

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mohamed KHIDHER-Biskra
Faculté des Sciences et des la Technologie,
Département de Génie civil et d'Hydraulique
Réf : /2020



جامعة محمد خيضر - بسكرة
كلية العلوم والتكنولوجيا
قسم: الهندسة المدنية والري
المرجع: 2020/2019/.....

Mémoire de Master

filière : Génie civil
Spécialité : Matériaux de construction

THEME

VALORISATION DU LIEGE EXPANSÉ DANS
LA COMPOSITION DES MORTIERS

Nom et Prénom de l'étudiant:
MAANSER Roumaissa

Encadreur : **Pr. BOUAZIZ A.**

2019/2020

REMERCIEMENT



Le présent travail à été effectuée au sein du Laboratoire de Génie civil au département de génie civil, faculté des science de l'ingénieur université de Mohamed Khider Biskra Sous la supervision de chef de laboratoire monsieur Tour Abd Almounim .

Je voudrais ici témoigner toute ma gratitude à Monsieur le professeur Bouaziz Ahmed mon directeur de mémoire pour sa disponibilité sa rigueur scientifique et ses encouragement et le docteur ben khada ben ammar Pour m'aider toujours.

Je remercie profondément toute ma famille et surtout mes parents pour m'avoir toujours apporté leur soutien durant mes études ainsi qu'a mes frères et mes soeurs pour leur encouragement.

Finalement, j'adresse mes sentiments les plus respectueux à mes amies Aicha, Khoula, Meriem, IHCEN, HADERA, ;IMEN et mes cousines Oumaima et Rabab et Mes collègues Jassem Baghdadi et Mohammad Zeghaidi qui m'ont toujours soutenu et aidé



DEDICACE

Je dédie ce modeste travail :

A ma mère, à cette source de tendresse, de patience et de générosité, mon soutien moral et source de joie et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir.

A mes grands-parents.

A ma grande soeur Sana et grand frère Khalil



DEDICACE

Je dédie ce modeste travail :

-A ma mère, qui m'a comblé de son soutien et m'a voué un amour inconditionnel. Tu es pour moi un exemple de courage et de sacrifice continu.

-A mon père, mon exemple éternel, mon soutien moral et source de joie et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir, que dieu te garde, à toi.

-A mes grands-parents.

-A mes collègues.



RÉSUMÉ

Le mortier est peut être considéré parmi les matériaux les plus anciens, utilisé par toutes les civilisations humaine depuis l'antiquité jusqu'à nos jours. ses applications diversifiées lui conserve un intérêt majeur dans le domaine de la construction. Différentes problématique font l'objet d'étude pour plusieurs institutions de recherche. Les exigences multifonctionnelles imposées dans les clauses des cahier de charge nous obligent à rechercher des critères de souplesse et de propriété thermique couplé à la densité plus au moins réduite. Ces exigences sont rarement satisfaites dans les matériaux traditionnels. Nous proposons dans cette étude de mettre en forme un mortier de ciment innovant, qui peut être exploité dans les travaux de réparation et de finition en particulier dans un environnement aride et semi aride.

Les proportions des composants proposée ont été adoptées en se basant sur ceux du mortier normalisé.

Les résultats obtenus ont montré une diminution de la maniabilité de mortier en fonction de la substitution partielle des granulats de sable par les granulats de liège expansé. Au delà de 10%. le taux de diminution de l'étalement peut avoir les valeurs (19,2; 24)% respectivement pour les taux de substitution 20 % et 30 %.

La résistance en compression et en flexion, peuvent diminuer en fonction de la substitution partielle du sable par les granulats de liège expansé. en Compression, le taux de diminution enregistré à 28 jours pour les taux de substitution (10, 20, 30) % est respectivement: (34.4; 38.6 et 43.2) %.

ملخص

يعتبر الميلاط من المواد العالقة في القدم, لقد استخدمته البشرية في مختلف الحضارات المتتالية, نظرا لأهميته في البناء فان العديد من مخابر البحث تهتم بإشكالية تركيبته وخصائصه المتنوعة,

من المعلوم أن جل الخصائص التقنية لمواد البناء تحدد مسبقا في دفتر الشروط الخاص بكل مشروع. قد يصعب علينا أحيانا الحصول على هاته المواد لأنها غير معروضة للتسويق مما يتحتم التنسيق مع خابر البحث المؤهلة لإيجاد حلول ممكنة لهذه الإشكالية.

نقترح في هذه الدراسة تشكيل ميلاط إسمنتي جديد يمكن استغلاله في عمليات البناء و الترميم .

بينت النتائج المتحصل عليها من مختلف التجارب المنجزة مخبريا أن استبدال جزء من الرمل بما يكافئه من الفلين الممدد يؤدي إلى انخفاض في انسياب الميلاط من جهة والى انخفاض المقاومة في الضغط وكذا في الشد.

لقد سجلت نسب انخفاض لأنسيابية الميلاط المستبدل جزئيا بالفلين الممدد % (19.2 ; 24) على التوالي % (20, 30) من الفلين الممدد.

لقد سجلت ايضا انخفاض في المقاومة سواء في الضغط أو الشد. تصل نسبة الانخفاض عند 28 يوم (34.4; 38.6; 43.2)

على التوالي % (10; 20; 30) . من الفلين الممدد

LISTE DES SYMBOLES

λ : la masse conductivité thermique ($w.m^{-1}.k^{-1}$).

c : la chaleur spécifique ($J.kg^{-1}.k^{-1}$).

a : la diffusivité thermique (m^2/s).

b : l'effusivité thermique ($J.m^{-2}.S^{-1/2}.k^{-1}$).

ρ : la masse volumique (g/cm^3).

σ_c : la contrainte de compression (MPa).

σ_F : la contrainte de compression (MPa).

S : la section (m^2).

F : la force (N).

M_f : module de finesse .



SOMMAIRE

REMERCIEMENT

DEDICACE

Introduction générale.....01

PARTIE I : chapitre 1.

Béton léger

Introduction.....	01
1.1. Bétons légers	03
1.2. Les types des bétons légers.....	04
1.2.1. Le béton de granulats légers	04
1.2.1.1. Granulats léger naturel	04
1.2.1.1.1. Minérale	05
1.2.1.1.2. Végétale.....	05
1.2.1.2. Granulats obtenus par traitements des déchets industrie.....	06
1.2.1.3. Granulats fabriqués spécialement	07
1.2.1.4. Les avantages et les inconvénients	09
1.2.2. Le béton cellulaire	10
1.2.3. Le béton caverneux	11
1.3. Classification de béton léger.....	12
1.3.1. Classe de résistance à la compression	14
1.3.2. Classe de densité	15
1.3.3. Classe d'exposition	16
1.4. Propriétés physico mécaniques et thermiques des bétons à granulats légers	16
1.5. Conclusion.....	17

PARTIE I : chapitre 2.

