon d'olive.

Matériaux	ρ_{app} (g/cm ³)	ρ_{abs} (g/cm ³)	C (%)
Sable de Carrière	1,51	2,5	60,4
Grignon d'olive	0,71	1,25	56,8

➤ **Indice des vides :**

Tableau V-10 : Indice des vides du sable.

Matériaux	P (%)	e (%)
Sable de Carrière	39,6	0,66

➤ **Equivalent de sable :**

Tableau V-11 : Equivalent de sable.

Matériaux	M (g)	V (cm ³)	h1 (cm)	h2 (cm)	E.S.V (%)
Sable de Carrière	100	150	8,5	6	70,59

-E.S.V de ce sable est compris entre 65% et 75%, donc c'est un sable légèrement argileux dont les propriétés sont admissibles pour des bétons de qualité courante où particulièrement on ne craint pas le retrait.

➤ **Analyse Granulométrique :**

Le **tableau V.12** montre le résultat d'analyse granulométrique du sable de carrière :

Tableau V-12 : Analyse granulométrique du sable.

Ouvertures des tamis (mm)	Masse des refus partiels r_i (g)	Masse des refus cumulés R_i (g)	Pourcentages des refus cumulés $R(\%)$	Pourcentages des tamisât cumulés $T(\%)$
5	28,7	28,7	2,87	97,13
3,15	94,7	123,4	12,34	87,66
2,5	62,3	185,7	18,57	81,43
2	83,6	269,3	26,94	73,06
1,25	129,3	398,6	39,87	60,13
1	73,1	471,7	47,18	52,82
0,63	83,2	554,9	55,51	44,4
0,5	41,6	596,5	59,67	40,33
0,25	153	749,5	74,97	25,03
0,16	83,5	833	83,3	16,7
0,125	56,7	889,7	89	11
0,063	74,6	964,3	96,46	3,54
Fond	35,3	999,6	100	0

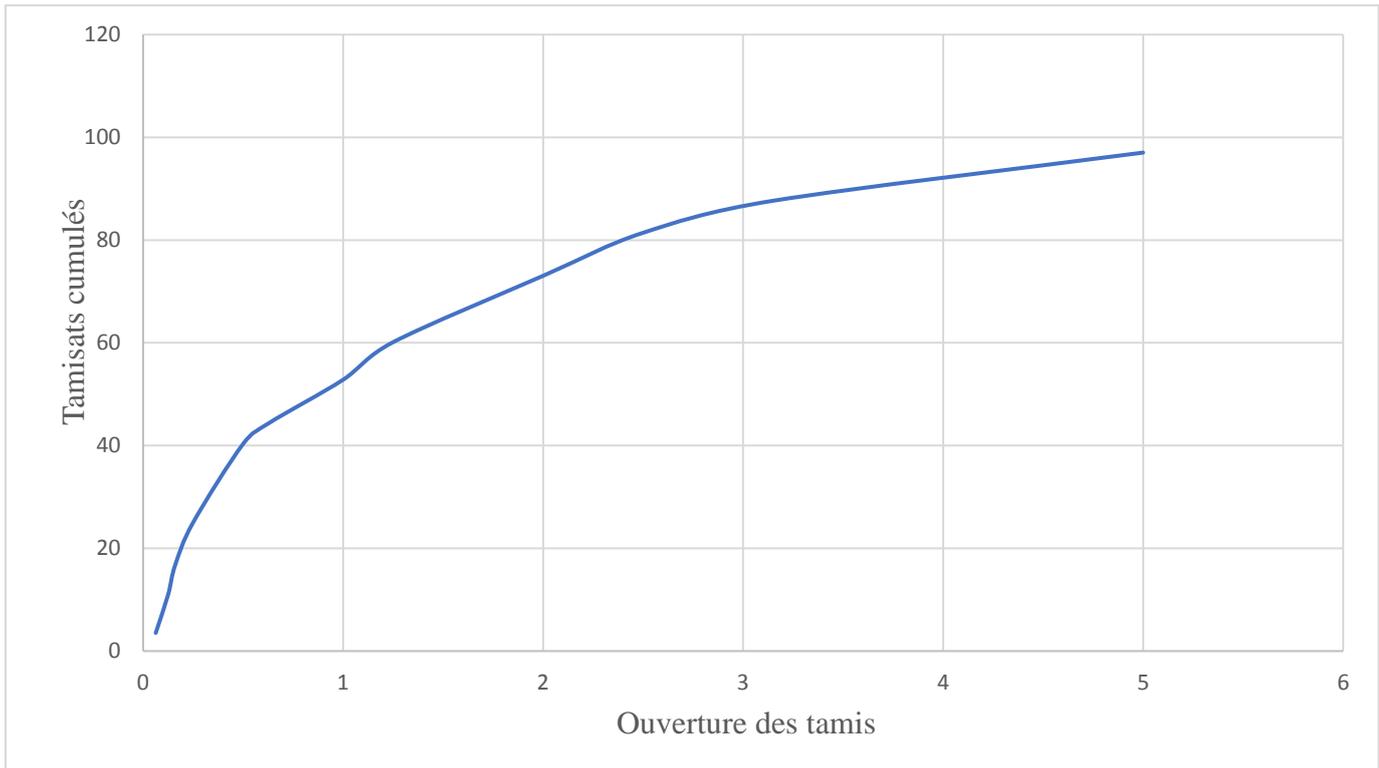


Figure V-2: Courbe granulométrique du sable.

