République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA



Faculté de **T**echnologie

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Génie Civil
Spécialité : Matériaux en Génie Civil

Conception d'un mortier auto-compactant écologique a partir d'ingrédient naturels

---

Présenté par :

- ✓ BEN BOUNADJA SALIM
- ✓ BOUCHIHA BOUBAKER

Proposé et Dirigé par :

- **M^me^ HERIHERI Ouided**

Promotion Juin 2024

Remerciement

Tout d'abord merci à DIEU[الحمد لله] qui m'a donné tout le courage,

La force et la volonté pour terminer ce travail.

Nous tenons à exprimer nos immenses et prof on des gratitudes à toutes celles et tous ceux qui ont de près de loin contribué à l'élaboration de ce travail, et en particulier :

Notre encadreur : ***Mme. HERIHIRI Ouided,*** *pour nos avons permis de*

Nous impliquer concrètement dans ce sujet d'actualité et d'importance, pour sa direction éclairée, sa disponibilité, et

Sa patience, pour la précieuse aide qu'elle nous avons promulguée tout au long de ce travail, et Nos gratitude ***Mr YOUNES OULDKHAOUA*** *aidez-nous à accomplir ce travail*

Nous tenons à remercier aussi les responsables du laboratoire de génie civil pour leur aide. Notre profonde gratitude s'adresse à tout le personnel du département Matériaux de génie civil et l'ensemble

Des enseignants qui en font partie.

En fin je tiens à remercier tous ceux qui contribué de près ou loin à

L'élaboration de ce travail , nous leur dirons merci.

اهـــداء

الحمد لله الذي بنعمته تتم الصالحات، الحمد لله الذي وفقني ويسر لي السبل لتحقيق هذا الإنجاز. اللهم لك الحمد كما ينبغي لجلال وجهك وعظيم سلطانك.

قال الله تعالى في كتابه الكريم:

"رَبِّ أَوْزِعْنِي أَنْ أَشْكُرَ نِعْمَتَكَ الَّتِي أَنْعَمْتَ عَلَيَّ وَعَلَى وَالِدَيَّ وَأَنْ أَعْمَلَ صَالِحًا تَرْضَاهُ وَأَدْخِلْنِي بِرَحْمَتِكَ فِي عِبَادِكَ الصَّالِحِينَ"

(سورة النمل، الآية 19)

إلى والدي الغالي، الذي يظل حبه ودعمه محفورًا في قلبي. أهديك هذا النجاح، وأسأل الله أن يجعله في ميزان حسناتك. رحمك الله وأسكنك فسيح جناته.

إلى أمي الحبيبة، التي كانت لي العون والسند في كل لحظة، والتي لم تبخل عليّ بدعائها ورعايتها ، فأنتِ رمز الحب والتضحية، أسأل الله أن يبارك في عمرك ويحفظك.

لكل العائلة الكريمة التي ساعدتني إخوتي وأخواتي .

إلى أساتذتي الكرام، الذين لم يبخلوا عليّ بعلمهم ومعرفتهم. جزاكم الله خير الجزاء.

إلى أصدقائي وزملائي، الذين كانوا لي العون والصحبة الطيبة طوال مسيرتي الدراسية. بارك الله فيكم وجزاكم خيرا

إلى كل من وقف بجانبي وساندني بكلمة طيبة أو نصيحة صادقة، أهديكم هذا الإنجاز، فهو لكم جميعًا، أسأل الله أن يجعله في موازين حسناتكم

RESUME

Le génie civil, l'une des disciplines d'ingénierie les plus anciennes, contribue significativement à la construction d'infrastructures et à l'amélioration du cadre de vie urbain. Face aux défis croissants de durabilité environnementale, il devient crucial de développer des matériaux de construction respectueux de l'environnement. Cette étude se focalise sur la conception de mortiers autoplaçant légers à base de liège expansé traité, visant à combiner fluidité et légèreté avec une meilleure stabilité. Nous avons analysé plusieurs mélanges avec des substitutions variables de sable par du liège expansé traité (de 0 à 100%) tout en maintenant le rapport eau/ciment constant. Nos tests ont évalué la maniabilité à l'état frais par l'étalement et le V-Funnel, et à l'état durci par la densité apparente, la résistance mécanique à la compression et à la traction, la vitesse des ondes sonores, ainsi que l'absorption d'eau par immersion et capillaire. Nous avons également étudié la résistance des composites à haute température (200, 400 et 600°C). Les résultats montrent une diminution de la densité avec l'augmentation du liège expansé, une réduction de la résistance mécanique surtout à haute substitution, une baisse de la vitesse des ondes sonores due à la moindre rigidité, et une augmentation de l'absorption d'eau, pouvant influencer la durabilité globale du matériau. En outre, à mesure que la température augmente, la perte de masse des composites s'intensifie, principalement pour ceux contenant une plus grande quantité de liège expansé traité, tandis que la résistance à la compression diminue, particulièrement pour les mélanges à forte concentration de liège expansé traité.

Les mots clés : mortier autoplaçant léger, superplastifiants, résistance, grains de liège, polystyrène dissoute, bentonite, isolation.

ملخص

الهندسة المدنية هي واحدة من أقدم التخصصات الهندسية، وتساهم بشكل كبير في تشييد البنية التحتية وتحسين البيئة المعيشية الحضرية. في مواجهة تحديات الاستدامة البيئية المتزايدة، أصبح من الضروري تطوير مواد بناء صديقة للبيئة. تركز هذه الدراسة على تصميم ملاط خفيف الوزن ذاتي الضغط يعتمد على الفلين الموسع المعالج، بهدف الجمع بين السيولة والخفة مع استقرار أفضل. قمنا بتحليل العديد من المخالط مع بدائل مختلفة للرمل بواسطة الفلين الموسع المعالج (من 0 إلى 100٪) مع الحفاظ على نسبة الماء / الأسمنت ثابتة. قامت اختباراتنا بتقييم قابلية التشغيل في الحالة الطازجة عن طريق الانتشار والقمع على شكل حرف V، وفي الحالة المتصلبة من خلال الكثافة الظاهرية، والمقاومة الميكانيكية للضغط والجر، وسرعة الموجات الصوتية، وكذلك امتصاص الماء عن طريق الغمر و شعري. كما قمنا بدراسة مقاومة المواد المركبة عند درجات الحرارة العالية (200، 400، 600 درجة مئوية). تظهر النتائج انخفاضًا في الكثافة مع زيادة الفلين الممتد، وانخفاضًا في القوة الميكانيكية خاصة عند الإحلال العالي، وانخفاضًا في سرعة الموجات الصوتية بسبب انخفاض الصلابة، وزيادة في امتصاص الماء، مما قد يؤثر على المتانة الإجمالية. المادة. علاوة على ذلك، مع زيادة درجة الحرارة، يتكاثف فقدان كتلة المركبات، بشكل رئيسي بالنسبة لتلك التي تحتوي على كمية أكبر من الفلين الموسع المعالج، بينما تنخفض قوة الضغط، خاصة بالنسبة للمخلطات التي تحتوي على تركيز عالٍ من الفلين الموسع المعالج.

الكلمات المفتاحية: ملاط خفيفة الوزن مظغوطة ذاتيا ، الملدنات الفائقة، المقاومة، حبيبات الفلين، البوليسترين المذاب، البنتونيت، العزل.

ABSTRACT

Civil engineering, one of the oldest engineering disciplines, significantly contributes to infrastructure construction and urban living improvement. Faced with increasing environmental sustainability challenges, developing environmentally friendly construction materials has become crucial. This study focuses on designing lightweight self-compacting mortars using treated expanded cork, aiming to combine fluidity and lightness with improved stability. Various mixtures with varying substitutions of sand by treated expanded cork (from 0 to 100%) while maintaining constant water-to-cement ratio were analyzed. Our tests evaluated fresh state workability through spread and V-Funnel tests, and hardened state properties such as apparent density, compressive and tensile strength, speed of sound waves, and water absorption by immersion and capillarity. We also studied composite resistance at high temperatures (200, 400, and 600°C). Results show decreased density with increased expanded cork content, reduced mechanical strength especially at high substitutions, lower speed of sound waves due to decreased rigidity, and increased water absorption potentially impacting overall material durability. Additionally, as temperature rises, mass loss intensifies for composites containing higher amounts of treated expanded cork, while compressive strength decreases, particularly for mixtures with high concentrations of treated expanded cork.

Keywords: lightweight self-compacting mortar, super plasticizers, strength, cork grains, dissolved polystyrene, bentonite, insulation.

TABLE DE MATIÈRES

Remerciement

Dédicace

ملخص

Résumé

Abstract

Listes des figures

Liste des tableaux

Symboles et abréviation

INTRODUCTION GENERALE…….....01

Chapitre I : Synthèses bibliographique

I.1. Introduction : 21

I.2. Mortier : 21

I.2.1. Les types de mortier 22

I.2.1.1. Mortiers fabriqués en usine : 22

- Mortier prêt à l'emploi : 22
- Mortier pré-mélangé : 22

I.2.1.2. Mortiers fabriqués sur chantier :..... 22

- Mortier de ciment :. 22
- Mortier de chaux :..... 22
- Mortier de ciment-sable :..... 22
- Mortier de ciment-chaux :. 22

I.2.1.3. Mortiers spéciaux : 22

- Mortier époxy : 22
- Mortier de réparation :..... 22
- Mortier réfractaire :. 22

I.2.2. Propriétés des mortiers 23

a) Ouvrabilité : 23

b) La prise : 23

c)Résistance mécanique:..... 23

I.3. Mortier autoplaçant : 23
I.3.1.Introduction : 23
I.3.2. Définition :..... 24
I.3.3. Domaine d'application : 24
- Construction de structures complexes :..... 24
- Préfabrication :. 24
- Constructions à haute densité d'armatures :. 25
- Travaux de réparation et de renforcement :. 25
- Applications architecturales :. 25
- Construction durable :. 25

I.3.4. caractéristiques général du mortier autoplaçant : 25
1.Auto-nivellement :. 25
2. Facilité d'application :. 25
3. Résistance à la compression :. 25
4. Résistance à la flexion : 25
I. 3. 5. Formulation des MAP : 25
- Un volume de pâte élevé : 25

•Une quantité importante de fines : 26
- Un fort dosage de super plastifiant :..... 26
- Une utilisation éventuelle d'agent colloïdal :..... 26

I.3.6. Méthodes de Formulation d'Okamura :..... 26
I.3.7. Caractérisation de MAP à l'état frais : 27
I.3.7.1 Essais de l'étalement au Mini cône de mortier : 27
I.3.7.2 Essais De l'Entonnoir En V (V-Funnel) :..... 28
I.3.8. Caractérisation de MAP à l'état durci : 28
I.3.8.1 Essais de Résistances mécaniques :..... 28
I.4. Mortier à base des granulats légers :..... 29
I.4.1. Définition :..... 29
I.4.2.Typedemortier à base de granulats légers : 30
a/ Mortier de granulats légers d'origine naturelle : 30
b/ Mortier de granulats légers d'origine synthétique :..... 30
c/. Mortier de granulats légers d'origine végétale : 30
d/ .Mortier de granulats légers à base de matériaux expansés : 30
I.4.3.Caractéristiquesdes mortiers à base des granulats légers : 31
I.4.4. Domaine d'application des mortiers a base granulats léger :..... 31
I.5. Le liège : 32

I.5.1. Histoire de l'utilisation du liège dans la construction : 32
I.5.2. Définition : 33
I.5.3. La structure du liège : 33
I.5.4 .Domaine Utilisation du liège en génie civil : 34
I.5.5 : Composition chimique du liège : 35
I.5.6 : Caractéristique de liège : 36
I.5.7. La préparation de liège expansé : 37
I.5.8 : Disponibilité de liège en Alger : 38
I.6. Polystyrènes expansée : 39
I.6.1 .Définition : 39
I.6.2 . Composition chimique : 40
I.6.3. Les types de polystyrène expansé : 41
I.6.3.1 Polystyrène Expansé Moulé (PSE-M) : 41
I.6.3.2 Polystyrène Expansé Extrudé (PSE-E) : 42
I.6.4.Fabrication de polystyrène expansé : 42
I.6.5. Des propriétés du polystyrène expansé : 43
I.6.6. Les avantage : 43
I.6.7. Les Inconvénients : 43
I.7. Bentonite : 44
I.7.1Introduction : 44
I.7.2Définition de bentonite : 44
I.7.3.Composition du la bentonite : 44
I.7.4 Types de bentonite : 45
- Bentonite calcique : 45
- Bentonite de potassium : 45

I.7.5 .Utilisations de la bentonite : 45
I.7.6 .Propriété des bentonites : 46
I.7.6 .1.Propriétés physiques : 46
I.7.6.2.Propriétés chimiques : 47
I.7.7.Trouve la bentonite : 47