Les isolants thermiques

2. Introduction	19
2.1. Définition	20
2.1.1. Avantages De L'isolation Thermique	20
2.1.2. Inconvénients De L'isolation Thermique.....	20
2.1.3. Les Types D'isolants.....	21
2.2. Polystyrène Expandé	22
2.2.1. Introduction	22
2.2.2. Définition	22
2.2.3. Composition Chimique.....	23
2.2.4. Les Types De Polystyrène Expandé	24
2.2.5. Fabrication De Polystyrène Expandé... ..	25
2.2.6. Des Propriétés Du Polystyrène Expandé	25
2.2.7. Les Avantages	26
2.2.8. Les Inconvénients	26
2.3. Liege Expandé	26
2.3.1. Introduction	26
2.3.2. Définition	27
2.3.3. Composition	27
2.3.4. Processus de production.. ..	28
2.3.5. Avantages	32
2.3.6. Domaine d'application	33

PARTIE I : chapitre 3.

Archéologie des mortiers

3. INTRODUCTION	35
3.1 HISTOIRE DES MORTIERS	38
3.2. DEFINITION DE MORTIER	38
3.3. COMPOSITION DES MORTIERS . ..	38
3.3.1. Les granulats	40
3.3.3. L'eau de gâchage	42
3.3.4. Les adjuvants	42
3.4. LES DIFFERENTS TYPES DE MORTIER....	43
3.4.1. Les mortiers de chaux	43
3.4.2. Les mortiers de ciment	43
3.4.3. Les mortiers bâtards... ..	43
3.4.4. Les mortiers gras.. ..	43
3.4.5. Les mortiers maigres	43
3.5. EMPLOIS DES MORTIERS	43

PARTIE I : chapitre 4.

Composition et propriétés du mortier de ciment

4. INTRODUCTION	47
4.1. DEFINITION DE MORTIER DE CIMENT . ..	47
4.2. COMPOSITIONS DE MORTIER DE CIMENT	48
4.2.1. CIMENT	48
4.2.1.1. Introduction de ciment . ..	48
4.2.1.2. Définition de ciment	48
4.2.1.3. Différents types de ciment.....	49
4.2.1.4. Fabrication du ciment	49
4.2.1.5. Propriétés physico-mécaniques du ciment....	51
4.2.2. SABLE	52
4.2.2.1. Introduction de sable	52
4.2.2.2. Définition de sable	53
4.2.2.3. Les différents types de sable	53
4.2.2.4. Propriétés physiques de sable	54
4.2.3. L'EAU	55
4.2.3.1. Introduction de l'eau	55
4.2.3.2. Définition de l'eau	55
4.2.3.3. La fonction de l'eau de gâchage	55
4.2.3.4. Différents types d'eau de gâchage	55
4.3. LES PROPRIETES PHYSIQUES DE MORTIER	56
5.3. Conclusion.....	59

PARTIE II .Chapitre I : *Matériaux et Méthodes expérimentales*

1. Introduction	61
2. Matériaux d'étude.....	61
2.1. Sable.....	61
2.2. Ciment.....	61
2.3. Eau de gâchage.....	61
2.4. Liège expansé.....	61
3. Méthode utilisées.....	61
3. Essais effectué sur le constituant du mortier.....	61
3.1. Sable.....	61
3.1.1. Mesure de la masse volumique.....	61
3.1.1.1. La Masse Volumique Apparente.....	62
3.1.1.2. La Masse Volumique absolue.	62
3.1.1.3 Equivalent du sable.....	64
3.1.1.4. Analyse granulométrique	65
3.1.1.5 .Foisonnement de sable	66
3.2. Ciment.....	66
3.2.1. La Masse Volumique apparente.....	66
3.2.2. La masse volumique absolue.....	66
3.2.3 Essai de Prise.....	67
3.2.4. Consistance Normalisée.....	67
3.2.5. Surface spécifique.....	67
3.3. Liège expansée.....	68
3.3.1. La masse volumique.....	68
3.3.1.1. La masse volumique absolue	69
3.3.1.2. La masse volumique apparente	69
3.3.2. Analyse granulométrique	69
4. Mortier.....	69
4.1. Préparation des éprouvettes	70
4.1.1. Confection des éprouvettes de mortier témoin	70
5. Mesures effectuées	71
5.1. A l'état frai	71
5.1.1. Essai d'étalement	71
5.2. A l'état durci	72
5.2.1. Essai de compression.....	72
5.2.2. Essai a la traction par flexion	73
5.3. Conclusion.....	74

PARTIE II. Chapitre 2 : **Présentation et analyse des résultats**

1. INTRODUCTION	76
-----------------------	----

2. Résultats et analyse de caractérisation physique des constituants.....	76
2.1. Sable.....	79
2.2. Ciment.....	80
2.3. liège expansé	82
4. Résultats relatif au mortier.....	83
4.1.A l'état frais	83
4.1.1. La maniabilité	83
4.2. A l'état durci	85
4.2.1. Résistance à la compression	85
4.2.2. Résistance à la Traction indirecte.....	88
6. Conclusion.....	90
Bibliographie	91

LISTE DES TABLEAUX

Tableau.1. 1. Les propriétés des bétons cellulaires.....	P.12
Tableau.1.2. Classe de résistance pour les bétons ordinaire et léger.....	P.14
Tableau.1.3. Classe de résistance pour le béton léger.....	P.15
Tableau. 1.4. classe de résistance minimum recommandée pour les différents classes d'exposition.....	P.16
Tableau. 4.1. Les types de ciment selon la classification européenne.....	P.49
Tableau. 4.2. Les principaux ajouts et leurs effets.....	P.50
Tableau. 5. 1. Composition des mélanges de mortiers pour 3 éprouvettes Prismatique 4*4*16.....	P.53
Tableau. 6. 1. Mesure de la masse volumique absolue.....	P.76
Tableau. 6. 2. Mesure de la masse volumique apparente.....	P.76
Tableau. 6. 3. Mesure obtenues de l'essai d'équivalent du sable	P.76
Tableau. 6. 4. Analyse granulométrique du sable non lavé.....	P.77
Tableau. 6. 5. Analyse granulométrique du sable lavé.....	P.79
Tableau. 6. 6. Mesures effectuées pour le foisonnement du sable.....	P.80
Tableau. 6. 7. Mesure de la masse volumique apparent.....	P.80
Tableau. 6. 8. Mesure de la masse volumique absolue.....	P.80
Tableau. 6. 9. Composition chimique du ciment utilisé.....	P.81
Tableau. 6. 10. Propriétés physiques du ciment CEM I /42.5.....	P.81
Tableau 6. 11: Evolution de la résistance en compression du ciment CEMI/42.5.....	P.82
Tableau 6.12. La maase volumique apparente du liège expansé –méthode 1er-.....	P82
Tableau. 6.13. La masse volumique apparente du liège expansé –méthode 2 eme-.....	P.82
Tableau .6.14. Analyse granulométrique du liège expansé	P.83
Tableau. 6.15. Valeurs mesurées de l'étalement(%) pour le mortier.....	P.84