Ce sable utilisé est classé comme un sable propre bien gradué **Sb**, il ne contient pas beaucoup des particules fines.

Le **tableau V.13** montre le résultat d'analyse granulométrique du grignon d'olive :

Tableau V-13: Analyse granulométrique du grignon d'olive.

Ouvertures des tamis (mm)	Masse des refus partiels r_i (g)	Masse des refus cumulés R_i (g)	Pourcentages des refus cumulés R (%)	Pourcentages des tamisât cumulés T (%)
3,15	2,3	2,3	0,23	99,77
2,5	4,9	7,2	0,72	99,28
2	55,6	62,8	6,28	93,72
1	865,3	928,1	92,93	7,07
0,5	55,1	983,2	98,44	1,56
Fond	15,5	998,7	100	0

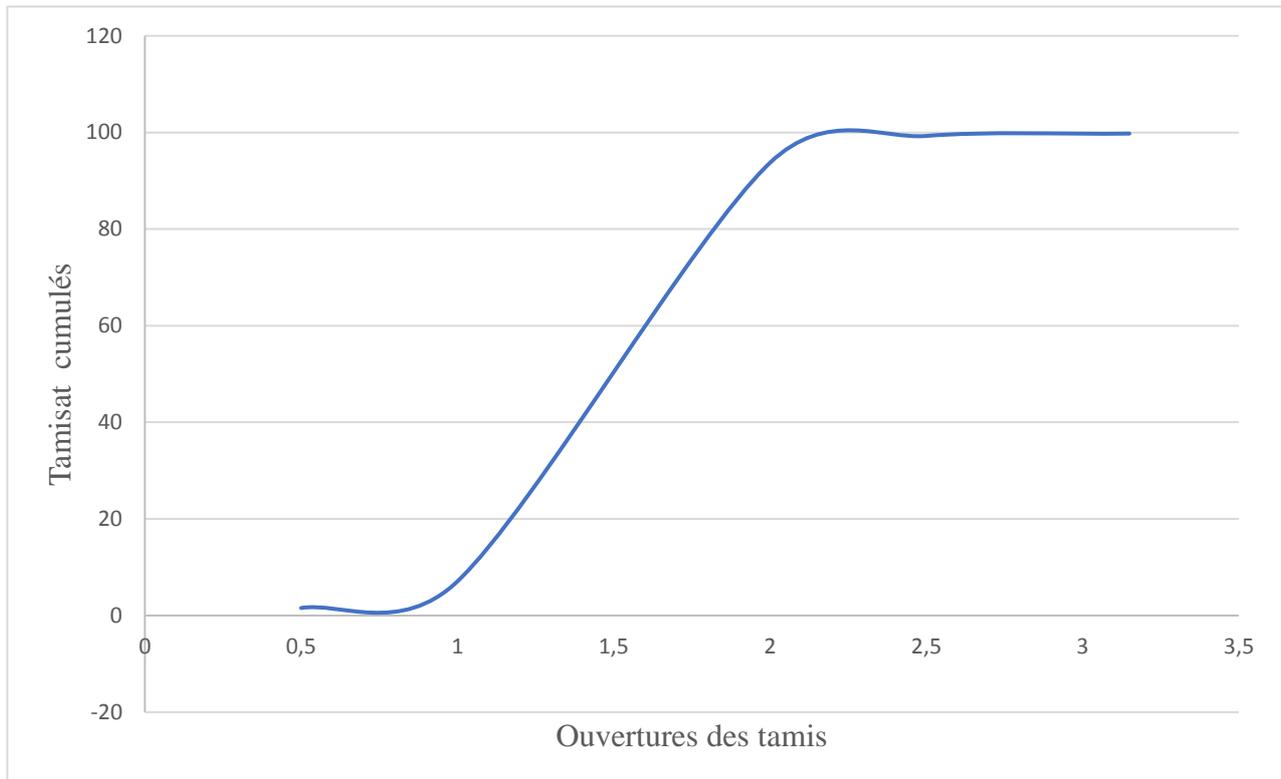


Figure V-3: Courbe granulométrique du grignon d'olive.

➤ **Module de Finesse :**

Le module de finesse de sable utilisés dans nos travaux est 2,05, donc le sable est moyen car il a un module de finesse compris entre **1.9 à 2.5**.

Pour les grignons d'olive le module de finesse est 1,98.

On observe qu'il y a une légère différence entre les modules de finesse du sable et grignon d'olive.

V.3 Résultat des essais mécaniques :

Dans cette partie, on a étudié l'effet des ajouts utilisés sur la résistance à la compression, et la traction par flexion des différents mortiers qui sont :

- Mortier témoin à base de Ciment (CPA).

- Mortier à base de ciment binaire composé de (CPA et 10% de vase) et de sable composé de 50% de grignon d'olive.
- Mortier à base de ciment binaire composé de (CPA et 10% de vase) et de sable composé de 25% de grignon d'olive.
- Mortier à base de ciment (CPA) et de sable composé de 50% de grignon d'olive.
- Mortier à base de ciment (CPA) et de sable composé de 25% de grignon d'olive.

Les essais se sont effectués sur des éprouvettes prismatiques en mortier de dimensions (4×4×16) cm³ à 7 jours, 28 jours e 60 jours.

V.3.1 Essai de compression :

La résistance à la compression pour le différent type des mortiers a été mesurée et les résultats de cet essai sont rapportés sur le tableau suivant :

Tableau V-14 : Résultats de l'essai de compression.