Chapitre II : Matériaux et Essais

II.1 .Introduction.....**Error! Bookmark not defined.**
II.2. Ciment.....**Error! Bookmark not defined.**
II.3 Sable.....**Error! Bookmark not defined.**
II.4 L'eau de gâchage.....**Error! Bookmark not defined.**
II.5 Le super-plastifiant : .....**Error! Bookmark not defined.**
II.5 Bentonite.....**Error! Bookmark not defined.**
II.2.2.1a caractérisation de la bentonite.....**Error! Bookmark not defined.**
II.6. Les grains de liège expansé .....**Error! Bookmark not defined.**
II.6.1. Granulats de liège expansé avant traitement..... **Error! Bookmark not defined.**
II.6.2 Le traitement surfacique des grains de liège expansé .. **Error! Bookmark not defined.**
A- L'utilisation du sable .....**Error! Bookmark not defined.**
B- L'utilisation de la bentonite .....**Error! Bookmark not defined.**
II.3. Formulation des mortiers.....**Error! Bookmark not defined.**
II.4. Caractérisation de MAP à l'état frais :.....**Error! Bookmark not defined.**
II.4.1 Essai d'étalement au mini : .....**Error! Bookmark not defined.**
II.4.3. Densité : .....**Error! Bookmark not defined.**
II.5. Essais sur MAP à l'état durci : .....**Error! Bookmark not defined.**
II.5.1 Essai a la traction par flexion : .....**Error! Bookmark not defined.**
II.5.3. Absorption d'eau par capillarité :.....**Error! Bookmark not defined.**
II.5.5. Conductivité thermique.....**Error! Bookmark not defined.**
Vitesse de propagation (m/s) .....**Error! Bookmark not defined.**
La qualité de béton.....**Error! Bookmark not defined.**
Tableau II.8 : caractérisation de la qualité du béton à partir de la propagation des ondes .....**Error! Bookmark not defined.**
Figure II. 26 : Appareil de test ultrasonique.....**Error! Bookmark not defined.**
II.5.6. Résistance au feu :.....**Error! Bookmark not defined.**
II.6. Variables étudiées :.....**Error! Bookmark not defined.**

CHAPITRE III : Résultats et discussion

III.1.Introduction ..... **Error! Bookmark not defined.**
III.2 Les résultats des essais à l'état frais ..... **Error! Bookmark not defined.**
III.2.1 L'ouvrabilité ..... **Error! Bookmark not defined.**
III.3. Les résultats des essais à l'état durci ..... **Error! Bookmark not defined.**
III.3.1 La densité ..... **Error! Bookmark not defined.**
III.3.4 Conductivité thermique ..... **Error! Bookmark not defined.**
III.3.5Vitesse des ondes sonore ..... **Error! Bookmark not defined.**
III.3.6.2 Essai d'absorption d'eau par capillarité **Error! Bookmark not defined.**
III.8.3. La porosité ..... **Error! Bookmark not defined.**
III.3.7Résistance au feu ..... **Error! Bookmark not defined.**
III.3.7.1 La perte de masse ..... **Error! Bookmark not defined.**

CONCLUSION

LISTE DES FIGURES

N° **FUGURE** **PAGE**

Figure 1.1 : Constituants des mortiers.....15
Figure I.2 : Étalement au Mini cône de mortier [25]. 22
Figure I.3 : Dimensions de l'entonnoir v (v-funnel) 22
Figure I.4 : Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion [27]. 23
Figure I.5 : Dispositif de rupture en compression 23
Figure I.6: Écorçage près d'Aracena (Espagne**)** 26
Figure I.7: Structure et composition du liège [Contat, R, Piazzettar.2005]……28
Figure I.8 : Structure cellulaire du liège.....29
Figure I. 9 : Les panneaux d'isolation.....30
Figure I. 10 : Composition chimique du liège [33] 31
Figure I.11. Le cycle de production du liège [35] 33
Figure I. 12 : Granulats de liège.....33
Figure 1.13 : Localisation des forêts de Quercus suber en Algérie [36] 34
Figure 1.14 : polystyrène expansé.**[38]** 35
Figure 1.15: La structure de polystyrène expansé. **[15]** 36
Figure 1.16 : Polystyrène expansé moulé (PSE-M). 37
Figure 1.17: Polystyrène expansé extrudé **(PSE-X).** 37
Figure I.18 : Les types de bentonite **[12]** 41
Figure I.19 : Bentonite en Italie. **[41]** 43
Figure I.20: Bentonite en Montana. **[42]** 43
Figure II.5 Mélange 01 [L+B+P] 48
Figure II.6 Mélange 02 [L+B+P] 48
Figure II.7 Mélange 03 [L+B+P] 49
Figure II.8 : La masse volumique apparente(%).....50
Figure II.9 : Courbe granulométrique de liège traité.....51
Figure II.10 : Le ciment utilisé.....52
Figure II.11. Le sable utilisé.....53
Figure II.12 : Courbe granulométrique du sable utilisée.....54
Figure II.13 : Le super-plastifiant (SP) utilisé. 54
Figure II.14 : Séquence de malaxage du mortier autoplaçant.....56

Figure II.15: protocole de malaxage..... 57
Figure II.16 : Etalement au mini cône. 58
Figure II.17 : protocole de l'essai d'entonnoir (V- funnel) 58
Figure II.18 : montre les étapes de l'essai. 59
Figure II.19 : Moule prismatique à mortiers. 59
Figure II . 20 : Schéma pour la mesure de la résistance à la traction par flexion …...60
Figure II.21 Essai de traction par flexion sur mortier.....61
Figure II.22. Essai de compression sur mortier.....62
Figure II.23. Essai d'absorption d'eau par capillarité sur mortier.....62
Figure II.24. Essai de Porosité accessible à l'eau.....63
Figure II.25. Essai de conductivité thermique..... 64
Figure II. 26 : Appareil de test ultrasonique..... 65
Figure II.27 : Résistance au feu..... 66
Figure III.1 : liège traite..... 72
Figure III. 2 la masse volumique absolu (pycnomètre) 77
Figure. III.3 : La masse volumique de chaque substitution**..** 78
Figure: III.4 la résistance à la compression.....78
Figure: III.5 diagramme de la résistance à la compression MAP .T. 78
Figure: III.6 : Les résultats de la résistance à la Traction. 79
Figure III.7.: variation de la conductivité thermique en fonction du dosage en LT....80
Figure III.8 : Propagation des vitesses ultrasonores dans les MAP.T..... 81
Figure III.9 : variation de Coefficient d'absorption % des mortiers à base de L.T….81
Figure III.10 : L'absorption capillaire des mélanges. 82
Figure III.11 : variation de la porosité des mortiers à base de liège T.....83
Figure III.12 : variation de La perte de masse des mortiers à base de LT 200°C.....84
Figure III. 13 : Couleur des éprouvette après test à 400°C..... 85
Figure III.14 : variation de La perte de masse des mortiers à base de L T a 400°C…86
Figure III.15 : Une image montrant l'état du liège traité à l'intérieur d éprouvette….86
Figure III.16 : variation de La perte de masse des mortiers à base de LT a 600°C….87
Figure III.17: état et Couleur des éprouvette après test à 600°C.....88
Figure III.18 : variation de La résistance à la compression des mortiers L.T …….90
Figure III.19 : variation de La résistance à la Traction des mortiers à base de L.T….90

LISTE DES TABLEAUX

N° TABLEAU PAGE

Tableau II 1. : Composition chimique de la bentonite. **[40]** 40
Tableau II.2: La masse volumique de mélange utilisé 48
Tableau II.3 La masse volumique de mélange utilise 49
Tableau II.4 : Caractéristiques liège traité 50
Tableau II.5 : caractérisation de la bentonite 51
Tableau II.6 : Compositions chimiques et minéralogiques du ciment 52
Tableau II.7 : Caractéristiques physiques et mécaniques du ciment 53
Tableau II.8. Propriétés physiques de sable utilisé 53
Tableau II.9 : Caractéristique du « MEDAFLOW 30 » ..... ….....55
Tableau II.10 : les composantes des mortiers formulés ont basé de Granulat de liège T (v=1l) 55
Tableau II.11 : caractérisation de la qualité du béton à partir de la propagation des ondes 65
Tableau (III.1) : Résultats de Etalement au Mini cône. 76
Tableau III.2 : Résultats de Etalement au V –funnel. 76
Tableau (III.3) : Les résultats de la résistance à la compression. 77
Tableau (III.4) : Les résultats de la résistance à la Traction 79
Tableau III.5 : résultats de l'essai de porosité 83
Tableau III.6 : résultats de l'essai de Résistance au feu a 200°C.....84
Tableau III.7 : résultats de l'essai de Résistance au feu a 400°C.....85
Tableau III.8 : résultats de l'essai de Résistance au feu a 600°C.....87
Tableau III.9 : résultats de l'essai de Résistance mécanique 89

LISTE DES SYMBOLES ET ABREVIATIONS

M : mortier

MAP : mortier autoplaçant

MAP.T : mortier autoplaçant témoin

MAP 25% : mortier autoplaçant à base de 25% de granulats de liège. T

MAP 50% : mortier autoplaçant à base de 50% de granulats de liège. T

MAP 75% : mortier autoplaçant à base de 75% de granulats de liège .T

MAP 100% : mortier autoplaçant à base de 100% de granulats de liège .T

GL : granulats de liège.

A(b) : Le coefficient d'absorption

(PSE-M) : Polystyrène Expansé Moulé

(PSE-E) : Polystyrène Expansé Extrudé

BAP : béton autoplaçant

Rp : l'étalement relative

d : le diamètre d'étalement moyen de la galette de pâte.

SP : superplastifiants

NF EN : Norme Française**,** Norme Européenne

AFREM : association Française de recherches et d'essai sur les matériaux

CT : conductivité thermique

VU : La vitesse ultrasonique

E/C : eau / ciment

S/M : sable /mortier

MT : mortier témoin

ML : mortier de liège

L et **S** : Numéro de substitution

ρ**Abs :**la masse volumique absolu

ρ **app ;** la masse volumique apparent

F :la force appliquer sur l'éprouvette (N)

l : la distance entre appuis (100mm).

b : la largeur de l'éprouvette (40mm).

h ; la hauteur de l'éprouvette (40mm).

CPJ-CEM II/B : ciment portland composé classe 2 catégorie B

C3A : silicate tricalcique

C3S : Aluminate tricalcique

RF : résistance au feu

VU : vitesse ultrason

Mf : Module de finesse

M air : Masse des spécimens à l'air immédiatement retiré de l'eau

M sec : Masse des spécimens a l'état sec

M eau : Masse des spécimens immergés dans l'eau

S : Coefficient de sportivité du spécimen ($kg/m^2/h^{1/2}$)

R_c : résistance à la compression

R_t. R_f : résistance à la traction

MPa : méga pascale

C.E Liège : confédération européenne du liège

[L+B+P] :liege +bentonite +Polystyrène

[L+S +P] :liège +sable +Polystyrène

SP : super plastifiant

L : liège

S : sable

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Le secteur mondial du bâtiment consomme environ 30 % de la énergie et est responsable d'environ 27 % des émissions mondiales de CO2 liées à l'exploitation (10GtCO2) [1]. La production de matériaux importants utilisés dans la construction, le béton, l'acier et l'aluminium, a ajouté 4 % supplémentaires à la consommation mondiale d'énergie et 6 % des émissions mondiales en 2021[1].

Il est alarmant de constater que pour atteindre l'objectif de zéro émission nette de carbone d'ici 2050, les émissions mondiales devraient diminuer de plus de 98 % par rapport aux niveaux de 2020 [2]. Ainsi, la conception de bâtiments économes en énergie doit être une priorité pour respecter l'Accord de Paris d'ici 2030 et 2050. Dans les bâtiments économes en énergie, les matériaux doivent théoriquement équilibrer la conductivité thermique et les propriétés mécaniques. Malgré les efforts de recherche visant à produire des systèmes résistants à la chaleur afin de réduire la consommation d'énergie, peu de matériaux de construction peuvent fournir une isolation appropriée tout en minimisant les dimensions géométriques de l'enveloppe du bâtiment.

, le liège présente un impact environnemental nettement inférieur à celui des matériaux générés par un processus de frittage puisqu'il est extrait de la couche externe des chênes-lièges (Quercus suber) sans nuire aux arbres eux-mêmes. Des études indiquent que les forêts de chênes-lièges captent 73 tonnes de CO2 par an pour chaque tonne de liège produite, contribuant ainsi à la prévention du réchauffement climatique . Environ 25 % du liège récolté est utilisé pour créer des bouchons de bouteilles poinçonnés de haute qualité, tandis que les 75 % restants sont transformés en granulés de différentes tailles. Ces restes de liège peuvent être réutilisés pour fabriquer des composites comme des panneaux isolants . Deuxièmement, les propriétés hygrothermiques et mécaniques exceptionnelles du liège granulé, couplées à sa faible densité (0,120 g/cm3) et sa remarquable stabilité dimensionnelle , en font un bon filler et un granulat léger dans les bétons les mortiers et les enduits[3].