Tableau. 6. 16. Classification des mortiers en fonction de leurs étalements.....	P.85
Tableau . 6.17. Evolution de la valeur moyenne de la résistance en compression en fonction du temps.....	P.88
Tableau. 6. 18. Evolution de la résistance en flexion en fonction du temps.....	P.88

LISTE DE FIGURES.

Figure. 1. 1. Vue macroscopique des différents types de béton léger.....	P.4
Figure. 1. 2. Béton de granulats léger.....	P.5
Figure. 1. 3. Pierre ponce.....	P.5
Figure. 1. 4. Pouzzolane.....	P.6
Figure. 1. 5. Granulats du bois.....	P.6
Figure. 1. 6. Granulats de liège expansé.....	P.7
Figure. 1. 7. Laitier expansé.....	P.7
Figure. 1. 8. Cendres volantes.....	P.8
Figure. 1. 9. Vermiculite.....	P. 8
Figure. 1.10. Perlite.....	P.9
Figure. 1.11. Argile de schiste expansé	P.9
Figure. 1.12. Polystyrène expansé.....	P.10
Figure. 1.13. Béton cellulaire.....	P.12
Figure. 1. 14. Béton caverneux	P.13
Figure. 2. 1. Représentation de déperdition thermique dans une habitation.....	P.20
Figure. 2. 2. Polystyrène expansé PSE.....	P.22
Figure. 2. 3. La structure du liège expansé.....	P.23
Figure. 2. 4. Polystyrène Expansé Moulé (PES- M).....	P.24
Figure. 2. 5. Polystyrène Extrudé Moulé (PSE -X).....	P.25
Figure. 2. 6. Vue macroscopique du liège expansé.....	P.27
Figure. 2. 7. Composition du liège expansé.....	P.28

Figure. 2. 8. Espace de dépôt de liège.....	P.28
Figure. 2. 9. Sécheur rotatif.....	P.29
Figure. 2. 10. Les autoclaves industriels.....	P.30
Figure. 2. 11. Résine naturelle présente dans le liège	P.32
Figure. 2. 12. Blocs de liège muiollé pour refroidissement.....	P.32
Figure. 2. 13. Sciage et brossage.....	P.37
Figure. 2. 14. Stockage des plaques de liege expansé.....	P.37
Figure. 3. 1. La phare d'Eddysson.....	P.37
Figure. 3. 2. Colossé dfe Rome.....	P.38
Figure. 3. 3. Ponthéon de Rome.....	P.39
Figure. 3. 4. Les principaux constituants de mortier de ciment.....	P.39
Figure. 3. 5. Le sable de carrière.....	P.40
Figure. 3. 6. Le sable de rivière.....	P.40
Figure. 3. 7. Ciment.....	P.40
Figure. 3. 8. Chaux hydraulique et naturelle.....	P.44
Figure. 3.9. Plâtre.....	P.44
Figure. 3. 10. Joints (maçonnerie).....	P.45
Figure. 3. 11. Enduit industriel.....	P.45
Figure. 3. 12. les chapes industrielles.....	P.50
Figure. 4. 1. Méthode de fabrication du ciment par voie sèche.....	P.52
Figure. 4. 2. Evolution progressive de la résistance mécanique du mortier.....	P.53
Figure. 4. 3. Action des impuretés contenues dans l'eau de gâchage.....	P.56
Figure. 4. 4. Essai d'étalement (table à secousse).....	P.57
Figure. 4. 5. Principe de fonctionnement du maniabilimètre LCPC.....	P.58
Figure. 5. 1. Mesure de la masse volumique apparente.....	P.62
Figure. 5. 2. Mesure de la masse volumique absolue.....	P.63
figure. 5. 3. Représentation graphique de mesures de l"équivalent du sable.....	P.63

Figure. 5. 4. Etapes essentielles de la mesure de l'équivalent du sable.....	P.64
figure. 5. 5. exemple de série de tamis	P.65
Figure. 5. 6. Exemple de mesure de la masse volumique absolue du ciment.....	P.66
Figure. 5. 7. Exemple de mesure de la consistance normalisée.....	P.67
Figure. 5. 8. Exemple de la mesure de la prise du ciment.....	P.67
Figure. 5.9. Echantillon de liège expansé pour mesure la masse volumique	P.68
Figure. 5.10. vue macroscopique des éprouvettes prismatiques du mortier.....	P.70
Figure. 5. 11. Moulage et démoulage des éprouvettes.....	P.71
Figure. 5. 12. Vue d'ensemble de l'appareil d'essai d'étalement.....	P.73
Figure. 5. 13. Vue latérale de la machine de compression.....	P.73
Figure. 5. 14. vue latérale de la machine de flexion.....	p.74
Figure. 5. 15. Schéma statique pour la mesure de la résistance en compression et en flexion.....	P.74
Figure. 6. 1. Analyse granulométrique du sable non lavé.....	p.79
Figure. 6. 2. Analyse granulométrique du sable lavé.....	P.79
Figure. 6. 3. Foisonnement du sable.....	p.80
Figure .6.4. Analyse granulométrique du liège expansé	P.84
Figure. 6. 5. Représentation en histogramme des valeurs de l'étalement (%).....	p.85
Figure. 6. 6. Mesures de l'étalement du mortier.....	P.86
Figure. 6. 7. Histogramme résistance en compression.....	P.87
Figure. 6.8. Vue macroscopique des facies de rupture du mortier témoin.....	P.88
Figure. 6. 9. Vue macroscopique de facies de rupture du mortier chargé.....	P.89
Figure 6.10 : Courbe des résultats de résistance à la traction par flexion.....	P.89
Figure. 6. 10 : Vue les rupture du mortier témoin et chargé	P.90

Introduction générale

Le Mortier occupe une place importante dans le domaine de la construction et travaux publics, son apparition remonte de l'antiquité, présent dans différentes civilisations : les babelions, les achoriens, les romains, les bisontins , son évolution dans le temps lui donne l'innovation en continue. Il peut faire partie du système de structure dans le cas de la maçonnerie portante et travaux de réparation des éléments structurels, comme il peut être considéré un élément de remplissage pour les travaux de finitions et de décoration. Sa densité est variable et dépend étroitement de la densité de ses composants. Le mortier de ciment largement utilisé dans les différents secteurs de la construction est connu par sa densité élevée qui peut gêner certaine tâche de réparations. En Outre il présente une valeur de conductibilité thermique relativement élevée. L'épuisement des gisements des granulats naturels nous laisse réfléchir à trouver d'autres ressources naturelle ou artificielle. C'est dans cette optique que nous proposons d'étudier un mortier de ciment à base de granulats de liège expansé.