Type de mortier	Résistance à la compression (MPa)		
	7 jours	28 jours	60 jours
GO50%+10%vase	2,85	2,6	2,6
GO25%+10%vase	4,4	4,35	4,65
GO50%	4	2,8	9,2
GO25%	5,3	8,05	9,4
Témoin	17,05	37,8	31

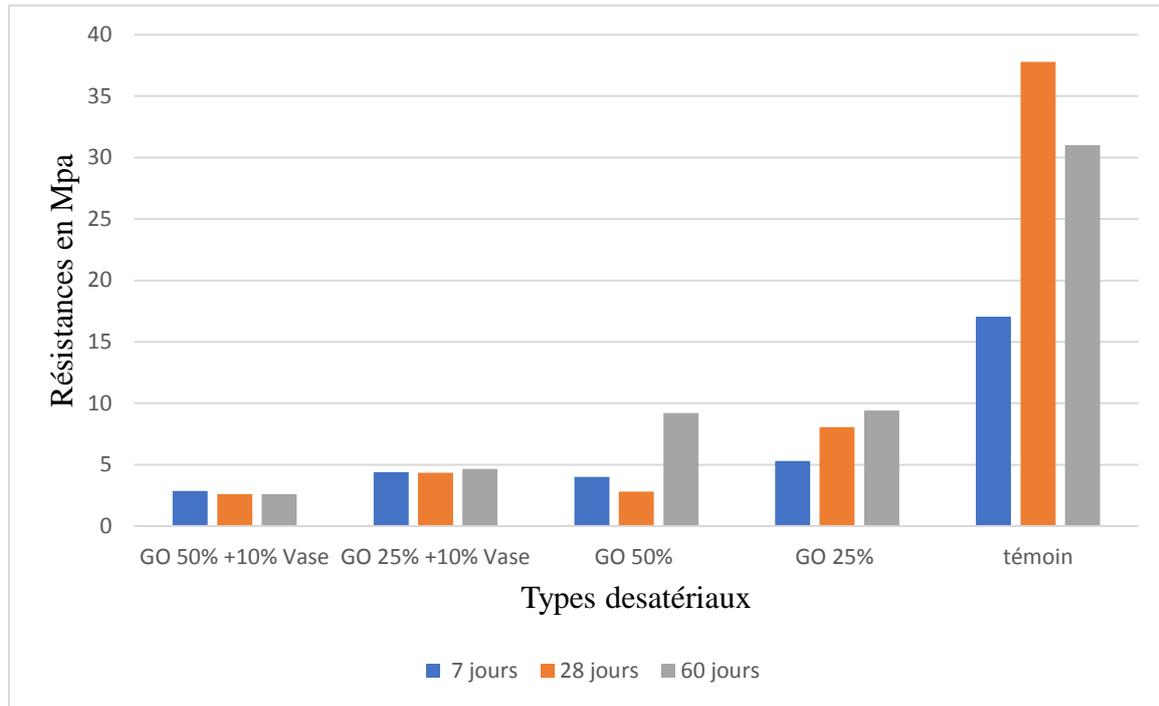


Figure V-4: Variation de la résistance à la compression à 7jours, 28jours et 60jours.

La résistance à la compression est différente entre les cinq mortiers et elle dépend du type de mortier ainsi que le pourcentage de grignon d’olive utilisées ou on remarque que pour le mortier témoin la résistance est considéré forte par rapport aux quatre autres types.

Le mortier à base de GO25% présente une résistance à la compression supérieure que celle des autres mortiers. On observe que la résistance à la compression augmente progressivement avec la diminution de pourcentages de grignon d’olive et à l’absence d’addition (la vase).

- A la comparaison avec la résistance à la compression du béton autoplaçant de la recherche de nos collègues **M. ABDOULAYE Amine Sadadine** et **M. MORKACHE Mohammed Abdelhakim** qui est basé sur l’utilisation des grignons d’olive à l’état brut, c’est-à-dire sans aucune transformation. Ils l’ont substitués par rapport au gravier 3/8, puisqu’ils ont presque le même diamètre avec des différents pourcentages. [64]

Les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau V-15: Résultats de la résistance mécanique à la compression à 28 jours. [64]

	BAP – T	BAP – G.O 10%	BAP – G.O 15%	BAP – G.O 20%
Résistance en Compression (MPa)	29	29,61	32,72	29,39

Les grignons d'olive ont amélioré la résistance mécanique vis-à-vis du béton témoin. On constate aussi que la variante avec un pourcentage de 15 % a une résistance élevée par rapport aux autres variantes. Donc pour avoir une résistance appréciable du béton à grignons d'olive, un certain pourcentage prescrit est à ne pas dépasser et ce dosage peut être optimal.

- Donc nous concluons que l'utilisation des grignons d'olive comme substituant au gravier beaucoup mieux pour obtenir une très bonne résistance.
- Dans un article qui étudie la possibilité de développer un mortier léger auto-compactant (SCLM) en utilisant un sous-produit agricole, à savoir la coquille de noyau d'olive broyée (COK). Les coquilles COK sont utilisées dans cette étude comme remplacement partiel du sable, à des taux différents, à savoir 0, 25, 50, 75 et 100%. L'influence de la teneur en granulats sur les caractéristiques physiques, mécaniques et thermiques du les nouveaux matériaux sont étudiés, analysés et évalués. [65]

Tableau V-16 : résultats de la résistance à la compression à 7 jours, 28 jours et 62 jours.[65]

Type de mortier	7 jours	28	62
SCMO	45	54	55
SCLM25	26	29	36
SCLM50	20	25	30
SCLM75	12	16	17

On observe que même dans leurs résultats la résistance à la compression du mortier diminue quand ils ont ajouté des différents pourcentages de la coquille de noyau d'olive COK par rapport au mortier témoin, et plus le pourcentage de COK est élevé plus la résistance est faible.