L'objectif principal de cette recherche est d'investiguer sur la possibilité de réaliser un mortier autoplaçant légers (MAPL) par la substitution partielle du sable naturel par les grains de liège expansé Qui a été traité en le mélangeant avec de la bentonite et du polystyrène fondu. La méthode utilisée pour la fabrication du MAP est

celle d'Okamura. L'investigation est portée sur ses propriétés à l'état frais (capacité de passage, capacité de remplissage et la résistance de ségrégation) et à l'état durci (densité, résistance mécanique, résistance au feu et notamment la conductivité thermique). Dans ce contexte, quatre pourcentages de grains de liège expansé sont utilisés avec des teneurs allant de 25, 50, 75% et 100%, par le remplacement volumique des granulats naturels dans le mortier autoplaçant. Puis, une étude de l'effet des hautes températures (200°C, 400°C et 600°C) sur ces composites formulés afin d'améliorer la compréhension du comportement des mortiers autoplaçant légers exposés à des températures élevées..

1ère chapitre : une synthèse bibliographique sur le mortier autoplaçant, la valorisation des déchets de liège ainsi que les propriétés du MPA.
2ème chapitre : Caractérisation des matériaux utilisés, les différents mélanges réalisés et les essais effectués à l'état frais et durci.
3ème chapitre : Présentation des résultats obtenus, leur analyse et leurs interprétations.
Finalement, ce projet de recherche se termine par une conclusion générale qui rassemble les principaux résultats trouvés durant cette étude.

CHAPITRE I :

SYNTHESES BIBLIOGRAPHIQUE

I.1. Introduction :

Ce chapitre a pour objectif de présenter les mortiers autoplaçant et ces caractéristiques et les granulats légers (liège) aussi l'utilisation de ce dernier dans le domaine de génie civil.

I.2. Mortier :

Le mortier est un mélange de sable, d'eau et de liant comme le ciment ou la chaux, le mortier est un matériau qui vous est indispensable sur vos chantiers. Grâce au mortier, vous scellez des blocs de béton entre eux, vous réalisez des enduits de façades, vous liez des composants . [5]

Le mortier est le mélange à consistance de pâte ou de boue, d'un liant et d'agrégats avec de l'eau. Il est utilisé en maçonnerie comme élément de liaison, de scellement ou comme enduit. Techniquement parlant, c'est une colle . [7]

Le mortier est un matériau composite hétérogène. A l'échelle macroscopique, il à une structure constituée de pâte de ciment, de sable de différentes tailles, de forme, de pore, de micro fissure d'une zone de transition inter faciale localisée autour des grains de sable. Le comportement mécanique en traction des mortiers dépend de sa microstructure, de la qualité et de l'interface matrice granulats . [6]

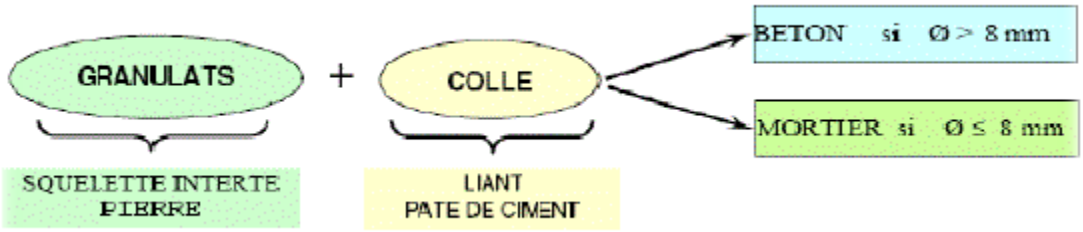


Figure 1.1 : Constituants des mortiers

I.2.1. Les types de mortier

On peut classer les mortiers selon leurs origines fabriquées en usine ou sur chantier comme suit. [8]

I.2.1.1. Mortiers fabriqués en usine :

- **Mortier prêt à l'emploi :** Également appelé mortier sec, il est préparé en usine avec des proportions précises de liants, de charges et d'adjuvants. Il est prêt à l'emploi sur le chantier après l'ajout d'eau.
- **Mortier pré-mélangé :** Il est également fabriqué en usine, mais nécessite souvent l'ajout d'eau sur le chantier avant utilisation.

I.2.1.2. Mortiers fabriqués sur chantier :

- **Mortier de ciment :** Composé de ciment, de sable et d'eau, il est souvent préparé directement sur le chantier.
- **Mortier de chaux :** Contenant de la chaux, du sable et de l'eau, il est utilisé pour des applications spécifiques, comme la restauration de bâtiments historiques.
- **Mortier de ciment-sable :** Mélange de ciment, de sable et d'eau, utilisé couramment dans la construction.
- **Mortier de ciment-chaux :** Mélange de ciment, de chaux, de sable et d'eau, offrant une meilleure résistance et une certaine flexibilité.

I.2.1.3. Mortiers spéciaux :

- **Mortier époxy** : Contenant des résines époxy, il offre une résistance chimique et mécanique élevée. Il est utilisé dans des applications nécessitant une adhérence exceptionnelle.
- **Mortier de réparation :** Formulé pour la réparation des structures, il peut contenir des polymères ou des fibres pour améliorer ses propriétés.
- **Mortier réfractaire :** Conçu pour résister à des températures élevées, il est utilisé dans la construction de cheminées, de fours et d'autres installations à haute température.

I.2.2. Propriétés des mortiers

a) Ouvrabilité :

C'est une qualité essentielle ; nécessaire latitude par rapport aux bonnes et plus au mois rigoureuses règles à appliquer pour une exécution optimale. Une bonne ouvrabilité comporte une marge de sécurité. [9] La capacité d'un mortier à garder une certaine ouvrabilité sous l'influence de la succession des blocs dépendent de son pouvoir de rétention d'eau mesurée lors d'essais en laboratoire.

b) La prise : Le temps de prise est mesuré habituellement sur une pâte pure de ciment de consistance normale (24à30% d'eau) et conformément à la norme concernée (à l'aide de l'appareil de Vicat). Il est possible d'obtenir le temps de prise d'un mortier avec le même appareillage mais en plaçant une surcharge de 700 grammes sur le plateau supérieur. Le poids de l'aiguille pénétrant dans le mortier est de 1000 grammes. Le début de prise est l'instant où l'aiguille s'arrête à 2,5 mm du fond et la fin de prise est l'instant où l'aiguille s'arrête à 2,5 mm du niveau supérieur.

c)Résistance mécanique: La résistance mécanique prend l'importance majeure par rapport aux autres propriétés de mortier durci, les essais sont souvent effectués sur les éprouvettes prismatiques de(4x4x16) cm3. Conservés dans l'eau à 20°C ; la résistance se présente sous deux aspects : compression et traction. [10]

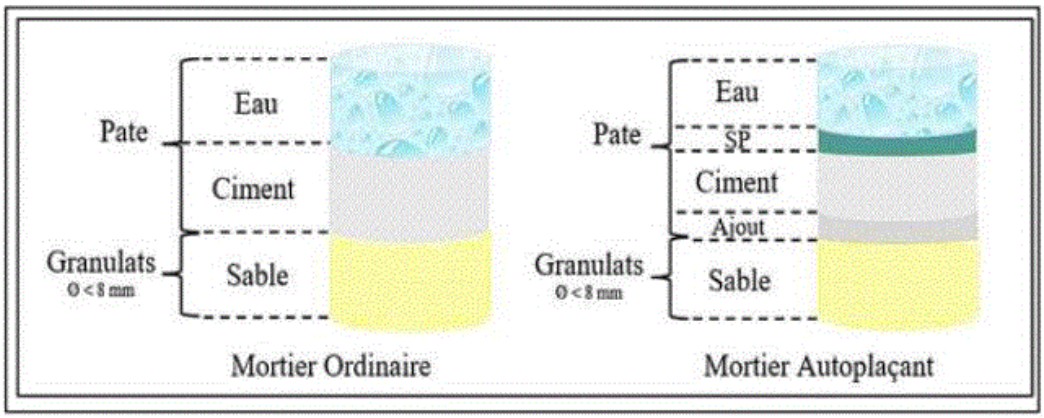


Figure I. 1 : la déférence entre les constitutions des mortiers ordinaire et des mortiers autoplaçants

I.3. Mortier autoplaçant :

I.3.1.Introduction :

Le mortier autoplaçant (MAP) est une nouvelle classe de béton haute performance caractérisé par une fluidité élevée, une résistance élevée à la séparation et une

passibilité suffisante. Depuis qu'il a été proposé pour la première fois par Okamura en 1986, de nombreuses enquêtes et méthodes de test différentes ont été menées. Réaliser des structures en béton aussi durables, avec une forte susceptibilité à la déformation et une résistance à la séparation. Okamura et Ozawa ont travaillé pour améliorer l'auto compatibilité du béton et du mortier en accordant une attention particulière à l'utilisation d'une teneur limitée en granulats, en utilisant une faible teneur en eau en poudre et en incorporant des superplastifiants.[11]

I.3.2. Définition :

Le mortier autoplaçant (MAP) peut être défini comme un mortier qui peut être comprimé dans des moules sous son propre poids, sans nécessiter de vibrations mécaniques. Le MAP est un mélange sensible, fortement dépendant de la composition et des propriétés de ses composants. Il se caractérise par une durabilité élevée, une viscosité élevée et une résistance suffisante à la séparation en raison du faible rapport eau/poudre. Un inconvénient du mortier autoplaçant est son coût élevé associé à sa teneur élevée en ciment Portland et à l'ajout d'adjuvants chimiques.[11]

I.3.3. Domaine d'application :

Le mortier autoplaçant possède des propriétés spécifiques qui le rendent adapté à différents domaines d'application dans le secteur de la construction. Voici quelques domaines où le mortier autoplaçant est couramment utilisé : [12]

- **Construction de structures complexes :** Le mortier autoplaçant est souvent utilisé dans la construction de structures complexes où l'accès pour la mise en place manuelle ou l'utilisation de vibration est difficile. Il peut être coulé de manière efficace et uniforme dans des formes complexes et des zones difficiles d'accès.
- **Préfabrication :** Le mortier autoplaçant est utilisé dans la préfabrication de produits en béton tels que les éléments préfabriqués pour les bâtiments, les poutres, les colonnes, etc. Sa capacité à s'auto-niveler et à remplir les moules de manière homogène est particulièrement bénéfique dans ces applications.

- **Constructions à haute densité d'armatures :** Il est adapté pour les structures nécessitant une haute densité d'armatures, car il peut s'écouler autour des armatures sans nécessiter une vibration excessive.
- **Travaux de réparation et de renforcement :** Le mortier autoplaçant est utilisé dans les travaux de réparation et de renforcement des structures existantes, car il peut atteindre des zones difficiles à atteindre et offrir une meilleure adhérence aux surfaces existantes.
- **Applications architecturales :** En raison de sa capacité à remplir les formes de manière homogène et sans bulles d'air, le mortier autoplaçant est parfois utilisé dans des applications architecturales où une finition de surface de haute qualité est souhaitée.
- **Construction durable :** En utilisant des adjuvants spécifiques, le mortier autoplaçant peut contribuer à réduire la consommation d'eau et à améliorer la durabilité des structures en béton.

I.3.4. Caractéristiques générales du mortier autoplaçant :

1.Auto-nivellement : Le mortier autoplaçant possède une viscosité contrôlée qui lui permet de s'étaler uniformément sur une surface, créant ainsi une surface lisse et plane sans besoin d'intervention manuelle.

2. Facilité d'application : Grâce à sa capacité à se déplacer librement dans les espaces confinés, le MAP simplifie le processus de coulage et de remplissage, réduisant ainsi le temps et les coûts de main-d'œuvre.

3. Résistance à la compression : Le MAP présente généralement une résistance à la compression élevée, Les valeurs peuvent varier en fonction de la composition du mélange, mais elles dépassent souvent 30 MPa.

4. Résistance à la flexion : Les valeurs typiques se situent au-dessus de 3 MPa, bien que cela puisse varier en fonction des exigences spécifiques du projet.[11]

I. 3. 5. Formulation des MAP

La méthode de formulation de MAP et BAP est basés sur les principes suivant :

- **Un volume de pâte élevé :**

Le frottement entre les gravillons restreint l'écoulement du béton, donc le MAP contient une grande quantité de pâte, son rôle est de maintenir les gravillons à part. [13].

