



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la
Recherche Scientifique
Université A. MIRA-Bejaia
Faculté de Technologie
Département de Génie Civil



Mémoire de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme de Master en Génie Civil

Option : Structures

Thème

*Etude d'un mortier avec ajout des grignons
d'olives comme substitution au sable*

Présenté par :

MOKRANI Ilhem

GALOUL Kenza

Soutenu le 28.09.2022 devant le jury composé de :

D^r BOUZIDI M.Amine

Président

P^r CHELOUAH Nacer

Examinateur

D^r AREZKI Samia

Encadrante

Année universitaire : 2021/2022

Remerciements

Nous tenons à exprimer notre gratitude à Allah le tout puissant qui nous a octroyé le courage et la volonté nécessaire afin de pouvoir accomplir cette modeste recherche .

Nos vives gratitudes vont à Mme Arezki Samia en sa qualité d'encadreurs pour ses orientations , son suivi , sa disponibilité permanente et sa modestie .

Nos remerciements les plus chaleureux aux membres de jury de nous avoir honoré en présidant et en examinant ce mémoire.

A Mr ZOUBIRI DJAMEL, technicien du laboratoire de MDC de l'université de Bejaia pour sa patience et son aide .

Au directeur et l'ensemble des techniciens du laboratoire de travaux publics EST de Bejaia .

Nos sincères reconnaissances à tous les enseignants du département de génie civil en particulier ceux qui ont contribué de près ou de loin par leurs conseils et leurs aides.

Nos tendresses les plus profondes à nos très chères familles pour leurs soutiens tout au long de cette étude.

Ilhem & Kenza

Dédicace

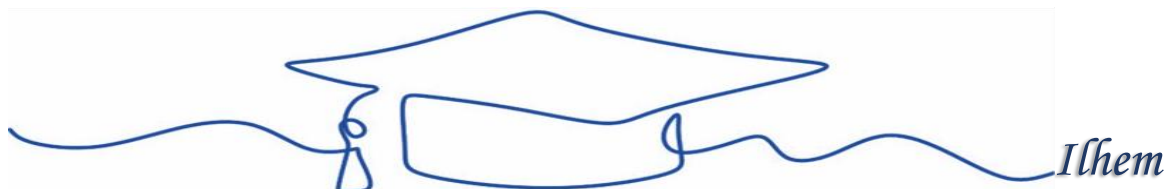
Je dédie le fruit de mes 17 années d'études

A mes très chers parents ma source de vie **Abd El Hakim** et **Rachida** pour leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études. Quoi que je fasse ou quoi que je dise , je ne saurai point vous remercier comme il se doit !

A mes chers frères **Abd El Hak** et **Ramzi** et mes chères sœurs **Hamida** et **Hanane** je vous adresse ma profonde gratitude pour votre amour et soutiens sincères , vous m'avez chaleureusement supporté et encouragé tout au long de mon parcours.

A la mémoire de ma grand-mère **Zouina** que dieu l'accueille dans son vaste paradis .

ET à toute ma grande famille et amis ...



DEDICACES

C'est un moment de plaisir de dédier ce modeste travail aux personnes qui ont contribué à cette soutenance :

En première partie je tiens à remercier mes très chères parents: «**Saadi**» et «**Nassia**» qui m'ont donné la vie, symbole de beauté, et de fierté, je leurs remercie pour leurs sacrifices, leurs soutien, l'aide et les encouragements qui m'ont apporté durant toutes ces années d'étude sans eux, je ne serais pas ce que je suis aujourd'hui.

À mes très chers grands-parents qui m'ont soutenu et malheureusement sont partis que le paradis soit leur demeure.

A mes chers frères «**Yacine**» et «**Mohand cherif**», sans oublier ma très chère sœur «**Linda**».

Mes plus grandes sources de bonheur que Dieu vous bénissent, merci pour votre soutien.

A mon très cher neveu : «**Aberbache Anes**»

À ma très chère amis « **Médina**» qui n'a jamais cessée de me soutenir.

Pour finir je tiens à remercier mon binôme «**Ilhem**» pour son soutien, son courage et sa compréhension tous le long de ce projet.

Kenza



Sommaire

Sommaire

Remerciements

Dédicaces

Liste des tableaux et figures

Notations et symboles

Introduction générale.....1

Première partie : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre I : Les mortiers

I.1. Introduction	3
I.2. Définition du mortier	3
I.3. Historique de l'emploi du mortier	4
I.4. Différents types de mortier	4
I.4.1. Mortier de ciment	4
I.4.2. Mortier de chaux.....	5
I.4.3. Mortier réfractaire	5
I.4.4. Mortier bâtard	5
I.4.5. Mortier hydrofuge	5
I.4.6. Mortier-colle (Rapide).....	5
I.5. Utilisation de mortier.....	5
I.6. Constituants du mortier	5
I.6.1. Liant.....	5
I.6.1.1. Liants minéraux	6
a.Liants aériens	6
b.Liants hydrauliques.....	6
I.6.1.2. Liants organiques.....	6
a.Liants hydrocarbonés (noirs).....	6
b.Résines et polymères	6
I.6.2. Ciment	7
I.6.2.1. Types de ciment.....	7
I.6.2.2. Hydratation de ciment	8

I.6.3. Sable	8
A.Sables naturels	8
B.Sables artificiels	9
I.6.3.1. Utilisation des sables	9
I.6.3.2. Rôle de sable.....	9
I.6.4. Eau de gâchage	10
I.6.5. Adjuvants.....	10
I.6.5.1. Différents types d'adjuvants	10
I.7. Caractéristiques du mortier.....	12
I.7.1. Ouvrabilité.....	12
I.7.2. Masse volumique à l'état durci.....	12
I.7.3. Résistance à la compression	12
I.7.4. Résistance à la flexion	12
I.7.5. Retrait et Gonflement	12
I.7.6. Porosité.....	13
I.7.7. Absorption d'eau (pores capillaires)	13
I.8. Différents ajouts déjà expertisés.....	13
I.8.1. Ajouts minéraux	16
I.8.1.1. Avantages d'ajouts minéraux	17
I.8.1.2. Inconvénients d'ajouts minéraux.....	18
I.8.2.Ajouts végétaux	18
I.8.2.1.Avantages d'ajouts végétaux	18
I.8.2.2. Inconvénients d'ajouts végétaux	18
I.9. Conclusion.....	19

Chapitre II : Les grignons d'olives

II.1. Introduction	20
II.2. Présentation de grignon d'olive.....	20
II.3. Types de grignons d'olive	20
II.3.1. Grignon brut	20
II.3.2. Grignon épuisé	20
II.3.3. Grignon partiellement dénoyauté.....	21
II.4. Un peu d'histoire de l'Olivier et sa culture	21
II.5. Production d'olive	21
II.5.1. À l'échelle mondiale	21

II.5.2. A l'échelle nationale	22
II.6. Procédés d'extraction de l'huile d'olive	22
II.7. Méthode de conservation	23
II.8. Caractéristiques du grignon d'olive	24
II.8.1. Composition physique.....	24
II.8.2. Composition chimique	24
II.9. Utilisation des grignons d'olive	26
II.10. Conclusion.....	27

Deuxième partie : ETUDE EXPERIMENTALE

Chapitre III : Analyse des matériaux utilisés

III.1. Introduction.....	28
III.2. Les matériaux utilisés	28
III.2.1. Ciment.....	28
III.2.2. Sable.....	28
III.2.3. Grignons d'olives.....	28
III.2.4. Eau de gâchage	29
III.3. Analyse chimique et minéralogique des matériaux	29
III.3.1. Ciment.....	29
III.3.2. Grignons d'olives.....	29
III.4. Analyse physique des matériaux.....	32
III.4.1. Ciment.....	32
III.4.1.1. Essai de consistance (EN 196-3).....	32
III.4.1.2. Essai de prise (EN 196-7)	34
III.4.2. Sable.....	37
III.4.2.1. Essai granulométrique (NF P 18-560)	37
III.4.2.2. Détermination de la teneur en eau pondéral (NF P 94-050)	40
III.4.2.3. Essai au bleu de méthylène dit essai à la tâche (NF EN 933-9)	41
III.4.2.4. Équivalent de sable(NF EN 933-8).....	45
III.4.2.5. La masse volumique absolue	48
III.4.2.6. Masse volumique en vrac (apparente) (EN 932-2).....	50
III.4.2.7. Mesure du degré d'absorption des sables (NF P 18-555).....	52
III.4.3. Grignons d'olives.....	53
III.4.3.1. Essai granulométrique (NF P 18-560)	54
III.4.3.2. Masse volumique absolue	56

III.4.3.3. Mesure du degré d'absorption des grignons d'olive.....	56
III.6. Essai granulométrique du mélange (sable + grignons d'olives).....	57
III.6. Conclusion	58

Chapitre IV :Caractéristiques physico-mécaniques et thermiques des mortiers avec ajout des grignons d'olives

IV.1. Introduction	59
IV.2. Formulation des mortiers.....	59
IV.2.1. Calcul des quantités de matériaux nécessaires pour les différentes éprouvettes	60
IV.2.2. Mode opératoire.....	60
IV.3. Confection des éprouvettes.....	61
IV.4. Conservation des éprouvettes	62
IV.5. Essais physiques	63
IV.5.1. Essai de porosité	63
IV.5.1.1. Mode opératoire.....	64
IV.5.1.2. Présentation des résultats	65
IV.5.1.3. Interprétation des résultats	65
IV.5.2. La masse volumique sèche	66
IV.5.2.1. Mode opératoire.....	66
IV.5.2.2. Présentation des résultats	67
IV.5.2.3. Interprétation des résultats	68
IV.5.3. Essai d'absorption d'eau.....	68
IV.5.3.1. Mode opératoire.....	69
IV.5.3.2. Présentation des résultats	69
IV.5.3.3. Interprétation des résultats	70
IV.5.4. Essai de retrait et gonflement	70
IV.5.4.1. Mode opératoire.....	70
IV.5.4.2. Présentation des résultats	71
IV.5.4.3. Interprétation des résultats	72
IV.6. Essais mécaniques	72
IV.6.1. Essai à la flexion (P18-408).....	72
IV.6.1.1. Mode opératoire.....	73
IV.6.1.2. Présentation des résultats	74
IV.6.1.3. Interprétation des résultats	74
IV.6.2. Essai compression (NF EN 206-1)	75

IV.6.2.1. Mode opératoire.....	75
IV.6.2.2. Présentation des résultats.....	76
IV.6.2.3. Interprétation des résultats.....	76
IV.7. Essai thermique.....	79
IV.7.1. Essai de la conductivité thermique.....	79
IV.7.1.1. Mode opératoire.....	79
IV.7.1.2. Présentation des résultats.....	80
IV.7.1.3. Interprétation des résultats.....	81
IV.8. Conclusion.....	82

Conclusion générale et perspectives.....83

Références Bibliographiques

Annexes

Résumé



Listes des Tableaux et Figures

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Dosage en adjuvants par rapport au poids.....	11
Tableau I.2 : Classification des ajouts selon leur réactivité.....	16
Tableau II.1 : L'importance de la production oléicole mondiale.....	22
Tableau II.2 : Composition chimique des composants de l'olive mûre (Maymone et al.1961)..	25
Tableau II.3 : Caractéristiques des constituants pariétaux des grignons.....	26
Tableau III.1 : Caractéristiques minéralogique du ciment CEM II/A-L 42,5 N.....	29
Tableau III.2 : Teneurs en fibres de grignon d'olive par la méthode de VAN SOEST.....	31
Tableau III.3 : Composition élémentaire de grignon d'olive	31
Tableau III.4 : Résultats des essais de consistance.....	33
Tableau III.5 : Analyse granulométrique du sable 0/4.....	39
Tableau III.6 : Détermination de la teneur en eau de sable carrière.....	41
Tableau III.7 : Détermination de l'argilosité de sable par essai bleu de méthylène.....	44
Tableau III.8 : Détermination de la propreté du sable.....	47
Tableau III.9 : Détermination de la masse volumique en vrac du sable.....	52
Tableau III.10 : Analyse granulométrique des grignons d'olives.....	55
Tableau III.11: Module de finesse des mélanges.....	58
Tableau IV.1 : Compositions des mortiers.....	60
Tableau VI.2 : Résultats des mesures de la porosité.....	65
Tableau VI.3: Calcul de la masse sèche théorique.....	66
Tableau VI.4 : Variation de la masse volumique sèche.....	67
Tableau VI.5 : Résultats des mesures de l'absorption de l'eau.....	69
Tableau VI.6 : Résultats des mesures de retrait.....	71
Tableau VI.7 : Résultats des mesures de résistance à la flexion.....	74
Tableau VI.8 : Résultats des mesures de résistance à la compression.....	76
Tableau VI.9 : Pourcentages de chute de la résistance à la compression aux différents âges par rapport à l'échantillon témoin.....	77
Tableau VI.10 : Résultats des mesures de la conductivité thermique.....	80
Tableau VI.11 : Résultats des mesures de la chaleur spécifique.....	80
Tableau VI.12 : Pourcentage d'amélioration de la conductibilité thermique à l'âge de 28 jours des échantillons avec ajouts par rapport à l'échantillon témoin.....	81

Liste des figures

Figure I.1 : Classification des liants.....	7
Figure I.2 : Déformation de la pâte dans les 48 h suivant le gâchage.....	13
Figure II.1: Carte oléicole mondiale (COI, 2013).....	22
Figure II.2 : Section transversale (a) et composition physique de l'olive (b).....	24
Figure III.1 : Etapes à suivre pour l'obtention de la matière première (grignon d'olive).....	30
Figure III.2 : Essai de consistance sur l'appareil de Vicat avec de différents pourcentages d'eau.....	33
Figure III.3 : Début de l'essai.....	35
Figure III.4 : Début de prise.....	35
Figure III.5 : Fin de prise sur les différentes positions	36
Figure III.6 : Temps de début et fin de prise.....	36
Figure III.7: Le sable préparé.....	38
Figure III.8 : L'opération de tamisage.....	38
Figure III.9 : Les différentes dimensions obtenues après tamisage.....	38
Figure III.10 : La courbe granulométrique du sable utilisé.....	39
Figure III.11 : Malaxeur a deux vitesses lentes et rapides.....	43
Figure III.12 : Résultat des tâches au bleu de méthylène.....	44
Figure III.13 : Les éprouvettes préparées de l'essai équivalent de sable.....	47
Figure III.14 : Matériels utilisés pour le calcul de la masse volumique absolue du sable.....	49
Figure III.15 : Éprouvette d'essai de la masse volumique absolue de sable.....	50
Figure III.16 : Masse volumique apparente.....	51
Figure III.17 : Grignons d'olives préparés.....	54
Figure III.18 : Opération de tamisage.....	54
Figure III.19 : Les dimensions obtenues.....	54
Figure III.20 : La courbe granulométrique des grignons d'olives utilisé.....	55
Figure III.21 : Résultat de l'essai de la masse volumique absolue des grignons d'olives.....	56
Figure III.22 : Courbe granulométrique du mélange.....	57
Figure IV.1 : Le malaxeur normalisé.....	61
Figure IV.2 : Les moules 4×4×16 cm.....	62

Figure IV.3 : La table à choc.....	62
Figure IV.4 : Remplissage des moules.....	62
Figure IV.5 : Stockage des éprouvettes pendant 24h.....	62
Figure IV.6 : Conservation des éprouvettes dans l'eau.....	63
Figure IV.7 : Le processus de la pesé hydrostatique.....	64
Figure VI.8 : La variation de la porosité en fonction du temps.....	65
Figure VI.9 : Préparation des échantillons pour l'étuvage.....	67
Figure VI.10 : Variation de la masse volumique sèche.....	68
Figure VI.11 : Les éprouvettes à l'état humide.....	69
Figure VI.12 : Étuvage des éprouvettes.....	69
Figure VI.13 : Absorption de l'eau en fonction du temps.....	70
Figure VI.14 : La variation de retrait en fonction du pourcentage d'ajout.....	71
Figure VI.15 : La machines des essais de compression et flexion.....	73
Figure VI.16 : Mise en place de l'éprouvette.....	73
Figure VI.17 : Rupture de l'éprouvette.....	73
Figure VI.18 : La résistance à la flexion.....	74
Figure VI.19 : Mise en place de la demi prisme pour l'essai de compression.....	75
Figure VI.20 : La résistance à la compression.....	76
Figure VI.21 : Pourcentage de chute de Rc.....	78
Figure VI.22 : Echantillon de 60% d'ajout de grignon d'olives.....	78
Figure VI.23 : Les chemins de rupture des échantillons avec et sans ajout.....	79
Figure VI.24 : Essai de la conductivité thermique	79
Figure VI.25 : Courbe de la conductivité thermique.....	81



Symboles et Abréviations

Symboles et abréviations

E/C : Rapport eau / ciment

ρ : la masse volumique

ADF : Acide detergent fibre

ADL : Acide detergent lignin

NDF : Neutral detergent fibre

COI : Conseil oléicole international

H : Hydrogène

O : Oxygène

N : Nitrogène (Azote)

C: Carbone

C₃S: Silicate tricalcique

C₂S: Silicate bicalcique

C-S-H: Calcium silicate hydrate

Ca(OH) : La portlandite

FC : Fillers Calcaire

PZN : pouzzolane naturelle

FS : fumée de silice

DRX : Diffraction aux rayons X

GO: Grignon d'olive

\emptyset , d: Diamètre

Σ : la somme

MF : Module de finesse

W : teneur en eau

V : volume.

MB : La valeur au bleu de la fraction 0/2 des sables

V_{BS} : Bleu de méthylène

ES : Équivalent de sable

h1 : La hauteur de sable propre +éléments fins

h2 : La hauteur de sable propre seulement

M1 : Masse humide de la 1^{ère} prise d'essai

M2 : Masse sèche de la 2^{ème} prise d'essai après lavage

M_3 : Masse granulat humide 2^{ème} sous échantillon

M_4 : Masse du sable correcteur sec

A_b : Coefficient d'absorption

M_{eau} : La masse hydrostatique

M_{air}, M_{humide} : La masse humide

$M_{sèche}$: La masse sèche

f : Teneur en fines

V_1 = volume dans l'éprouvette avant introduire de la masse d'agrégat

V_2 = volume dans l'éprouvette après introduire de la masse d'agrégat

NF : Normes françaises

EN : Normes Européennes

V_c : volume de ciment

M_c : La masse de ciment

ρ_c : La masse volumique de ciment

M_s : la masse de sable

V_s : volume de sables

ρ_b : La masse volumique en vrac

ρ_p : La masse volumique réelle

v : La porosité intergranulaire



Introduction générale

Introduction générale

La recherche des matériaux de construction nouveaux est un sujet d'actualité où les chercheurs tentent de trouver des matériaux adéquats et à bon marché, pour bien remplacer progressivement les matériaux classiques.

Le recyclage des déchets mise en décharge et l'économie d'énergie sont des champs de recherche très important. Et ce dans la tentative générale de protection de l'environnement et la promotion des principes de développement durable. Pour cela le recyclage de ces déchets en tant que matériaux de construction semble être une solution à problèmes suscités.

Dans ce contexte, réussir à fabriquer du béton et/ou du mortier tout en économisant les granulats naturels est un enjeu majeur. [1] On gagne dans la diminution de coût de ces matériaux et dans l'augmentation de leur durabilité, mais peu de travaux ont été réalisés pour développer l'utilisation de ces déchets dans la production de matériaux de construction. [2]

Les déchets peuvent être utilisés comme substituts aux agrégats ou comme additions pour améliorer les propriétés des matériaux à savoir : les caractéristiques physico-mécaniques et thermiques ainsi que la capacité d'isolation phonique. L'utilisation de certains types de déchets s'est également avérée appropriée pour la production de béton et de mortier légers. Donc dans le but de rendre notre milieu écologique, le progrès technologique envisage le recyclage des déchets afin de diminuer la pollution et opter pour une valorisation dans les matériaux de construction. [3]

L'Algérie dispose d'une ressource importante de grignons d'olives qui comptent parmi les matériaux les plus abondants dans notre pays et plus particulièrement dans la wilaya de Bejaia (zone de notre étude) et ils sont jetés dans les rivières et les eaux côtières ou consumés par le feu dans la nature.

L'objectif de ce travail est une contribution expérimentale à l'étude de l'incorporation judicieuse des grignons d'olives broyés comme substituants au sable dans la confection d'un mortier .Et cela afin de limiter les déchets jetés dans la nature d'une part et d'économiser l'énergie, et améliorent les performances définies.

Pour bien suivre l'évolution des résistances en flexion, en compression et en isolation thermique, des échantillons de mortier confectionnés à de différents pourcentages volumétriques de grignons d'olives (10% 20% 30% 40%) ont été expertisés en fonction du

temps. Néanmoins, pour évaluer les qualités physico-mécaniques du mortier réalisé; des essais techniques ont été effectués pour analyser l'influence de l'ajout utilisé sur les performances du mortier.

L'incorporation des ajouts organiques dans le mélange de base des matériaux de construction tel que le mortier est une solution probablement prometteuse pour répondre aux contraintes économiques et environnementales d'aujourd'hui. Et ce dans le but de:

- ✓ Contribuer à préserver l'environnement par l'élimination du dépôt sauvage des gravats et la limitation d'extraction des granulats de carrière et alluvionnaires
- ✓ Répondre à la demande croissante en granulats.
- ✓ Contribuer à mettre en valeur des granulats recyclés.
- ✓ Contribuer aux études menées sur l'emploi des granulats recyclés dans les bétons et mortier en substitution des granulats naturels.

Pour bien cerner le sujet et arriver aux objectifs fixés précédemment, nous avons donc mené notre recherche selon le plan de travail qui se compose des deux parties distinguées:

La première constituée de deux chapitres, porte sur la synthèse bibliographique. Le premier chapitre est consacré aux généralités sur les mortiers et son historique. Nous présentons quelques types de mortiers et ses principaux constituants avec leurs caractéristiques. Le deuxième chapitre nous donne un aperçu sur les grignons d'olives où nous exposerons le domaine d'exploitation, leur composition, ses différents types, les procédés d'extraction et le taux de production.

La seconde partie, étant une étude expérimentale, sera aussi constituée de deux chapitres.

Dans le troisième chapitre on présente les matériaux utilisés et la méthode expérimentale de chaque analyse réalisée au laboratoire.

Le dernier chapitre, comportera les résultats obtenus des essais physico-mécaniques et thermique effectués avec leurs interprétations.

Le manuscrit se termine par une conclusion générale et des perspectives.



Première partie

Synthèse Bibliographique



CHAPITRE I
Les mortiers

Les mortiers

I.1. Introduction

Une construction est généralement réalisée par des éléments, dont il faut assurer la liaison ou qu'il faut protéger par un revêtement. On doit aussi effectuer des scellements ou divers travaux de reprise, de bouchage, etc. Toutes ces opérations se font à l'aide d'un liant toujours mélangé à du sable, de l'eau et éventuellement un adjuvant pour obtenir un « mortier », qui se distingue du béton par l'absence de gravillons.