V.3.2 Essai de traction par flexion :

Tableau V-17: Résultats de l'essai de traction par flexion.

Type de mortier	Résistance de traction par flexion (MPa)		
	7 jours	28 jours	60 jours
GO50%+10%vase	0,3	0,4	0,4
GO25%+10%vase	0,5	0,4	0,4
GO50%	0,3	0,4	0,4
GO25%	0,3	0,7	0,8
Témoin	1,1	2,4	2,5

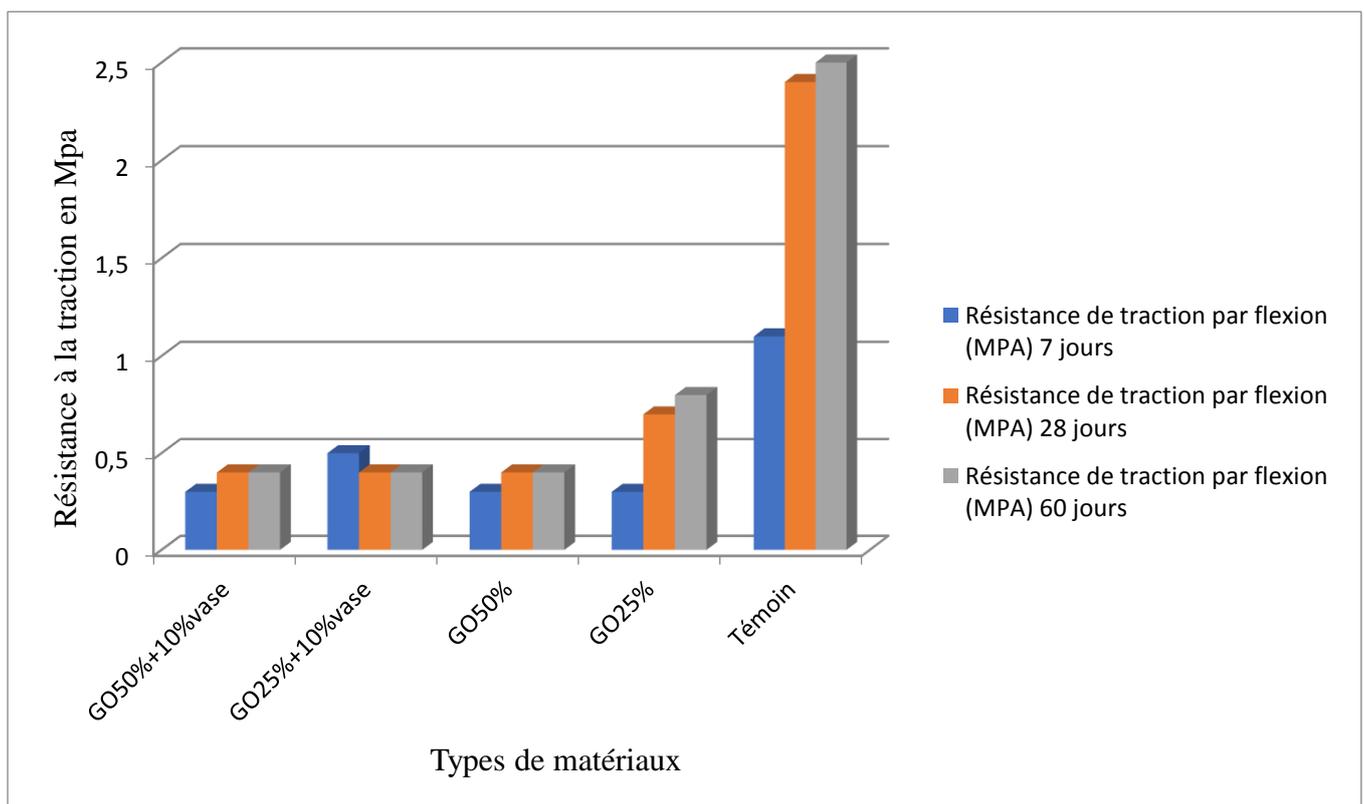


Figure V-5: Variation de la résistance à la traction par flexion à 7jours, 28jours et 60jours.

L'analyse globale des valeurs de la résistance en traction par flexion montre que les mortiers à base GO25% ont des valeurs légèrement supérieures à celle de GO50%, GO50%+10% vase et GO25%+10% vase. Ces trois derniers types de mortiers ont les mêmes résistances à 28 jours et 60 jours et presque similaire à 7 jours avec une faible augmentation de la résistance. On remarque que tous les types ont des résistances inférieures que celle de mortier témoin.

- Les résultats de la résistance à la traction par flexion de l'article [65] :

Tableau V-18 : Résultats de l'essai de traction par flexion.

Type de mortier	7 jours	28	62
SCMO	7,4	8,3	8,7
SCLM25	4,8	5,1	5,1
SCLM50	3,3	5,7	5,7
SCLM75	2,9	3,9	4,1

Nous remarquons que la résistance à la traction par flexion diminue avec l'ajout de grignon d'olive.

V.4 Résultat des essais physique :

V.4.1 Essai de porosité :

Les résultats suivants sont pris après 24h :

Tableau V-19: Variation de la porosité.