- **Une quantité importante de fines :**

Afin d'assurer une maniabilité suffisante et de limiter les risques de ségrégation et de ressuage, le MAP contient plus de particules fines que le mortier ordinaire. Cependant, afin d'éviter le problème d'échauffement excessif lors du processus d'hydratation et de réduire son coût global, le liant est souvent un composé binaire [14] , voire ternaire ; [15] Ciment Portland et cendres volantes, laitier, filler calcaire, pouzzolane naturelle ou fumées de silice.

- **Un fort dosage de super plastifiant :**

L'introduction d'une plus grande dose de super plastifiant dans le BAP peut d'abord réduire la teneur en eau tout en maintenant sa capacité de maniabilité. Une dose trop élevée peut augmenter la sensibilité du béton aux changements de teneur en eau liés aux problèmes de ségrégation et du ressuage [16] .

- **Une utilisation éventuelle d'agent colloïdal :**

Bien que non systémique, dans la plupart des cas, le BAP contient des agents Colloïdes [17] Comme les fines particules, ce produit évite le ressuage et limite le risque de ségrégation des granulats, épaississant ainsi la pâte. En principe, il semble raisonnable d'utiliser ce produit pour des bétons à fort rapport eau/liant, car les petites particules ne suffisent pas toujours à fixer l'eau dans le béton ; en revanche, cela semble inutile. Dans le cas du MAP à faible rapport massique eau/liant, sa résistance dépasse 50 MPa. Son utilité doit être étudiée au cas par cas. Il est bien connu que les agents colloïdes peuvent rendre le BAP moins sensible aux changements de teneur en eau liés à la ségrégation et ressuage[18]. [19].

I.3.6. Méthodes de Formulation d'Okamura :

Selon la méthode développée par l'Université de Kochi au Japon[20], la génération de MAP est réalisée en toute sécurité, en tenant compte du volume de pâte, mais au détriment des granulats. Cette procédure de formulation est conçue pour les expériences de dose unitaire et de dose d'eau. Et des adjuvants. Pour développer un BAP basé sur cette méthode appelée méthode japonaise, nous devons procéder comme suit :

- Choix du dosage en ciment : La quantité du ciment dépend du cahier des charges et des performances désirées (résistance, durabilité…).
- -Désignation du volume d'air : Le volume d'air occlus est égal à 2 %.

- Détermination du dosage du sable : Le volume de sable est posé forfaitairement égal à 40% du volume du mortier.
- Détermination du dosage minimal en eau : La demande en eau passe par la conception de la composition de la pâte. En effet des essais d'étalement au mini- cône sont réalisés en faisant varier le rapport Eau/Liant avec le dosage choisi en liant.
- En traçant la courbe d'Eau/Liant en fonction de l'étalement relatif « Rp » (équation.1),on détermine le point d'intersection avec l'axe des ordonnées « βP» qui permet de déterminer le besoin en eau minimale nécessaire pour cimente les additions minérales.[21], [22]

$$\mathbf{Rp} = \frac{d^2 - 100^2}{100^2} = \left(\frac{d}{100}\right)^2 - 1$$

Avec :

Rp : L'étalement relatif.

d : le diamètre d'étalement moyen en millimètre de la galette de pâte.

I.3.7. Caractérisation de MAP à l'état frais :

La déformabilité du mortier est définie comme la capacité de mortier à changer de forme sous son propre poids. Le mortier nécessite un haut niveau de ductilité. Afin d'obtenir une déformabilité suffisante, il est important de minimiser les frottements entre le sable du mélange. Une grande quantité de sable grossier et une quantité accrue de pâte sont nécessaires pour atteindre la déformabilité MAP requise. Une autre façon de réduire le frottement inter sable et le sable consiste à ajouter des minéraux supplémentaires comme les fillers [23]. De manière générale, la norme de stabilité d'écoulement est plus difficile à résoudre, mais avec l'aide d'agents colloïdes, elle peut fournir une teneur élevée en additifs minéraux ou une teneur correspondante en sable, stabilité et déformabilité [5].

I.3.7.1 Essais de l'étalement au Mini cône de mortier :

L'essai d'étalement consiste à remplir le mini cône miniature placé sur un plan horizontal, et après avoir soulevé le cône, le diamètre d'étalement de mortier est mesuré dans deux directions verticales pour obtenir une valeur moyenne. Le mortier

doit être compris entre 270 et 330 mm pour obtenir un mortier autoplaçant. La Figure I.5 montre le dispositif de l'essai d'étalement de mortier [24].

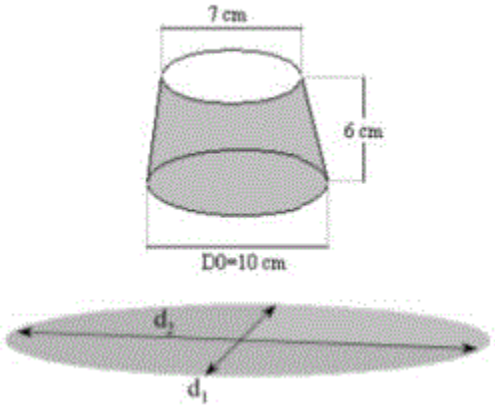


Figure I.2 : Étalement au Mini cône de mortier [25].

I.3.7.2 Essais De l'Entonnoir En V (V-Funnel) :

L'essai d'écoulement à l'entonnoir est utilisé pour évaluer la fluidité et la viscosité d'un MAP. Un entonnoir d'une certaine taille est rempli d'un mortier d'en haut. Ensuite, la vanne d'arrêt à sa base est ouverte et le temps (Tv) nécessaire pour que la solution quitte la trémie avant qu'elle ne soit complètement vide est mesuré. Ce temps d'étalement, qui doit être compris entre 2 et 10 secondes, caractérise la viscosité de mortier [26].

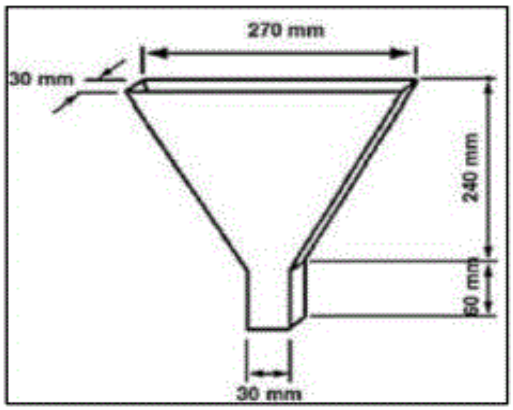


Figure I.3 : Dimensions de l'entonnoir v (v-funnel)

I.3.8. Caractérisation de MAP à l'état durci :

I.3.8.1 Essais de Résistances mécaniques :

Les essais sont souvent effectués sur les éprouvettes prismatiques de 4x4x16cm conservés dans l'eau à 20°C. Les éprouvettes sont rompues en traction par flexion puis

en compression. Les résistances, aussi bien en traction par flexion qu'en compression, progressent à peu près comme logarithme du temps entre 1 et 28 jours [6].

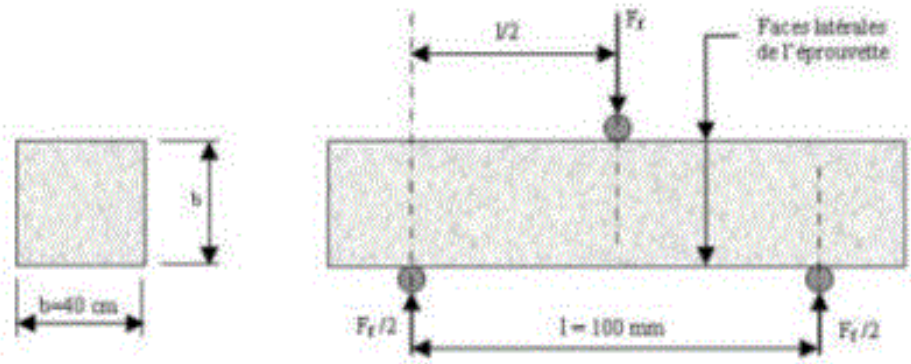


Figure I.4 : Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion [27].

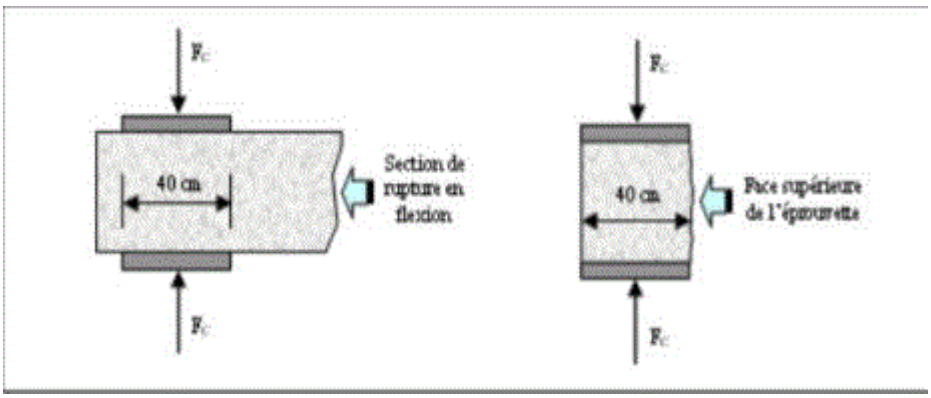


Figure I.5 : Dispositif de rupture en compression .

Les résistances des mortiers dépendent de très nombreux facteurs :

- Nature et dosage en ciment.
- Rapport E/C.
- Granulométrie et nature du sable.
- Energie de malaxage et mise en œuvre.
- Protection des premiers jours .

I.4. Mortier à base des granulats légers :

I.4.1. Définition

Le mortier à base de granulats légers est un mélange de matériaux de construction qui utilise des granulats légers comme composant principal. Les granulats légers sont des

matériaux poreux et légers tels que la perlite, la vermiculite, la pouzzolane expansée ou la mousse de polystyrène expansée, qui sont incorporés dans le mortier pour réduire le poids spécifique du mélange. [28]

I.4.2.Type de mortier à base de granulats légers

Les mortiers de granulats légers peuvent être classés en fonction de l'origine du granulat utilisé. Voici quelques catégories courantes en fonction de cette classification [28] :

a/ Mortier de granulats légers d'origine naturelle :

- **Perlite :** Un matériau volcanique expansé, léger et isolant.
- **Vermiculite :** Un minéral expansé utilisé pour améliorer l'isolation thermique.
- **Argile expansée :** Granulats légers produits à partir de l'expansion thermique de l'argile.

b/ Mortier de granulats légers d'origine synthétique :

- **Billes de polystyrène expansé (EPS) :** Des billes de polystyrène traitées thermiquement pour augmenter leur volume, offrant légèreté et isolation.
- **Billes de polystyrène extrudé (XPS) :** Similaire à l'EPS mais avec un processus de fabrication différent.
- **Mousse de polyuréthane :** Utilisée sous forme de granules ou de poudre. Mortier de granulats légers d'origine recyclée :
- **Granulats légers recyclés :** Des matériaux recyclés tels que des agrégats de béton léger provenant de démolitions.

c/. Mortier de granulats légers d'origine végétale :

- **Granulats légers à base de fibres végétales :** Certains mortiers incorporent des fibres végétales légères pour améliorer les propriétés mécaniques.

d/ .Mortier de granulats légers à base de matériaux expansés :

- **Verre expansé** : Des granulats légers dérivés du verre expansé.
- **Céramique expansée** : Des granulats légers produits à partir d'argile expansée ou d'autres matériaux céramiques expansés.
- **Granulats de liège expansée :**

  Le liège expansé est constitué de morceaux d'écorces qui ont gonflés à haute température. Le liège expansé en vrac sert principalement à constituer une chape allégée et isolante, à combler du vide, entre cloisons ou au sol, pour

isoler murs, combles et fondations. Il permet aussi de réaliser des bétons allégés qui seront à la fois thermiques et phoniques. [29].

I.4.3.caractéristique Mortier à base des granulats légers :

- **Légèreté :** La principale caractéristique des granulats légers est leur faible poids, ce qui contribue à réduire le poids global du mortier. Cela peut être avantageux dans la construction de structures légères ou lorsque la charge structurelle doit être minimisée.
- **Isolation thermique :** Les granulats légers offrent une meilleure isolation thermique Cela peut aider à réguler la température à l'intérieur des bâtiments et à réduire les coûts énergétiques associés au chauffage et au refroidissement.
- **Isolation acoustique** : En raison de leur structure poreuse, les granulats légers ont également des propriétés d'isolation acoustique, aidant à réduire la transmission du son à travers le mortier.
- **Expansion et contraction limitées :** Les granulats légers peuvent aider à réduire les problèmes de dilatation thermique dans certaines applications, contribuant ainsi à la durabilité du mortier.
- **Facilité de mise en œuvre :** En raison de leur légèreté, les mortiers à base de granulats légers peuvent être plus faciles à manipuler et à appliquer lors de la construction, réduisant la fatigue de l'ouvrier.