L'objectif de cette étude est la mise en forme d'un mortier de ciment chargé partiellement par les granulats de liège expansé. Ensuite une caractérisation de ce matériau s'avère nécessaire, La caractérisation devra sans doute palier les deux phases de murissement du mortier chargé: à l'état frais et à l'état durci.

Ce mémoire comporte deux parties essentielles: partie I, consacrée à une synthèse bibliographique qui comporte quatre chapitres et une deuxième partie dédiée à la partie expérimentale. elle est composée de deux chapitres. Nous avons essayé dans la mesure du possible de garder la même structuration pour tous les chapitres en présentant toute au début une introduction pour chaque chapitre suivie par les sections principales et secondaires et à la fin , nous avons essayé de dégager des conclusions.

Les résultats obtenus de cette étude peuvent être considéré comme des données qui nous orientent certainement pour l'étude approfondie de cette problématique pour les années à venir.



PARTIE I : Chapitre 1.

BETON LEGER



1.INTRODUCTION :

Les bétons légers connus dans le monde depuis plus d'un quart de siècle, dans cette période connaissent un regain d'intérêt, qui semble tout à fait mérité en raison de leurs propriétés.

Il est très important de bien définir dès le départ, ce qu'est un béton léger, La commission **R.I.L.E.M** des bétons légers propose de définir les bétons légers comme étant des bétons dont la masse volumique apparente sèche est inférieure à 1800 Kg/m³. Cependant d'autres auteurs adoptent des définitions un peu différentes, **CORMON** appelle béton léger un béton dont la masse volumique apparente à 28j inférieure à 1800 Kg/m³ (1973) dans les conditions normales de conservation (température de 20° et 65% d'humidité relative). De même L'American concrete Institute limite la masse volumique apparente des bétons à 1800 Kg/m³ après séchage à l'air pendant 28 jours. Par contre **SHORT** et **KINNIBURG** considèrent que la masse volumique apparente sèche d'un béton léger doit être inférieurs à 1775 Kg/m³. Ainsi en Allemagne fédérale la norme DIN1042. Parue en 1972, limite la masse volumique 28 apparente d'un béton léger à 2000 Kg/m³. En fin la masse volumique après séchage comprise entre 800 et 2100 Kg/m³ entièrement ou partiellement réalisés avec des granulats légers. Il est donc bien difficile de donner une définition précise des bétons en se basant sur une limite supérieure de la masse volumique apparente. Cependant la définition avancée par **CORMON** semble la plus intéressante, car elle est proche des valeurs limites de masse volumique généralement admises et surtout car elle est la plus précise quant aux conditions de conservation du béton et à la date de mesure. [1]

1.1. BETONS LEGERS :

Le béton est un terme générique qui désigne un matériau de construction composite fabriqué à partir de granulats (sable, gravillons) agglomérés par un liant. Le béton léger fait partie de la gamme des bétons spéciaux ses caractéristiques, suggèrent de nouvelles applications, ce qui le distingue du béton ordinaire est sa faible masse volumique.

En effet la masse d'un béton de densité normale varie de 2200 à 2600 Kg/m³, tandis que celle du béton léger oscille entre 300 et 1850 Kg/m³ [9]. La faible masse volumique des bétons légers s'échelonne de 400 à 1800 Kg/m³ provient de leur porosité élevée.

Cette porosité peut être localisée dans trois endroits :

- Au sein des granulats : c'est le cas **des bétons de granulats légers**.
- Dans la pâte de ciment : c'est le cas **des bétons cellulaires**.
- Entre les gros granulats par suppression des granulats fins : c'est le cas **du béton caverneux**.



Figure 1 .1: Vue macroscopique des différents types de bétons légers.[2]

1.2. LES TYPES DES BETONS LEGERS :

1.2.1. LE BETON DE GRANULATS LEGERS :

La réduction du poids d'un ouvrage lors de sa construction entraîne obligatoirement des économies. Afin d'atteindre la densité des bétons de granulats légers citée ci-dessus, il est impératif d'utiliser des granulats légers .[3]

Les granulats légers ont plusieurs origines, ils peuvent être naturels, obtenus par traitement des déchets ou fabriqués spécialement pour bétons légers.

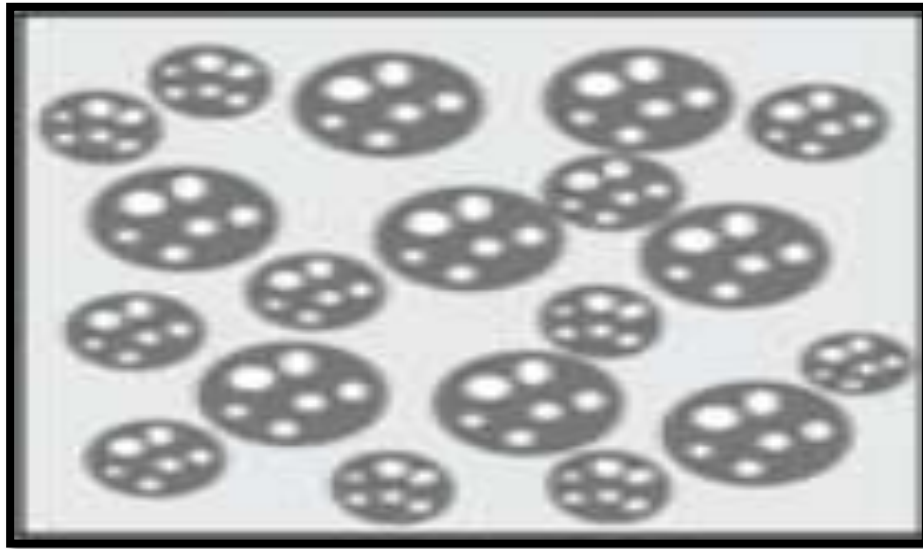


Figure1. 2 : Béton des granulats légers.[4].