Les éprouvettes	Masse sèche(g)	Masse de l'air (g)	Masse dans l'eau(g)	Porosité
GO50%+10%vase	336,26	394,61	178	26,93
GO25%+10%vase	381,08	462,56	206	31,75
GO50%	351,02	462,51	198	42,12
Témoin	543,81	598,19	343	21,30

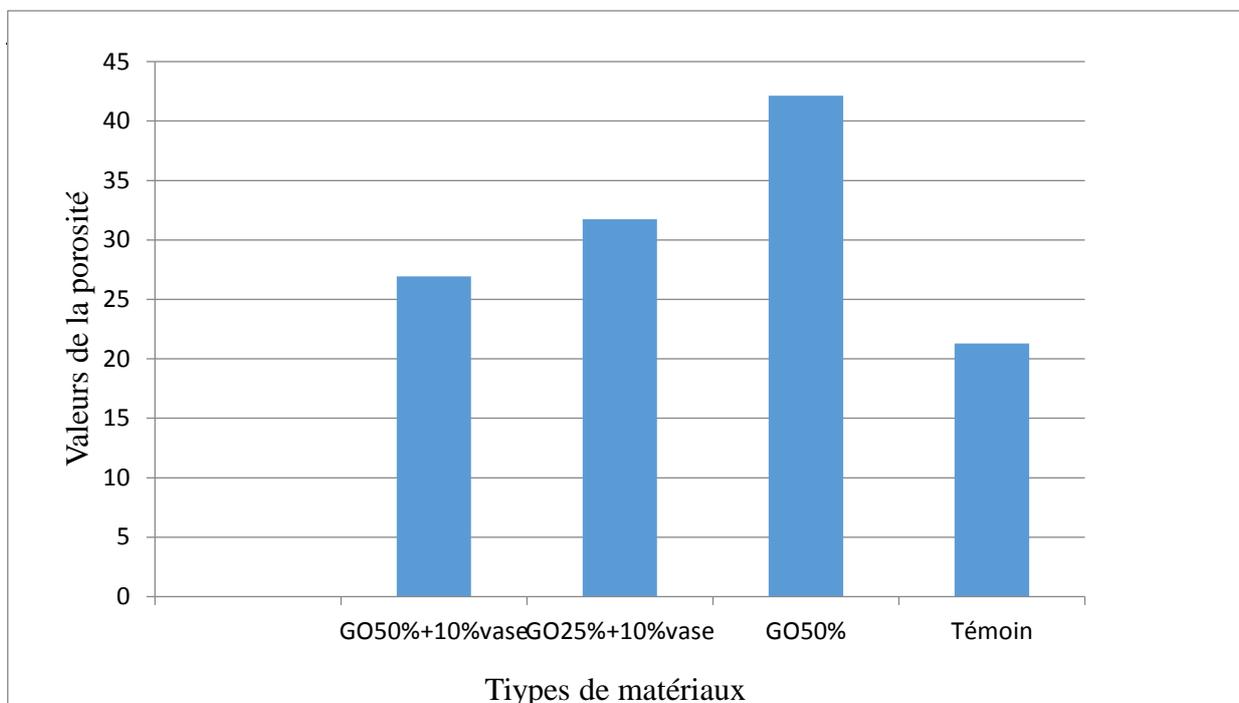


Figure V-6 :Variation de porosité.

D'après les résultats précédents en ce qui concerne la porosité, on peut remarquer ce qui suit : La porosité de mortier avec GO50% est supérieure à celle des autres mortiers.

Les trois types de mortiers ont des valeurs de porosité supérieure à la valeur de mortier témoin. On observe que la porosité augmente avec l'augmentation de pourcentage de grignon d'olive et du vase.

V.4.2 Essai d'absorption d'eau :

Le **tableau V-20** donne les résultats de l'essai d'absorption d'eau à 15min, 30min et 1h :

Tableau V-20 : Résultats de l'essai d'absorption d'eau.

Les éprouvettes	Masse sèche (g)	Masse avec la résine (g)	Masse dans l'eau (g)		
			15min	30min	1h
GO50%+10%vase	305,26	350,22	353, 22	353,3	353,16
GO25%+10%vase	381,08	386,54	388,45	366,43	388,52
GO50%	336,02	353,96	363, 06	384,04	460, 6
Témoin	543,81	549,15	550,61	551,64	551,70

Selon les critères, tous les différents types de mortiers qui contiennent des grignons d'olive et la vase ont des masses presque similaires à 15min ,30min et 1h et inférieur par rapport au mortier témoin.

On observe que la masse des éprouvettes dans l'eau n'augmente pas beaucoup avec le temps.

V.4.3 Essai de conductivité thermique :

Tableau V-21 : Résultats de l'essai de conductivité thermique.

Type de mortier	Diffusivité (D)	Chaleur spécifique (C)	Conductivité (K)	Résistivité (R)	La température (°C)
GO50%+10%vase	0,153	1,493	0,229	436,7	25,88
GO50%	0,164	1,507	0,248	403,3	26,02
GO25%+10%vase	0,182	1,491	0,272	367,8	27,38
Témoin	0,293	1,432	0,419	238,6	29,50

D'après les résultats, on remarque qu'on a presque les mêmes valeurs de diffusivité, chaleur spécifique, conductivité pour les mortiers avec grignon d'olive et vase ou seulement de grignon d'olive à la comparaison avec mortier témoin, ce dernier a une résistivité inférieure par rapport aux autres types.