I.4.4. Domaine d application de mortier a base granulats léger

- **Construction légère :** Les mortiers légers sont utilisés dans la construction légère pour réduire le poids global de la structure. Cela peut être particulièrement utile dans la construction de bâtiments à plusieurs étages, où la charge structurelle doit être minimisée.
- **Isolation thermique :** Les mortiers légers sont fréquemment utilisés dans les systèmes d'isolation thermique. Les granulats légers ont des propriétés isolantes, ce qui aide à améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments en réduisant les pertes de chaleur.
- **Réparation et rénovation :** Les mortiers légers sont parfois utilisés dans les travaux de réparation et de rénovation, où la réduction de poids peut être un facteur important, notamment lors de la réhabilitation de structures existantes.

- **Revêtements de sol légers :** Pour les applications nécessitant des revêtements de sol légers, tels que dans les zones où la charge au sol est critique, les mortiers à base de granulats légers peuvent être utilisés [30]

I.5. Le liège :

I.5.1. Histoire de l'utilisation du liège dans la construction :

- Antiquité : Les premières traces d'utilisation du liège dans la construction remontent à l'Antiquité. Les Grecs et les Romains utilisaient le liège comme matériau d'isolation thermique et acoustique. Les bouchons de liège étaient également utilisés comme éléments de construction dans certaines structures.
- Moyen Âge : Pendant le Moyen Âge, l'utilisation du liège dans la construction a été relativement limitée. Cependant, le savoir-faire dans le traitement du liège s'est perpétué dans certaines régions méditerranéennes.
- Renaissance et période moderne : Avec la Renaissance, l'intérêt pour le liège a connu un regain. Les connaissances sur ses propriétés isolantes ont été redécouvertes, et le matériau a été utilisé dans la construction de certaines structures.
- 19e et 20e siècles : L'utilisation du liège dans la construction a connu une expansion au 19e siècle. Cependant, avec l'avènement de nouveaux matériaux de construction, son utilisation a été en partie délaissée au profit d'alternatives considérées comme plus modernes.
- Renouveau contemporain : Au cours des dernières décennies, le liège a connu un renouveau dans le domaine de la construction, principalement en raison de ses propriétés environnementales et de son efficacité en matière d'isolation thermique et acoustique. Les panneaux de liège expansé sont utilisés comme isolant dans les murs, les sols et les toitures. Les dalles de liège sont également employées comme revêtement de sol, offrant une alternative durable et écologique.
- Aujourd'hui, le liège est intégré dans des projets de construction durables et respectueux de l'environnement, offrant une alternative écologique aux matériaux de construction traditionnels.

- Au XXe siècle, l'industrie du liège développe des processus et des méthodologies, l'emploi du liège comme matériau est de plus en plus innovant et dans les années 1950, une entreprise américaine conçoit les premières dalles en liège pour revêtir le sol.[31]

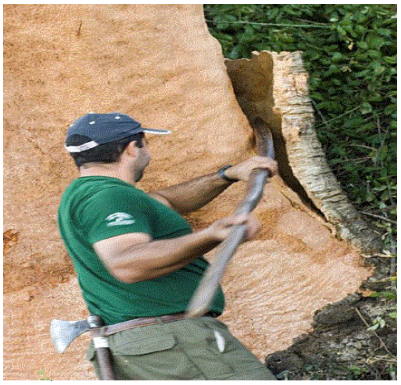


Figure I.6: Écorçage près d'Aracena (Espagne**)**

I.5.2. Définition

Le liège est le terme français pour le liège. Il fait référence à l'écorce externe du chêne-liège (Quercus suber). Le liège est un matériau naturel connu pour ses propriétés uniques, notamment sa flexibilité, sa flottabilité et son imperméabilité aux liquides et aux gaz. Le chêne-liège se trouve principalement dans la région méditerranéenne et le processus de récolte du liège consiste à retirer soigneusement l'écorce externe sans endommager l'arbre, lui permettant ainsi de se régénérer.

Le liège a diverses applications,

l'une des plus courantes étant la production de bouchons d'huile. Il est également utilisé dans la fabrication de revêtements de sol, de joints, d'isolants et de divers autres produits en raison de sa polyvalence et de sa nature écologique.

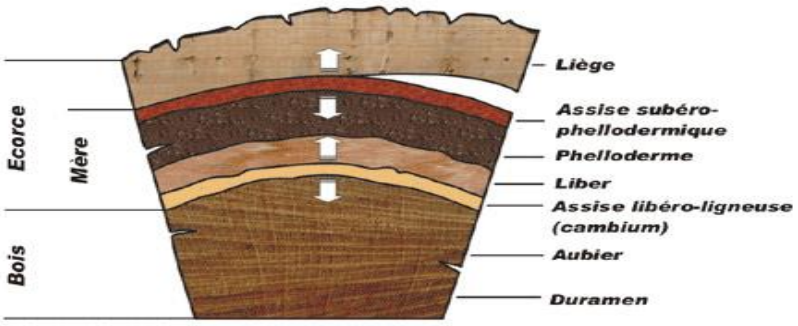


Figure I.7: Structure et composition du chêne-liège [Contat, R, Piazzettar.2005]

I.5.3. La structure du liège :

- Subérine : La subérine est le principal composant du liège. Il s'agit d'une substance cireuse et hydrophobe qui confère au liège ses propriétés imperméables. Elle est responsable de la résistance du liège à l'eau et à d'autres liquides.
- Cellules subéreuses : Les cellules subéreuses sont les cellules qui contiennent la subérine. Ces cellules forment des couches épaisses dans l'écorce du chêne-liège. Lorsque l'écorce est récoltée, ces cellules restent intactes, donnant au liège sa texture poreuse.
- Cellules corticales : Les cellules corticales se trouvent sous les cellules subéreuses. Elles sont riches en lignine et contribuent à la structure globale du liège. Ces cellules aident également à protéger le chêne-liège des dommages mécaniques.
- Cellules de phellogène : Le phellogène est le tissu méristématique responsable de la formation de nouvelles couches de liège. Ces cellules sont actives lors de la croissance de l'arbre et produisent de nouvelles couches d'écorce.
- Lenticelles : Les lenticelles sont des petites structures poreuses présentes dans l'écorce qui permettent les échanges gazeux entre l'intérieur de l'écorce et l'extérieur. Elles jouent un rôle dans la respiration des cellules. [32]

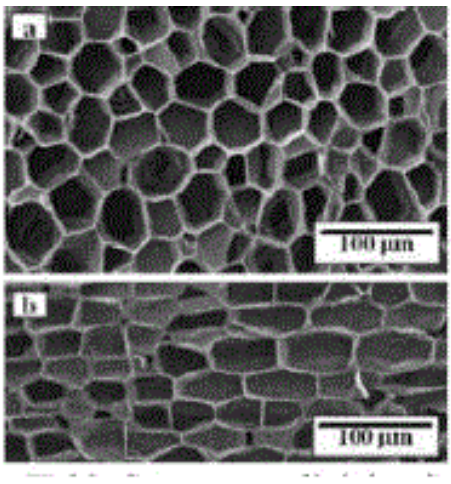


Figure I.8 : Structure cellulaire du liège

I.5.4 .Domaine Utilisation du liège en génie civil

L'utilisation du liège est très courante dans toutes les régions. Il est considéré comme l'une des matières premières les plus importantes de la vie moderne. En plus des bouchons en liège et des matériaux isolants, le liège est également utilisé dans notre domaine [25]

- Dans le bâtiment (revêtement, isolation thermique et acoustique,).
- La construction navale (gaines de ventilation).
- L'industrie des chambres froides et transports frigorifiques.
- La mécanique (joints d'étanchéité, joints paliers transmission).



Figure I. 9 : Les panneaux d'isolation

I.5.5 : Composition chimique du liège :

- **Suberine :** La suberine est le composant principal du liège. Il constitue environ 30% à 45% de la masse du liège. La suberine est une substance complexe qui confère au liège ses propriétés uniques, notamment son imperméabilité à l'eau, sa résistance à la décomposition et son élasticité.
- **Cellulose :** La cellulose est un autre composant majeur du liège, représentant environ 40% à 50% de sa composition. La cellulose est une substance fibreuse qui contribue à la résistance mécanique du liège.
- **Lignine :** La lignine est présente dans le liège à hauteur d'environ 20% à 30%. Elle renforce la structure du liège et contribue à sa rigidité.
- **Protéines, sucres et cires :** En plus des principaux composants mentionnés ci-dessus, le liège peut contenir des protéines, des sucres et des cires en petites quantités.
- **Minéraux :** Le liège peut également contenir des traces de minéraux provenant du sol.

Il est important de noter que la suberine est le composant clé qui confère au liège ses caractéristiques spécifiques, telles que son imperméabilité à l'eau, son élasticité, et sa résistance au feu et à l'usure. La composition exacte peut varier légèrement d'un échantillon de liège à l'autre. [33]

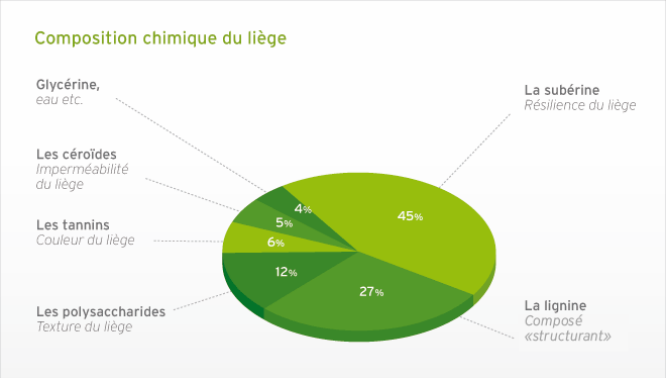


Figure I. 10 : Composition chimique du liège [33]

I.5.6 : Caractéristique de liège :

- **Légèreté :** Le liège est très léger, ce qui le rend facile à manipuler et à utiliser dans une variété d'applications. [34]
- **Imperméabilité :** Le liège est naturellement imperméable à l'eau en raison de la présence de la subérine, une substance cireuse qui repousse l'eau.
- **Élasticité :** Le liège est élastique, ce qui signifie qu'il peut être comprimé et reprendre sa forme initiale. Cette propriété le rend idéal pour des utilisations telles que les bouchons de bouteilles de vin.
- **Isolation thermique et acoustique :** Le liège a d'excellentes propriétés d'isolation thermique et acoustique, ce qui en fait un matériau populaire pour les revêtements de sol, les panneaux isolants et les produits d'insonorisation.
- **Résilience :** Le liège est résistant à l'usure et a une bonne durabilité. Il peut résister à l'abrasion et à l'impact, ce qui en fait un choix robuste pour diverses applications.
- **Résistance au feu :** Le liège est un matériau ignifuge naturel, ce qui signifie qu'il ne prend pas feu facilement et ne propage pas la flamme rapidement.
- **Durabilité écologique :** L'exploitation du liège se fait sans abattre les arbres. L'écorce est récoltée de manière durable, ce qui permet aux chênes-lièges de régénérer leur écorce. Cela en fait un matériau respectueux de l'environnement.

- **Propriétés antistatiques :** Le liège a des propriétés antistatiques, ce qui signifie qu'il n'accumule pas facilement de charges électrostatiques.
- **Biocompatibilité :** Le liège est généralement considéré comme sûr et non toxique. Il est souvent utilisé dans des applications où la biocompatibilité est importante, comme les semelles de chaussures.
- **Facilité de travail :** Le liège est un matériau facile à travailler. Il peut être coupé, sculpté et façonné relativement facilement.
- **Anti -Vibratoire :**Le liège isole des vibrations mécaniques et permet de constituer des joints et panneaux . [34]

I.5.7. La préparation de liège expansé :

est un processus utilisé pour transformer le liège naturel en un matériau plus polyvalent et adaptable à différentes applications. Voici les étapes typiques du processus de préparation du liège expansé : [35]

Collecte du liège : Le processus commence par la collecte de l'écorce de chêne-liège. Cette écorce est généralement récoltée tous les 9 à 12 ans sans endommager l'arbre.

Nettoyage et triage : Une fois collecté, le liège est nettoyé pour éliminer les impuretés et trié pour séparer les morceaux de qualité supérieure de ceux de qualité inférieure.

Broyage : Les morceaux de liège sont ensuite broyés en petits morceaux pour faciliter le processus de traitement ultérieur.

Cuisson : Les morceaux de liège sont placés dans des autoclaves ou des chambres de cuisson spéciales où ils sont soumis à de la vapeur d'eau à haute pression. Cela provoque l'expansion des granulés de liège.

Refroidissement : Après l'expansion, le liège est refroidi pour le durcir et le stabiliser.

Calibrage : Les granulés de liège expansé sont calibrés pour obtenir une taille uniforme selon les spécifications requises pour différentes applications.