Des compositions multiples de mortiers peuvent être obtenues en jouant sur les différents paramètres : liants (type et dosage), adjuvants et ajouts, dosage en eau. En ce qui concerne le liant, tous les ciments et les chaux sont utilisables ; leur choix et le dosage sont fonction de l'ouvrage à réaliser et de son environnement.

Ce chapitre a pour objectif de présenter les différents mortiers existants. En outre, une synthèse bibliographique sera dédiée aux principaux constituants, au mélange, et aux ajouts déjà employés.

I.2. Définition du mortier

Le mortier est un matériau de construction obtenu par mélange de liant, de sable et d'eau, éventuellement des adjuvants, réalisé dans des proportions bien définies de manière à obtenir une pâte de plasticité convenable pour la mise en œuvre. Il sert à lier les différents éléments de construction tels que des briques, des pierres, des blocs de béton (parpaings)... ou à exécuter des revêtements et des enduits de façade.

I.3. Historique de l'emploi du mortier

Parmi les premiers exemples de construction imposante utilisant les mortiers, nous pouvons citer la pyramide de Saqqarah, construite par IMHOTEP, qui est considéré comme l'un des inventeurs des mortiers. Selon les articles et les définitions que l'on va donner aux mortiers (enduits ou systèmes de scellement), ceux-ci ont fait leur apparition il y a entre 3000 et 10000 ans avant J.-C. Leur utilisation va se généraliser lorsque s'ouvre l'ère de la maçonnerie. [4]

Les mêmes types de mortiers seront utilisés des siècles durant et nous n'avons que peu de travaux techniques et scientifiques sur leur mode de fonctionnement jusqu'à la fin du XVIIIe siècle. Les recherches ne commenceront réellement qu'au début du XIXe, notamment avec Louis Vicat et la découverte de l'hydraulicité en 1817. Nous pouvons également noter une des études les plus complètes sur les mortiers à la chaux réalisée par le Général Treussart, inspecteur du génie, qui publia en 1824 un mémoire sur les mortiers hydrauliques et sur les mortiers ordinaires. Ces études, ainsi que celles par exemple de Joseph Aspdin, mèneront aux débuts de la fabrication des ciments modernes avec la première usine de ciments, créée par Dupon et Demarle en 1846 à Boulogne-sur-Mer, qui ouvrira de nouvelles perspectives dans l'utilisation des mortiers.

Jusqu'au début du siècle dernier, les mortiers étaient souvent préparés sur les chantiers par un mélange manuel. Les premiers mortiers industriels, dosés et mélangés en usine, pour faire des enduits décoratifs ont été créés à Paris par Georges Weber et Jean-Baptiste Broutin au tout début du XXe siècle. Cette industrie prendra un réel essor en France au lendemain de la seconde Guerre mondiale pour reconstruire l'Europe.

I.4. Différents types de mortier

I.4.1. Mortier de ciment

C'est le mortier le plus basique en construction, il présente une bonne résistance mécanique avec une faible plasticité. Il sèche également plus vite que la plupart des autres mélanges. Les dosages courants sont de l'ordre de 300 à 400 kg de ciment pour un mètre cube de sable. [5]

I.4.2. Mortier de chaux

Contrairement au mortier de ciment, le mortier de chaux possède une bonne plasticité et une facilité d'application à un temps de séchage un peu plus long, mais une faible résistance mécanique.

Il s'agit d'un mélange classique de chaux de sable et d'eau.

I.4.3. Mortier réfractaire

Il est destiné à la construction des cheminées et barbecues, grâce à sa résistance à des températures élevées qui arrive jusqu'à 900°C.

I.4.4. Mortier bâtard

Fabriqué avec un mélange de chaux et de ciment il présente des caractéristiques intermédiaires entre le mortier de ciment et le mortier de chaux.

I.4.5. Mortier hydrofuge

C'est le type de mortier résistant à l'eau qui permet d'éviter les problèmes d'humidité (salle de bain, les bassins de piscines...)

I.4.6. Mortier-colle (Rapide)

Est un mortier adhésif qui permet de coller un revêtement contre un mur ou un sol.

I.5. Utilisation de mortier

À la différence du béton, le mortier ne comporte pas de gravillons dans sa composition. Il est utilisé pour la réalisation de joints, d'enduits, de chapes et de divers travaux tels que scellement, reprise d'enduit, rebouchage, etc.

Les mortiers sont donc utilisés aussi pour assurer la stabilité d'ouvrage, solidariser les éléments entre eux, combler les interstices entre les blocs et assurer la protection contre l'humidité.

I.6. Constituants du mortier

Le mortier est principalement constitué de liant, de sable et d'eau.

I.6.1. Liant

Un agent de liaison ou liant, est un matériau utilisé pour former des matériaux en un bloc cohérent, afin d'assurer la stabilité structurelle. Les liants durcissent chimiquement ou

mécaniquement et, ce liant les fibres, la poudre de remplissage et d'autres substances entre elles. Donc il sert à agglomérer en masse consistante liquide, pâteuse ou poudreuse.

Les liants se partagent en deux branches : les liants minéraux et les liants organiques. [6]

I.6.1.1. Liants minéraux

Sont des matériaux moulus d'une façon très fine malaxés à l'eau. Ils donnent une pâte collante qui durcit graduellement pour devenir une sorte de pierre artificielle.

Dans les travaux de construction, les liants minéraux sont mélangés avec l'eau et les granulats, pour devenir un mortier ou encore un béton. Il est connu que certains liants durcissent à l'air seulement et d'autres dans les milieux humides ou dans l'eau. Cette propriété nous permet de classer les liants minéraux en :

a. Liants aériens

Qui ne durcissent et ne peuvent conserver leur propriété mécanique qu'à l'air (exemple: chaux grasse...)

b. Liants hydrauliques

Qui durcissent et conservent leurs propriétés mécaniques non seulement à l'air mais aussi dans l'eau (exemple : chaux hydraulique, ciment Portland...)

I.6.1.2. Liants organiques

Les liants organiques sont synthétisés par des organismes vivants, ou par la science de l'homme, au départ de matière minérale ou de matière organique préexistante. Leur mode de prise est complexe, et le carbone s'y rencontre principalement sous la liaison $\equiv\text{C}-\text{H}$. [7]

On distingue deux types de liants organiques :

a. Liants hydrocarbonés (noirs)

Bitumes, goudrons ...

b. Résines et polymères

Les aminoplastes, par exemple, sont des polymères largement utilisés comme liants dans l'industrie du bois et de ses dérivés.

La figure ci-jointe résume les différentes classifications des liants en matériaux de construction.

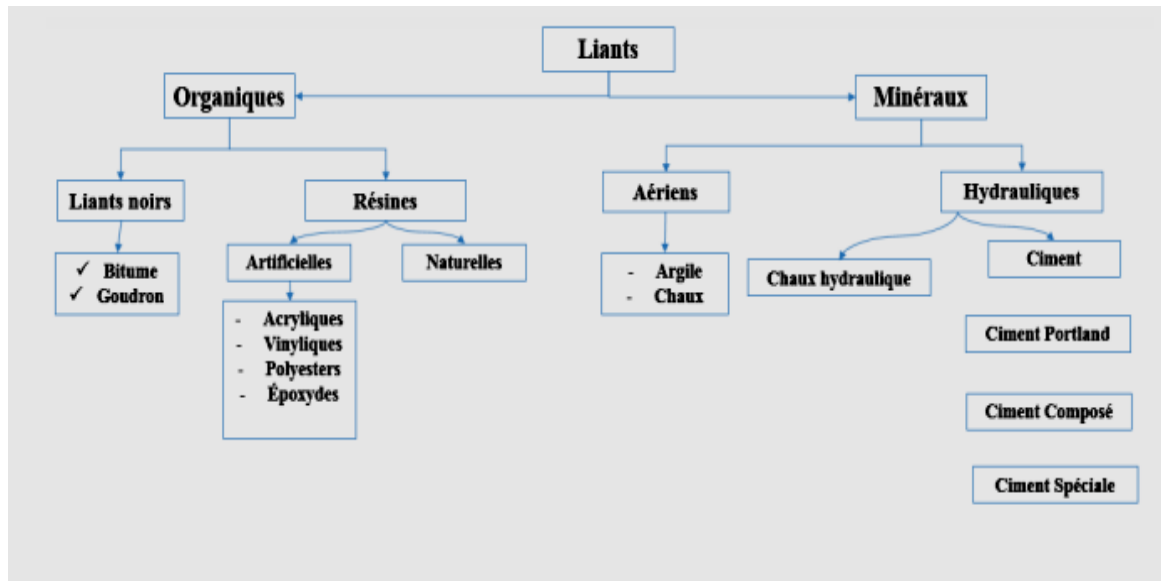


Figure I.1: Classification des liants. [8]

I.6.2. Ciment

Le ciment est un liant hydraulique qui gâché avec de l'eau, forme une pâte qui fait prise et durcit par suite de réaction et processus d'hydratation et qui après durcissement conserve sa résistance et sa stabilité.

Il est composé de clinker, de gypse et d'additifs éventuels.

I.6.2.1. Types de ciment

Il y a cinq types principaux de ciment, ils sont notés CEM et numérotés en chiffres romains :

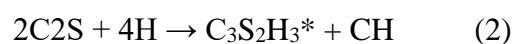
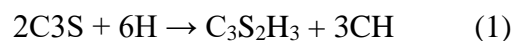
- CEM I : Ciment Portland (CPA) : Ce ciment est composé du seul clinker. Parmi les ciments Portland, il faut signaler le ciment blanc qui permet de réaliser des produits et bétons esthétiques et décoratifs
- CEM II : Ciment Portland composé (CPJ) : Ce ciment est composé de clinker broyé avec des cendres 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.

I.6.2.2. Hydratation de ciment

Le ciment durcit en quelques heures et peut supporter des charges mécaniques importantes en quelques jours. Ce durcissement est le résultat de l'hydratation du ciment. C'est un processus complexe qui engendre certains phénomènes tels que le dégagement de chaleur et le développement de la résistance. En dépit de son caractère fortement hétérogène et complexe, il est toujours nécessaire de définir une variable macroscopique pour suivre l'hydratation du ciment de la façon globale par le rapport entre la masse du ciment hydraté et la masse du ciment initialement introduite.

La réaction d'hydratation fait apparaître de nouvelles phases primaires, et généralement toutes sensibles à l'action du dioxyde de carbone. Dans un premier temps on décrira les différents hydrates sains (non carbonatés) de la pâte de ciment, pour ensuite aborder l'effet du CO₂ sur la matrice cimentaire. Les principaux hydrates sont logiquement issus de l'hydratation des phases anhydres majoritaires. Ainsi l'hydratation de l'alite (C₃S), et de la bélite (C₂S) selon les réactions (1) et (2) donneront des C-S-H et de la portlandite. [9]

Les phases aluminates seront quant à elles issues de l'hydratation des C₃A et des C₄AF. Elles représentent environ 10% du volume des hydrates et sont principalement sous forme d'ettringite, de monosulfoaluminate et hydrogénâtes.



* formule approximative

I.6.3. Sable

Le sable est une roche sédimentaire meuble, composé de petites particules résultant de la désagrégation d'autres roches dont la dimension est comprise entre 0 et 4 mm. On peut classer les sables d'après leur origine. On distingue les sables naturels et les sables artificiels. [10]

A. Sables naturels

Il est appelé aussi sable de rivière. Il se caractérise par sa forme arrondie et sa dureté, il est issu de l'action de l'eau sur les rochers.

➤ **Sable de carrière**

Il est extrait des sablonnières. Il est soit retiré du sol en masse, soit fabriqué à partir de roches extraites en carrière.

➤ **Sable de mer**

Il provient de roches sous-marines, il est particulièrement chargé en sel. L'utilisation de ce type de sable nécessite un rinçage minutieux et peut être à l'origine d'éventuelles efflorescences.

➤ **Sable de feuilles**

Il est récupéré sur les reliefs montagneux. C'est un sable fin, comportant de nombreux vides d'air.

B. Sables artificiels

Est un sable obtenu par découpage ou broyage mécanique des roches.

I.6.3.1. Utilisation des sables

Le sable est une matière première centrale dans la construction que ce soit pour la construction de bâtiments collectifs, de bâtiments individuels ou d'ouvrages de travaux publics.

Il était utilisé depuis longtemps dans l'exécution des travaux de remblais, de fondations et les travaux routiers. [11]

Il entre dans la composition des bétons et des mortiers pour contribuer à leur résistance et leur durabilité.

Sans le sable, il serait donc difficile de répondre aux besoins actuels d'habitations.

I.6.3.2. Rôle de sable

L'introduction des sables permet de diminuer le retrait du liant (ossature mortier) en augmentant les résistances mécaniques, ajoutant à cela, sa disponibilité et son aspect esthétiques (couleur). Les sables de bonne granulométrie doivent contenir des grains fins, moyens et gros. Les grains fins se disposent dans les intervalles entre les gros grains pour combler les vides. Ils jouent un rôle important : Ils réduisent les variations volumiques, les chaleurs dégagées et même le prix. Les dosages se feront en poids plutôt qu'en volume comme c'est souvent le cas, afin d'éviter les erreurs de dosage, par suite de l'augmentation de volume de sable humide. [12]

I.6.4. Eau de gâchage

L'eau de gâchage est la quantité qu'il faut ajouter au mélange sec de granulats (mortier). Il joue deux rôles importants dans la technologie de ce dernier. En premier lieu il permet l'hydratation du ciment, deuxième lieu il assure l'ouvrabilité et la maniabilité du mélange.

Pour confectionner un bon mortier, il faut une eau propre, vierge de toute matière organique ou chimique et de sels susceptibles de modifier le temps de prise et la rhéologie du mortier. En règle générale le rapport E/C (dit dosage en eau) est compris entre 0,4 et 0,6.

I.6.5. Adjuvants

Sont des produits dont l'incorporation à faible dose dans le béton, le mortier ou coulés provoque les modifications recherchées à l'état frais ou à l'état durci.

En général, chaque adjuvant a une action principale qui le définit et d'après laquelle il est classé. Cependant il peut présenter d'autres actions secondaires. Ils sont ajoutés au moment du malaxage. [13]

I.6.5.1. Différents types d'adjuvants

Les adjuvants sont classés en fonction de leurs effets :

- **Retardateurs ou accélérateurs de prise**

Ils sont utilisés pour transporter du béton sur de longues distances, notamment par des temps chauds. Ils sont également utilisés pour éviter toute discontinuité lors de la reprise du bétonnage.

- **Accélérateurs de prise**

Ils agissent en accélérant l'hydratation. Ils sont de deux sortes : accélérateurs de prise ou accélérateurs de durcissement (leurs utilisations chutent la résistance)

- **Plastifiants pour le béton**

Ils facilitent la pose du béton en le rendant plus maniable. Ils lui assurent une meilleure résistance.

Les superplastifiants qui sont des polymères de synthèse ont une action plus importante que les plastifiants traditionnels pour moins de produit.

- **Les hydrofuges pour le béton**

On distingue deux types :

- Les hydrofuges de la masse : qui sont incorporés au mélange lors du malaxage du béton.
- Les hydrofuges de surface : qui sont appliqués sur le béton durci.

Ils permettent d'imperméabiliser le béton en arrêtant l'absorption capillaire. Ils sont plutôt à utiliser dans les enduits de revêtement plutôt que dans la totalité du béton.

- **Entraîneurs d'air**

Leur rôle est de former les microscopiques bulles d'air dans le béton. Ils lui permettent de mieux résister au gel et surtout aux cycles gel/dégel. Ainsi l'amélioration de l'ouvrabilité.

- **Produits de cure**

Sont pulvérisés sur le béton une fois que celui-ci est coulé. Ils empêchent ou compensent une perte d'humidité trop rapide et contrôlent la température du béton, un séchage trop rapide entraîne une moindre résistance mécanique (phénomène de retrait ou des fissures).

- **Agents de mouture**

Ils sont ajoutés lors de la fabrication du ciment au moment du broyage, ils évitent au ciment de s'agglomérer et assurent une meilleure qualité du produit fini.

Le dosage en pourcentage (%) des adjuvants est résumé sur le tableau suivant :

Tableau I.1 : Dosage en adjuvants par rapport au poids.[14]

Aadjuvants	Dosage en %
Plastifiants	0,15 à 1,2
Superplastifiants	0,6 à 2,5
Accélérateurs de prise	1 à 3
Accélérateurs de durcissent	0,8 à 2
Retardateurs de prise	0,2 à 0,8
Hydrofuges	0,5 à 3
Entraîneurs d'aire	0,05 à 3
Rétenteurs d'eau	0,1 à 2

I.7. Caractéristiques du mortier

I.7.1. Ouvrabilité

Aptitude d'un matériau à être mis en œuvre, à être façonné, travaillé, transformé par durant, au moins, un laps de temps. On l'apprécie par une valeur de consistance, qui est déterminé par l'affaissement au cône d'Abrams.

I.7.2. Masse volumique à l'état durci

La masse volumique absolue est la masse du granulat sec occupant l'unité de volume, tous les vides sont exclus (aussi bien les vides entre les graines que les vides à l'intérieur des graines). [15]

I.7.3. Résistance à la compression

Les essais sont effectués sur des éprouvettes prismatique $4 \times 4 \times 16$, conservées dans l'eau à 20 ± 2 °C. Cet essai consiste à étudier la résistance à la compression des éprouvettes du mortier. [12]

I.7.4. Résistance à la flexion

L'essai de flexion permet de contourner le problème de comportement à la rupture de l'éprouvette à l'aide de l'essai de traction. Cet essai est principalement utilisé pour tester les matériaux fragiles en montrant le comportement particulier du matériau à proximité de la surface testé. [16]

I.7.5. Retrait et Gonflement

Immédiatement après le gâchage, on observe une rétraction de la pâte fraîche de ciment ; c'est le premier retrait ou retrait plastique. Ce retrait se poursuit après la prise, puis diminue pour faire place à un gonflement plus ou moins important.

Entre 24h et 48h, si l'éprouvette est conservée dans l'air, ce gonflement fait place à nouveau à un retrait appelé second retrait. Soit L la dimension de l'éprouvette étudiée dans la direction considérée ; soit dL la variation de longueur correspondante (positive s'il s'agit d'un gonflement, négative il s'agit d'un retrait). La mesure du retrait consiste à évaluer les variations de dL/L en fonction du temps t . [12]

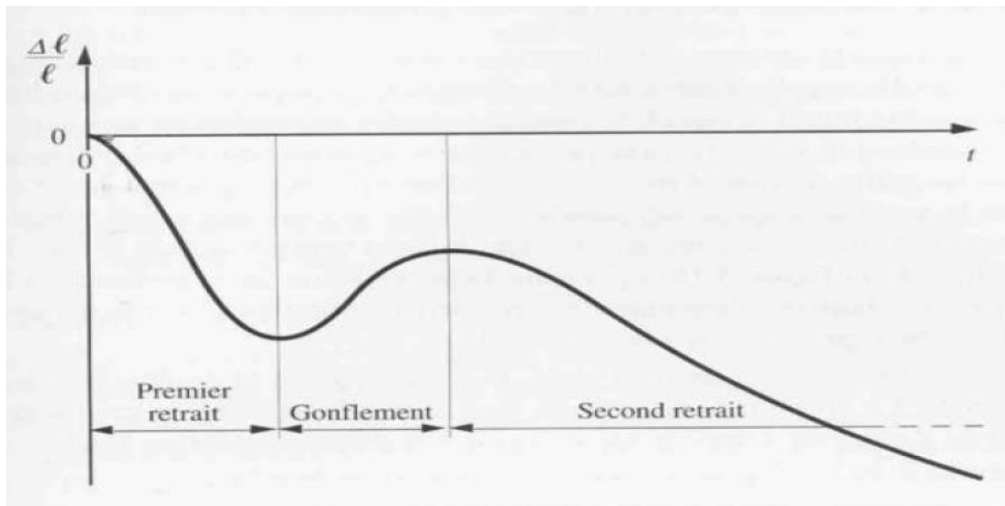


Figure I.2: Déformation de la pâte dans les 48 h suivant le gâchage.