Les mortiers avec les grands pourcentages des grignons d'olive ont des résistivités élevées.

V.5 Conclusion :

Les effets d'addition et de la fibre végétale sur les matériaux physiques et mécaniques des mortiers ont été analysés et étudiés sur quatre groupes de mortiers. Les propriétés mécaniques et physiques résiduelles ont été déterminées avec différents pourcentages de grignon d'olive (GO50% et GO25%) à la comparaison avec le mortier témoin. Les conclusions suivantes peuvent être tirées des résultats expérimentaux :

- Les propriétés mécaniques (résistance à la compression, résistance à la traction par flexion) des mortiers testés ont généralement augmenté avec la diminution de quantité de grignon d'olive et à l'absence du vase ajouté à certaine quantité.
- Le grignon d'olive et la vase ont eu grand effet sur la résistance à la compression et à la traction par flexion. En fait, l'ajout du grignon d'olive et la vase donne une faible résistance pour le mortier.
- La porosité se diminue avec la diminution de pourcentage d'addition et de fibre végétale.
- La vase et les grignons d'olive améliorent la conductivité thermique.

Conclusion générale et perspective

➤ Conclusion générale :

Les travaux de recherche entrepris dans ce mémoire s'inscrivent dans une problématique de gestion des déchets, en particulier les grignons d'olive et les sédiments du barrage de Bouhanifia qui représentent un problème économique et environnemental majeur.

Dans le contexte d'une gestion écologique basée sur le développement durable, la valorisation en technique routière des sédiments est aujourd'hui un des enjeux intéressants car elle permet à la fois d'éviter la mobilité des contaminants potentiellement toxiques après l'immersion ou la mise en dépôt et permet de contribuer à préserver les ressources en granulats naturels.

La méthodologie générale de valorisation décrite dans cette étude a pour objectif.

Après quelques expériences nous avons découvert des propriétés concernant la vase et le grignon d'olive

- Ne contribue pas à l'amélioration de la résistance du mortier
- Les résistances à la compression et à la traction diminuent considérablement quand le pourcentage de GO augmente.
- Le rapport E/C est élevé à 0.72 par conséquent le GO est un matériau qui absorbe une quantité importante d'eau durant le gâchage.
- Le composite avec GO possède une capacité d'absorption inférieure à celle du mortier témoin et une porosité importante.
- La résistivité augmente en ajoutant la proportion de GO.
- La vase peut donner des résultats satisfaisants quand elle est utilisée à une proportion inférieure ou égale à 10 %.
- La diminution de résistance est due à l'effet du pourcentage de substitution de vase et à la présence d'huile dans les grignons d'olives donc l'huile c'est un retardateur.

➤ Perspective :

- Aux vues de ce qui précède nous concluons que l'utilisation de grignon d'olive comme substituant de sable et la vase comme substituant de ciment dans un béton autoplaçant peut contribuer à l'amélioration des conditions thermiques d'un bâtiment surtout dans la réalisation des ouvrages où le béton léger est sollicité.

-On prévoit dans les prochaines recherches l'extraction d'huile.

Références bibliographiques :

- [1] “Haddad O., 1er congrès international sur la technologie et la durabilité du béton à Alger, les 24,25 et 26 Mai 2004.”
- [2] “Abib Z., Thèse de Magistère en Génie Civil, « Formulation et caractérisation des bétons autoplaçant », Université des sciences et de la technologie Houari Boumediene, Alger, le 06 Juillet 2006.”
- [3] “Association Française de Génie Civil «AFGC», Bétons autoplaçants Recommandations provisoires, Juillet 2002, 63 pages.”
- [4] “Seddik A, Thèse de magistère en Génie Civil, « le béton autoplaçant sous conditions locales », Département de Génie Civil, Université de Sétif (Algérie), Février 2008.”
- [5] “M’HAMED I.M, BEN BRAHIM.O, «Durabilité du Béton Autoplaçant à base de sable de dune finement broyé vis-à-vis des attaques chimiques». Mémoire de Master ACADEMIQUE. Université De Ziane Achour de Djelfa , 2016.”
- [6] “AFGC, «Bétons Autoplaçants - Recommandations Provisoires». Documents Scientifiques et Technique, Page 63, 2000.”
- [7] “Hanaa Fares, «Propriétés mécaniques et physico-chimiques de bétons Autoplaçants exposés à une Température élevée», Thèse de Doctorat de l’Université de Cergy-Pontoise Décembre 2009,.”
- [8] “AFGC, «Interim recommendations for use of Self-Compacting Concrete», Association Française de Génie Civil, 2002.”
- [9] “AFGC «Recommandations provisoires », document scientifique et technique (juillet 2000.”
- [10] “«R.Dupain/ R.Lanchon/ J.C.Saint-Arroman » Granulats, Sols, Ciments et Bétons Edition 2000.”
- [11] “Association Française de Génie Civil «AFGC», Bétons autoplaçants – Recommandations provisoires, p63, Juillet 2002.”
- [12] “NF EN 12350–9, Essai pour béton frais - Partie 9 : béton auto-plaçant - Essai d’écoulement à l’entonnoir en V, 2010.”
- [13] “*SAMOUH. H, ROZIERE.E, LOUKILIA, «Interprétation des mesures du retrait de dessiccation des bétons autoplaçants (BAP) ». XXXe Rencontres AUGC-IBPSA Chambéry, Savoie, 6 au 8 juin 2012.”
- [14] “BETHMONT.S, «Mécaniques de ségrégation dans les bétons autoplaçants (BAP) » . Thèse de doctorat. Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Décembre 2005.”
- [15] “Okamura H, Ouchi M, self-compacting concrete technology vol1, p5_15, 2003.”