1.2.1.1. Granulats léger naturel :

1.2.1.1.1. Minérale :

- **Ponce :** C'est une lave volcanique alvéolée de couleur grise ; forme par refroidissement lorsque de roche en fusion, elle se preste sans l'aspect de grains assez arrondis dont le diamètre max de 10 à 20 mm d'une densité variant de 500 à 800 kg/m³.



Figure1. 3 :Pierre ponce. [3]

- **Pouzzolane** : C'est une roche naturelle constituée par les projections volcaniques. Elle est assez abondante.

Provient de la cristallisation du magma volcanique refroidi assez lentement silice alumineux d'une densité sèche de 700 à 900 kg/m³.



Figure 1. 4 : Pouzzolane. [3] .

1.2.1.1.2. Végétale :

- **Copeaux de bois** : par découpage et broyage on obtient de morceaux de bois de 5 à 25 mm qui doivent être déshydrates, traités chimiquement et stabilisés par une attaque d'acide pour éliminer la cellulose et puis par le chlorure de calcium ensuite lavés et séchés ils présentent une densité sèche de 280 à 400 kg/m³.



Figure 1. 5 : Granulats de bois[3] .

- **Granulats de liège** : 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 .[5]



Figure 1. 6 :Granulats de liège expansé . [3]

1.2.1.2. Granulats obtenus par traitements des déchets industrie :

- **Laitier expansé** : Est obtenu par l'insufflation d'air dans le laitier en fusion. Après cette étape, le concassage offre des granulats de diverses dimensions. Ils sont assez rares sur le marché [3] .



Figure 1. 7 : Laitier expansé . [3] .

- **Cendres volantes** : Les cendres volantes sont le résidu finement divisé résultant de la combustion du charbon pulvérisé. Elles constituent un produit minéral pulvérulent, consécutif du dépoussiérage des fumées rejetées par les centrales thermiques, qui utilisent du charbon broyé comme combustible en présence ou non de matériaux de Co-combustibles. Ces cendres sont obtenues par précipitation électrostatique ou mécanique de particules pulvérulentes contenues dans les gaz de fumée des chaudières. la densité sèche de 630 à 680 kg/m³ . [6]



Figure 1. 8 : Cendre volantes .[6]

- **Vermiculite** : sont obtenus par expansion à l'eau chaude vers 300°C puis refroidissement brusque des silicates.
Elle présentant une densité sèche de 70 à 130 kg/m³ .



Figure 1. 9 :Vermiculite [3] .

- **Perlite** : obtenus par chauffage rapide vers 1000°C puis refroidissement brusque d'une roche volcanique riche en silice produisant ainsi des micros billes d'une densité sèche de 50 à 100 kg/m^3 .



Figure 1. 10 : Perlite [3] .

1.2.1.3. Granulats fabriques spécialement :

- **Argiles et schiste expansés** : les plus fabriques au monde, traités à une température de 1150 à 12000°C ; le dégagement de certain gaz dans le matériau lui donne au refroidissement une structure interne alvéole et une surface externe vitrifiée et dure présentant un diamètre de 3 à 25 mm de forme assez arrondie d'une densité sèche de 350 à 750 kg/m^3 donnant des bétons d'une masse volumique de 1200 à 2000 kg/m^3 .



Figure 1. 11 : Argile et schiste expansés [3] .

- **Verre fritte** : mélange de poudre de verre avec un expansif sous forme granule traitée à 800°C donnant des boulettes d'une densité sèche de 130 à 160 kg/m³.
- **Polystyrènes expansée** : le polystyrène est un polymère aromatique synthétique fabriqué à partir du monomère styrène, dérivé du benzène et de l'éthylène, produits pétroliers[7], sous forme des billes sphériques d'un diamètre de 1 à 6 mm, dont la densité sèche est de 10 à 15 kg/m³ donnant des bétons de 300 à 600 kg/m³ de masse volumique.



Figure 1. 12 : polystyrène expansé.[8]

1.2.1.4. les avantages et les inconvénients :

Avantages :

- ✓ Il est résistant au gel et dégel.
- ✓ Il est résistant au produit chimique.
- ✓ Il a une faible conductibilité thermique.
- ✓ Il est résistance à la compression.
- ✓ Sa résistance aux feux est meilleure qu'un béton classique.

Avantages de Mises En Œuvre :

- ✓ Exécution simple et rapide : accessibilité sur chantier entre 24 et 48 h après coulage, selon l'épaisseur.
- ✓ Maniabilité : pompable sur de longues distances et de grandes hauteurs, il est facile à mettre en œuvre, notamment en forte épaisseur.
- ✓ Coffrages plus légers ;

- ✓ Les pièces de béton léger sont aussi plus faciles à manipuler et à déplacer, en raison de leur relative légèreté (transport possible de pièces plus grandes).

Avantages Economiques :

- ✓ Une augmentation de la productivité sur le chantier en raison du faible poids du matériau (9).
- ✓ Le béton léger, par sa légèreté, réduit le poids mort des bâtiments, ce qui réduit considérablement la dimension, donc le poids, des fondations (9).
- ✓ Economie sur le ferrailage des éléments .
- ✓ Le plus faible volume de béton utilisé, il est aussi possible d'économiser sur les quantités de ciment par rapport au béton ordinaire .

les inconvénient :

- ✓ Le prix est plus élevé à cause de l'utilisation de granulats légers, malaxage du béton plus long.
- ✓ La mise en place est délicate car le béton est plus sensible.
- ✓ Il est difficile de le mettre en place avec une pompe à béton.
- ✓ Le module d'élasticité E est inférieur à celui du béton normal.

1.2.2. LE BETON CELLULAIRE :

Il s'agit de mortiers : le mortier est en général constitué d'un mélange de ciment et d'un granulat fin (sable naturel ou artificiel de granulats léger ou additionne à ce mortier gâche fluide.

- Soit une matière génératrice de gaz en présence de ciment (l'hydrofuge) comme la poudre d'aluminium ce qui donne en béton de gaz.



Ce procédé est utilisé en préfabrication.

- Soit par un produit moussant à base de certains savons en cours de malaxage une infinité des petites billes apparaisse , ce qui donne un béton mousse .