I.7.6. Porosité

La porosité est le siège des agressions extérieures. Plus le matériau est poreux et absorbant, plus la pénétration des agressions sont facilitées, et plus sa durabilité est dégradée [17]. Elle est définie comme le rapport entre le volume des vides et le volume total d'un milieu poreux. Ces vides sont remplis par des fluides [18]. La porosité est un très bon indicateur de la durabilité est donc utilisée dans cette étude

I.7.7. Absorption d'eau (pores capillaires)

L'absorption est le résultat des mouvements capillaires des fluides dans les fissures du matériau ouvertes sur le milieu extérieur. Il en résulte que l'absorption ne peut se produire que sur un matériau partiellement sec. [19]

La mesure de l'absorption d'un granulat recyclé est une méthode simple qui peut être utilisée pour évaluer la qualité de celui-ci. Comme l'absorption du granulat est due en grande partie au mortier résiduel, une valeur d'absorption élevée indique la présence d'une grande teneur en mortier résiduel et par le fait même, un impact plus important sur les propriétés du béton et mortier préparé avec ce granulat. [20]

I.8. Différents ajouts déjà expertisés

Dans le but de rendre notre milieu écologique à l'aide de l'exploitation des déchets comme des ressources renouvelables pour améliorer certaines caractéristiques de mortier confectionné avec des ajouts naturels, différents ajouts minéraux et végétaux sont actuellement

utilisés dans le mortier. Ils sont utilisés en addition ou en substitution d'une partie du granulat comme matières granulaires supplémentaires. On cite quelques études déjà effectués :

- Selon Rouibi.M et al, ont trouvé que la résistance à la compression du mortier témoin (sans ajout) est supérieure à celles des mortiers à base de pouzzolane. Cette chute est due à la pauvreté en portlandite consommée par la réaction pouzzolanique, et ils ont trouvé que l'augmentation de la résistance avant sa chute, à un certain âge de conservation dans la solution de sulfate est justifiée par la formation des produits expansifs tels que le gypse, l'ettringite et la brucite. La perte de résistance est la conséquence de la microfissuration engendrée par ces produits expansifs à long terme .[21]
- D'après Salhi.M et al, la pouzzolane améliore la durabilité des mortiers vis-à-vis des attaques des sulfates. Cette amélioration se traduit par une faible intensité d'ettringite. L'ajout des matériaux pouzzolaniques permet de réduire l'effet des attaques chimiques par la réduction de la perméabilité du matériau, de la taille des pores et du pourcentage de $\text{Ca}(\text{OH})_2$. [22]
- Youcef GHERNOUTI et al , a montré dans son étude qui porte sur l'étude de la résistance chimique des mortiers sans et avec ajouts (la vase et la fumée de silice) exposés à quelques types d'agression chimiques (acides fort et faible, bases, pénétration des ions chlores, ...), que les mortiers à base de vase calcinée à 750 °C (10% de vase en substitution de ciment) présentent un bon comportement vis-à-vis des milieux agressifs. [23]
- Selon A.Belkadi et al, a trouvé que la meilleure résistance à la flexion a été enregistrée pour les mortiers de chanvre et du palmier dattier. Les fibres végétales présentent une résistance à la traction élevée comprise entre 173 MPa et 619 MPa et une déformation maximale entre 0.433 et 1.178 mm, et ils ont dit que Ces résultats laissent présager d'un avenir prometteur pour l'utilisation des fibres végétales dans les matériaux cimentaires. [24]
- Meriem BOUTARFA et al, ont trouvé que l'ajout de fibres d'alpha à l'état naturel influe sur le mortier ; un retard de prise assez considérable, mais il modifie le comportement mécanique en compression et en traction, plus la longueur et le pourcentage volumique

des fibres est important, plus la résistance en traction par flexion et nettement améliorée.[25]

- A.Kerbouche et al, ont expertisé les effets de l'incorporation d'ajouts minéraux tels que: pouzzolane naturelle (ajout actif), fillers calcaire (ajout inerte) et fumée de silice (ajout très actif) sur les propriétés mécaniques des mortiers élaborés selon les différentes combinaisons à base de ces ajouts. Ses études montrent que l'ajout de 10% de fillers calcaire (FC) améliore la résistance des mortiers binaires au jeune âge (2 jours), par contre les taux de 30% de pouzzolane naturelle (PZN) et 10% de fumée de silice (FS) contribuent positivement à long terme (90 jours). Concernant les mortiers ternaires les couples (10-30% PZN /10% FC) et (10-30% PZN / 10% FS) semblent les plus efficaces car ils développent des résistances comparables à celle du mortier contrôle à long terme (90 jours). [26]
- « Harbi Radhia » a étudié l'effet de la substitution d'une partie du ciment par les additions : poudre de verre, le métakaolin et les déchets de brique sur les performances des mortiers avec substitution de 5% de poussière de kaolin dans le sable. Elle a montré que l'utilisation de l'argile calcinée (métakaolin) et la poudre de verre, à fort dosage (25%) contribue à améliorer les résistances mécaniques des mortiers et la durabilité à cause de leurs réactivités pouzzolaniques qui diminuent la porosité et aussi l'absorption d'eau, également le même résultat de l'utilisation de la poudre de brique à faible dosage (5%) par contre le fort dosage de cette dernière diminue la résistance mécanique et augmente l'absorption d'eau par capillarité.[17]
- « N. Bouhamou » et al, ont montré dans leur étude que la présence de la vase contribue au déclenchement rapide du début de prise, ce qui peut être utile en cas de bétonnage par temps froid, et les résistances mécaniques des bétons à base de 0, 10 et 15 % de vase restent très proches. Quant au béton contenant 20 % de vase, ses résistances évoluent de manière ascendante à moyen terme, et continuera, probablement son ascension à long terme. Ce qui encourage à utiliser jusqu'à 20 % de vase en remplacement du ciment.[27]
- « MOKHTARI ABDESSAMED » a montré selon son étude sous le titre « Influence des ajouts de fines minérales sur les performances mécaniques des bétons renforcés de fibres végétales de palmier dattier » que la résistance à la compression diminue avec

l'augmentation du pourcentage des fibres. Cela est en accord avec la littérature. En effet, la majorité des auteurs rapportent que l'ajout des fibres végétales au béton ou au mortier n'améliore pas sa résistance à la compression. Par contre La résistance à la flexion s'améliore avec l'incorporation des fibres, et le mortier de 20 % de pouzzolane naturelle présente le meilleur résultat qui dépasse la résistance du mortier classique.[28]

- Tebbal Nadia a montré que l'ajout binaire (fumée de silice et laitier granulé) augmente la surface spécifique du liant qui entraîne une demande d'eau supplémentaire et conduit ainsi à une eau de consistance plus importante dans toutes les pâtes de ciment, et leur incorporation affecte positivement la maniabilité du béton. Pour une meilleure durabilité en milieux sulfatés la quantité de fumée silice sera limitée à 8%, mais l'incorporation de 10% de laitier granulé limite l'ajout de fumée de silice à 5%.[29]
- « Rabah Chaïd » et al ont montré dans leur étude où ils ont substitué une partie de ciment par le laitier de l'usine sidérurgique d'El-hadjar, que la mouture poussée du laitier a favorisé l'accroissement de la compacité des bétons. Ceci explique l'augmentation de leurs résistances par rapport au béton sans ajout et que cette incorporation du laitier finement broyé engendre également un effet granulaire relatif aux modifications induites sur la compacité du squelette granulaire. Sur le plan physico-chimique, le laitier entraîne la formation d'une peau de béton relativement plus imperméable et par conséquent un béton plus durable. [30]

I.8.1. Ajouts minéraux

Ces matériaux proviennent principalement des sous-produits de l'industrie métallurgique des centrales thermiques à charbon ; et sont classés selon la norme NF EN 1971 en ajouts minéraux inertes et actifs. [31]

Ils se divisent selon leurs réactivités comme le montre le tableau ci-dessous. [32]

Tableau I.2 : Classification des ajouts selon leur réactivité.

Type	Réactivité	Matériau
Hydraulique	Fortement réactif	Ciments spéciaux-chaux hydraulique

Hydraulique Latent		Laitier granulé-cendres volantes riche en calcium (calciques)
Pouzzolanique	Fortement réactif	Fumée de silice
	Moyennement Réactif	Cendres volantes pauvre en calcium, pouzzolanes naturelles (verre volcanique, tufs volcanique, terres à diatomées)
	Faiblement réactif	Scories cristallines
Inerte	Non réactif	Fillers (farine calcaire...) fibres, pigments colorants, matières expansives, dispersions synthétique

I.8.1.1. Avantages d'ajouts minéraux

Différents ajouts minéraux sont actuellement utilisés dans le domaine de construction grâce à leurs avantages. Ils sont utilisés en addition ou en substitution, [33] elle présente beaucoup plus d'avantages sur le plan économique, impact environnemental et technique, on cite quelques avantages :

- Amélioration de la maniabilité.
- Diminution de la chaleur d'hydratation des ciments.
- Amélioration de la résistance mécanique et la résistance à la fissuration.
- Réduction de coût en introduisant les ajouts au mortier.
- Diminution de rejets des gazes carboniques qui polluent l'environnement suite à la production des matériaux de construction.

I.8.1.2. Inconvénients d'ajouts minéraux

Malgré tous les avantages que présentent ces ajouts minéraux, cependant on ne peut pas négliger les modifications significatives engendrées sur les propriétés rhéologiques des matériaux à l'état frais et durci. En plus certaines additions peuvent réagir chimiquement en milieux cimentaires pour former de nouveaux produits hydratés qui présentent un caractère liant supplémentaire .[34]

Quelques inconvénients des ajouts minéraux sont cités dans ce qui suit :

- Retard de prise.
- Résistance à la compression a jeune âge plus faible.
- Mûrissement plus long.
- Résistance à l'écaillage controversée.
- Difficulté de broyage et transport plus cher. [32]

I.8.2.Ajouts végétaux

Ces matériaux proviennent principalement de déchet végétal : fruits, feuilles, palmier de dattier, balles de riz ...

I.8.2.1.Avantages d'ajouts végétaux

L'utilisation des fibres végétales dans la construction compromis entre performance thermique, ambiance confortable et conception moderne, ces matériaux agro-sources sont en plus disponibles puisqu' ils sont issus généralement d'une activité agricole locale en montrons quelques avantages de ces fibres dans ce qui suit :

- Demande peu d'Energie pour être produite.
- Neutre pour l'émission.
- Bonne isolation thermique acoustique.
- Faible coût.
- Ressource renouvelable. [3]

I.8.2.2. Inconvénients d'ajouts végétaux

Malgré les avantages qui présentent ces ajouts végétaux cependant on ne peut pas négliger l'effet négatif qui possède tel que la porosité intrinsèque importante, du fait de la

présence de capillaires. Ceux-ci rendent les particules légères, compressibles et sensibles à l'eau.

On cite quelques inconvénients dans ce qui suit :

- Renfort discontinue.
- Faible tenue thermique (200 à 230 C°).
- Fibres anisotropes.
- Mauvaise tenue en vieillissement.
- Pour les applications industrielles, il nécessite une demande de la gestion d'un stock.

I.9. Conclusion

Après une consultation bibliographique riche, nous avons rassemblé dans ce chapitre les constituants entrants dans la formulation du mortier, ainsi que ses différentes caractéristiques. Et notamment les effets d'intégration des ajouts minéraux et végétaux dans les mortiers.

CHAPITRE II

Les grignons d'olives

Les grignons d'olives

II.1. Introduction

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

En outre les déchets agricoles sont de plus en plus nombreux, certains peuvent être utilisés comme matériaux. De nos jours la réglementation impose de valoriser ces déchets afin de limiter les quantités mises en décharge et aussi de préserver les ressources naturelles en matières premières.

II.2. Présentation de grignon d'olive

Le grignon d'olive est le résidu de l'extraction de l'huile d'olive. Il est obtenu par des moyens strictement mécaniques. Ces grignons se composent de la coque du noyau de la peau et de la pulpe.

II.3. Types de grignons d'olive

On distingue trois types de grignons d'olive, [35] cités comme suit:

II.3.1. Grignon brut

C'est le résidu de la première extraction de l'huile par pression de l'olive entière. Il renferme 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 favorise leur altération rapide.

II.3.2. Grignon épuisé

Diffère essentiellement par une plus faible teneur en huile et une teneur en eau réduite du fait qu'il a été déshydraté au cours du processus de l'extraction.

II.3.3. Grignon partiellement dénoyauté

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

II.4. Un peu d'histoire de l'Olivier et sa culture

Des forêts d'oliviers sauvages sont présents 60 000 ans avant J.C. sur la partie occidentale du bassin méditerranéen et au Moyent-Orient. L'olivier sauvage ou oléastre pousse spontanément à peu près sur tout le pourtour méditerranéen. [36]

En ce qui concerne la culture de l'olivier en Afrique du Nord, les historiens s'accordent sur le fait que, dès l'Antiquité, les Berbères procédaient à des greffes d'oléastres, bien avant l'arrivée des Romains et le développement par les Carthaginois de plantations d'oliviers. Il est d'ailleurs possible que la dénomination berbère de l'oléastre soit à l'origine du terme grec *ἐλαία* [elaia] et du latin *olea* employé par les Romains. Dans cette hypothèse, on pourrait considérer que ce sont les Berbères, qui auraient tout d'abord nommé et exploité l'olivier sous sa forme sauvage au milieu du 8^e siècle avant J.C.

Le climat de l'Afrique du Nord est particulièrement favorable à la culture de l'olivier et les Romains l'ont bien compris. Ils s'attachent à étendre ce type de culture, comme le confirment les nombreuses ruines d'anciens pressoirs et moulins à huile encore présents dans cette région ou dans d'autres régions où les oliviers sont totalement absents de nos jours.

Sous la domination grecque puis romaine, la culture de l'olivier s'intensifie en Afrique du Nord et dans tout le bassin méditerranéen occidental. Ces civilisations apportent un savoir-faire lié aux techniques agronomiques, de production, de stockage et de commercialisation de l'huile. Ce commerce de l'huile d'olive est florissant – une activité attestée par les très nombreuses amphores à huile retrouvées dans les épaves de navires marchands coulés en Méditerranée. L'olive et son huile ont été des moteurs de l'essor du commerce maritime sur le bassin méditerranéen.

II.5. Production d'olive

II.5.1. À l'échelle mondiale

Bien que la production de l'olivier soit répartie sur les cinq continents (voir Tableau II.1) elle est surtout prédominante dans la zone du Bassin Méditerranéen qui représente 98% de la surface et des arbres en production et 97% de la production totale d'olives. Les quatre pays (Espagne, Grèce, Italie, Tunisie) faisant l'objet de cette étude représentent à eux seuls 65%

de la surface, 76% des arbres en production et 74% de la production totale d'olives.

Au niveau mondial l'importance de la production oléicole peut se résumer par les quatre chiffres suivants (arrondis) :

Tableau II.1: L'importance de la production oléicole mondiale. [37]

Surface totale	7 000 000 ha
Arbres en production	600 000 000
Olives produites	8 400 000 tonnes
Huile produite	1 600 000 tonnes



Figure II.1: Carte oléicole mondiale (COI, 2013).

II.5.2. A l'échelle nationale

D'après l'observatoire national de l'agriculture (ONAGRI) du 03 février 2020, l'Algérie se positionne en 8^{ème} rang après (Espagne, Italie, Tunisie, Grec, Turquie, Maroc, Portugal) avec une production de 89500 tonnes. Les 2/3 du vergé national oléicole sont concentrés dans la région de la Kabylie, en particulier dans la wilaya de Bejaia, notre zone d'étude. [38]

La direction de l'agriculture de la wilaya de Bejaia prévoit une production de 19 millions de litres à la fin de la campagne 2021/2022. Ce qui représente plus que 77000 quintaux d'olives. [39]

II.6. Procédés d'extraction de l'huile d'olive

La technologie utilisée pour la trituration est très variable et elle a subi une évolution importante durant les dernières décennies. Les méthodes utilisées sont : le système par presse (traditionnel), le système par centrifugation (continu à trois phases et le système continu à deux

phases). Chacun de ces systèmes donne lieu à de différents types de déchets et de sous-produits :

- Pressoir : margines concentrées + grignons solides
- 3 phases : margines diluées et en petite quantité + grignon humides (consistance

pâteuse). [40]

L'extraction se fait par centrifugation (décantation) ou par pression. L'extraction par centrifugation se fait dans un décanteur où les différents composants de pâte se séparent selon leur densité.

Trois phases sont obtenues :

- Le grignon ($\rho \sim 1,2 \text{ kg/dm}^3$)
- Les margines ou eau de végétation ($\rho \sim 1,015$ à $1,086 \text{ kg/dm}^3$)
- L'huile ($\rho \sim 0,916 \text{ kg/dm}^3$) [41]

Le grignon d'olive contient une certaine quantité d'huile résiduelle. Il est évident que la composition dépend du système employé pour la trituration d'huile d'olive. [38]

II.7. Méthode de conservation

Le problème principal qui se pose pour la conservation des grignons bruts est leur teneur relativement élevée en eau ainsi que la présence d'une quantité encore importante de matières grasses. Ces grignons abandonnés à l'air libre rancissent rapidement et deviennent vite inconsommables par les animaux.

Il est estimé que les grignons bruts obtenus par centrifugation, plus humide se détériorent après 4–5 jours. Les grignons obtenus par pression après environ 15 jours, ensuite déshydratés ne se conserveraient guère plus de 45 jours. Par contre les grignons épuisés qui ont de plus été déshydratés au cours de l'extraction pourraient se conserver plus d'un an.

La déshydratation est actuellement un procédé coûteux compte tenu du coût élevé de l'énergie nécessaire. De plus, les grignons bruts encore riches en matières grasses semblent très limités vis à vis du mode de conservation.

Les quelques essais effectués à petite échelle de conservation par ensilage laissent prévoir une possibilité de conservation plus simple, plus économique et plus efficace en utilisant la méthode des silos-taupinières qui permet de stocker des quantités très variables de quelques tonnes à plusieurs centaines de tonnes.

Compte tenu du fait que le grignon brut frais se conserve très peu de temps il doit être distribué très rapidement aux animaux ou ensilé le plus tôt possible afin de ne pas s'altérer.

Toutefois, il est à noter qu'il est généralement économiquement plus rentable d'extraire

préalablement l'huile du grignon. Mais lorsque pour des raisons spécifiques l'extraction n'a pas lieu, ce grignon brut peut être conservé pour être distribué ultérieurement aux animaux.

II.8. Caractéristiques du grignon d'olive

II.8.1. Composition physique

Les grignons bruts renferment la coque du noyau en morceaux, la peau et la pulpe broyée de l'olive avec des teneurs relativement élevées en eau et en huile. Ces teneurs dépendent largement de la méthode d'extraction et favorisent l'altération rapide des grignons lorsqu'ils sont laissés à l'air libre. Les grignons bruts sont pauvres en matières azotées et riche en cellulose. Ils restent relativement riches en matière grasse ; cette dernière est réduite par épuisement à l'aide d'un solvant.

La Figure II.1, montre une section transversale de l'olive avec ses différentes parties: épicarpe, mésocarpe (pulpe), endocarpe (paroi du noyau) et Amandon. [42]

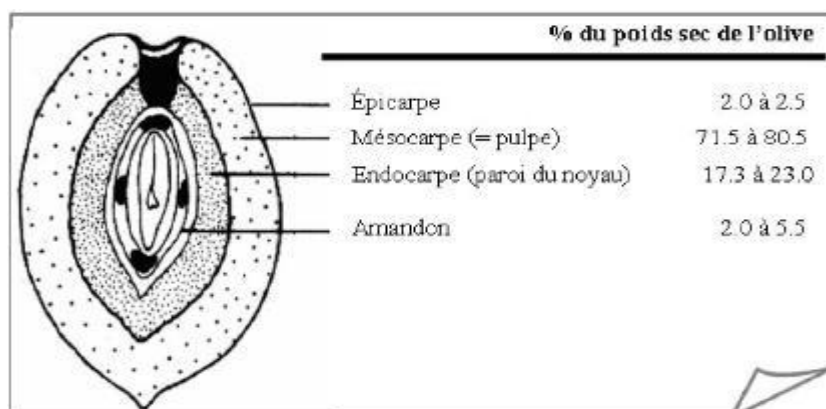


Figure II.1: Section transversale (a) et composition physique de l'olive (b).

II.8.2. Composition chimique

Afin de comprendre plus facilement les variations de la composition chimique des différents types de grignons, il peut être utile de rappeler la composition chimique des différents composants de l'olive (Tableau II.2).

Les procédés de trituration modifient les proportions relatives des différents composants des grignons (épicarpe, mésocarpe, endocarpe et amandon) qui ont des composants chimiques différents. Il est clair que la partie la plus riche en l'huile est le mésocarpe (ou pulpe), et celle plus riche en cellulose brute et en lignine est l'endocarpe (coque ou noyau).

Tableau II.2: Composition chimique des composants de l'olive mûre (Maymone et al.1961). [43]

Type	Matière sèche	% de la Matière Sèche			
		Matière minérales	Mat Az.totales	Cellulose brute	Matière grasses
Grignon brut	75-80	03-05	05-10	35-50	08-15
Grignon gras part dénoyauté.	80-95	06-07	09-12	20-30	15-30
Grignon épuisé	85-90	07-10	08-10	35-40	04-06
Grignon épuisé part dénoyauté	85-90	06-08	09-14	15-35	04-06
Pulpe grasse	35-40	05-08	09-13	16-25	26-33

La composition chimique des grignons d'olives dépend donc de plusieurs facteurs tels que le mode d'extraction, le stade de maturité, les facteurs pédoclimatiques et l'épuisement par solvant. Les teneurs en matière grasses et en cellulose présentent les variations les plus importants. Ce sont en général des sous-produits pauvres en matière azotées et riches en matière ligno-cellulosiques. Cette composition en constituants pariétaux des grignons d'olives est comparable à celle des pailles de céréales avec un degré de lignification appartenant plus élevé. Les résultats rapportés par les différents chercheurs montrent que la composition chimique des grignons (bruts et tamisées) est très variable. Les facteurs propres à l'olive (l'état de maturité, la variété), les procédés d'extraction d'huile, les proportions de différentes fractions (pellicules, coques, pulpes et amandon) et le tamisage font que la composition chimique du grignon d'olive varie dans de larges limites.

Selon les résultats de plusieurs auteurs la composition des différents types de grignons (épuisé non tamisé, épuisé et partiellement tamisé) est donnée dans le Tableau II.3.

Tableau II.3 : Caractéristiques des constituants pariétaux des grignons.

	Grignon Epuisé (Tunisie) (1)	Grignon épuisé partiel dénoyauté		
		Tunisie(1)	Espagne(2)	Grèce (3)
N.D.F	72	55	70	83
A.D.F	60	45	-	64
A.D.L	31	29	31	24

(1) : Nefzaoui, 1979

(2): Alibes et Berge, 1983

(3): Ohlde et Becher, 1982

L'analyse des fibres par la méthode de Van Soest [44] révèle qu'elles renferment des teneurs très élevées en constituants pariétaux (NDF : cellulose+lignine+hemicellulose), en lignocellulose (ADF : lignine+cellulose) et en lignine (ADL : lignine) (Tableau II.3). Le tamisage réduit donc surtout la cellulose et très peu la lignine.

II.9. Utilisation des grignons d'olive

La réutilisation du grignon d'olive en tant que matière première dans l'industrie de bâtiment permet non seulement de réduire les déchets issus de l'industrie d'oléicole, mais aussi de compenser le coût de matières premières, il s'agit aussi d'un moyen écologique et durable de valoriser les déchets tout en préservant les ressources naturelles [45].

Les utilisations principales des grignons sont les suivantes :

- Livraison aux raffineries pour l'extraction de l'huile de grignons ; épandage comme amendement sur les terres agricoles, de préférence après compostage ; emploi comme combustible pour le chauffage.
- Fabrication du savon de Marseille.
- Emploi dans l'alimentation du bétail, en particulier les ovins.
- Le grignon est un additif très approprié pour les unités de gazéification pour la production de biogaz.
- Récemment son utilisation commence à prendre un essor important dans le domaine

des matériaux notamment la brique de construction.

II.10. Conclusion

En dépit de la grande importance de l'huile d'olives, ces rejets influent négativement sur l'environnement. Pour remédier à ce phénomène nous allons essayer d'exploiter ces déchets comme substituant au sable dans la confection d'un mortier.

Deuxième partie

Etude Expérimentale

CHAPITRE III

Analyse des matériaux utilisés

Analyse des matériaux utilisés

III.1. Introduction

L'utilisation de matériaux de construction nécessite une bonne connaissance de leurs propriétés, afin de répondre au mieux aux contraintes imposées lors de leurs conception et réalisation, tant en termes de qualité, que de sécurité et de coût. La connaissance des caractéristiques et propriétés de ces matériaux est primordiale pour toute étude. C'est pour cela que nous allons présenter dans ce chapitre les matériaux utilisés ainsi que les principaux procédés expérimentaux nécessaires pour notre recherche.

III.2. Les matériaux utilisés

Avant d'entamer les analyses, il est indispensable de définir l'origine des matériaux (ciment, sable et grignon d'olive) utilisés.

III.2.1. Ciment

Le ciment utilisé pour notre étude est le CEM II/A-L 42,5 N de la société des ciments de SOUR-EL-GHOZLANE . Les caractéristiques physiques et chimiques sont données dans l'annexe A.

III.2.2. Sable

Sable 0/4 mm provient de la carrière d'EL MHIR ,wilaya de BORDJ BOU ARRERIDJ.

III.2.3. Grignons d'olives

Nous avons exploité les déchets d'une huilerie située à El-kseur wilaya de Bejaia.

III.2.4. Eau de gâchage

Eau de laboratoire de l'université de Bejaia.

III.3. Analyse chimique et minéralogique des matériaux

III.3.1. Ciment

Le Tableau III.1 résume les caractéristiques minéralogiques de CEM II/A-L 42,5 N .