- [16] “NASRIS, «Caractérisation aux moyens des essais non destructifs (NDT) et Essai direct d’un béton autoplaçant(BAP) à base de matériaux locaux (effet de la nature du sable) ». Mémoire de magister. Université de Mohamed Boudiaf-M’sila , 2016.”
- [17] D. Boukhelkhal and S. Kenai, “Détermination non destructive de la résistance du béton sur site (Scléromètre Ultrason),” *Univ. Meet. Civ. Eng.*, 2015.
- [18] M. Boutheyna and B. H. Eddine, “Mémoire de Master ETUDE COMPARATIVE DE DURABILITE ENTRE LES BETONS AUTOPLACANTS ET LES BETONS ORDINAIRES,” 2018.
- [19] N. Haddadou, “Elaboration et caractérisation de béton autoplaçant fibré avec ajout de poudre de marbre,” pp. 2009–2010, 2015.
- [20] U. D. O. Es-senia and F. Sciences, “Etude de la caractérisation d’un éco-matériau « Béton auto- plaçant (BAP) à base de fibres végétales » Présenté Memoire Master 2019/2020 CUAT Ain temouchent,” pp. 2012–2013, 2007.
- [21] “Cours MDC Madame Derbal L3 (Les adjuvants) Université d’Ain temouchent.”
- [22] B. Nécira, “Étude Des Propriétés Rhéologiques Et Mécaniques Des Bétons Autoplaçants,” p. 143, 2006.
- [23] M. B. Rachid, “Rheologie Des Pates Cimentaires Pour Betons Autoplaçants,” 2011.
- [24] K. Abir, “Etude de l’effet de l’introduction des fibres végétales sur les propriétés des bétons autoplaçant (BAP) à l’état frais et durcis,” 2016.
- [25] P. S. et Al., «*Enhancement of tensile strength of lignocellulosic jute fibers by alkalisteam Treatment.* ». *Bioresource Technology.*, Vol. 101, 2010, pp. .
- [26] N. Meddour, : “, mémoire de magistère (le béton de fibres métalliques dans la conception architecturale) Alger.,” 2013.
- [27] A. Y. Nennonene, “Elaboration et caractérisation mécanique de panneaux de particules de tige de kénaf et de bioadhésifs à base de colle d’os, de tannin ou de mucilage”, thèse de doctorat de l’université de Toulouse, Institut National Polytechnique de Toulouse, Sciences de,” 2009.
- [28] . Michaud, “”Rhéologie de panneaux composites bois/thermoplastiques sous chargement thermomécanique : Aptitude post formage” thèse de doctorat, université Laval,” 2003.
- [29] “GROUPEMENT BELGE DU BETON (G.B.B.) cour de technologie du béton Namur 2006.”
- [30] “Agnès Roudier. Analyse multi-échelle du comportement hygro-mécanique des fibres de lin. Autre. Université Blaise Pascal - Clermont-Ferrand II, 2012. Français.”
- [31] “BKEDZKI. A.K and GASSAN. J;? Composites reinforced with celluloses based fibres? ELSEIVER, progress in polymer sciences.”

- [32] “Dallel Mohamed, ‘Thèse de doctorat: Evaluation du potentiel textile des fibres d’Alfa (Stipa Tenacissima L.):Caractérisation physico-chimique de la fibre au fil,’ Université de Haute Alsace (Laboratoire de Physique et Mécanique Textiles), Mulhouse, France.,”
- [33] “Saida Medjahed, agence nationale pour la conservation de la nature b.p. 115, el annasser Alger – Algérie.”
- [34]: “MEZIANE, S. 2013 : Modélisation de la cinétique du séchage du grignon d’olives. Revue des Energies Renouvelables, 2013.”
- [35]: “BABAKHOUYA, N. 2010 : Mémoire de magister. Récupération des métaux lourds par l’utilisation des absorbants naturels, 2010.”
- [36] “AZIBI Siham & AISSAT Alia, « Bioamélioration du grignon d’olive par culture de *Bjerkandra adusta* BRFM 1916 », 2016.”
- [37] “ENVASEMENT DES BARRAGES DANS LES REGIONS ARIDES,” *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, n°27, no. Département des Sciences de l’Eau et Environnement faculté de Technologie, pp. 64–65.
- [38] “SÉDIMENTATION DANS LES BARRAGES DE L’AFRIQUE DU NORD.” <https://coursgeologie.com/sedimentation-dans-les-barrages-de-l-afrique-du-nord-227/> (accessed Feb. 21, 2021).
- [39] T. D. E. Doctorat and E. N. Science, “Valorisation de la vase pour l ’ utilisation dans la technique routière.”
- [40] O. Belaribi, “Durabilité des bétons autoplaçants à base de vase et de pouzzoloane.”
- [41] G. Schneider, “Le curage des sédiments des cours d’eau.” <http://www7.inra.fr/dpenv//curage.htm> (accessed Feb. 22, 2021).
- [42] “(No Title).” <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00339371v2/document> (accessed Feb. 23, 2021).
- [43] C. Universitaire, B. Bouchaib, M. Fili, and G. C. Sp, “Contribution à l’amélioration du confort thermique du bâtiment,” 2020.
- [44] Y. Mamindy Pajany, C. Hurel, N. Marmier, and M. Roméo, “Tests de lixiviation et de stabilisation d’un sédiment portuaire contaminé à l’arsenic,” *Eur. J. Environ. Civ. Eng.*, vol. 14, no. 2, pp. 233–251, 2010, doi: 10.1080/19648189.2010.9693215.
- [45] P. Scordia, “Caractérisation et valorisation de sédiments fluviaux pollués et traités dans les matériaux routiers To cite this version : HAL Id : tel-00339371 Délivrée par,” *ecole doctorazle*, 2008.
- [46] “diagramme triangulaire pour les sols fins – Recherche Google.” https://www.google.com/search?q=diagramme+triangulaire+pour+les+sols+fins&sxsrf=ALeKk03EdkwM6KAGGYWyi7n0seH0Qsxp7w:1614101601794&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwiVyOyExYDvAhUwQkEAHVvsDjgQ_AUoAXoECAwQAw&biw=1014&bih=476 (accessed Feb. 23, 2021).