Conditionnement : Une fois calibré, le liège expansé est prêt à être conditionné en sacs ou en vrac pour la distribution et l'utilisation dans diverses industries.

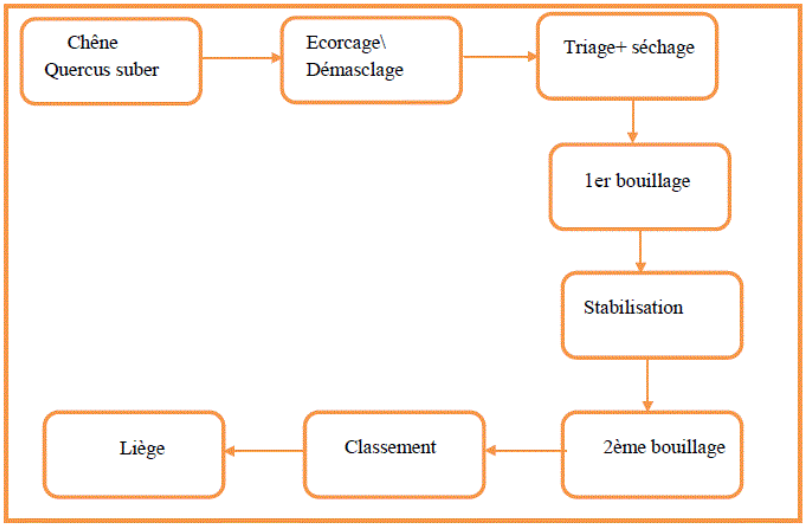


Figure I.11. Le cycle de production du liège [35]



Figure I. 12 : Granulats de liège

I.5.8 : Disponibilité de liège en Algérie

[Ben Amirouche S et al] ont caractérisé géographiquement et donné quelques descriptions des peuplements porte-graines de chêne liège (Quercus suber L.) dans les

wilayas de Jijel, Mila et Bejaia (Nord-est algérien). Ils ont constaté que 22 peuplements occupant une superficie totale de 1025 hectares ont été retenus. Au centre de chaque peuplement un point GPS, a été pris, puis utilisé pour établir les cartes de localisation par wilaya. Dans un deuxième temps, les peuplements en question sont en cours pour description détaillée permettant leur délimitation plus précise possible, leur caractérisation éco-dendrométrique et le renseignement de fiche signalétique pour chaquepeuplement. En parallèle, les données recueillies sont transcrites au fur et à mesure dans la base de données géographique préalablement élaborée [Ben amirouche S., Chouial M.,].

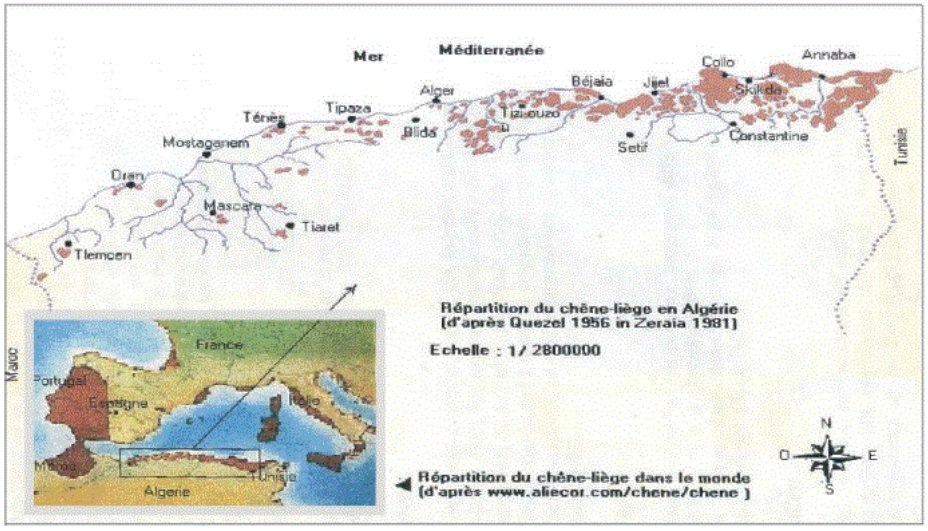


Figure 1.13 : Localisation des forêts de Quercus suber en Algérie [36]

I.6. Polystyrènes expansée :

I.6.1 .Définition :

Le polystyrène est un polymère thermoplastique synthétique largement utilisé dans de nombreux domaines. Il est souvent produit sous forme de mousse expansée (connue sous le nom de polystyrène expansé ou EPS) ou sous forme solide (polystyrène cristal). Le polystyrène est connu pour ses propriétés isolantes, sa légèreté, sa facilité de fabrication et son faible coût. Il est couramment utilisé dans l'emballage, la construction, la fabrication de produits électroniques, les arts et l'artisanat, ainsi que dans divers produits de consommation. Cependant, il est également controversé en raison de sa contribution aux déchets plastiques et aux problèmes environnementaux associés à son élimination.[37]



Figure 1. 14 : polystyrène expansé.**[38]**

I.6.2 . Composition chimique :

Le polystyrène est un polymère thermoplastique linéaire à squelette aliphatique obtenu par polymérisation du motif homopolymère de styrène. Structurellement, c'est un produit de base servant à la fabrication du polystyrène expansé est obtenu sous forme de petites perles blanches, chimiquement très stable, et doué de propriétés thermoplastiques **[37]** Suivant les applications, on distingue trois types différents par leur granulométrie et leurs propriétés :

- Ceux destinés aux fabrications courantes, les perles sphériques reformant un « Porogène » (ou agent gonflant) : le pentane.
- Ceux destinés à la fabrication de produit « difficilement inflammable » ou auto extinguibles, cette propriété n'étant acquise qu'après un certain temps de stockage en raison de la teneur en pentane.
- Ceux destinés à la fabrication de produits expansés résistant aux essences et huiles minérales exemptes d'hydrocarbures aromatiques. La structure du polystyrène expansé (PES) comporte des soudures interpelles, la taille des cellules se situe habituellement entre 60 et 200 μm **[37]**

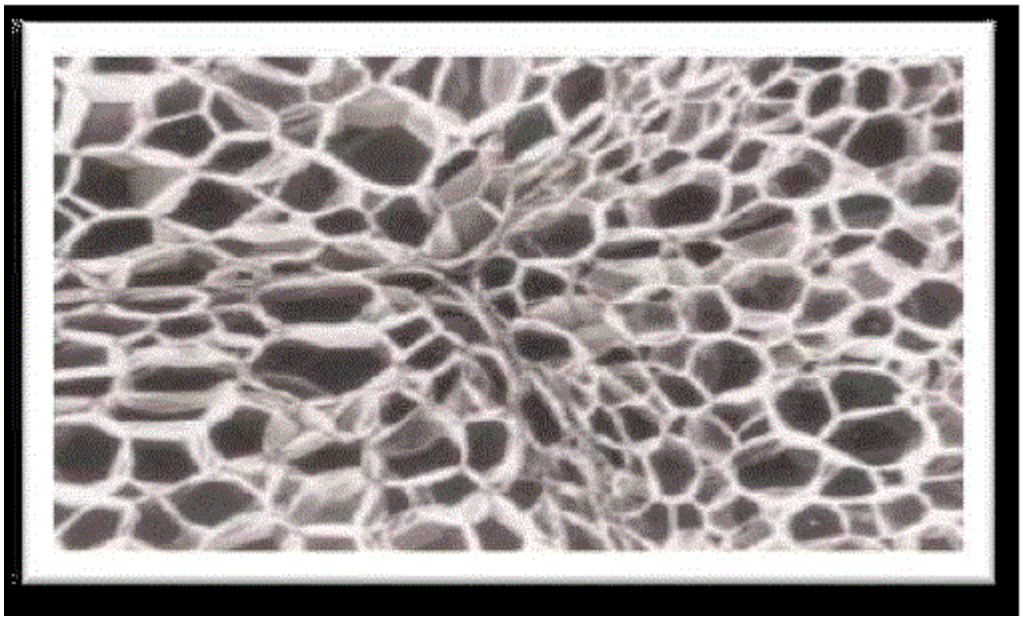


Figure 2. 15: La structure de polystyrène expansé. **[37]**

I.6.3. Les types de polystyrène expansé :

I.6.3.1 Polystyrène Expansé Moulé (PSE-M) :

Le PSE-M est fabriqué en utilisant un moule dans lequel les billes de polystyrène sont injectées et expansées à l'aide de vapeur d'eau ou de gaz expansif. Ce processus donne des produits finis avec une structure cellulaire fermée, ce qui signifie qu'ils sont principalement constitués de bulles d'air emprisonnées dans le matériau. Les applications typiques du PSE-M comprennent l'emballage de protection, les plateaux pour la nourriture, les caisses, etc.



Figure 2. 16 : Polystyrène expansé moulé (PSE-M).

I.6.3.2 Polystyrène Expansé Extrudé (PSE-E) :

Le PSE-E est fabriqué en extrudant du polystyrène fondu à travers une filière contenant un gaz expansif. Ce processus produit un matériau avec une structure cellulaire plus uniforme et fermée que le PSE-M. Le PSE-E est souvent utilisé dans l'isolation thermique des bâtiments, les panneaux isolants pour le sol, les murs et les toits, ainsi que dans d'autres applications où une isolation thermique est nécessaire.

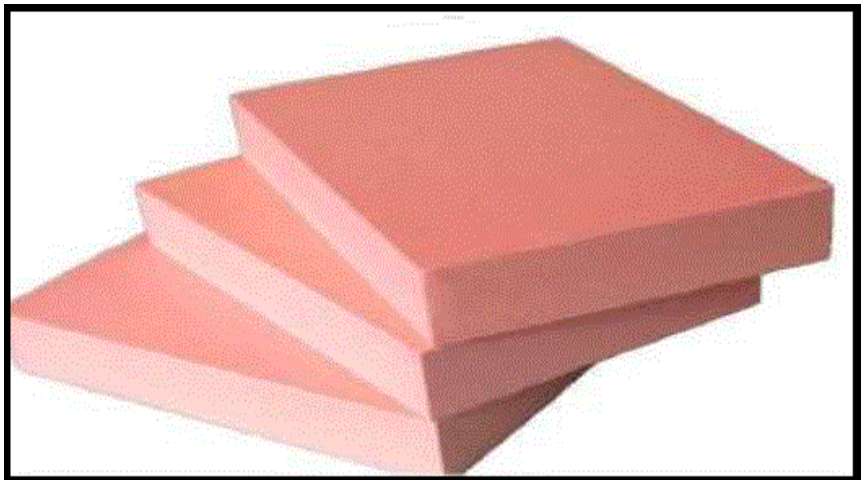


Figure 2. 17: Polystyrène expansé extrudé **(PSE-X).**

I.6.4.Fabrication de polystyrène expansé :

Les étapes suivantes : [38]

- **Pré- expansion :**

Le produit de base subit une phase de pré- expansion. Celle- ci s'effectue dans un prémousseur muni d'une arrivée de vapeur, d'une arrivée d'air et d'un système d'introduction des perles brutes. L'opération est faite en continu à une vitesse de 250 Kg/ heure et à une température de 97 °C. Le produit obtenu a une densité comprise entre 17 et 18 Kg/ m3. »

- **Stockage intermédiaire :**

Les perles ainsi pré- expansées sont ensuite stockées dans des silos pour y subir un « mûrissement » permettant la mise en équilibre des pressions entre les cellules dans lesquelles le porogène a en grande partie disparu sous l'action de la température et le milieu extérieur.

- **Seconde expansion :**

Elle est faite selon la même méthode que précédemment mais dans des appareils de volume plus important. C'est au cours de cette opération que les perles sont façonnées suivant le produit que l'on désire obtenir.

I.6.5. Des propriétés du polystyrène expansé :

Les propriétés les plus remarquables du polystyrène expansé sont :

- ✓ Sa faible masse volumique ;
- ✓ Son pouvoir isolant thermique ;
- ✓ Ses excellentes propriétés mécaniques (résistance en compression, capacité D'amortissement des chocs) ;
- ✓ Son insensibilité à l'eau ;
- ✓ Sa facilité de mise en forme (moulage, découpage) ;
- ✓ Sa recyclabilité.

I.6.6. Les avantage :

- ✓ une bonne réflexion thermique grâce à leur couleur blanche naturelle,
- ✓ une faible conductivité thermique, ils tolèrent une large gamme de températures,
- ✓ une bonne résistance à la compression. Ils absorbent assez bien les vibrations.
- ✓ un faible coefficient de dilatation.
- ✓ une bonne résistance au vieillissement, en effet ils ne pourrissent pas et ne subissent Pas de prolifération bactérienne,
- ✓ un faible coût de production et un poids plume.
- ✓ ils sont recyclables car le polystyrène est un matériau facilement transformable.