Tableau III.1 : Caractéristiques minéralogiques du ciment CEM II/A-L 42,5 N.

Compositions minéralogiques											
Composé	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₃ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	Cl -	P.A.F	CaO _{libre}
Exigence								≤3,50	≤0,10		
Moyenne (%)	19,35	4,32	3,33	62,74	2,59	0,57	0,15	2,6	<0,01	5,37	1,01

III.3.2. Grignons d'olives

Les étapes à suivre pour l'obtention des grignons d'olives prêts à utiliser pour la confection des mortiers sont comme suit:

1. La récolte : la récolte d'olive comme une étape primaire .
2. Trituration: après l'opération de trituration on aura des grignons d'olives sales pleins d'impuretés.
3. Nettoyage : les grignons d'olives ont été lavé à l'aide d'une eau tiède afin d'éliminer toutes les impuretés (marginé , pulpe d'olive ...) .
4. Etuvage : après avoir lavé les grignons d'olives , ces derniers ont été séchés dans l'étuve à une température de 105° C , dans le but d'évaporer l'eau restant du lavage .
5. Broyage : pour l'obtention d'une dimension proche de celle du sable, les grignons d'olives ont subi un broyage et tamisage afin d'avoir une fraction de 0/4mm .
6. Après avoir effectué toutes les étapes précédentes notre matière première est prête à utiliser .

Ces étapes sont résumées dans le schéma présenté par la Figure III.1.



Figure III.1 : Étapes à suivre pour l'obtention de la matière première.

La composition chimique des grignons d'olives dépend de plusieurs facteurs tels que le mode d'extraction, le stade de maturité, les facteurs pédoclimatiques et l'épuisement par solvant. Les teneurs en matières grasses et en cellulose présentent les variations les plus importantes. Ce sont en général des sous-produits pauvres en matières azotées et riches en matières ligno-cellulosiques.

L'analyse des fibres par la méthode de Van Soest [46] révèle qu'elles renferment des teneurs très élevées en constituants pariétaux (NDF : cellulose+lignine+hémicellulose), en lignocellulose (ADF : lignine+cellulose) et en lignine (ADL : lignine) (Tableau III.2).

D'après l'analyse chimique des grignons d'olives effectuée au laboratoire de biologie de l'université de Bejaia, cette essence est composée principalement de cellulose, de lignine, d'hémicellulose et une petite quantité de cendres.

Tableau III.2 : Teneurs en fibres de grignon d'olive par la méthode de VAN SOEST.

NDF (% MS) (lignine + cellulose + hémicellulose)	82.9
ADF (% MS) (lignine + cellulose)	66.6
Lignine (%MS)	26.8±0.7
Cellulose (%MS)	39.8±0.5
Hémicellulose (%MS)	16.3±2.3
Solubles (masse sèche initiale - masse sèche de la fraction NDF)	16.0±0.7
Cendres (%MS)	1.1±0.2
Matières grasses (%MS)	2.1±0.2

Les teneurs en éléments élémentaires (C, H et N) ont été déterminées par combustion d'échantillons secs dans une bombe calorimétriques. La teneur en oxygène O est obtenue par différence. Les résultats sont donnés dans le tableau III.3.

Tableau III. 3 : Composition élémentaire de grignon d'olive.

Noyau d'olive	
C %	53.1
H %	7.2
N%	1.1
O %	35.9

III.4. Analyse physique des matériaux

III.4.1. Ciment

III.4.1.1. Essai de consistance (EN 196-3)

➤ Définition

La consistance de ciment est une caractéristique qui évolue au cours de temps, elle caractérise sa plus ou moins grande fluidité. [12]

➤ But de l'essai

L'essai de consistance permet de déterminer la quantité d'eau optimale pour gâcher un liant afin d'obtenir une pâte normale. La pâte obtenue a une résistance spécifiée à la pénétration d'une sonde normalisée.

➤ Principe de l'essai

L'essai est réalisé pour trouver la quantité d'eau qui doit être mélangé toujours suivant le même processus avec une masse de ciment, dans laquelle la sonde de l'appareil de Vicat ne s'enfonce que de (6 ± 1) mm du fond du moule.

➤ Matériels nécessaires

- Salle climatisée de température de $20^{\circ} \pm 1^{\circ}$ C.
- Appareil de Vicat .
- Une sonde normalisée de diamètre de $\varnothing=10$ mm et de longueur de 50mm.
- Un malaxeur normalisé.
- Une balance.
- Une burette graduée .
- Une spatule .
- Un chronomètre .

➤ Mode opératoire

- Mouiller et égoutter le godet et batteur du malaxeur.
- Peser 500 g de ciment puis verser le dans le godet .
- Ajouter une quantité d'eau (on commence à partir de $E/C=0,24$) .
- Régler la vitesse de malaxeur à vitesse lente.
- Mettre le malaxeur en marche pendant 90 seconds.
- Arrêter le malaxage pendant 15 seconds , démonter le godet remettre avec une spatule toute la pâte à la cuve .

- Remonter le godet et malaxer à vitesse rapide durant 90 seconds .
- Remplir le tronconique avec la pâte obtenue et araser la surface en prenant appui sur le bord du moule .
- Porter le moule plein sur l'appareil VICAT en réglant le niveau à zéro de la sonde .
- Centrer le moule dans l'axe de la sonde , abaisse la sonde avec précaution jusqu'à ce qu'elle arrive au contact avec la pâte , on desserre la vise pour que la sonde pénètre sous son poids propre dans la pâte.
- Après 30 seconds ,on note la valeur de l'enfoncement "d" lue sur l'index de l'appareil.

L'enfoncement "d" est précisé d'après la norme EN 196-3 comme suite :

- Si $d=6\pm 1$ mm : l'essai est concluant et la consistance est normale.
- Si $d < 5$ mm : la pâte est trop fluide et il faut recommencer l'essai avec moins d'eau.
- Si $d > 7$ mm : la pâte est trop ferme et il faut recommencer l'essai avec plus d'eau.
- **Résultats obtenus :**

Tableau III. 4 : Résultats des essais de consistance.

La pâte	Quantité de ciment(g)	E/C	Quantité d'eau(g)	d (mm)
1	500	0,24	120	13
2		0,26	130	8
3		0,27	135	5



Figure III.2 : Essai de consistance sur l'appareil de Vicat avec de différents pourcentages d'eau.

➤ Interprétation des résultats

D'après l'essai de consistance la quantité d'eau optimale pour gâcher le ciment utilisé dans cette recherche correspond à : $E = 135 \text{ g}$ pour 500 g de ciment avec un rapport $E/C = 0.27 = 27 \%$

III.4.1.2. Essai de prise (EN 196-7)

➤ Définition

Il s'agit d'un ensemble de réactions chimiques d'hydratation permettant le passage de la pâte de ciment (ciment additionné d'eau) de l'état liquide (plastique) à l'état solide (rigidification). Le temps de prise se mesure sur une pâte de consistance normalisée à l'aide de l'aiguille de Vicat.

➤ But de l'essai

Il est nécessaire de connaître le début et fin de prise des pâtes de ciments (des liants hydrauliques), afin de pouvoir évaluer le temps disponible pour la mise en place correcte des mortiers et des bétons qui seront ensuite confectionnés.

➤ Principe de l'essai

L'essai consiste à suivre l'évolution de la consistance d'une pâte de ciment, à l'aide l'appareil de Vicat équipé d'une aiguille de 1.13 mm de diamètre, sous l'effet d'une charge de 300 g l'aiguille s'arrête à une distance "d" du fond du moule telle que $d = 4 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ on dit que le début de prise est atteint. Ce moment, mesuré à partir de début de malaxage, est appelé *temps de début de prise*. Le *temps de fin de prise* est celui au bout de laquelle l'aiguille ne s'enfonce plus que de $0,5 \text{ mm}$.

➤ Matériels nécessaires

- Salle climatisée de température de $20^\circ \pm 1^\circ \text{ C}$.
- Appareil de Vicat .
- Une sonde normalisée de diamètre de $\varnothing = 1,13 \text{ mm}$.
- Un malaxeur normalisé.
- Une balance.
- Un bain-marie.
- Une burette graduée .
- Une spatule .
- Un chronomètre .

➤ Mode opératoire

- Réaliser une pâte à consistance normalisée .
- Noter le temps 0 quand l'eau est introduite avec le ciment.
- Équiper l'appareil Vicat avec l'aiguille , et régler l'appareil par abaissement jusqu'à la plaque de base , et ajuster le repère au niveau zéro de la plaque graduée .
- Introduire la pâte dans le moule tronconique et araser la surface en prenant appui sur le bord du moule .
- Placer le moule rempli sous l'appareil Vicat.
- Abaisser l'aiguille jusqu'à contact avec la pâte .
- Lâcher sans vitesse initiale , et laisser la pénétration verticalement de la pâte .
- Effectuer la lecture de l'échelle à la fin de la pénétration ou 30 seconds après la libération de de l'aiguille .
- Noter la lecture
- Répéter l'essai de pénétration sur la même pâte à de différentes positions à des intervalles de 10 à 15 min , et nettoyer l'aiguille à chaque essai .
- Après avoir trouvé le début de prise, renverser le moule tronconique et mettez-le dans le bain-marie pour stabiliser la température dans toutes les particules de ciment, et répéter l'essai chaque 10 à 15 min.

L'essai a été effectué au laboratoire de LTP-E, Bejaia .



Figure III.3 :Début de l'essai.



Figure III.4 :Début de prise.



Figure III.5 : Fin de prise sur les différentes positions.

➤ Résultats obtenus

La figure suivante présente le temps de début et fin de prise du ciment utilisé :

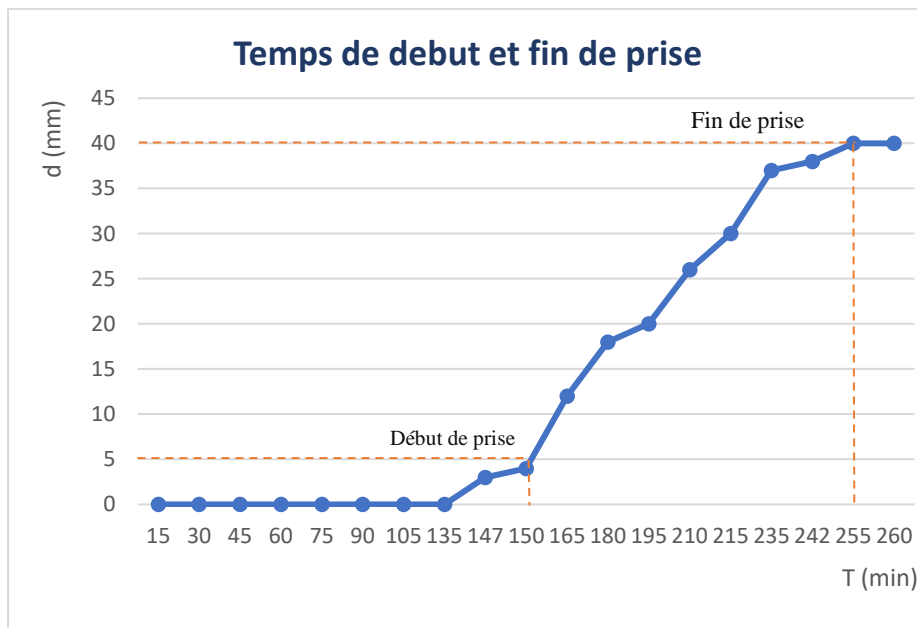


Figure III.6: Temps de début et fin de prise.

➤ Interprétation des résultats

On constate que le début de prise du ciment a commencé après 2,5h (150 min) de la mise en place de la pâte dans le moule tronconique. La prise du ciment est lente.

La fin de prise de ciment était après 255 min.

III.4.2. Sable

III.4.2.1. Essai granulométrique (NF P 18-560)

➤ Définition

L'analyse granulométrique sert à déterminer la distribution en poids des particules d'un matériau suivant leurs dimensions.

➤ But de l'essai

L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles des grains constituant l'échantillon.

➤ Principe de l'essai

L'essai consiste à classer les différents grains qui constituent l'échantillon en utilisant une série de tamis emboîtés les uns sur les autres dont les ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas. Le matériau analysé est placé dans le tamis supérieur et le classement des grains s'obtient par la vibration de l'ensemble de la colonne des tamis.

➤ Matériels nécessaires

- Une machine à tamiser.
- Une série de tamis conformes .
- Un couvercle qui évite la perte de matériau pendant le tamisage et un fond pour recueillir le dernier tamis .
- Une balance.

➤ Mode opératoire

- Prendre une quantité représentative d'un échantillon de sol sec .
- Choisir une série de tamis d'ouvertures décroissantes de haut vers le bas tel que le tamis supérieur de cette colonne laisse passer les plus grosses particules .
- Disposer sous le dernier tamis un fond destiné à recevoir les particules dont les dimensions sont supérieures à la plus petite maille de la colonne .
- Le matériau est versé en haut de la colonne .
- Un couvercle ferme l'ensemble et permet d'éviter toute perte durant le tamisage .
- Allumer la tamiseuse qui va effectuer les vibrations pendant 15 min puis l'arrêter en suite peser le refus jusqu'au dernier tamis .

- Considérer que le tamisage est terminé lorsque les refus ne varient pas de plus de 1% entre deux séquences de vibrations de la tamiseuse .
- Le refus du tamis ayant la plus grande maille est pesé, soit R1 la masse de ce refus .
- Le refus du tamis immédiatement inférieur est pesé avec le refus précédent, soit R2 la masse du deuxième refus .
- Cette opération est poursuivie pour tous les tamis pris dans l'ordre des ouvertures décroissantes. Ceci permet de connaître la masse des refus cumulés aux différents niveaux de la colonne de tamis.

➤ Préparation de l'échantillon

Selon la norme [NFP 18-560], la prise de l'échantillon se fait par quartage, le poids du matériau utilisé est de telle sorte que : $P \geq 0.2 D$.

Sachant que :

P : poids de l'échantillon en Kg .

D : diamètre du plus grand granulats en mm .

C'est-à-dire : Sable 0/4..... $P \geq 0,2*(4) = 0,8\text{Kg}$.

Soit $P=2\text{kg}$ et après séchage on a obtenu $P=1984,8\text{g}$.



Figure III.7: Le sable préparé.



Figure III.8:L'opération de tamisage.



Figure III.9:Les différentes dimensions obtenues après tamisage.

➤ **Résultats obtenus**

Les résultats d'analyse granulométrique sont représentés dans le tableau III.5., donné dessous:

Tableau III. 5 : Analyse granulométrique du sable 0/4.

Poids de l'échantillon (g)	Ouverture des tamis (mm)	Poids des refus partiels (g)	Poids des refus cumulés (g)	Refus cumulés en %	Tamisât cumulés en %
1984,8	4	243,6	243,6	12,27	87,73
	2,5	445,8	689,4	34,73	65,27
	1,25	391,4	1080,8	54,45	45,55
	0,63	231,9	1312,7	66,14	33,86
	0,315	168	1480,7	74,60	25,40
	0,16	137,8	1618,5	81,54	18,46
	0,08	123,9	1742,4	87,79	12,21
	0	237,5	1979,9	99,75	0,25

Avec : Refus : le poids de matériau retenu par un tamis.

Tamisât : le poids du matériau passant à travers un tamis.

Refus partiel : pesée de chaque tamis.

Refus cumulés : Σ cumulée de chaque tamis.

La Figure III.10, présente la courbe granulométrique du sable 0/4.

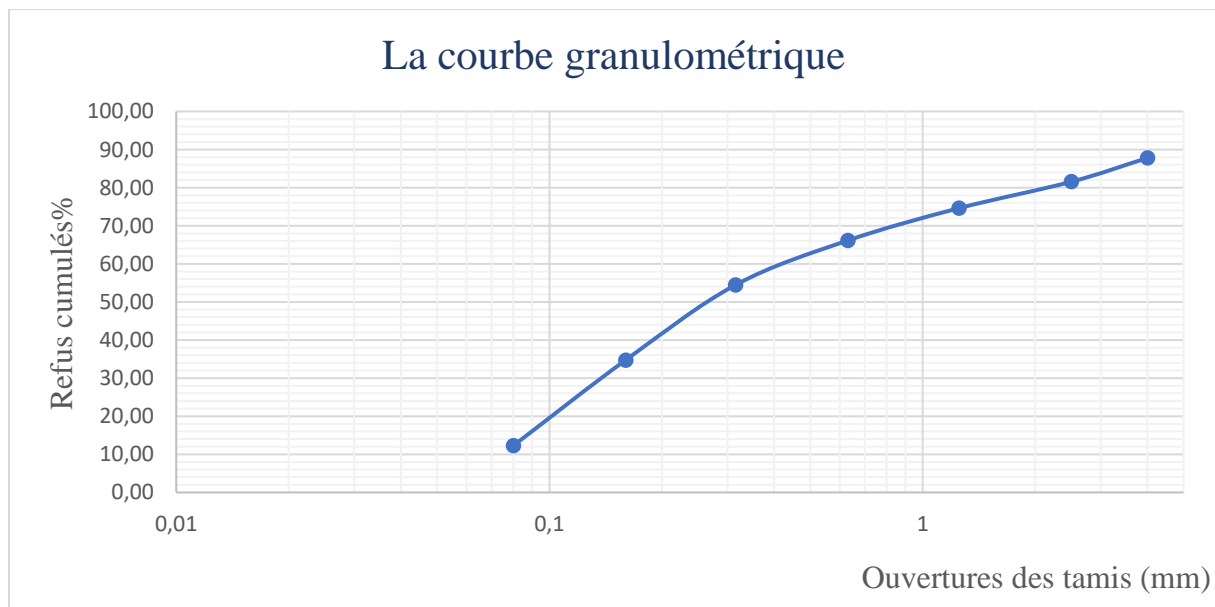


Figure III.10: La courbe granulométrique du sable utilisé.

➤ **Module de finesse du sable (NF P 18-540)**

Le module de finesse est égal au $1/100^{\text{ème}}$ de la somme des refus cumulés exprimée en Pourcentage sur les tamis de la série suivante : (0.16 – 0.315 – 0.63 - 1.25 – 2.5 – 4) mm

$$Mf = (81,54+74,60+66,14+54,45+34,73+12,27)/100$$

$$Mf = 3,2$$

➤ **Interprétation des résultats**

$Mf=3,2 \in [2.8-3.3]$ le module de finesse correspond donc à un sable grossier, il donnera un mortier résistant mais moins maniable .

III.4.2.2. Détermination de la teneur en eau pondéral (NF P 94-050)

➤ **Définition**

La teneur en eau d'un matériau est le rapport du poids d'eau contenu dans ce matériau au poids du même matériau sec. On peut aussi définir la teneur en eau comme le poids d'eau **W** contenu par unité de poids de matériau sec. **[6]**

➤ **But de l'essai**

Détermination de la teneur en eau d'un sable qui se définit par le poids de l'eau contenu dont le poids des vides étant négligeable.

➤ **Principe de l'essai**

L'essai consiste à placer une quantité déterminée du matériau humide à tester dans une tare puis peser l'ensemble et l'introduire dans une étuve pendant 24 heures sous une température de 105°C, après dessiccation, on pèse l'ensemble une seconde fois, et finalement déduire les masses humides et sèches de l'échantillon et calculer la **W**.

➤ **Matériels nécessaires**

- Étuve.
- Récipients.
- Balance.
- Tares.

➤ **Mode opératoire**

- Une masse (m) de matériau est placée dans une coupelle ou un bac propre et sec de masse connue (m1).
- la prise d'essai et son contenant sont pesés immédiatement ($m_2 = m + m_1$). Puis, ils sont introduits dans une étuve à 105 °C pour les matériaux insensibles à la chaleur.

- Deux pesés, séparées par un étuvage d'un intervalle de temps t , sont effectués sur la prise d'essai après chaque passage à l'étuve.
- Conventionnellement l'évaporation de l'eau est considérée comme achevée si la masse (m_d) de la prise d'essai n'est pas variée de plus de $2/1000$ entre ces deux pesés.

Les résultats de la teneur en eau de sable de carrière sont représentés dans le tableau III.6., donné dessous:

Tableau III.6: Détermination de la teneur en eau de sable carrière.

Essai	Prise 01	Prise 02
Numéro de la tare	Z1	L
M_1 = masse de la tare (g)	197,25	198,50
M_2 = (échantillon humide + la tare) (g)	392,57	374,72
$M_h = M_2 - M_1$ (g)	195,32	176,22
M_3 = (échantillon sec + la tare) (g)	391,93	374,23
$M_{d_{sec}} = M_3 - M_1$ (g)	194,68	175,73
$M_w = M_2 - M_3$ (g)	0,64	0,49
$W = \frac{M_2 - M_3}{M_3 - M_1}$	0,33%	0,28%
Moyenne (%)	0,31	

III.4.2.3. Essai au bleu de méthylène dit essai à la tâche (NF EN 933-9)

➤ Définition

L'essai au bleu de méthylène, également appelé « essai au bleu », est un essai utilisé en géotechnique pour déterminer la propreté d'un sable, d'un granulat et plus généralement d'un sol, et les différents types d'argiles qu'il contient. Le bleu de méthylène est en effet absorbé préférentiellement par les argiles du type montmorillonites (argiles gonflantes) et les matières organiques. Les autres argiles (Illites et Kaolinites) sont peu sensibles au bleu.

➤ But de l'essai

L'essai au bleu de méthylène. Ou « essai au bleu » est utilisé pour déterminer l'argilosité d'un sable, d'un granulat et plus généralement d'un sol. [12]

➤ Principe de l'essai

L'essai consiste à déterminer la quantité de particules argileuses présentes dans l'échantillon. Pour cela on utilise le bleu de méthylène; substance adsorbée de préférence par les argiles.

Pour ce faire, on fixe sur les grains d'argile des molécules de bleu de méthylène et par un test simple, on évalue la quantité de bleu fixé. On en déduit la valeur au bleu du l'échantillon, qui est un indicateur essentiel dans la classification.

➤ Équipement nécessaire

- Balance de portée suffisante d'une précision relative de 0,1%.
- Chronomètre.
- Tamis.
- Bêcher.
- Agitateur à ailettes de vitesse de rotation 400 à 600 tr/min minimum.
- Burette.
- Papier filtre.
- Tige de verre.
- Eau distillée.
- Solution de bleu de méthylène.

La Figure III.11 présente le malaxeur à deux vitesses lentes et rapides.

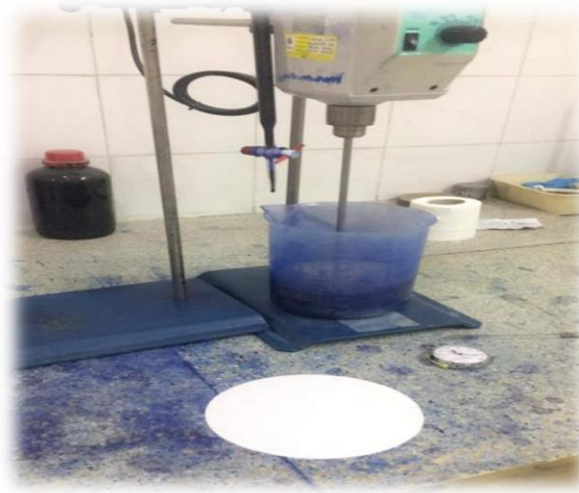


Figure III.11: Malaxeur a deux vitesses lentes et rapides.