- [47] “Bou Hanifia — Wikipédia.” https://fr.wikipedia.org/wiki/Bou_Hanifia (accessed Feb. 22, 2021).
- [48] “barrage de bouhanifia — Recherche Google.” https://www.google.com/search?q=barrage+de+bouhanifia&sxsrf=ALeKk011z441KfvQ2O7T5nyQgM6FezYprw:1614015125264&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=2ahUKEwj_5s_xgv7uAhVQa8AKHUjJBmgQ_AUoAXoECAQQAaw&biw=1014&bih=533 (accessed Feb. 22, 2021).
- [49] BOUKEMMOUM Nour El Houda and N. Abdessalam, “Valorisation des sédiments de barrages Cas du barrage de Ain Dalia (Souk Ahras),” in *Memoire*, 2019.
- [50] “Dragage — Wikipédia.” <https://fr.wikipedia.org/wiki/Dragage> (accessed Feb. 26, 2021).
- [51] “Dragages et environnement marin - dossier - environnement littoral - Ifremer.” <http://envlit.ifremer.fr/var/envlit/storage/documents/dossiers/dragages/drag-c2.htm> (accessed Feb. 26, 2021).
- [52] “Rédaction des études d ’ impact d ’ opérations de dragage et d ’ immersion en milieu estuarien et,” 2014.
- [53] “La différence entre le dragage hydraulique et le dragage mécanique.” <https://www.dredge.com/fr/2019/05/mechanical-dredging-vs-hydraulic-dredging/> (accessed Feb. 26, 2021).
- [54] A. Badraoui and A. Hajji, “Envasement des retenues de barrages,” *La Houille Blanche*, no. 6–7, pp. 72–75, 2001, doi: 10.1051/lhb/2001073.
- [55] “(11) Anbt الوكالة الوطنية للسدود والتحويلات-الصفحة الرسمية - Publications | Facebook.” <https://www.facebook.com/anbt.cc/posts/moyens-de-lutte-contre-lenvasement-lenvasement-des-barrages-est-lun-des-grands-p/802678590102402/> (accessed Feb. 28, 2021).
- [56] B. Remini and D. Bensafia, “Envasement des barrages dans les regions arides : exemples algeriens,” *Larhyss J.*, vol. 27, pp. 63–90, 2016, [Online]. Available: <https://www.asjp.cerist.dz/en/article/55353>.
- [57] D. Lmd and O. Fodda, “Thème Caractérisation de la vase de dragage du barrage de l’Oued Fodda et valorisation en tant que matériau de construction,” in *Memoire*, .
- [58] “surélévation de barrage — Recherche Google.” https://www.google.com/search?q=surélévation+de+barrage&sxsrf=ALeKk012eJyhpW5SMUia1P-o3g1hA5uT4Q:1614554201801&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=2ahUKEwiMyKyN243vAhVIEWMBHbsiAnoQ_AUoAXoECAMQAaw&biw=1366&bih=625 (accessed Mar. 01, 2021).
- [59] “Haifi, M., Redha. « Formulation des betonsautoplacants », Université Mentouri – Costantine, 2011.”

- [60] “[. Djelouahi, H. 2016 / 2017. Influence des fibres végétales sur les propriétés physico-mécaniques d’un béton. UNIVERSITE M’HAMED BOUGARA-BOUMERDES.”
- [61] “SEMCHA A., «Valorisation des sédiments de dragage: Applications dans le BTP, cas du barrage de Fergoug», Thèse de doctorat à l’Université de Reims, 2006.”
- [62] “Borsali, B. &Ayed, K. Conférence Internationale sur les Matériaux, le patrimoine et l’environnement en zone arides, Université Ahmed DRAIA, Adrar 17 & 18 février 2019 «Influence des traitements des fibres végétales sur le comportement mécanique des béton.”
- [63] “QUENARD D., CARCASSES M., «Les résultats des essais croisés AFREM : Perméabilité », Compte-rendu des journées techniques AFPC-AFREM « Durabilité des bétons », Toulouse, 11-12 décembre 1997, p. 41-58.”
- [64] Etude de la caractérisation d’un éco-matériau « Béton auto-plaçant (BAP) à base de fibres végétales » M. ABDOULAYE Amine Sadadine M. MORKACHE Mohammed Abdelhakim
- [65] Journal of Cleaner Production journal homepage: [www.elsevier.com/ locate/jclepro](http://www.elsevier.com/locate/jclepro)
- [66] <http://www.fao.org/3/x6545F/x6545F02.htm>