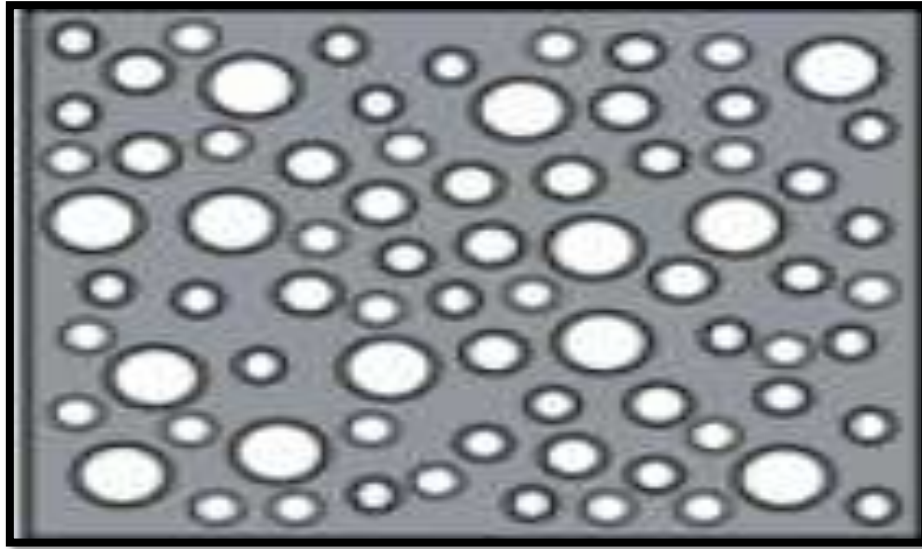


Figure 1. 13 :Béton cellulaire.[4]

Densité	Conductivité thermique	Résistance à la compression	
Varie suivant les compositions de 0,4 à 1,2 t/m ³ .	Leur conductivité thermique varie de 0,16 w/m/C° et 0,4 w/m/C°	Est D'envirion 0,5 à 1 MPa pour La masse volumique de 400 Kg/m ³	5 à6MPa pour une masse volumique de 1200kg/m ³

Tableau 1.1 :les propriétés des bétons cellulaires .[12]

1.2.3. LE BETON CAVERNEUX :

Ce sont des bétons obtenus par un mélange de ciment et des granulats sans sable ,ou très peu de sable avec une quantité d'eau de gâchage minimale ,ce sont des bétons de densité assez faible (1.6 à 1.8 t /m³) avec des graviers courant et de (0.7 à 1 t/m³) avec d'argile expanse . Leur résistance mécanique est médiocre (3 à 7MPa) .

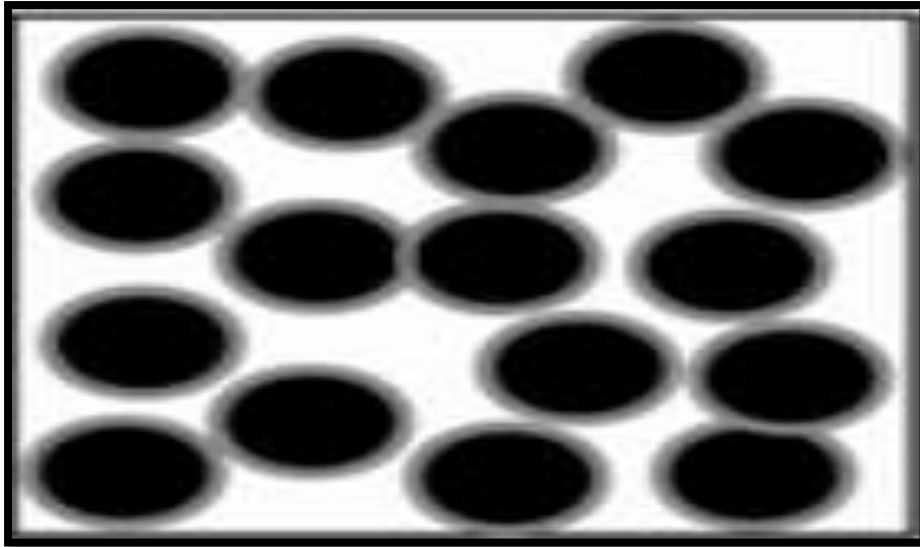


Figure 1. 14 : Béton caverneux[4]

➤ **Utilisations :**

Ils sont utilisés dans le cas où la résistance n'est pas recherchée, c'est le cas :

- Des murs en béton banché.
- Des bétons de remplissage.
- L'aspect extérieur de ce béton nécessite l'application d'un enduit.
- L'application d'un enduit.

1.3. CLASSIFICATION DE BETON LEGER :

Le béton léger est produit selon des clauses appropriées à **la norme EN 206-1** Béton « Spécification, performances, production et conformité » qui est la nouvelle référence au niveau européen. Cette norme s'applique à tous les bétons et spécifie notamment pour le béton léger:

- La classe de résistance à la pression.
- La classe de densité.
- La classe d'exposition.

1.3.1. Classe de résistance à la compression :

La résistance à la pression pour le béton léger comme pour les autres bétons, est une classification duelle comportant la force caractéristique exigée pour un cylindre suivie de la force caractéristique exigée pour un cube de 150 mm de côté. Le rapport entre ces valeurs est différent de celui des bétons de poids normal, et donc pour signifier que le béton léger est indiqué, la classe de résistance à la pression est précédée par L. Quand tous les types d'agrégats légers sont considérés, il y a une grande variation dans le rapport entre les résistances des cylindres et des cubes. Le tableau 2 donne un rapport sûr entre la résistance de référence du cylindre et celle du cube.

Concrete		Bétons lourds et masse volumique normale	Bétons légers non caveux	Light Concrete	
Résistance caractéristique à la compression à 28 jours sur éprouvette cubique				Résistance caractéristique à la compression à 28 jours sur éprouvette cubique	
C 25 / 30		C 8/10	LC 8/9	LC 8 / 10	
Résistance caractéristique à la compression à 28 jours sur éprouvette cylindrique		C 12/15	LC 12/13	Résistance caractéristique à la compression à 28 jours sur éprouvette cylindrique	
		C 16/20	LC 16/18		
		C 20/25	LC 20/22		
		C 25/30	LC 25/28		
		C 30/37	LC 30/33		
		C 35/45	LC 35/38		
		C 40/50	LC 40/44		
		C 45/55	LC 45/50		
		C 50/60	LC 50/55		
		C 55/67	LC 55/60		
		C 60/75	LC 60/66		
		C 70/85	LC 70/77		
		C 80/85	LC 80/88		
		C 90/105			
		C 100/115			

Tableau 1 . 2 :Classe de résistance pour le béton normal et léger. [10]

1.3.2. Classe de densité :

La classe de densité est basée sur la densité obtenue après séchage au four (toute l'eau ne servant pas à l'hydratation du ciment a été évaporée), néanmoins la densité qui sera utilisée pour le calcul de conception devra être plus haute que celle obtenue en essai de séchage au four. Pour cela des conseils à propos des densités pour la conception interne et externe devront être recherchés au près des fabricants. Pour le contrôle de production les classes de densité devront être liées à une gamme de densités humides fraîches. Il n'y a aucun rapport général entre la densité et les classes de résistances pour différents types d'agrégats légers.[13]

Density class	Range of oven-dry densities, kg/m ³
LC 1.0	≥ 800 and ≤ 1000
LC 1.2	> 1000 and ≤ 1200
LC 1.4	> 1200 and ≤ 1400
LC 1.6	> 1400 and ≤ 1600
LC 1.8	> 1600 and ≤ 1800
LC 2.0	> 1800 and ≤ 2000

Tableau 1.3 : Classe de densité pour le béton léger.[10]

1.3.3. Classe d'exposition :

Selon la classe d'exposition choisie pour l'ouvrage, une classe de résistance reprise dans le tableau 4 est conseillée pour respecter une durabilité suffisante. Alternativement, choisissez une classe plus élevée de résistance à la pression basée sur les considérations structurales.