➤ Mode opératoire

- Les échantillons de laboratoire doivent être réduits conformément à la norme [l'EN 933-2] pour obtenir deux sous échantillons de 200g minimum de la fraction 0/2mm ou 30g de la fraction 0/0125mm.
- Sécher le sous échantillon (1) à 110 ± 5 °C, et calculer la teneur en eau.
- Peser une masse M_0 du sous échantillon (2) de plus 200 gr pour la fraction 0/2 mm et plus de 30g pour la fraction 0,0125mm.
- Déterminer la masse M_1 .
- Placer la masse M_1 dans un bêcher contenant 500 ± 5 ml d'eau déminéralisée.
- Mettre en agitation à 600 tr/min pendant 5 minutes l'ensemble (eau + M_1).
- Introduire dans le bêcher une dose de 5ml de solution de colorant et agiter à 400 ± 40 tr/min pendant au moins une minute et effectuer un test à la tâche (prélevé à l'aide d'une tige de verre une goutte en suspension et la déposer sur le papier filtre pour obtenir un dépôt qui doit avoir un diamètre 8 à 12 mm).
- Si après ajout des 5ml de solution, l'auréole n'apparaît pas, effectuer des additions de 5ml tout en agitant pendant 1 min et faire des tests à la tâche jusqu'à apparition de l'auréole.
- Continuer l'agitation sans ajout de solution et effectuer des tests à la tâche toutes les minutes pendant 5 minutes.
- Si l'auréole persiste toujours pour les cinq tâches, le test est positif, sinon .
- Si l'auréole disparaît au bout de la cinquième tâche, ajouter 2ml de colorant et faire le test à la tâche , si l'auréole disparaît au bout de la quatrième tâche, ajouter 5ml de colorant et faire le test à la tâche.

- Enregistrer le volume total de solution de colorant V_1 ajouté pour obtenir une auréole visible pendant 5 minutes à 1ml près.

Les résultats de la détermination de l'argilosité de sable de carrière par essai bleu de méthylène sont représentés dans le tableau III.7, et la figure III.12, donné dessous:

Tableau III.7: Détermination de l'argilosité de sable par essai bleu de méthylène.

Teneur en eau W (%)	0,31
Masse sèche de la prise d'essai $M_1 = M_{0/1} + (W/100) (g)$	200
Volume de bleu introduit $V_1 (cm^3)$	20
Valeur au bleu de la fraction 0/2 des sables $MB = \frac{V_1}{M_1} \times 10 (g/kg)$	1
Pourcentage en masse des passant à 2mm de la fraction 0/D (C) (%)	61
$MB_{0/D} = 0,01 \times C \times MB (\frac{g}{kg})$	0,61



Figure III.12: Résultat des tâches au bleu de méthylène.

➤ Interprétation des résultats

Notre sable est classé dans l'intervalle $0,2 \leq V_{BS} < 1,5$ donc le sable testé est limoneux sensible à l'eau.

III.4.2.4. Équivalent de sable(NF EN 933-8)

➤ Définition

L'équivalent de sable est un indicateur, utilisé en géotechnique, caractérisant la propreté d'un sable ou d'un gravier. Il indique la teneur en fines, éléments de diamètre inférieur à 0,5 mm, d'origine essentiellement argileuse, végétale ou organique à la surface des grains. Ce terme désigne également l'essai qui permet de déterminer cet indicateur. On parle d'essai d'équivalent de sable piston ou plus simplement, d'essai d'équivalent de sable.

➤ But de l'essai

Cet essai permet de mesurer la propreté du sable. Il rend compte globalement de la quantité et de la qualité des éléments fins, en exprimant un rapport conventionnel volumétrique entre les éléments sableux qui sédimentent et les éléments fins qui flocculent. [12]

➤ Principe de l'essai

L'essai consiste à verser un échantillon de sable et une petite quantité de solution flocculante dans un cylindre gradué et d'agiter de façon à détacher les revêtements argileux des particules de sable de l'échantillon. On complète alors le sable en utilisant le reste de solution flocculante afin de faire remonter les particules de fines en suspension au-dessus du sable. Après 20 min, les hauteurs des produits sont mesurées. La valeur de l'équivalent de sable (ES) est le rapport multiple par 100, de la hauteur de la partie sableuse sédimentée sur la hauteur totale du flocculat.

La formule qui permet la détermination de l'équivalent de sable est :

$$ES = h_1/h_2$$

Avec :

Hauteur h_1 : sable propre +éléments fins.

Hauteur h_2 : sable propre seulement.

➤ Équipement nécessaire

- Éprouvettes en plexiglas avec deux traits repères , et leurs bouchons.
- Tube laveur.
- Piston a masse coulissante de 1kg.
- Machine d'agitation.
- Règle métallique de 500mm gradué.

- Entonnoir.
- Chronomètre.
- Tamis

➤ Les étapes de l'essai

- Peser et enregistrer la masse d'essai M_1 , puis laver sur le tamis 0,063mm, sécher les particules retenues et peser et enregistrer M_2 .
- déterminer la teneur en fines f selon la relation dans le tableau qui suit.
- si la teneur en fines de la fraction 0/2mm est supérieur à 10%, les particules lavées retenues sur le tamis 0,063mm sont utilisés comme sable correcteur.
- remplir les éprouvettes avec la solution lavante jusqu'au première trait
- verser la quantité du sable en veillant à éliminer les bulles d'air et laisser reposer 10min.
- boucher les éprouvettes et les agiter : mouvement rectiligne et horizontale de 20cm d'amplitude, 90 aller et retour en 30s.
- laver et remplir les éprouvettes, avec le tube laveur, pour cela rincer le bouchon
- Au-dessus de l'éprouvette faire descendre le tube laveur en le faisant tourner entre les doigts, on lave ainsi les parois intérieures de l'éprouvette. Laver le sable en faisant descendre et remonter lentement le tube laveur dans la masse du sable pour faire remonter les particules fines dans la solution supérieur.
- sortir le tube laveur lorsque le niveau du liquide atteint le trait supérieur puis laisser reposer 20min.
- mesurer la hauteur du flocculat pour chaque éprouvette h_1 au millimètre près.
- déterminer la hauteur des sédiments h_2 au millimètre près en mesurant la distance entre la face inférieure de la tête du piston et la face supérieure du manchon. (voir Figure **III.13**)



Figure III.13: Les éprouvettes préparées de l'essai équivalent de sable.

Les résultats sont montrés dans le tableau III.8.

Tableau III.8: Détermination de la propreté du sable.

Teneur en eau 1 ^{ère} prise d'essai (sous échantillon N°01) (W%)	0,31%	
Masse humide de la 1 ^{ère} prise d'essai M1 (g)	609,21	
Masse sèche de la 2 ^{ème} prise d'essai après lavage à 0,063mm M2(g)	466,33	
Teneur en fines ($f=100-\frac{M2(100+W)}{M1}$) (%)	23,22%	
f>10% (Masse de chaque éprouvette)	$M_t = M3+M4= 120,16$	
M3 : Masse granulat humide 2 ^{ème} sous échantillon	$M3= \frac{1200}{f}(1+\frac{W}{100})= 51,84$	
M4 : Masse du sable correcteur sec	$M4=120-\frac{1200}{f}=68,32$	
Numéro des éprouvettes	1 ^{ère} éprouvette	2 ^{ème} éprouvette
Masse de l'éprouvette M_t (g)	120,16	120,16

La hauteur du flacon h_1 (mm)	11,8	11,4
La hauteur du sédiment h_2 (mm)	8,1	7,7
Rapport $(h_2/h_1) \times 100$	68,64	67,54
Equivalent de sable : ES	68 "sable légèrement argileux"	

➤ Classification

ES < 65% sable argileux.

65% ≤ ES < 75% sable légèrement argileux de propriété admissible.

75% ≤ ES < 85% sable propre à faible proportion de fines argileuses.

➤ Interprétation des résultats

On constate donc notre sable appartient à l'intervalle 65% ≤ ES < 75% qui est légèrement argileux avec une propriété admissible convient parfaitement pour des bétons courants et mortiers, ce que confirme le résultat du bleu de méthylène. Donc on ne craint pas tout particulièrement le retrait.

III.4.2.5. La masse volumique absolue

➤ Définition

La masse volumique absolue est la masse du matériau par unité de volume, exprimée en t/m^3 , en kg/dm^3 , ou en g/cm^3 . Cette masse volumique n'intègre que les grains de l'agrégat, donc sans les vides compris entre ces grains. La masse volumique absolue a la même valeur que la densité d'un même matériau, la seule différence étant que la densité n'a pas d'unité. [15]

➤ But de l'essai

Cet essai permet de déterminer la masse volumique absolue ρ_s des différents matériaux (ciment, sable, gravier...), c'est-à-dire, la masse en gramme de ce corps pour $1cm^3$ de volume, mais uniquement la masse des différents grains constituant le granulat, c'est-à-dire, que l'on ne tient absolument pas compte des vides qui peuvent être situés entre grains. [15]

➤ Principe de l'essai

En prenant une masse d'agrégats et en la plongeant dans un volume d'eau, on obtiendra la masse volumique absolue de ce dernier par la division de cette masse par la différence de volume.

$$\rho_s = M/V \text{ [g/cm}^3\text{]} \dots\dots\dots(1)$$

M= masse du matériau étudié.

$$V = V_2 - V_1$$

V₁= volume dans l'éprouvette avant introduire de la masse d'agrégat.

V₂= volume dans l'éprouvette après introduire de la masse d'agrégat.

➤ Équipement nécessaire

- Éprouvette graduée.
- Une balance.

Voir la figure III.14.



Figure III.14: Matériels utilisés pour le calcul de la masse volumique absolue du sable.

➤ Mode opératoire

- Remplir une éprouvette avec un volume d'eau V₁=400ml et noter sa valeur
- Peser un échantillon sec de granulats M=350g.
- Introduire l'échantillon dans l'éprouvette en prenant soin d'éliminer les bulles d'air.
- Prendre la valeur du nouveau volume et la noter V₂.
- Effectuer les calculs selon la formule (1).

Les résultats après décantation sont montrés dans Figure III.15.



Figure III.15: Éprouvette d'essai de la masse volumique absolue du sable après décantation.

➤ **Résultat obtenue**

On trouve $V_2=530\text{ml}$.

D'où on a: $\rho = \frac{M}{V}$ avec ($V=V_2-V_1$)

$$\rho = \frac{350}{530-400}$$

$$\rho_{sable} = 2,65\text{g/ml}$$

III.4.2.6. Masse volumique en vrac (apparente) (EN 932-2)

➤ **Définition**

La masse volumique apparente c'est la masse d'un corps par unité de volume apparent en état naturel, après passage à l'étuve à $105 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$, notée ρ_{ap} et exprimée en (gr/cm^3) ; (Kg/m^3) ; (T/m^3).

➤ **But de l'essai**

Déterminer la masse du granulat sec occupant l'unité de volume prendre en considération les vides existants.

➤ **Principe de l'essai**

Il s'agit de déterminer le poids volumique en faisant appel au volume apparent.

➤ Équipement nécessaire

- Une balance.
- Truelle en métal.
- Un récipient cylindrique normalisé.
- Règle métallique à araser.

➤ Mode opératoire

- Prélever trois éprouvettes conformément à la norme EN 932-2
- Les granulats doivent être séchés à $110\pm 5^{\circ}\text{C}$ jusqu'à masse constante
- La masse de chaque prise d'essai doit être comprise entre 120 et 150% de la masse nécessaire
- Pour les granulats légers, après séchage à $110\pm 5^{\circ}\text{C}$ atteindre une teneur en eau d'équilibre à 23°C et une humidité de $50\pm 10\%$.
- Peser le conteneur vide sec et propre (m_1)
- Poser le conteneur sur une surface horizontale et le remplir à l'aide de la pelle jusqu'à ce qu'il déborde
- Durant le remplissage, limiter la en appuyant sur le bord supérieur. A aucun moment le bord de la pelle ne doit être à plus de 50mm au-dessus du conteneur. Enlever avec soin tout excédent au sommet du conteneur en veillant à ce que la surface soit étalé de manière uniforme afin d'éviter tout phénomène de ségrégation. Nivelier la surface des granulats à l'aide de la règle en ayant soin d'éviter tout compactage à la surface.
- Peser le conteneur rempli et enregistrer sa masse à 0,1% près (m_2). Soumettre trois prises de matériaux à cet essai. (Figure III.16)

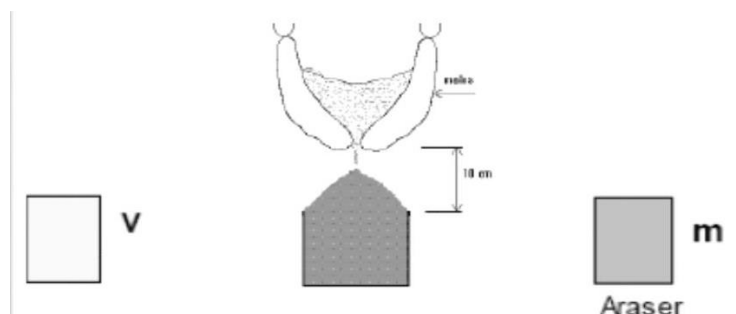


Figure III.16 : Masse volumique apparente.

Les résultats de la masse volumique apparente et la porosité inter-granulats sont représentés dans le tableau III.9, donné dessous:

Tableau III.9: Détermination de la masse volumique en vrac du sable.

Essai N°	01	02	03
Masse de conteneur vide M_1 (kg)	1,257	/	/
Masse de conteneur rempli M_2 (kg)	3,068	3,074	3,108
capacité du conteneur V (L)	1035,19	/	/
Masse volumique en vrac $\rho_{ap} = \frac{M_2 - M_1}{V}$ (T/m^3)	1,73	1,74	1,77
Masse volumique réelle ρ_p (T/m^3)	2,70	2,70	2,70
Porosité intergranulaire : $v = \frac{\rho_p - \rho_b}{\rho_p}$	0,36	0,36	0,34
moyenne	0,35		

III.4.2.7. Mesure du degré d'absorption des sables (NF P 18-555)

➤ Définition

Le taux d'absorption d'eau **Ab** (%) est le rapport de l'augmentation de la masse de l'échantillon après imbibition par l'eau, à la masse sèche de l'échantillon.

➤ But de l'essai

Certains matériaux granulaires peuvent présenter une porosité interne qui est préjudiciable, en particulier, à la résistance au gel des bétons et/ou mortier. En effet, l'eau incluse dans le granulat provoque l'éclatement de béton lorsque celui-ci est soumis de manière prolongée à des basses températures.

➤ Principe de l'essai

On détermine un coefficient d'absorption, qui est défini comme le rapport de l'augmentation de la masse de l'échantillon après imbibition par l'eau, à la masse sèche de l'échantillon. Cette imbibition est obtenue par immersion de l'échantillon dans l'eau pendant 24 heures à 20°C. Le coefficient d'absorption (Ab) est défini par la relation :

$$Ab = \frac{M_a - M_s}{M_s} \times 100$$

M_s : masse de l'échantillon sec après passage à l'étuve à 105°C. ($m=724,08$).

M_a : masse de l'échantillon imbibé. ($m= 736,16$).

➤ **Équipement nécessaire**

- Étuve.
- Bêcher.
- Balance.
- Un moule tronconique et pilon.

➤ **Mode opératoire**

Après imbibition dans l'eau pendant 24heures, étaler l'échantillon sur une surface plane non absorbante et le soumettre à un flux d'air chaud, tout en le remuant afin que la surface externe des grains sèches. Ce séchage doit être effectué de manière douce afin de ne pas éliminer l'eau qui pourrait être piégée à l'intérieur du granulat. Veiller également à ne pas perdre de grains de sable au cours de l'opération. Les grains sont alors libres de toutes forces d'attraction capillaire.

➤ **Résultat obtenue**

$$Ab = \frac{736,16 - 724,08}{724,08} \times 100$$

Ab = 1,67%

III.4.3. Grignons d'olives

Les essais effectués sur les grignons d'olives sont les suivants :

- Essai granulométrique.
- Essai de la masse volumique absolue.
- Essai de l'absorption d'eau.

Avec les mêmes normes et procédures utilisées pour le sable.

➤ Résultats**III.4.3.1. Essai granulométrique (NF P 18-560)**

L'ensemble d'exécution



Figure III.17 : Grignons d'olives préparés.



Figure III.18: Opération de tamisage.



Figure III.19: Les dimensions obtenues.

Les résultats d'analyse granulométrique des grignons d'olives sont représentés dans le tableau **III.10**, et la figure **III.20**, donné dessous:

Tableau III.10: Analyse granulométrique des grignons d'olives.

Poids de l'échantillon (g)	Ouverture des tamis (mm)	Poids des refus partiels (g)	Poids des refus cumulés (g)	Refus cumulés en %	Tamisât cumulés en %
2000	4	0	0	0,00	100,00
	2,5	884,5	884,5	44,23	55,78
	1,25	631,1	1515,6	75,78	24,22
	0,63	195,4	1711	85,55	14,45
	0,315	52,2	1763,2	88,16	11,84
	0,16	115,7	1878,9	93,95	6,06
	0,08	8,3	1887,2	94,36	5,64
	Fond	1,3	1888,5	94,43	5,58

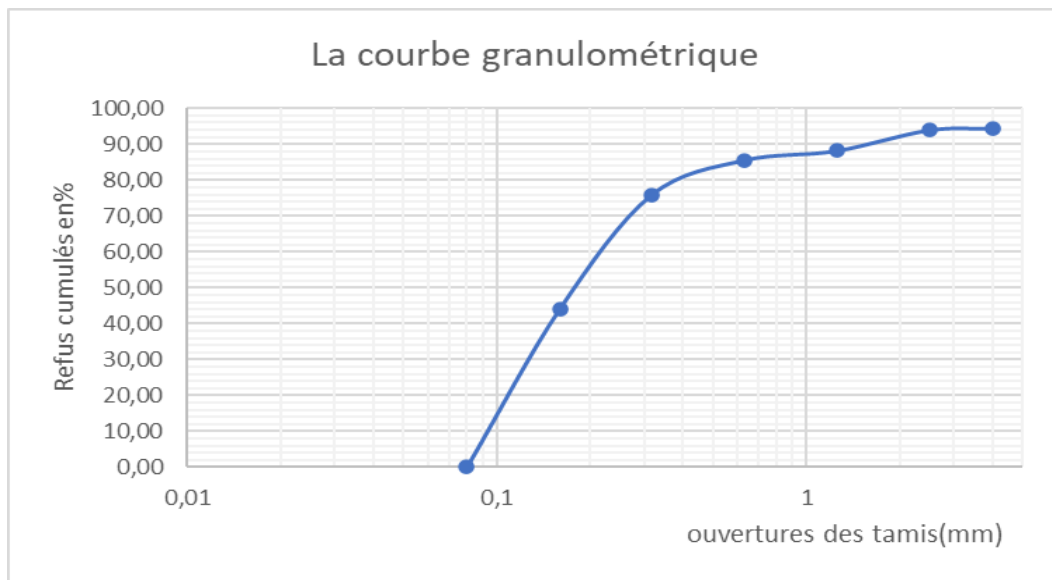


Figure III.20: La courbe granulométrique des grignons d'olives utilisés.

➤ **Module de finesse (NF P 18-540)**

Le module de finesse est égal au 1/100 de la somme des refus cumulés exprimée en pourcentage sur les tamis de la série suivante : (0,16 0,315 0,63 1,25 2,5 4)

$$MF = \frac{\sum \text{des refus cumulés}\%}{100} = \frac{44,23 + 75,78 + 85,55 + 88,16 + 93,95}{100}$$

$$MF = \frac{387,67}{100}$$

MF=3,87

➤ Interprétation des résultats

On a obtenu pour les grignons d'olives testés un module de finesse $MF= 3,87$, ce qui nous donne une indication sur la grosseur du granulat.

Donc les grignons d'olives testés sont grossiers : $MF>3,3$.

III.4.3.2. Masse volumique absolue

La Figure III.21., présente les résultats de l'essai de la masse volumique absolue des grignons d'olives testées.



Figure III.21: Résultat de l'essai de la masse volumique absolue des grignons d'olives.

On a:

$$M=350g$$

$$V_1=400ml$$

$$V_2=660ml$$

$$\rho = \frac{M}{V}$$

$$\rho = \frac{350}{660-400}$$

$$\rho_{GO}=1,35g/ml$$

III.4.3.3. Mesure du degré d'absorption des grignons d'olive

Coefficient d'absorption (Ab) est défini par la relation :

$$Ab = \frac{M_1 - M_2}{M_2} \times 100$$

M_1 : Masse dans l'air des granulats saturés et superficiellement secs. ($m=282,30$).

M_2 : Masse de l'échantillon sec après passage à l'étuve à 105°C. (m=230,96).

➤ Expression des résultats

$$Ab = \frac{282,30 - 230,96}{230,96} \times 100$$

$$Ab = 22,23\%$$

➤ Interprétation des résultats

D'après la valeur enregistrée du coefficient d'absorption d'eau de grignon d'olive, cela montre que le grignon d'olive est poreux, certains auteurs ont lié cette absorption à la cellulose.

Donc on peut constater que les grignons d'olives sont plus légers par rapport au sable utilisé.

III.6. Essai granulométrique du mélange (sable + grignons d'olives)

Un essai granulométrique est effectué au mélange de sable et grignons d'olives à des différents pourcentages d'ajout. La Figure III.22 résume les courbes granulométriques pour chaque pourcentage.