I.6.7. Les Inconvénients :

Même si ce matériaux est recyclable, il ne peut quand même pas être considérer comme un matériau vert car le polystyrène étant à la base un plastiques, il dérive du pétrole et émets du CO2 lors de sa fabrication. De plus:

- ✓ les panneaux de PSE sont parfois insuffisants et doivent donc être accompagné D'autres matériaux d'isolation,
- ✓ les billes expansées qui les composent ont tendance à se décoller quand il y a présence d'eau en trop grande quantité,
- ✓ ils ne permettent pas une bonne isolation phonique.

I.7. Bentonite :

I.7.1Introduction :

La bentonite est une argile colloïdale dont le nom vient de Fort Benton dans le Wyoming aux États-Unis. Connue aussi sous le terme de terre *à* foulon, elle peut être considérée comme une smectite, étant essentiellement constituée de montmorillonite qui est une argile ce qui explique sa capacité de rétention d'eau car la montmorillonite est un type de smectite particulièrement gonflant. On trouve également d'autres minéraux comme le quartz, le mica, le feldspath, la pyrite ou la calcite. Les gisements de bentonites sont d'origines volcanique et hydrothermale.

Elle possède diverses propriétés. Notamment, elle absorbe les protéines, réduit l'activité des enzymes. Les boues bentonitiques (contenant une fraction de bentonite) sont utilisées comme boues de forage dans les travaux de fondations, de parois moulées, du fait de laisser rapidement et facilement la place au béton coulé à leur place et sur lequel elles flottent en raison de la différence de densité. Elles peuvent être ajoutées au compost. [39]

I.7.2Définition de bentonite :

La bentonite est un type de minéral argileux composé principalement de montmorillonite, un matériau mou et poreux formé à partir de dépôts de cendres volcaniques. Il possède une structure unique qui lui permet de gonfler et d'absorber l'eau et d'autres substances. La bentonite est connue pour son pouvoir absorbant et sa plasticité élevés, ce qui la rend précieuse pour diverses applications industrielles, commerciales et grand public, telles que les fluides de forage, les matériaux de construction, les cosmétiques, les produits pharmaceutiques et les efforts de nettoyage de l'environnement.

I.7.3.Composition de la bentonite :

Chemical composition	Bentonite
SiO_2 (%)	61.28
Al_2O_3 (%)	17.79
Fe_2O_3 (%)	3.01
CaO (%)	4.54
Na_2O (%)	2.70
MgO (%)	2.10
K_2O (%)	1.24

Tableau I 1. : Composition chimique de la bentonite. **[40]**

I.7.4 Types de bentonite :

Il existe trois types de bentonites :

- **Bentonite calcique :**

Elles constituent la plus grande part de gisements exploités dans le monde. Elles contiennent essentiellement des ions (Ca2+) en position inter foliaire. Ces argiles présentent un taux de gonflement de 3 à 7 fois le volume initial. **[40]**

- **Bentonite sodique :**

Ce sont des argiles rares. Leur ion inter foliaire ou échangeable est Na+. Elles ont un pouvoir de gonflement très élevé (12 à 18 fois). **[40]**

- **Bentonite de potassium :**

Aussi connu sous le nom de bentonite de potasse ou de K bentonite, la bentonite de potassium est une argile illitique riche en potassium formée à partir d'une altération des cendres volcaniques. **[40]**



Figure I.18 : Les types de bentonite **[12]**

I.7.5 .Utilisations de la bentonite :

La bentonite est l'argile industrielle la plus importante en raison de son principal composant de montmorillonite qui lui confère une capacité d'absorption et de gonflement très élevées qui sont exploités dans différents domaines dont: **[40]**

- Protection environnementale.
- Forage.
- Les céramiques.
- Les peintures.
- L’agroalimentaire.
- Décoloration des huiles.
- Additif dans la fabrication du papier.
- Génie civil (additif dans le ciment).
- Traitement des eaux usées.

Les bentonites sont largement utilisées dans l'industrie cosmétique et pharmaceutique en tant qu'excipient, ingrédients actifs et transporteur et libérateurs d’ingrédients actifs [28, 29], comme décrit plus en détail dans le titre suivant.

I.7.6 .Propriété des bentonites :

I.7.6 .1.Propriétés physiques :

• **Absorption d'eau:** Les bentonites ont une capacité d'absorption élevée. Elles peuvent absorber plusieurs fois leur poids en eau, ce qui les rend efficaces pour la déshydratation des boues, la stabilisation des sols, et même dans certaines applications médicales et cosmétiques.

• **Gonflement:** Lorsqu'elles sont en contact avec de l'eau, les bentonites ont tendance à gonfler et à former un gel visqueux. Cette propriété est utile dans la géotechnique pour étancher les sols, dans les boues de forage pour maintenir la stabilité des parois des puits, et dans les applications industrielles pour le contrôle de la viscosité.

• **Stabilité thermique:** Les bentonites peuvent résister à des températures élevées sans subir de décomposition significative. Elles sont utilisées comme additifs dans les boues de forage à haute température et dans les matériaux réfractaires.

• **Plasticité:** Les bentonites ont une bonne plasticité, ce qui les rend faciles à travailler lorsqu'elles sont mélangées avec de l'eau. Elles sont utilisées dans la fabrication de produits céramiques, de briques réfractaires, et dans d'autres applications où la plasticité est importante.

I.7.6.2.Propriétés chimiques :

- **Composition :**

Pour un produit du genre de la bentonite les essais physique et l'analyse minéralogiques présentent généralement un intérêt plus direct que l'analyse chimique portant celle-ci permet de fixer les impuretés et les bases présentes. Ainsi la teneur en fer permet dans certaine mesure d'exploiter la teinte des produits. Quant aux bases, elles jouent un rôle très important que nous aurons à étudier ultérieurement. Les bentonites ont chimiquement, des teneurs qui permettent les rapporter à la montmorillonite : SiO2. Al2O3. Fe2O3. Ca O. Go. K2O. Na2O. So3

- **La calcinations des argils :**

La calcination est une technique de préparation d'échantillon effectuée en présence d'air sur une matière. Elle est utilisée en métallurgie pour la transformation des métaux en toutes sortes de dérivés, ou pour la transformation du calcaire en chaux. Cette technique provoque des réactions physiques et/ou chimiques et met ainsi l'échantillon dans un état de référence. **[40]**

I.7.7.Trouve la bentonite :

La bentonite est une argile colloïdale qui est principalement extraite dans des carrières situées dans des régions riches en dépôts de cendres volcaniques ou en roches sédimentaires. Elle est souvent trouvée dans des zones géologiques telles que les lits de la mer, les volcans éteints ou les bassins sédimentaires.

La bentonite est disponible dans de nombreuses régions du monde, notamment aux États-Unis (dans des États tels que le Wyoming, le Montana et le Dakota du Sud), au Brésil, en Chine, en Inde, en Grèce, en Turquie, en Italie, en Russie, en Australie et en Afrique du Sud.



Figure I.19 : Bentonite en Italie. **[41]**

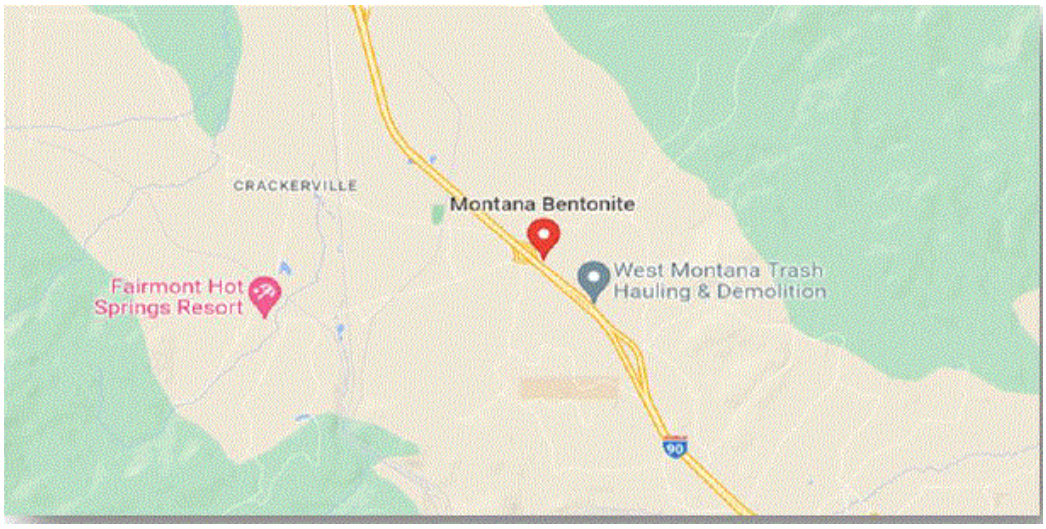


Figure I.20: Bentonite en Montana. **[42]**

CONCLUSIONS GENERALES ET RECOMMANDATIONS

Les mortiers autoplaçant à base de liège expansé traité sont préparés en mélangeant divers ingrédients selon des proportions spécifiques. Dans notre cas, nous avons remplacé une partie du sable par du liège expansé traité à des taux de 25%, 50%, 75%, et 100%. Le traitement de surface vise à améliorer l'adhérence, réduire l'absorption d'eau et assurer une répartition uniforme des grains dans le mortier. Ajouter de la poudre de bentonite renforce la cohésion et diminue l'absorption d'eau, augmentant ainsi la durabilité et la résistance du matériau final. Les études et les résultats obtenus sur les mortiers autoplaçant avec différentes pourcentages de liège expansé traité révèlent plusieurs conclusions importantes concernant leurs propriétés physico-mécanique et de durabilité :

- L'ajout de liège expansé traité modifie l'étalement des mortiers autoplaçant .À 25% de substitution, l'étalement augmente, améliorant la fluidité du mortier. À partir de 50% de substitution, l'étalement diminue, probablement en raison de l'absorption

- d'eau par le liège expansé. Malgré cette diminution, les mélanges restent utilisables et maniables jusqu'à 100% de substitution.
- La maniabilité au V-Funnel montre des variations significatives en fonction de la quantité de liège expansé ajoutée. À 100% de substitution, la maniabilité est réduite, nécessitant une attention particulière au dosage pour maintenir une fluidité adéquate.
- l'ajout de liège expansé traité réduit significativement la densité des mélanges de mortier autoplaçant léger : de 2.76 g/cm³ pour le mortier témoin à 1.82 g/cm³ avec 25% de liège, et jusqu'à 1.2 g/cm³ avec 100% de liège.
- La substitution partielle du sable par du granulat de liège expansé traité entraîne une diminution de la résistance mécanique (compression/traction).
- La vitesse des ondes sonores diminue avec l'augmentation du pourcentage de liège expansé traité. Cela indique une réduction de la densité et de la rigidité du matériau, ce qui peut affecter la performance acoustique et structurelle du mortier.
- L'absorption par immersion augmente significativement avec l'ajout de liège expansé traité, ce qui suggère une plus grande porosité et une capacité accrue

retenir l'eau. Cela peut avoir des implications sur la durabilité et la résistance à la Pénétration de l'eau.

- L'absorption capillaire montre également une augmentation avec le pourcentage de liège expansé traité.
- La porosité des mortiers augmente proportionnellement avec la quantité de liège expansé traité.
- La perte de masse des mortiers augmente avec l'augmentation de la température, particulièrement pour les mélanges avec un pourcentage élevé de liège expansé traité.
- La perte de résistance à la compression diminue avec l'augmentation du pourcentage de liège expansé traité, particulièrement à des températures élevées.

Recommandations

Les mortiers autoplaçant de liège expansé traité présentent des caractéristiques prometteuses, notamment une isolation thermique accrue et une résistance élevée aux températures élevées. Toutefois, leur utilisation dans des environnements humides nécessite des ajustements et des précautions spécifiques. Les recherches futures devraient se concentrer sur des études approfondies et des expérimentations visant à développer et à améliorer les propriétés de ces mortiers autoplaçant. Ainsi, il est crucial de :

- ✧ Améliorer la composition des mortiers autoplaçant légers en ajustant les proportions de liège expansé pour maximiser à la fois la légèreté et la résistance mécanique.
- ✧ Étudier comment utiliser les mortiers autoplaçant avec du liège expansé traité dans des endroits très humides ou où ils peuvent être exposés à l'eau.

- ✧ Trouver le bon équilibre dans la quantité de liège expansé traité utilisée, en explorant l'ajout d'additifs ou de traitements spéciaux. L'objectif est de réduire l'absorption d'eau tout en maintenant les propriétés avantageuses en termes d'isolation thermique.
- ✧ Examiner la performance à long terme du mortier autoplaçant de liège expansé en termes de résistance mécanique, d'absorption d'eau et de stabilité dimensionnelle pour assurer sa durabilité et sa fiabilité.