Exposure class	Minimum compressive strength class
X 0	LC 8/9
XC 1	LC 20/22
XC 2	LC 25/28
XC 3 or 4	LC 30/33
XF 1	LC 30/33
XF 2	LC 25/28
XF 3	LC 25/28
XF 4	LC 30/33

Tableau 1.4 : Classe de résistance minimum recommandée pour les différentes classes d'expositions.[10]

1.4. PROPRIETES PHYSICO MECANQUES ET THERMIQUES DES BETONS A GRANULATS LEGERES :

Chaque propriété des granulats légers peut avoir une influence sur les caractéristiques du béton frais ou du béton durci.

Le choix du type de granulat léger doit prendre en considération chaque Propriété des granulats.

Les propriétés spécifiques des granulats pouvant avoir une influence sur les caractéristiques du béton sont :

➤ Les propriétés mécaniques :

Parmi les propriétés mécaniques, on retrouve la résistance à la compression, à la flexion et à la traction. Ces propriétés sont des paramètres secondaires dans la conception

d'un béton ultra- léger puisque leur importance est relativement mineure pour ce type de béton. Toutefois, on ne peut les négliger puisque tous les bétons, peu importe l'application, nécessitent un minimum de résistance mécanique [11].

➤ **L'isolation thermique :**

L'une des caractéristiques les plus importantes des bétons légers est leur pouvoir isolant. Cette propriété est caractérisée par des paramètres thermo physiques qui sont : la conductivité thermique λ ($\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$), la chaleur spécifique c ($\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$), la diffusivité thermique a (m^2/s) et l'effusivité thermique b ($\text{J.m}^{-2}.\text{s}^{-1/2}.\text{K}^{-1}$).

➤ **Resistance au feu :**

Lorsqu'un élément en béton est soumis au feu, il se produit un nombre restreint de phénomènes qui peuvent conduire à sa ruine :

- L'éclatement ponctuel ou plus ou moins généralisé.
- L'affaiblissement progressif des caractéristiques mécaniques.

➤ **Coefficient de poisson :**

Les nombreux essais de module d'élasticité des bétons légers ont aussi concerné les mesures de déformation dans la direction perpendiculaire à celle de l'effort appliqué, l'étude de ces essais indique que le coefficient de poisson pour le béton légers est à peu près le même que celui du béton normal. Etant donné que cette propriété secondaire peut varier de 0.17 à 0.23 selon le béton considéré, on peut prendre en général une valeur de 0.2 pour les bétons du calcul pratique

1.5. CONCLUSION

Sous l'appellation "Béton léger" il existe une grande famille de matériaux très différents. D'un point de vue générale et simple, le béton léger est réalisé par diminution de la masse volumique par le remplacement d'une quantité de matériaux par de l'air. Ces vides d'air peuvent être incorporés à trois endroits :

- ✓ Dans les granulats.
- ✓ Dans la pâte de ciment.
- ✓ Entre les gros granulats par élimination de granulats fins.

Les caractéristiques des granulats et de la matrice jouent un rôle important sur la réponse mécanique du matériau. On remarque que le béton léger est très utile et son application est très large.



PARTIE I : CHAPITRE 2.
LES ISOLANTS THERMIQUES



2. INTRODUCTION

L'isolation d'un bâtiment a pour but de créer une différence thermique entre l'intérieur et l'extérieur, pour assurer le confort des habitants. Cette différenciation a pour conséquence une variation, d'une part de la température, mais aussi de la pression statique entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment. Ce changement amène inévitablement une migration de l'air. En saison hivernale, par exemple, l'air chaud et humide aura tendance à migrer vers l'extérieur. En traversant le mur, l'air se refroidit et condense sur la première surface froide rencontrée sur son chemin. Pour contrer ce phénomène, le pare-vapeur (empêchant l'humidité de traverser le mur) et le pare-air (limitant ou éliminant le mouvement d'air à travers le mur) ont été développés et sont largement utilisés par l'industrie. [14]

Les constructions sont exposées à la chaleur qui menace leur stabilité car elle fuit de plusieurs endroits tels que les murs, les plafonds, les fenêtres, les portes et les fuites à travers les ouvertures de ventilation naturelles, nous devons donc protéger les constructions avec une isolation thermique. Le polystyrène et le liège ont une propriété de résistance thermique, et dans ce chapitre, j'expliquerai leurs propriétés qui ont contribué à augmenter la résistance thermique et comment nous pouvons en bénéficier dans l'isolation thermique.

Isolation : On entend par isolation, la capacité à empêcher l'échange énergétique entre un corps et son environnement et cela dans différents domaines non isothermes ou liés aux gradients de température.

Isolant thermique : Un isolant thermique est un matériau qui permet de réduire le transfert de la chaleur ou du froid.

2.1. DEFINITION

C'est l'utilisation de matériaux qui possèdent des propriétés d'isolation thermique dans le bâtiment pour la réduire la quantité d'énergie consommée pour le chauffage et pour la climatisation durant toute l'année afin d'atteindre les conditions de confort et la protection de l'environnement, et Cela se fait via utilisées pour résister au transfert thermique, qui est inversement proportionnel à leur densité de sorte que plus leur densité est faible, plus leur résistance à la chaleur est grande.

Les granulats légers : c'est la technique la plus courante pour faire du béton (ou mortier) léger et isolant. On remplace tout ou une partie des granulats courants (granulats de type gravillons et sable) par des granulats légers. De nombreux granulats spéciaux sont utilisables pour réaliser des bétons ou mortier légers. Le choix du type de granulat dépend de la densité souhaitée.



Figure 2. 1: Répartition des déperditions thermiques dans une habitation.