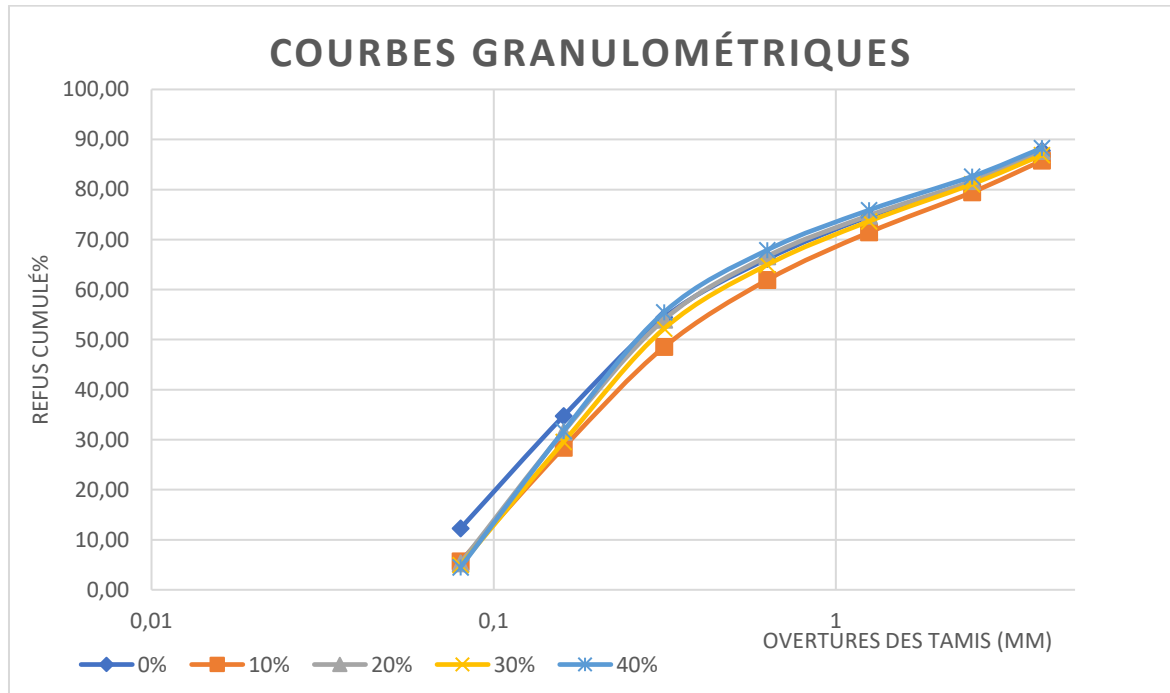


Figure III.22 : Courbe granulométrique du mélange.

D'après le Tableau III.11 , les modules de finesse de chaque pourcentage appartient à l'intervalle [2.8-3.3]. Donc les différents mélanges sont prêts pour être utilisé dans la confection.

Tableau III.11:Module de finesse des mélanges.

% d'ajout	Mf
0%	3,24
10%	2,95
20%	3,14
30%	3,06
40%	3,18

III.6. Conclusion

Le travail présenté dans ce chapitre traite séparément les caractéristiques des matériaux de base utilisés dans l'étude expérimentale. C'est une étape nécessaire avant d'entamer l'étude expérimentale de ces mortiers.

Vu les résultats obtenus, les granulats sont satisfaisants vis à vis conditions requises pour être utilisés dans la confection des mortiers.

CHAPITRE IV

Caractéristiques physico-mécaniques et thermiques des mortiers avec ajout de grignons d'olives

Caractéristiques physico-mécaniques et thermiques des mortiers avec ajouts de grignons d'olives

IV.1. Introduction

Ce dernier chapitre présente le mode de confection et de conservation des échantillons de mortier aux différents pourcentages à considérer. Nous présentons par la suite les résultats des travaux expérimentales qui ont été réalisés avec leurs interprétations.

Dans cette étude l'ensemble des essais ont été effectués sur une série d'éprouvettes (4×4×16)cm³. Nous avons étudié les caractéristiques mécaniques, physiques et thermique de 5 compositions de mortier à savoir :

- Composition 1 : mortier formulé avec 0% de grignons d'olives (100% sable dit Témoin)
- Composition 2 : mortier formulé avec 10% de grignons d'olives.
- Composition 3 : mortier formulé avec 20% de grignons d'olives.
- Composition 4 : mortier formulé avec 30% de grignons d'olives.
- Composition 4 : mortier formulé avec 40% de grignons d'olives.

Les différents essais ont été déterminés aux âges de 03, 07, 14, 21,28 et 90 jours, de façon à observer l'évolution progressive des performances.

IV.2. Formulation des mortiers

L'échantillon témoin est constitué en volume d'une mesure de ciment, trois mesures de sable et une demi-mesure d'eau. Les mortiers avec ajout sont obtenus dans les mêmes conditions en remplaçant une fraction volumique de sable (taux de substitution) par l'ajout de grignon d'olive. Les quantités de ciment et d'eau restent inchangées. En fixant la quantité d'eau, on pénalise la maniabilité vue que le grignon d'olive à tendance d'absorber plus d'eau que le

sable (ce qui est confirmé par le test d'absorption d'eau du sable et grignon donné au chapitre III). Mais cette approche permet de réduire le nombre de paramètres variant simultanément. C'est la raison pour laquelle nous avons gardé la quantité d'eau constante pour l'ensemble des échantillons au détriment de la maniabilité.

Les éprouvettes sont conservées dans l'eau à $20 \pm 1^\circ\text{C}$ jusqu'aux échéances de ruptures.

IV.2.1. Calcul des quantités de matériaux nécessaires pour les différentes éprouvettes

Afin d'étudier en parallèle l'effet des différents pourcentages d'ajout sur les caractéristiques physico-mécaniques et thermiques, le Tableau IV.1 donne les différents dosages des matériaux entrant dans la confection des différents mélanges de mortiers.

Exemple de calcul :

La masse volumique du sable et du grignon d'olive est calculée dans le chapitre III.

Nous avons donc $\rho_s = 2,69 \text{ g/ml}$ et $\rho_{GO} = 1,35 \text{ g/ml}$

On a : $V_c = M_c / \rho_c = 500/3,1 = 161,3 \text{ cm}^3$

Comme on a $V_s = 3V_c$ donc $V_s = 483,9 \text{ cm}^3$

$$M_s = V_s * \rho_s = 483,9 * 2,69 = 1301,69 \text{ g}$$

Tableau IV.1: Compositions des mortiers.

Type de mortier	Quantités des matériaux (g)			
	Ciment	Sable	Grignon d'olive	Eau
100 % sable (Témoin)	500	1302	0	250
90% Sable +10% Grignon d'olive		1171,52	65,34	
80% Sable +20% Grignon d'olive		1041,35	130,68	
70% Sable +30 Grignon d'olive		911,18	196,02	
60% Sable +40% Grignon d'olive		781,18	261,36	

IV.2.2. Mode opératoire

Le mortier normalisé décrit précédemment est réalisé à l'aide d'un malaxeur (Figure IV.1), dans une cuve de cinq litres répondant aux caractéristiques de la norme NFP 15-411. La préparation de mortier se fait comme suit :

- Introduire l'eau dans le malaxeur.

- Verser le ciment.
- On met le malaxeur en marche à vitesse lente.
- Après 30 s de malaxage, on introduit régulièrement le sable mélangé avec les grignons d'olives pendant les 30 s suivantes.
- Mettre la vitesse rapide pendant 30s supplémentaires.
- Arrêter le malaxage pendant 1 min et 30 s. Durant les 15 premières secondes, enlever 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.
- Reprendre ensuite le malaxage à grande vitesse pendant 60 s.
- Arrêter enfin le malaxeur.



Figure IV.1:Le malaxeur normalisé.

IV.3. Confection des éprouvettes

Les moules (4×4×16)cm³ comme le montre la Figure IV.2., 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 (Figure IV.3) en appliquant au moules 60 chocs à chaque fois. Après avoir araser la surface supérieure des moules (Figure IV.4) ,ces derniers ont été couverts d'un film plastique pendant 24 h jusqu'à le démoulage (Figure IV.5).



Figure IV.2: Les moules 4×4×16 cm.



Figure IV.3: La table à choc.



Figure IV.4: Remplissage des moules.



Figure IV.5 : Stockage des éprouvettes pendant 24h.

IV.4. Conservation des éprouvettes

Après 24 heures de confection, on a démoulé, marqué ensuite conservé les éprouvettes dans des bacs d'eau (Figure IV.6) pendant 3 ; 7 ; 14 ; 21 ; 28 et 90 jours à une température de 20 ± 2 °C, afin d'éviter toute perte d'eau, et de garantir le déroulement normal du processus d'hydratation de ciment.



Figure IV.6: Conservation des éprouvettes dans l'eau.

IV.5. Essais physiques

Les propriétés physiques des bétons et des mortiers résultent des caractéristiques de leurs composants et de leur dosage respectif. Ces mêmes propriétés physiques interviennent dans le dimensionnement des constructions, puisqu'elles permettent de prévoir le comportement de l'élément sous les sollicitations définies. Le laboratoire des matériaux a recours à des méthodes d'essai indirectes pour caractériser certaines propriétés de l'élément durci. [47]

On a effectué les essais de la porosité, de l'absorption d'eau, de la masse volumique et le retrait ou gonflement.

IV.5.1. Essai de porosité

La résistance à la compression et la conductivité thermique des matériaux dépendent grandement du volume de vides qu'ils comportent. La porosité est définie comme étant le volume total de l'ensemble des vides exprimée en pourcentage du volume global de la pâte de ciment hydraté. Elle est l'un des principaux facteurs influant sur la résistance à la compression. Le principe de l'essai est basé sur une série de pesées à l'air et hydrostatique des échantillons.

On obtient alors :

- Pesé hydrostatique (M_{eau}).
- Pesé humide (M_{air}).
- Pesé sèche ($M_{sèche}$).

IV.5.1.1. Mode opératoire

- L'essai a été réalisé sur des échantillons qui sont mis dans une étuve à une température de 105°C jusqu'à ce que le poids soit constant.
- Lorsque les échantillons sont entièrement secs on prend la valeur de cette pesée.
- Ensuite les éprouvettes sont immergées dans l'eau.
- La masse M_{eau} est la masse des spécimens immergés dans l'eau suspendu avec un fil dans un bac (Figure IV.7), appelée masse hydrostatique. Procéder à la pesée des différentes éprouvettes et enregistrer leurs valeurs.
- La masse M_{air} est la masse humide du spécimen dans l'air immédiatement retirée de l'eau, séchée avec le papier absorbant ensuite la peser et noter sa valeur.

La porosité est déterminée par la formule suivante :

$$P(\%) = \frac{M_{air} - M_{seche}}{M_{air} - M_{eau}} \times 100$$



Figure IV.7: Le processus de la pesé hydrostatique.

IV.5.1.2. Présentation des résultats

Tableau VI.2: Résultats des mesures de la porosité.

Ages Dosages	3 jours	7 jours	14 jours	21 jours	28 jours
0%	21,3	21,3	19,2	17,4	17
10%	23,8	22,9	21,4	20,2	19,8
20%	24,2	23	22,1	21,6	21,3
30%	25,5	24,1	23,7	22,4	21,9
40%	26,2	25,6	24,4	23,8	22,6

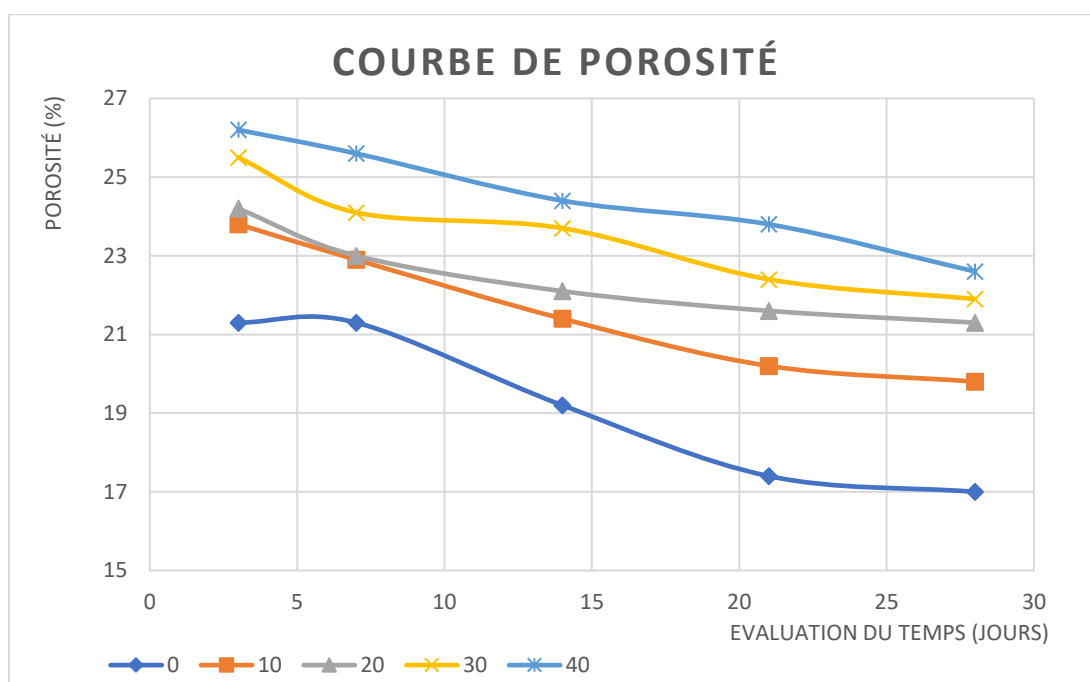


Figure VI.8: La variation de la porosité en fonction du temps.

IV.5.1.3. Interprétation des résultats

Les résultats obtenus pour les différents pourcentages testés à des âges variables sont regroupés dans le Tableau VI.2 et représentés par la Figure VI.8.

Dans l'évaluation de l'effet de grignons d'olive sur la porosité accessible à l'eau, nous constatons que le mortier témoin est moins poreux que le mortier contenant les grignons d'olive, et que la porosité augmente avec l'augmentation de pourcentage d'ajout du grignon d'olive. Ceci est dû à la forte proportion des grignons d'olives dans le mortier, ces derniers

n'ont pas une bonne adhérence avec le ciment à cause de la présence de la partie huileuse sur les grignons d'olives qui empêche l'ancrage entre le liant et le granulat.

IV.5.2. La masse volumique sèche

- Théorique

La formule théorique de la masse sèche est donnée comme suite :

$$\rho = \frac{1,2 C + G}{1000} \dots\dots\dots[48]$$

Avec :

C : La teneur en ciment en Kg/m³.

G : La teneur en granulat en Kg/m³.

1,2 = 1+0,2 : 100% de la teneur en ciment + 20% de la masse du ciment liée chimiquement avec l'eau .

Les masses volumiques sèches à différents âges sont calculés dans le tableau **VI.3**

Tableau VI.3: Calcul de la masse sèche théorique.

	Ciment (Kg/m3)	Granulat (Kg/m3)	ρ (Kg/m3)
0%	350	1695,31	2,12
10%		1610,49	2,03
20%		1526,08	1,95
30%		1441,67	1,86
40%		1357,47	1,78

IV.5.2.1. Mode opératoire

Pour calculer la masse volumique sèche , il suffit de suivre les étapes suivantes :

- Après écrasement des éprouvettes, à l'aide de la machine de compression, Un échantillon de mortier est immédiatement récupéré et pesé M_{humide} .
- Peser l'échantillon après étuvage.
- Le laisser dans une étuve à 105°C et lui effectuer des pesées jusqu'à ce que sa masse soit constante.



Figure VI.9: Préparation des échantillons pour l'étuvage.

- Connaissant la masse sèche de l'éprouvette à chaque âge et son volume initial , et la masse sèche de l'échantillon prélevé avant et après étuvage . On calcule par la règle de trois le volume de l'échantillon prélevé puis nous calculons la masse volumique sèche.

IV.5.2.2. Présentation des résultats

Tableau VI.4: Variation de la masse volumique sèche.

Dosages \ Ages	03jours	07jours	14jours	21jours	28jours	Valeur théorique
0%	2,1474	2,1640	2,1892	2,2133	2,2690	2.12
10%	2,0309	2,0452	2,0573	2,0754	2,1043	2.03
20%	1,9082	1,9097	1,9115	1,9354	2,0217	1.95
30%	1,8404	1,8905	1,9078	1,9529	1,9753	1.86
40%	1,7454	1,7565	1,7635	1,7807	1,8058	1.78

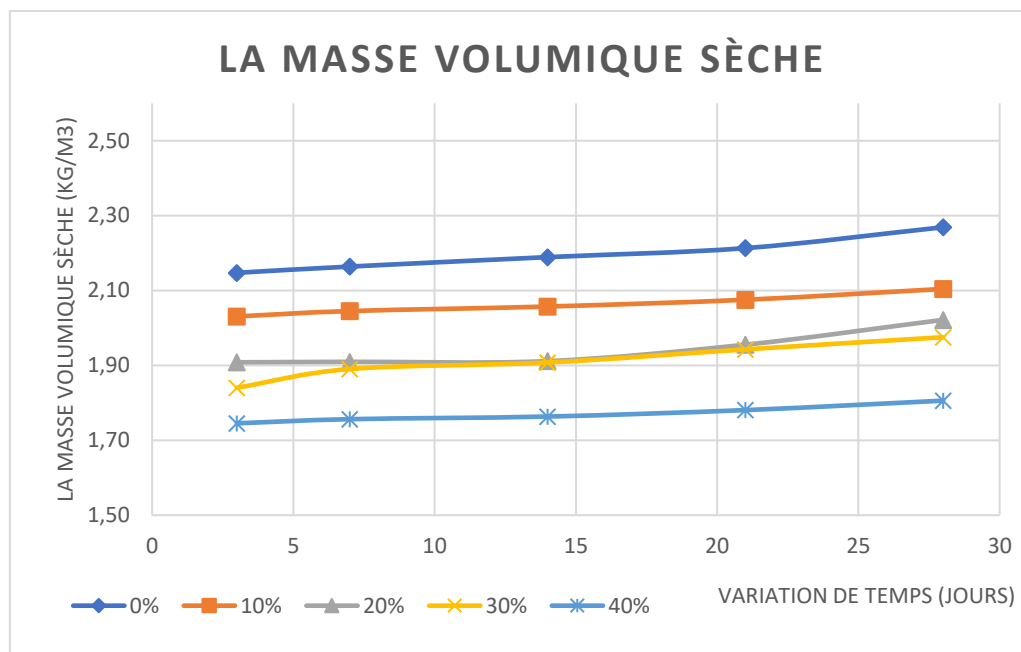


Figure VI.10: Variation de la masse volumique sèche.

IV.5.2.3. Interprétation des résultats

La masse volumique sèche est influencée par la variation du pourcentage d'ajouts. D'après le Tableau VI.4, et la Figure VI.10 on peut remarquer que la masse volumique sèche diminue proportionnellement à l'augmentation du pourcentage d'ajout. Cela confirme que l'introduction des grignons d'olives permet d'alléger le mortier vu la masse volumique des grignons qui est inférieure à celle de sable.

La valeur théorique de chaque échantillon se rapproche de la valeur expérimentale; ce qui suggère que la confection des spécimens d'essais s'est déroulée dans de bonnes conditions.

IV.5.3. Essai d'absorption d'eau

La mesure d'absorption de l'eau est essentielle pour la confection des mortiers et les bétons, il est le résultat des mouvements capillaires des fluides dans les fissures du matériau ouvertes sur le milieu extérieur. Il résulte que l'absorption ne peut se produire que sur un matériau partiellement sec.

Cet essai mesure le taux d'absorption d'eau par succession capillaire des éprouvettes de mortier mises en contact avec de l'eau sans pression hydraulique

Le principe de l'essai est basé sur les pesées qui suit :

- Pesée humide
- Pesée sèche

L'absorption d'eau est calculée avec la formule suivante :

$$Ab (\%) = \left(\frac{M_{humide} - M_{sèche}}{M_{sèche}} \times 100 \right)$$

IV.5.3.1. Mode opératoire

- Les éprouvettes sont conservées dans l'eau pendant les différents âges (3, 7, 14, 21, 28 et 90) jours.
- Après l'âge considéré on les retire dans l'eau.
- Ensuite les éprouvettes prismatiques sont séchées avec le papier absorbant.
- Les éprouvettes sont prêtes pour les pesés humides. (Figure VI.11)
- Après avoir enregistré les pesées humides on sèche les éprouvettes de mortier pendant 24h dans une étuve à une température de 105°C. (Figure VI.12)
- Lorsque les échantillons sont entièrement secs, on procède à la pesée de chaque échantillon et on enregistre sa valeur.
- Enfin on calcule la valeur de l'absorption d'eau correspondant pour chaque âge.



Figure VI.11: Les éprouvettes à l'état humide. Figure VI.12: Étuvage des éprouvettes.

IV.5.3.2. Présentation des résultats

Tableau VI.5 : Résultats des mesures de l'absorption de l'eau.

Dosages \ Ages	3 jours	7 jours	14 jours	21 jours	28 jours
0%	10,24	10,1	9,468	9,25	8,934
10%	11,36	11,08	10,821	10,324	9,949
20%	11,86	11,356	11,134	11,052	10,322
30%	13,867	13,601	13,076	12,281	11,24
40%	16,269	15,995	15,797	15,628	14,639

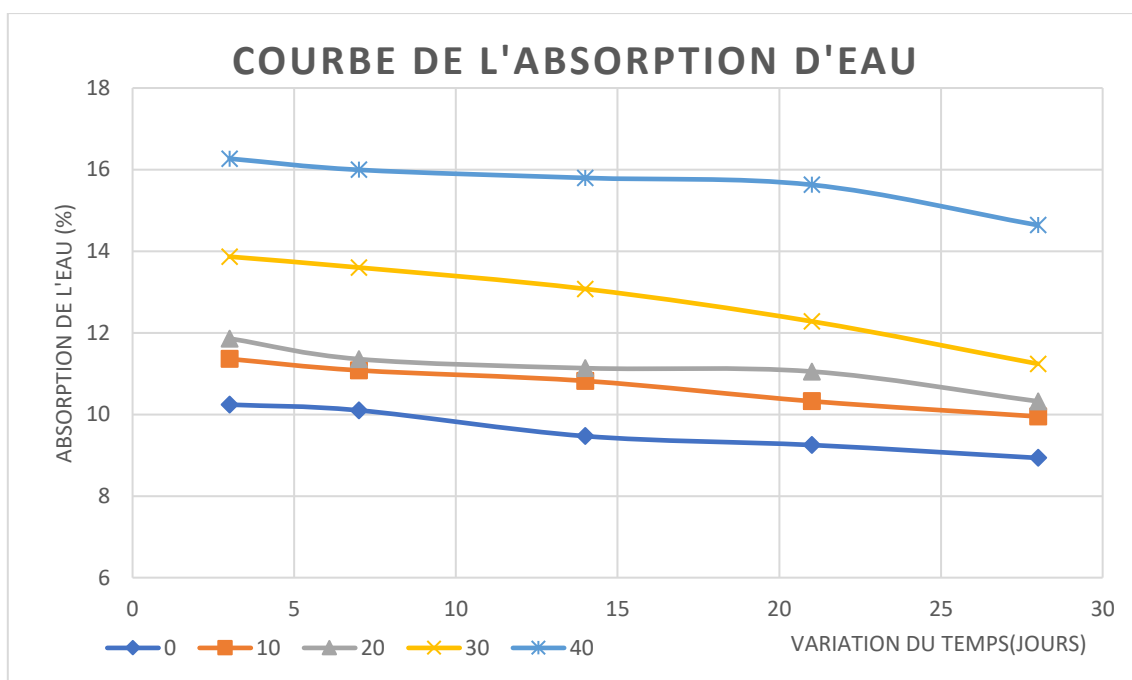


Figure VI.13: Absorption de l'eau en fonction du temps.

IV.5.3.3. Interprétation des résultats

L'évaluation de l'effet de grignons d'olive sur l'absorption d'eau des mortiers est représentée par la Figure VI.13, et les valeurs sont enregistrées dans le Tableau VI.5.