- ✧ Investiguer sur le comportement des mortiers autoplaçant de liège expansé et comment ils réagissent aux cycles de gel-dégel et à une exposition prolongée à l'eau. Cela permet de mieux comprendre comment les matériaux se détériorent et d'améliorer les formules adaptées à des utilisations spécifiques.
- ✧ Évaluer l'impact environnemental du mortier autoplaçant de liège expansé comparé aux mélanges traditionnels et proposer des stratégies pour réduire encore cet impact.

Références bibliographiques

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] International Energy Agency - Tracking Buildings *2022*. [Online] Available:

〈https://www.iea.org/energy-system/buildings〉

[2] United Nations Environment Programme, *2022* Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero-emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector. [Online] Available: 〈www.globalabc.org

[3] https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.136008

[5] https://blog.teralta- e mortier #:~: t ex t =Le mortier de montage%20se,1% 20ou% 20du%200%2F4.

[6] .https://www.khalesindustrie.com/nos-articles/ligne-de-transformation-de-ciment-colle

[7] F. Michaud, ''Rhéologie de panneaux composites bois/thermoplastiques sous chargement thermomécanique : Aptitude post formage'' thèse Phd, univ Laval, 2003

[8] https://www.distriartisan.fr/blog/tout-savoir-sur-le-mortier/

[9] G. DREUX & J. FESTA : « Nouveau guide du béton et de ses constituants ». 8ème Édition. Eyrolles. Mai1998

[10] Matériaux de construction≥ par une réunion d'ingénieur 1979-eyrolles

[10]: N.SOTEHI:«Caractéristiques thermiques des parois des bâtiments et amélioration de l'isolation».Université Mentouri, Constantine.2010.

[11] : https://www.researchgate.net/publication/365232757_Optimization_of_Workability_and_Compressive_Strength_of_SelfCompacting_Mortar_Using_Screening_Design

[12] S. Kadid, Z. Boucetha, " Influence des milieux de conservation sur la durabilité des mortiers autoplaçant", Mémoire de Master 2, Faculté des sciences de l'ingénieur, Université de Boumerdes, 2017.

[13] AFGC," Recommandations pour l'emploi des bétons Auto-plaçants". Association Française de Génie Civil," pp. 64, 2008.

[14] M. Yurugi, N. Sakata, M. Iwai, and G. Sakai, “Mix proportion for highly workable concrete,” Proc. Concr., pp. 579–589, 2000.

[15] S. Tangtermsirikul, J. Sakamoto, T. Shindoh, and Y. Matsuoka, “Evaluation of resistance to segregation of super workable concrete and the role of a new type of viscosity agent,” Reports Tech. Res. Inst., vol. 24, pp. 369–376, 1991.

[16] F. de Larrard, F. Bosc, C. Catherine, and F. Deflorenne, “La nouvelle méthode des coulis de l’AFREM pour la formulation des bétons à hautes performances,” Bull. des Lab. des ponts chaussées, vol. 202, pp. 61–69, 1996.

[17] T. Sedran, “Rhéologie et rhéométrie des bétons. Application aux bétons autonivelants,” Thèse de Doctorat, L’Ecole Nationale. Des Ponts et Chaussées, 1999.

[18] Y. M. S. Kuroiwa M. Hayakawa, and T. Shindoh, “Application of Super workable concrete to construction of a 20-Story Building,” ACI Symp. Publ., vol. 140, doi: 10.14359/3909.

[19] T. Shindoh, Y. Matsuoka, S. Tangtermsirikul, and J. Sakamoto, “Effect of variation of material quality on properties of super workable concrete,” Trans. Japan Concr. Inst., vol. 14, pp. 71–78, 1992.

[20] H. Okamura and M. Ouchi, “Self-compacting concrete. Development, present use and future,” in Self-Compacting Concrete: Proceedings of the First International RILEM Symposium, 1999, pp. 3–14.

[21] H. Okamura, K. Ozawa, and M. Ouchi, “Self-compacting concrete,” Struct Concr., vol. 1, no. 1, pp. 3–17, 2000.

[22] H. Okamura and M. Ouchi, “Self-compacting concrete,” J. Adv. Concr. Technol., vol. 1, no. 1, pp. 5–15, 2003.

[23] K. H. Khayat, J. Assaad, and J. Daczko, “Comparison of field-oriented test methods to assess dynamic stability of self-consolidating concrete,” Mater. J., vol. 101, no. 2, pp. 168–176, 2004.

[24] Z. Hamadache," Formulation et performances d’un béton autoplaçant incorporant des granulats en caoutchouc" Mémoire de master. University de Blida 1. 2016.

[25] B. Ben abed, E.-H. Kadri, L. Azzouz, and S. Kenai, “Properties of self compacting mortar made with various types of sand,” Cem. Concr. Compos., vol. 34, no. 10, pp. 1167–1173, 2012, doi:10.1016/j.cemconcomp.2012.07.007.

[26] A. R’mili," Étude de formulation et de comportement des bétons autoplaçant: Incorporation du sable de concassage et du sable du désert". Noor Publishing, 2016.

[27] F. Habeta, I. Kaddour," L’utilisation de la brique recyclée et de la céramique dans la formulation des mortiers", Mémoire de Master 2, Faculté des sciences et de la technologie, Université de M’SILA, 2019.

[28] Debieb . F., cours bétons innovant 2. Béton légers, département de Génie Civil, Faculté des sciences et de la technologiques, Université de Médéa.

[29] M. yurugi, N. Sakata, M.I. and G.S. : Mix proportion for Highly Workable concrete.

[30] Okamura et al. 2003 : Okamura H. and Ouchi M., "Self-Compacting Concrete", Journal of Advanced Concrete Technology Vol. 1, No. 1, 5-15, April (2003).

[31] https://fr.wikipedia.org/wiki/Liege_(matriau)

[32] http://www.techni.ch/.

[33] https://planeteliege.com/tout-sur-le-liege/structure-et-composition

[34] Messali S, 2003 : Le liège : histoire, transformation et utilisation. Alger : Ed. Jijel Liège Etanchéité.7 p.(brochure).

[36] Ben amirouche S., Chouial M., « Cartographie et description des peuplements porte graines de chêne liège (Quercus suber L.) dans les wilayas de Jijel, Mila et Bejaia(Nord est algérien) », Station régionale de recherche forestière de Jijel Oued kissir El Aouana- Jijel – Algérie Tél/fax (213) 34 51 32 76

.

[37] **:**https://abaqueplast.fr/ps-polystyrene-expanse/72-704-sphere-ps-polystyrene expanseblanc.html .

[38] https://hirschisolation.fr/les-etapes-de-fabrication-des-isolants-pse/#:~:text=Les isolants polystyrène expansé A fois leur volume.

[39] https://fr.wikipedia.org/wiki/Bentonite

[40] UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA Faculté de Technologie Mémoire de fin d'études de Master [Etude expérimentale du comportement mécanique Des mortiers à base de bentonite sous l'effet de hautes températures et à milieux agressifs] LAOUFI islam BOUKHELKHAL Abdelhakim Proposé et Dirigé par Dr. BOUKSANI Omar Promotion Juin 2023

[40]https://www.google.com/maps/place/Imerys+Bentonite+Italy/@44.371116,8.253652,15z/data=mmmms bentonite l=fr

[41] https://www.google.com/maps/search/bentonite/@46.0523265,-112.8369708,12z?hl=fr

[42] NF EN 12504-4 Essais pour béton dans les structures - Partie 4 : détermination de la vitesse de propagation des ultrasons

ANNEXE A

0 % de Poudre de marbre

volume de mortier (litres)	1000.00				
sable/mortier vol	0.45				
E/P par vol.	1.2	poudre vol (%	25.000	Eau volume (	30.000
composition Poudre(vol %)	type				
ciment portland	100				
pz	0				
Poudre de Marbre	0				
superplast - MEDAFLOW30	0.8	% (Sp/P)			
Densité relative de la poudre	3				

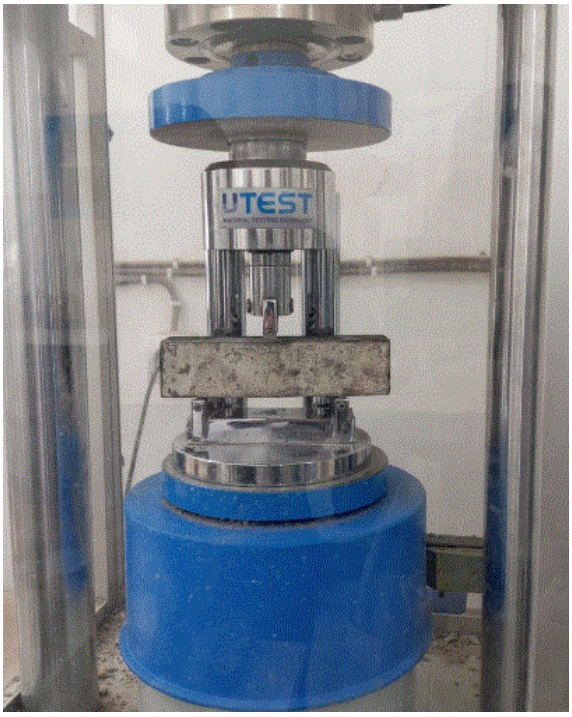
Teneur en eau du sable

	Humidité (%eb)		absorption(%	correction (%)
poids humide (g)	200	0.00	0.20	-0.20
poids sec (g)	200			

Materiaux	Volume litres	Densité kg/m^3	Masse kg	Contenance d'eau %	kg	poids mélange kg			
poudre	250.000	3000	750.000			750.000			
Ciment	250.000	3000	750.000			750.000			
Pz	0.000	720	0.000			0.000			
Poudre de marbre	0.000	2700	0.000			0.000			
Eau	300.000	1000	300.0			298.14	W1	208.701	70% W
							W2	89.443	30% W
superplastifiant MEDAFLOW 30		1070	6.00	70	4.200	6.000			
Sable	450.000	2604	1171.800	-0.20	-2.344	1171.800			
Total	1000.000					2225.944			

E/P poids = 0.400

100%C				
Volume	1	poids mélange kg		
poudre		750.000		T
Ciment	0.250	750.00		
pz	0.000	0.00		
Poudre de m	0.000	0.00		
Eau	0.300	298.14	W1	208.7
	E théorique	300.00	W2	89.4
superplastifiant MEDAFLOW 30		6.00		
Sable	0.4500	1171.8		
Total	1.0000	2225.9		


UTEST






UTEST

ANNEXE B

APPLICATIONS RECOMMANDÉES

- Constructions des Ouvrages d'Art, infrastructure et superstructure pour bâtiments
- Préfabrication légère
- Béton de haute performance



FORMULATION CONSEILLÉE

	Ciment	Sable (sec)	Gravillons (sec)	Eau (litres)
Dosage pour béton C25/30	X 1	+ X2	+ X3	+ X4	+ 25 L

Remaque: un bidon = 10 Litres

CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

• Analyses chimiques	Valeur
Perte au feu (%) (NA5042)	10.0±2
Teneur en sulfates (SO3) (%)	2.5±0.5
Teneur en oxyde de magnésium MgO (%)	1.7±0.5
Teneur en Chlorures(NA5042) (%)	0.02-0.05

• Temps de prise à 20° (NA 230)	Valeur
Début de prise (min)	150±30
Fin de prise (min)	230±50

• Composition minéralogique du Clinker (Bogue)	Valeur
C3S (%)	60±3
C3A (%)	7.5±1

• Résistance à la compression	Valeur
2 jours (MPa)	≥ 10.0
28 jours (MPa)	≥ 42.5

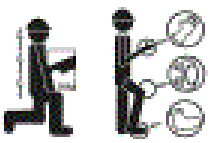
• Propriétés physiques	Valeur
Consistance Normale (%)	26.5±2.0
Finesse suivant la méthode de Blaine (cm²/g) (NA231)	3 700 - 5 200
Retrait à 28 jours (µm/m)	≤ 1 000
Expansion (mm)	≤ 3.0

Conditionnement: Sac et vrac

CONSIGNES DE SÉCURITÉ

1- **PROTÉGEZ VOTRE PEAU** : Portez les équipements adaptés dans vos chantiers: casques, lunettes, gants, genouillères, chaussures et vêtements de sécurité.

2- **MANUTENTION** : levez le sac en pliant les genoux et en gardant le dos droit.



A member of LafargeHolcim

LAFARGE ALGÉRIE
Centre commercial Bab Ezzouar, Tour n°02,
Etages 05 & 06, Bab Ezzouar Alger, Algérie
Tél: + 213 (0) 21 98 54 54
Fax: + 213 (0) 23 92 42 94
www.lafargealgerie.com
dr.satisfaction-clients@lafargeholcim.com
Tél: 021 55 55 98

Conditionnement : sac et vrac