Nous constatons que le mortier contenant les grignons d'olives comme substitution au sable absorbe plus que le mortier témoin et cela quel que soit l'âge de l'échantillon et le pourcentage d'ajout. Ces résultats sont dus à la porosité accrue enregistrée dans les différents échantillons. L'absorption d'eau augmente proportionnellement à l'augmentation des vides dans la structure des mortiers formés.

IV.5.4. Essai de retrait et gonflement

Le retrait est la diminution de volume apparent de la matière, contrairement au gonflement qui est l'augmentation de volume de cette dernière.

La pâte de ciment rétrécit à l'air sec, alors qu'au contraire elle gonfle dans l'eau, ce phénomène se prolonge dans le temps pour des périodes plus longues.

IV.5.4.1. Mode opératoire

Il s'agit d'évaluer le retrait ou le gonflement des prismes ($4 \times 4 \times 16$) cm³, conservés pour des essais aux différents âges. Pour cela nous allons calculer la variation de longueur d'une éprouvette par rapport à sa longueur initiale prise après le démoulage à l'aide d'un pied à

coulisse; par la différence entre la mesure initiale et la mesure finale aux échéances spécifiées. S'il s'agit d'une valeur positive on appelle ça le phénomène de retrait et si (est une valeur négative on obtient alors le phénomène de gonflement. Le retrait est calculé avec la formule suivante :

$$\frac{L_{initiale} - L_{finale}}{L_{initiale}} \times 100$$

IV.5.4.2. Présentation des résultats

Tableau VI.6: Résultats des mesures de retrait.

Dosages \ Ages	3 jours	7 jours	14 jours	21 jours	28 jours
0%	0,05	0,08	0,09	0,1	0,1
10%	0,11	0,15	0,16	0,2	0,2
20%	0,21	0,21	0,25	0,3	0,31
30%	0,36	0,39	0,41	0,41	0,47
40%	0,49	0,5	0,51	0,52	0,52

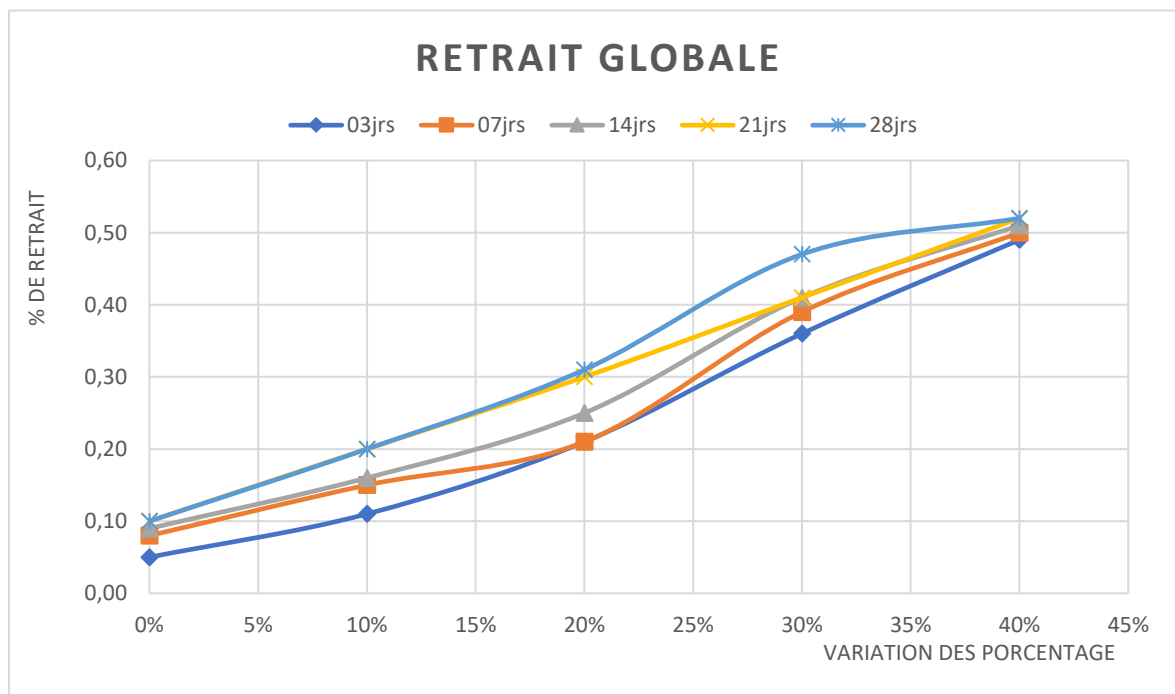


Figure VI.14: La variation de retrait en fonction du pourcentage d'ajout.

IV.5.4.3. Interprétation des résultats

Les résultats obtenus pour les différents pourcentages testés et aux différents âges spécifiés ci-dessus ont été regroupés dans le Tableau VI.6 et présentés par l'histogramme de la Figure VI.14.

D'après les résultats concernant le retrait, on peut expliquer l'augmentation de retrait à la perturbation de l'ajout grignon d'olive qui a créé les vides entre les squelettes de mortier, qui sont au départ occupé par l'eau et par la suite ces vides ont autorisé la création de retrait dans le mortier.

IV.6. Essais mécaniques

Les essais mécaniques sont des expériences dont le but est de caractériser les lois de comportement des matériaux.[49] La connaissance des propriétés mécaniques conduit également au bon dimensionnement des structures, à la détermination des limites de rupture...Pour cela nous avons effectué des essais de flexion et de compression sur nos différents échantillons (pour le type vous avez un seul) de mortiers. Chaque éprouvette donne un résultat de flexion et deux de compression.

IV.6.1. Essai à la flexion (P18-408)

La résistance à la flexion est un test indirect bien connu pour déterminer la résistance à la traction du matériau. Cette résistance est l'un des propriétés fondamentales les plus importantes du mortier. Une prédiction précise de la résistance à la flexion de mortier aidera à atténuer les problèmes des fissures.

Cet essai consiste à déterminer la résistance en traction par flexion du mortier. C'est un essai qui consiste à écraser un prismatique (4x4x16) cm³ à l'aide d'un dispositif de mesure de la flexion et de la compression (Figure VI.15)



Figure VI.15: Le dispositif d'essais de compression et de flexion.

IV.6.1.1. Mode opératoire

L'essai consiste à soumettre une éprouvette de forme prismatique, placée entre les plateaux d'une presse, à deux forces axiales opposées (Figure VI.16)

L'essai de flexion permet également de mesurer la résistance à la rupture d'un matériau.

- Placer le prisme horizontalement dans le dispositif de flexion avec une face latérale de moulage.
- Appliquer une charge verticalement par le rouleau de chargement sur la face latérale opposée jusqu'à la rupture.(Figure VI.17)
- Garder les deux échantillons obtenus pour l'essai de la résistance à la compression.



Figure VI.16: Mise en place de l'éprouvette.



Figure VI.17: Rupture de l'éprouvette.

IV.6.1.2. Présentation des résultats

Tableau VI.7 : Résultats des mesures de résistance à la flexion.

Ages Dosages	3 jours	7 jours	14 jours	21 jours	28 jours	90 jours
0%	4,37	4,45	5,55	5,88	6,23	5,61
10%	2,65	3,41	3,93	4,05	4,62	4,36
20%	1,98	3,13	3,16	3,49	3,89	3,24
30%	1,04	2,38	2,87	3,07	3,33	2,44
40%	0,55	2,27	2,53	2,71	3,14	1,93

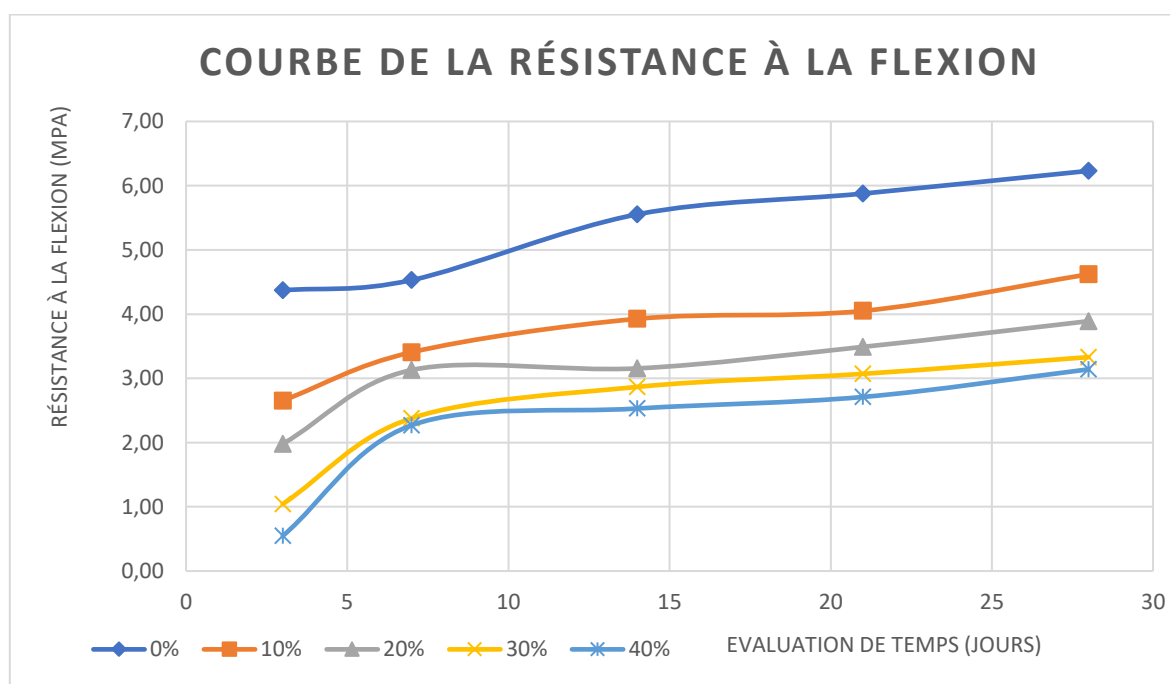


Figure VI.18: La résistance à la flexion.

IV.6.1.3. Interprétation des résultats

D'après les résultats obtenus dans le Tableau VI.7 et représentés par la Figure VI.18, On observe une diminution de la résistance à la flexion avec l'augmentation d'ajout, et une augmentation de la résistance en fonction du temps.

On explique l'augmentation de la résistance à la flexion à travers le temps à l'hydratation de ciment qui se développe jours après jours, Par contre cette résistance se voit en baisse à fur et à mesure de l'augmentation des pourcentages de substitution. Ceci est dû à l'effet de l'augmentation de la porosité causé par la structure poreuse du grignon d'olive.

IV.6.2. Essai compression (NF EN 206-1)

La résistance à la compression du mortier est sa propriété la plus importante. Elle projette une image globale de la qualité d'un matériau. La résistance à la compression correspond à la charge de rupture (charge maximale enregistrée) au cours de l'essai d'écrasement sous une contrainte normale axiale. La mise en charge doit se faire d'une manière continue jusqu'à la rupture de l'éprouvette.

L'essai de compression est effectué sur les demi-éprouvettes provenant de l'essai de flexion.

IV.6.2.1. Mode opératoire

Chaque demi-prisme est centré dans le plateau de la presse (Figure VI.19). 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. Et on récupère les fragments de cœur pour l'essai de la masse sèche.

Les résistances à la compression des éprouvettes ont été déterminées à l'âge de 3, 7, 14, 21, 28 et 90 jours.



Figure VI.19: Mise en place de la demi-prisme pour l'essai de compression.

IV.6.2.2. Présentation des résultats

Tableau VI.8 : Résultats des mesures de la résistance à la compression.

Ages Dosages	3 jours	7 jours	14 jours	21 jours	28 jours	90 jours
0%	23,16	37,08	39,25	42,91	46,44	31,94
10%	15,5	22,11	28,28	30,77	34,78	25,32
20%	13,24	20,35	17,05	27,59	30,54	18,66
30%	7,23	19,68	23,27	25,33	27,42	16,71
40%	3,18	15,65	16,05	14,6	21,21	14,98

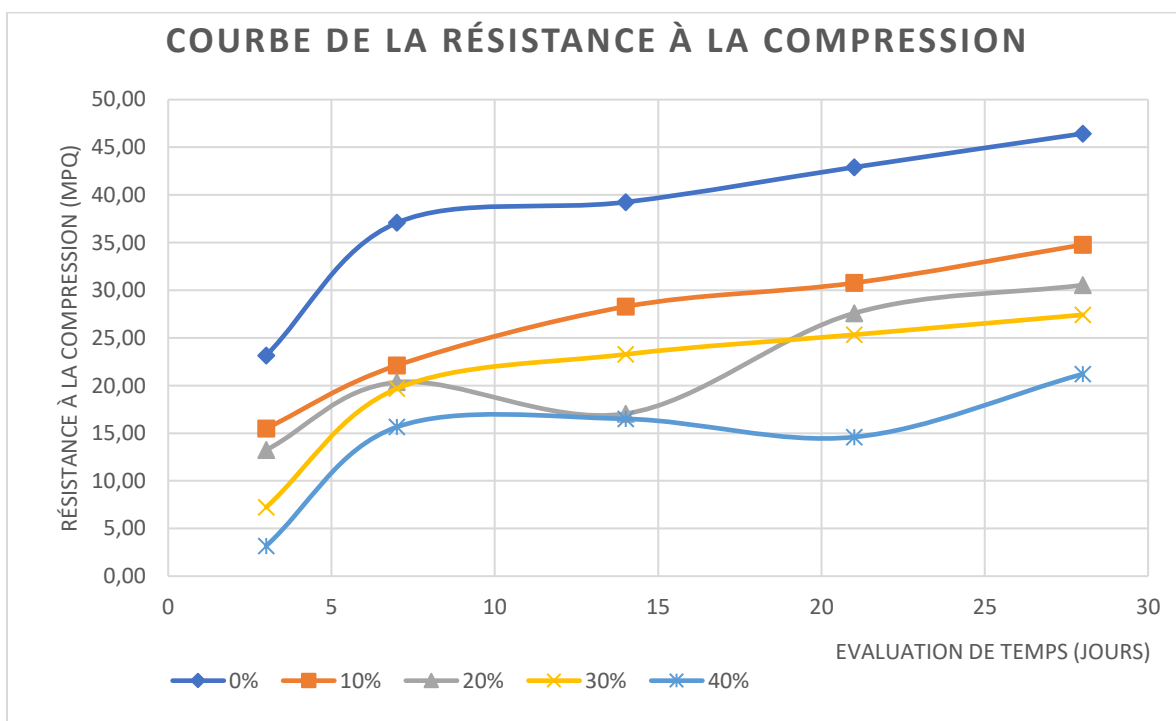


Figure VI.20: La résistance à la compression.

IV.6.2.3. Interprétation des résultats

Les résultats donnés dans le Tableau VI.8., et présentés par les courbes de la Figure VI.20., indiquent que la résistance à la compression enregistre une claire diminution avec l’augmentation du pourcentage d’ajout. Le remplacement partiel du sable par le grignon d’olive à de différents pourcentages a provoqué une chute de résistance à cause de la porosité accrue des échantillons avec ajout de grignons d’olives. Cela peut être expliqué aussi par un manque d’hydratation du ciment vu le caractère hydrophile du grignon d’olive. Ce qui veut dire que la cinétique d’hydratation du liant devient de plus en plus lente en fonction de l’augmentation de

la quantité d'ajout et par conséquent les cristaux C-S-H (éléments responsables du phénomène de durcissement de la pâte) existent uniquement en faible quantité. Ce qui est confirmé par le pourcentage de chute de résistance à la compression aux différents âges donné dans le Tableau VI.9. Nous voyons clairement par l'histogramme de la Figure VI.21 que cette chute diminue en fonction de l'âge de l'échantillon.

Par contre cette résistance à la compression augmente régulièrement avec le temps comparant au mortier témoin.

Nous constatons certaines anomalies dans les courbes représentant les résultats de la résistance à la compression des deux échantillons (20% à l'âge de 14jours) et (40% à l'âge de 21jours) qui sont dues probablement aux :

- Chevauchement dans l'appareil.
- L'hydratation incomplète de ciment.
- L'inhomogénéité de mortier lors de malaxage.

A l'essai de 90 jours on a eu des résultats incohérent.

Tableau VI.9.: Pourcentages de chute de la résistance à la compression aux différents âges par rapport à l'échantillon témoin.

% de chute de la résistance à la compression					
Dosages \ Ages	3 jours	7 jours	14 jours	21 jours	28 jours
10%	33	40	28	28	25
20%	43	45	<u>57</u>	36	34
30%	69	47	41	41	41
40%	86	58	59	<u>66</u>	54
% de chute de la résistance à la flexion					
10%	39	23	29	31	26
20%	55	30	43	41	38
30%	76	47	48	48	47
40%	87	49	54	54	50

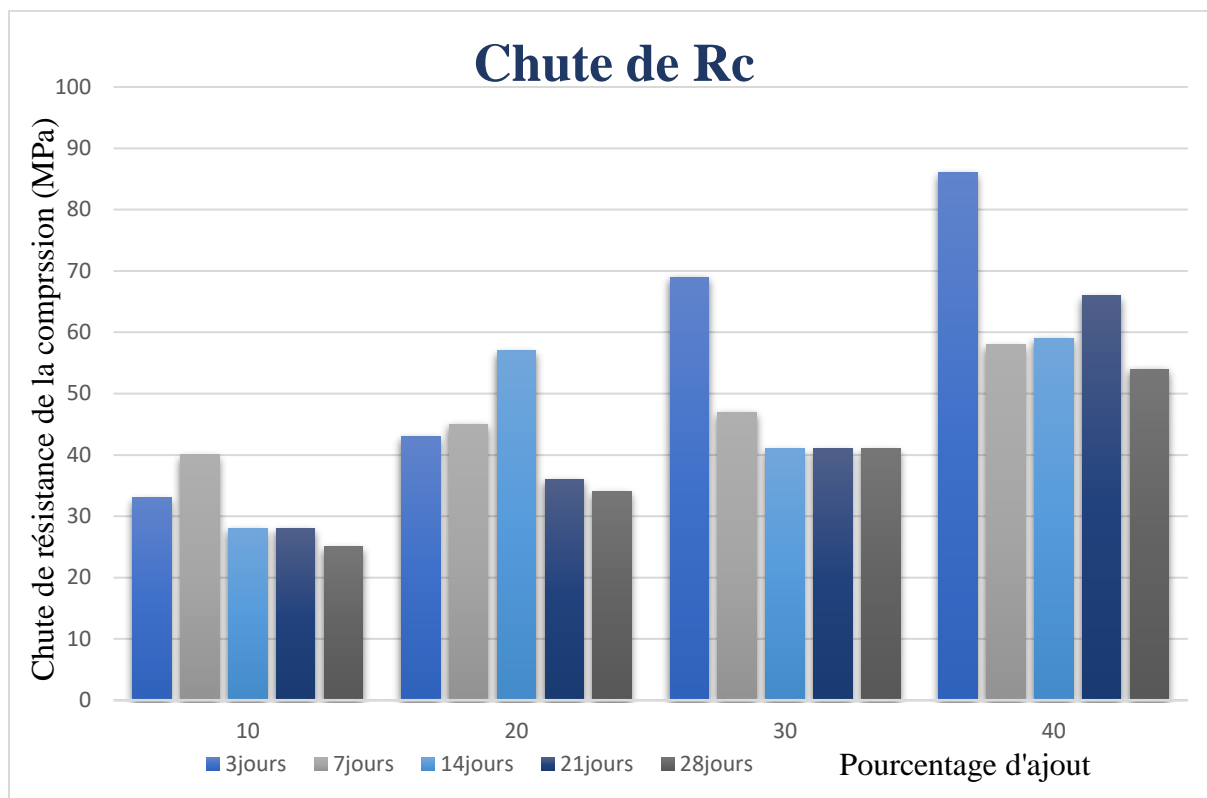


Figure VI.21: Pourcentages de chute de Rc.

Les résultats notés dans le Tableau VI.9 nous montrent les pourcentages de chute des résistances à la flexion et à la compression. Sur ce nous pouvons préconiser le pourcentage d'ajout jusqu'à 40% .

- Le pourcentage d'ajout ne peut pas atteindre plus de 40% ,en raison de la mauvaise maniabilité du mortier observé sur la figure VI.22.



Figure VI.22 : Échantillon de 60% d'ajout de grignon d'olives.

- Les chemins de rupture présentés sur la Figure VI.23 passent par la zone de contact des grignons d'olives avec le ciment contrairement à l'échantillon témoin qui a une rupture droite, ce qui marque une mauvaise adhérence .

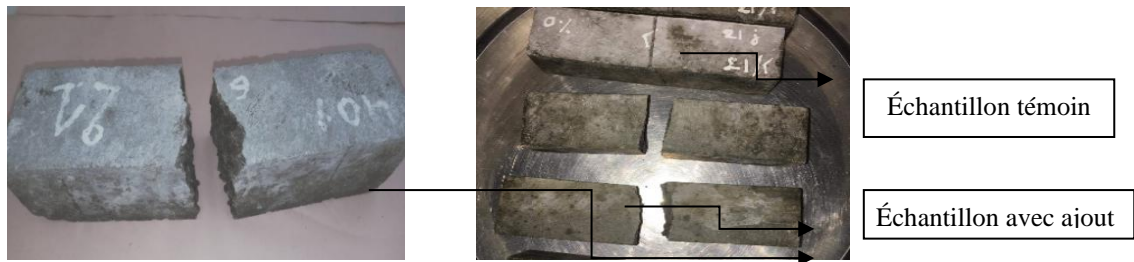


Figure VI.23 : Les chemins de rupture des échantillons avec et sans ajout.

IV.7. Essai thermique

IV.7.1. Essai de la conductivité thermique

La conductivité thermique est une grandeur physique caractérisant le comportement des matériaux lors des transferts de la chaleur. Elle 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 parmi ces paramètres : la conductivité thermique, chaleur spécifique à une certaine température, diffusion...

IV.7.1.1. Mode opératoire

- Retirer les éprouvettes du bassin après conservation sous l'eau pendant les différents âges étudiés.
- Sécher avec un chiffon ou papier absorbant puis étuver à une température de 105°C pendant 24h.
- Retirer les prismes de l'étuve et laisser ces éprouvettes refroidir
- Régler l'appareil utilisé pour cet essai CT-mètre (Figure VI.24)
- Mettre la sonde entre deux éprouvettes et on prend les résultats quand la température est constante.



Figure VI.24: Essai de la conductivité thermique.

IV.7.1.2. Présentation des résultats

Les résultats de la mesure de la conductivité thermique et la chaleur spécifique des spécimens de mortiers aux différents pourcentages d'ajout de grignons d'olives sont consignés dans les Tableau VI.9 et Tableau VI.11.

Tableau VI.10: Résultats des mesures de la conductivité thermique.

Ages Dosages	3 jours	7 jours	14 jours	21 jours	28 jours
0%	1,344	1,464	1,487	1,72	1,789
10%	1,045	1,05	1,165	1,326	1,35
20%	0,869	0,901	1,025	1,079	1,102
30%	0,68	0,707	0,885	0,909	1,024
40%	0,546	0,679	0,707	0,724	0,792

Tableau VI.11: Résultats des mesures de la chaleur spécifique.

Ages Dosages	3 jours	7 jours	14 jours	21 jours	28 jours
0%	2436	2441	2654	2831	2954
10%	2291	2308	2382	2437	2487
20%	2207	2262	2336	2374	2413
30%	2178	2249	2293	2312	2398
40%	2075	2135	2197	2216	2246

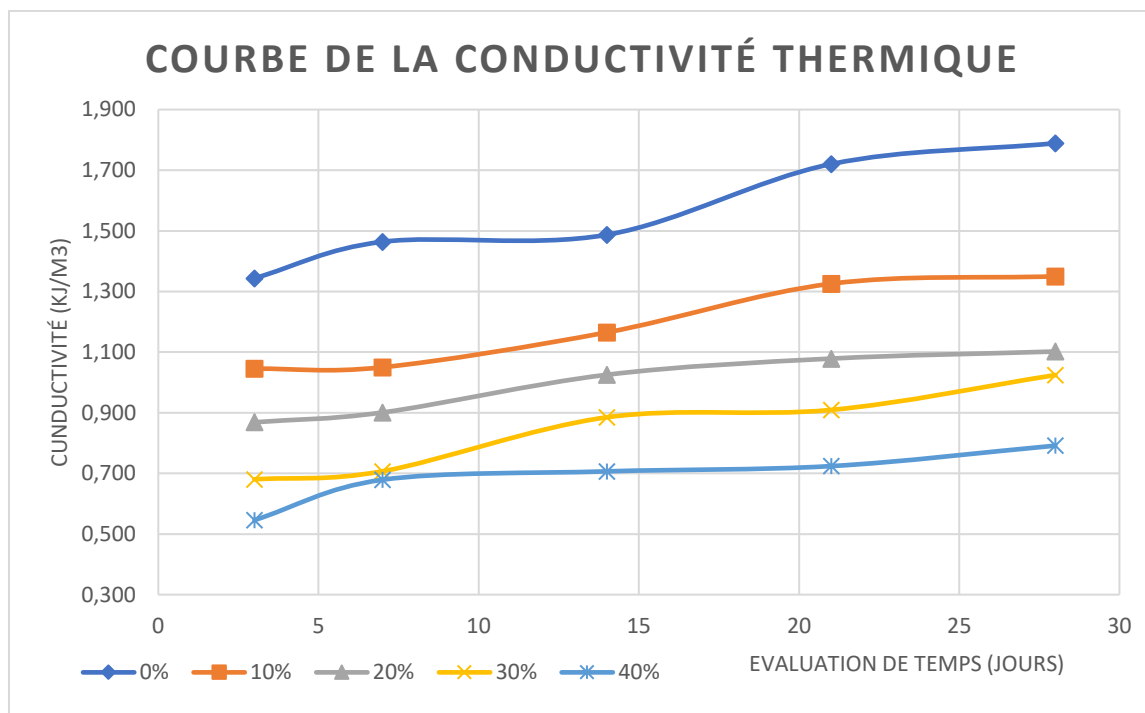


Figure VI.25: Courbe de la conductivité thermique.

IV.7.1.3. Interprétation des résultats

Les résultats de la résistance thermique obtenus pour les différents pourcentages testés aux différents âges sont représentés par la Figure VI.25.

D'après les résultats on remarque bien que la conductivité thermique et la chaleur spécifique ont le même comportement, à chaque augmentation de pourcentage des grignons d'olive ajouté, la conductivité thermique et la chaleur spécifique diminue d'une manière progressive quel que soit l'âge de l'échantillon

D'où on conclut que l'ajout des grignons d'olive dans le mortier améliore la conductivité thermique. Cette amélioration est calculée et consignée dans le Tableau VI.12.

Tableau VI.12: Pourcentages d'amélioration de la conductivité thermique à l'âge de 28 jours des échantillons avec ajouts par rapport à l'échantillon témoin.

% D'ajout	0%	10%	20%	30%	40%
la conductivité thermique	1,789	1,35	1,102	1,024	0,792
% d'amélioration de la conductivité thermique	----	24,54	38,40	42,76	55,73

A partir des résultats du Tableau VI.12, nous pouvons constater que l'ajout de 30% de grignons d'olives améliore la conductivité thermique de 42,76% par rapport à l'échantillon témoin.

IV.8. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons exposé les résultats des travaux expérimentaux qui ont été réalisés dans le cadre de notre projet de fin d'études. Nous avons étudié l'effet de l'ajout du grignon d'olive à des pourcentages variés (0%,10%, 20%,30%,40%) sur les différentes propriétés physico-mécaniques et thermique dont la porosité, l'absorption d'eau , taux d'humidité , le retrait, la résistance à la compression et à la flexion et la conductivité thermique.

Ces essais nous ont permis de déduire les conclusions suivantes :

- La porosité augmente en augmentant le pourcentage d'ajout , ce qui assure le confort thermique et limite la consommation d'énergie.
- L'introduction des grignons d'olives contribue à la diminution de la masse volumique sèche qui permet d'alléger le mortier .
- L'absorption d'eau augmente en fonction du pourcentage d'ajout de la matière organique , ce qui abaisse probablement la durabilité du mortier.
- Les grignons d'olives contiennent une partie huileuse , ce qui provoque une mal adhérence dans le mortier.
- Le retrait augmente proportionnellement à l'augmentation du pourcentage d'ajout qui peut être négligeable.
- La résistance à la compression et à la flexion diminue en augmentant le pourcentage d'ajout organique , mais elle reste toujours acceptable en se référant à la limite admissible exigé par les normes .
- La conductivité thermique s'améliore avec l'augmentation de pourcentage d'ajout .
- Après 28 jours les résistances à la flexion et à la compression ont observé une diminution inappropriée .



Conclusion générale et perspectives

Conclusion générale et perspectives

Les déchets agricoles sont de plus en plus d'énormes quantités, qui ne sont souvent pas convenablement gérés. Ce qui pourrait engendrer une nuisance potentielle sur l'environnement. En plus la réutilisation de ces déchets dans le domaine des matériaux de construction accordera la diminution de la consommation exhaustive des ressources naturelles non renouvelables, et aussi l'amélioration de quelques propriétés physiques et mécaniques des matériaux.

Dans ce travail on a essayé répondre à -notre problématique à savoir la formulation des mortiers avec ajout des grignons d'olives comme substitution au sable, et on a tiré les conclusions suivantes :

- La résistance à la compression des éprouvettes a diminué à chaque augmentation de pourcentage d'ajout de grignons d'olives, mais les valeurs obtenues restent toujours supérieures à celles exigées par les normes. Le pourcentage de chute par rapport à l'échantillon témoin varie de 25,11% à 54,33% selon les pourcentages d'ajout (10% ;20% ;30% et 40%). Nous pouvons préconiser le pourcentage d'ajout jusqu'à 40%.
- La résistance thermique a observé une amélioration de 24,54% à 55,73% selon les pourcentages d'ajout (10% ;20% ;30% et 40%) par rapport à l'échantillon témoin. Ce qui nous offre une bonne isolation thermique.
- L'ajout de cette matière organique nous a mené vers un mortier plus léger, vu la densité sèche qui diminue en fonction du pourcentage d'addition.
- Les grignons d'olives n'ont pas une bonne adhérence avec le ciment et le chemin de rupture passe par la zone de contact du grignon d'olive avec le ciment hydraté.
- Les grignons d'olives est un matériau qui absorbe une quantité importante d'eau durant le gâchage du mortier, pour cela on s'est arrêté à 40%. Puisque la composition (60% de grignons d'olives + 40% de sable) nous a donné un mortier non maniable.
- recommandé. Cette teneur en eau permet de réduire l'absorption de l'eau du mélange par les grignons d'olives et permet une bonne hydratation du ciment.

Sur ce l'utilisation des grignons d'olives comme substitution au sable dans le mélange de mortier peut contribuer à l'amélioration des performances thermiques, avec résistances à la

compression et à flexion acceptable Aussi cette substitution contribue à la légèreté de la structure par la diminution de la densité.

Perspectives

Les grignons d'olives possèdent des propriétés très intéressantes, elles sont renouvelables, biodégradables et le coût/légèreté faible. Cependant le problème prédominant dans ce type de matériaux composites est la faible adhésion de l'interface matrice de l'ajout, attribuée probablement à la nature de la surface et au caractère hydrophobe des fibres végétales, conduisant ainsi à des propriétés mécaniques faibles. Pour cela quelques perspectives sont citées pour les nouvelles recherches :

- ✓ Traiter les grignons d'olives d'une façon à éliminer la partie huileuse qui provoque la mauvaise adhérence avec le liant.
- ✓ Comme les ajouts végétaux ont une très grande absorption, il faut que ceux-ci soient humides lors de leur utilisation pour préparer du mortier. Si l'ajout n'est pas humide, celui-ci peut absorber l'eau du mélange, affectant ainsi négativement la maniabilité du béton et le contrôle du rapport E/C effectif. Un bon niveau de saturation est recommandé. Cette teneur en eau permet de réduire l'absorption de l'eau du mélange par les grignons d'olives et permet une bonne hydratation du ciment.
- ✓ Ajouter des superplastifiants comme addition.



Références Bibliographiques

Références Bibliographiques

- [1] Berredjem.L, Laurent.M, van Minh.N, Meftah.H, Arabi.N, «Étude expérimentale de la formulation des mortiers à base de sable recyclé. » 34èmes Rencontres Universitaires de Génie Civil (RUGC 2016), May 2016, Liège, Belgique. fhal-01366545f.
- [2] DEMIR.I, « An investigation on the production brick with proccessed waste tea ». In Building and Environment, n° 41, pp 1274-1278, 2006. Edition ELSEVIE Building and Environment, n° 41, pp 1274-1278, 2006. Edition ELSEVIER.
- [3] Maman.C, Si bachir.N, «Etude d'un mortier à base d'adjuvant, fibres végétales et vase de dragage», mémoire de master, Université d'Ain T'émouchent.
- [4] Jérôme.D, Les fiches « Un point sur » Récupérer sur : www.Lactualitechimique.org/spip.php-rubrique11.
- [5] CIMBÉTON, « Collection technique Ciments et bétons, » Conception et réalisation : Am principe Paris, Édition 2005.
- [6] Chelouah.N, « Cours de MDC deuxième année GC », Université de Bejaia 2018/2019.
- [7] Cours « Matériaux De Construction » université de Batna.
- [8] Cours de « TMC chapitre2 » université d'Annaba.
- [9] Morandea.A, « Carbonatation atmosphérique des systèmes cimentaires à faible teneur en portlandite », thèse de doctorat, Université Paris-Est.
- [10] Récupérer sur : « <https://www.construction-maison.ooreka.fr> », Mai ,2022.
- [11] Récupérer sur « <https://lavieenpierre.com/fr/actualites/origine-utilisations-preservation-de-la-ressource-tout-savoir-sur-le-sable-dans-la-construction-141.html> », Mai ,2022.
- [12] Dupain.R, Lanchon.R, Saint-Arroman.J.C, « Granulats, Sols, Ciments et Béton»,Eddition A.Capliez ,Paris 2004.
- [13] Benna. Y, « Les adjuvants pour bétons » ENTP 2017.
- [14] Récupérer sur : « <https://www.infociments.fr/béton/adjuvants> », Mai ,2022.
- [15] Cours de Arezki.S, « Travaux Pratique & Détermination de masse volumique », Université de Bejaia.
- [16] Récupérer sur : «<https://www.zwickroell.com/fr/secteurs-dactivite/test-de-materiau-essai-de-materiau/essai-de-flexion> », Juin ,2022.

- [17] Harbi.R, thèse de doctorat intitulé « Propriétés physico-mécaniques et durabilité des mortiers avec additions minérales », Université 8 Mai 1945 Guelma, Département de génie civil et hydraulique 2018.
- [18] : Récupérer sur : « <https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Porosit%C3%A9> », Juin ,2022.
- [19] Neville.AM, « Properties of concrete », Edition Eyrolles, 4th ed. Longman Group Limited, England, 2000. ISBN : 2-212-01320-5.
- [20] Laifaoui.H, « Comportement des bétons à base des granulats de déchets de brique concassé sous différentes conditions de durcissement », Université Mohamed El Bachir El Ibrahimy – Bordj Bou Arreridj 2016.
- [21] Rouibi.M et al, « Durabilité des mortiers en fonction de la nature de sable et le taux de la pouzzolane naturelle », Article, Université des Sciences et de la Technologie Mohamed Boudiaf d'Oran.
- [22] Mohamed.S et al, « Influence des ajouts minéraux sur la durabilité des mortiers conservés dans l'eau de mer », Article, ENSET d'Oran ,2012.
- [23] Gernouti.Y et al, « Durabilité des mortiers à base de la vase des barrages vis-à-vis des attaques chimiques », Article, Université de Mascara.
- [24] Belkadi.A et al, « Effet de la nature des fibres végétales sur les performances mécaniques et les propriétés de transfert des mortiers à base de metakaolin », Article, ACADEMIC JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING 2019.
- [25] Boutarfa.M et al, « Elaboration Des Mortiers Renforces Par Des Fibres Naturelles : Cas D'alpha », Article, Université Badji Mokhtar.
- [26] Kerbouche.A et al, « Influence des ajouts minéraux sur les résistances mécaniques des mortiers », Article, ENSET d'Oran, octobre 2009.
- [27] Bouhamou.N et al, « Valorisation des déchets naturels dans l'élaboration des nouveaux bétons et matériaux de construction », Article 'Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem.
- [28] Mokhtari.A, « Influence des ajouts de fines minérales sur les performances mécaniques des bétons renforcés de fibres végétales de palmier dattier ». Mémoire de magistère université kasdi merbah Ouargla.
- [29] Tebbal.N, « Effet de la nature des granulats sur les propriétés physico-mécaniques et durabilité d'un béton à haute performance » thèse de doctorat 2017 Université Mohamed Boudiaf - M'SILA.

- [30] Chaïd.R et al, « Comportement d'un béton à hautes performances à base de laitier en milieu sulfatique », Article, Laboratoire des Matériaux Minéraux & Composites Université M'hamed BOUGARA... Octobre 2012.
- [31] Yankwa.DJ et Noël.J, « effets de l'incorporation d'adjuvants minéraux sur les propriétés de ciments gépolyinères à base scories volcanique ».
- [32] Belhoucine.A et Nagoudi.N, « Etude expérimentale d'un mortier avec ajouts minéraux », mémoire de master, université de Ouargla.
- [33] CHAID.R, « Formulation, caractérisation et durabilité des BHP aux ajouts cimentaires locaux ». Thèse de doctorat d'état en génie civil ENP décembre 2006 »
- [34] Adjoudj.M, «Effet des additions minérales et organiques sur le comportement rhéologique du béton ». Mécanique des matériaux physics.class-ph. Université de Cergy Pontoise; Université Hassiba Benbouali de Chlef (Algérie), 2015. Français. ffNNT : 2015CERG0784ff. fftel-01355155ff.
- [35] Récupérer sur : «<https://www.elwatan.com/regions/kabylie/bejaia/bejaia-les-services-agricoles-prevoient-une-production-de-19-millions-de-litres-dhuile-23-11-2021> », Juin ,2022.
- [36] Récupérer sur : « <https://www.tapas-shop.com/gourmag/24-histoire-olivier-et-production-huile-olive.html> », Juin ,2022.
- [37] Sansoucy R, «Utilisation des sous-produits de l'olivier en alimentâmes animale dans le bassin méditerranéen », FAO, Rome, 1984.
- [38] Arezki.S, « Etudes de l'influence des ajouts (grignon d'olivets foin) sur les caractéristiques physico-mécaniques de la brique de terre cuite ». Mémoire de magistère, université Abderrahmane Mira Bejaia.
- [39] Récupérer sur : « <https://www.elwatan.com/regions/kabylie/bejaia/bejaia-les-services-agricoles-prevoient-une-production-de-19-millions-de-litres-dhuile-23-11-2021> », Juin ,2022.
- [40] « Prévention de la pollution dans la production d'huile d'olive. Par le centre d'activités régionales pour la production propre (CAP/PP) ». Plan d'action pour la méditerranée. Édition du Ministère de l'environnement, 2000.
- [41] Benyahia.N et ZEIN.K, «Analyse des problèmes de L'industrie de l'huile d'olive et solution récemment développés ». Contribution spéciale de sustainable Business Association (SBA), Suisse ,2003 Site internet : <http://sba.hello.to>.
- [42] Maymone.a et al, 1961 b : Salouhi.B, Université Ibn Tofail Kenitra – Diplôme d'études supérieures spécialisées spécialité assurance qualité et contrôle analytique ,2000.
- [43] FAO. « Les grignons d'olive. Importance de la production oléicole et des sous-produits de l'olivier ». Synthèse réalisée par R. SANSOUCY, Rome, 1984.

- [44] Russ.W, Mortel.H, Pittrof.R.M, «Application of soient grain toi increaease porosity in bricks», in construction and Building Materials, n°19, pp 117-126, 2005.Edition ELSEVIER.
- [45] Récupérer sur « https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Grignon_d%27olive», Juillet 2022.
- [46] B.Monties, « Les polymères végétaux. Polymères pariétaux et alimentaire non azotés ».Collection dirigée par Claude Costes. Editions, Gauthier-Villars, Bordas.
- [47] Récupéré sur : « <https://www.cbr.be/fr/test-des-proprietes-physiques> », Août 2022.
- [48] Wesche.K: Baustoffe fur tragende Bauteile, Beton und. Mauwerk. Bauverlag , wisbuden/Bulin19983.
- [49] Récupérer sur : « [fr.wikipedia.org/wiki/essai mécanique](fr.wikipedia.org/wiki/essai_mécanique) », Août 2022.



Annexes

Annexe A



المجمع الصناعي لإسمنت الجزائر

GRUPE INDUSTRIEL DES CIMENTS D'ALGERIE
SOCIETE DES CIMENTS DE SOUR EL GHOZLANE

« S.C.S.E.G. »

ش.ذ.أ. - رأسمالها الاجتماعي : 1.900.000.000 D A : S.P.A. au capital social de :



N° Identification Fiscale : 099 810 028 210 584 - N° Article d'Imposition : 10 38 52 58 011 - N° Registre de Commerce : 10/00- 0282105B98

Produit Commercialisé :

Ciment CEM II /A- L 42.5 N

Fiche technique

Période D'expédition :

-- Décembre -- 2019 -

Conformément à la norme NA 442 édition 2013

Caractéristique physico-mécaniques				Composition chimique		
Désignations	Unités	Exigence	Moyenne	Composé	Exigence	Moyenne (%)
Poids spécifique	Gr/cm ³		3.09	SiO ₂		19.35
Surface spécifique Blaine	Cm ² /gr		3953	Al ₂ O ₃		4.32
Consistance normale	% H ₂ O		25.35	Fe ₂ O ₃		3.33
Temps de prise	Début	Min.	≥ 60	CaO		62.74
	Fin	Min.	297.50			
Expansion à chaud	mm	≤ 10	1.25	MgO		2.59
Chaleur d'hydratation à (41h)	(j/g)	270	239	K ₂ O		0.57
Refus sur tamis 45 µm	%		20.30	Na ₂ O		0.15
Résistance à la flexion	02 jours	Mpa	4.52	SO ₃	≤ 3.50	2.60
	07 jours	Mpa	5.97	Cl ⁻	≤ 0.10	< 0.01
	28 jours	Mpa	6.43	P.A.F à 950 ° C		5.37
Résistance à la compression	02 jours	Mpa	≥ 10.00	CaO _{libre}		1.01
	07 jours	Mpa				
	28 jours	Mpa	Li ≥ 42.5 Ls ≤ 62.5			

Observation : c'est un ciment portland composé, dont les caractéristiques physico-mécaniques et chimiques sont conformes aux exigences du ciment CEM II / A-L 42.5N Selon la norme NA 442/2013.

Société des Ciments Sour El Ghoulane
Siège : Col de Becouche BP 61, Sour El Ghoulane
(W) de Bouira, 10004 Algérie
E-Mail : bodg-scseg@scseg.dz



Annexe B

La norme	L'intitulé
NF EN 1971	Méthode de contrôle par courants de Foucault pour le mesurage des défauts des tubes ronds sans soudure en cuivre et alliages de cuivre
EN 196-3	Essai de consistance de ciment
EN 196-7	Essai de prise de ciment
NF P 18-560	Essai granulométrique par tamisage
NF P 18-540	Définitions, conformité, spécifications (Module de finesse)
NF P 94-050	Détermination de la teneur en eau pondérale des matériaux - Méthode par étuvage.
NF EN 933-9	Qualification des fines - Essais au bleu de méthylène
EN 933-2	Détermination de la granularité - Tamis de contrôle, dimensions nominales des ouvertures
NF EN 933-8	Evaluation des fines - Équivalent de sable
EN 932-2	méthodes de réduction d'un échantillon de laboratoire
NF P 18-555	Mesures des masses volumiques, coefficient d'absorption et teneur en eau des sables
NFP 15-411	Malaxeur de confection des mortiers
NF P18-408	Essai à la flexion
NF EN 206-1	Essai compression

Résumé

Les ingénieurs en génie civil ont été confrontés au défi de réformer les déchets industriels en matériaux de construction, dans le but de remplacer progressivement les matériaux classiques par des nouveaux matériaux qui élargissent donc considérablement la capacité de répondre aux nouvelles exigences des consommateurs, et de limiter les risques qui provoquent l'environnement. Pour ces raisons on a essayé de valoriser des déchets agricoles plus précisément les grignons d'olives comme additions pour la formulation du mortier .

Notre étude est portée d'évaluer expérimentalement l'effet physico-mécanique de la substitution d'une partie granulaire du sable de carrière par les grignons d'olives à différents pourcentages volumétriques (0%, 10%, 20%, 30%, et 40%) par le grignon d'olive concassé.

Les résultats obtenus ont montré que l'ajout de 40% de grignons d'olives améliore le confort thermique et assurent la légèreté du matériau tout en maintenant les résistances à la compression et à la flexion dans les limites des normes.

Mots clés :

Mortier - Grignon d'olive - Valorisation de déchets - Caractéristiques - Résistance thermique.

Abstract

Civil engineers have been faced with the challenge of reforming industrial waste into building materials, with the aim of progressively replacing traditional materials with new ones, thus considerably expanding the capacity to meet new consumer demands and limit the risks to the environment. For these reasons we have tried to valorize agricultural waste, more precisely olive pomace, as additions for the formulation of mortar.

Our study is concerned with the experimental evaluation of the physical-mechanical effect of the substitution of a granular part of quarry sand by olive pomace at different volumetric percentages (0%, 10%, 20%, 30%, and 40%) by crushed olive pomace.

The results obtained showed that the addition of 40% of olive pomace improves the thermal comfort and ensures the lightness of the material while maintaining the compressive and flexural strengths within the limits of the standards.

Keywords

Mortar - Olive pomace - Waste recovery - Characteristics - Thermal resistance.