2.1.1. AVANTAGES DE L'ISOLATION THERMIQUE

- ✓ L'isolation réduit les déperditions à travers les parois.
- ✓ Les besoins en chauffage sont diminués.
- ✓ En été, l'isolation fait barrière à la chaleur et au rayonnement solaire extérieur.
- ✓ Une bonne isolation supprime « l'effet paroi froide » en hiver. Les espaces à proximité des parois deviennent « utilisables ».
- ✓ À température égale, un bâtiment isolé offre un plus grand confort.
- ✓ L'isolation thermique contribue à améliorer l'isolation acoustique.

2.1.2. INCONVENIENTS DE L'ISOLATION THERMIQUE

- ✓ Augmente le coefficient d'occupation au sol sur le terrain.
- ✓ Modifie l'aspect de la maison (façades, toiture et ouvertures).

2.1.3. LES TYPES D'ISOLANTS

Un isolant est un matériau ou une composition de matériaux qui empêche les échanges d'énergie entre deux systèmes tels que les isolants thermiques.

✚ Les isolants traditionnels :

Ces isolants sont des matériaux utilisés depuis longtemps, on distingue :

- **Les isolants minéraux :** (Les laines minérales), Ils sont composés de matériaux recyclés et fabriqués à partir de fibres minérales liées entre elles par collage. Ces produits sont commercialisés sous forme de matelassés et panneaux.
- **Les isolants synthétiques :** Le polystyrène (expansé ou extrudé) et le polyuréthane. Ces matériaux sont défavorables, ils contiennent des substances qui peuvent appauvrir la couche d'ozone et émettent des gaz toxiques en cas de combustion. Ils se présentent sous forme de panneaux.
- **Les isolants d'origine végétale et animale :** Cette catégorie d'isolants sont généralement issus de sources renouvelables et un mode de production qui à une grande énergie. Il existe de nombreux isolants d'origine végétale (chanvre, lin, coton, paille ou laine de bois) ou (liège expansé), ou animale (laine de mouton, plumes de canard) plus ou moins utilisés dans l'isolation du bâtiment.

✚ Les nouveaux isolants :

Ce sont des isolants possédant d'excellentes propriétés thermiques très compétitifs par rapport à l'air immobile, en effet l'air immobile est susceptible d'être un isolant idéal si ce n'est un fluide capable de circuler dans la lame d'air. Il s'agit de panneaux isolants sous vide, dits PIV, et l'aérogel de silice.

2.2. PLYSTYRENE EXPANSE

2.2.1. Introduction

Les billes de polystyrène sont obtenues par expansion de billes pleines. L'expansion est arrêtée lorsque la granulométrie souhaitée est atteinte. Elles sont parfaitement sphériques, La coupe d'une bille révèle une structure alvéolaire et une enveloppe constituée de deux membranes. Ceci explique d'une part son extrême légèreté et d'autre part sa totale imperméabilité à l'eau. En effet, des essais réalisés par Amura et Yamauchi ont montré que des billes de polystyrène immergées dans l'eau pendant un mois n'ont pas absorbé d'eau. Enfin, ces billes sont hydrophobes et présentent des charges électrostatiques en surface [15].

2.2.2. Définition :

Le **polystyrène expansé** est un isolant intérieur et extérieur, disposant de bonnes performances avec, notamment, un coefficient de **conductivité thermique** compris entre 0,030 et 0,038 W/m.K. Blanc ou gris, il offre un **très bon rapport qualité/prix**, étant moins cher à **performances thermiques** égales (un isolant PSE coûte environ 30 % que les autres isolants). Il est **hydrophobe** (grâce à ses cellules fermées, il n'absorbe que des quantités extrêmement faibles d'eau liquide et ne présente aucune aspiration capillaire) et offre une très bonne **résistance mécanique**. [16]



Figure 2.2 : Polystyrène expansé (PSE).

2.2.3. 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 [17] 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 extinguisibles, 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 [17]

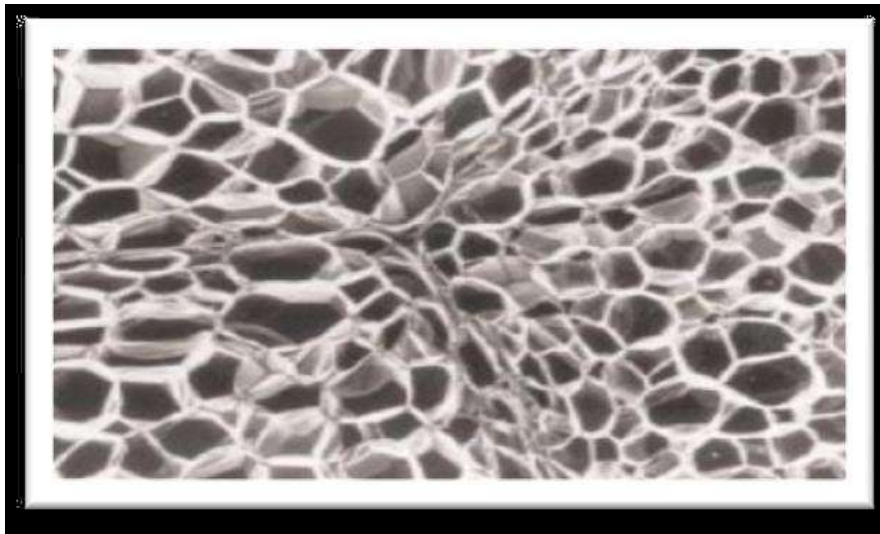


Figure 2. 3: La structure de polystyrène expansé. [15]

2.2.4. Les types de polystyrène expansé :

Il existe deux types de PSE : les polystyrènes expansés moulés (PSE-M) et les polystyrènes expansés extrudés (PSE-E).

Le PSE-M : est obtenu à partir d'un polystyrène "expansible" qui n'est rien d'autre qu'un polystyrène cristal auquel on a ajouté, en cours de polymérisation, un agent

D'expansion (pentane, Tébullition = 35°C). Une pré-expansion est opérée à la vapeur

D'eau puis une période de stabilisation permet aux perles de PS pré-expansées de

Perdre leur excédent d'eau. Enfin, dans un moule, on les expansé et on les moule à la vapeur.



Figure 2. 4 : Polystyrène expansé moulé (PSE-M).

Le PSE-E : est quant à lui obtenu lors de l'extrusion (mise en forme à la chaleur) par Injection sous pression d'un gaz dans le polymère cristal fondu. De par ses Caractéristiques que lui confèrent ses 98% d'air, le PSE s'est imposé dans la Formulation du béton léger comme granulat extra léger (la masse volumique).

Les billes de polystyrène offrent une masse volumique apparente comprise entre 10 et 50 kg/

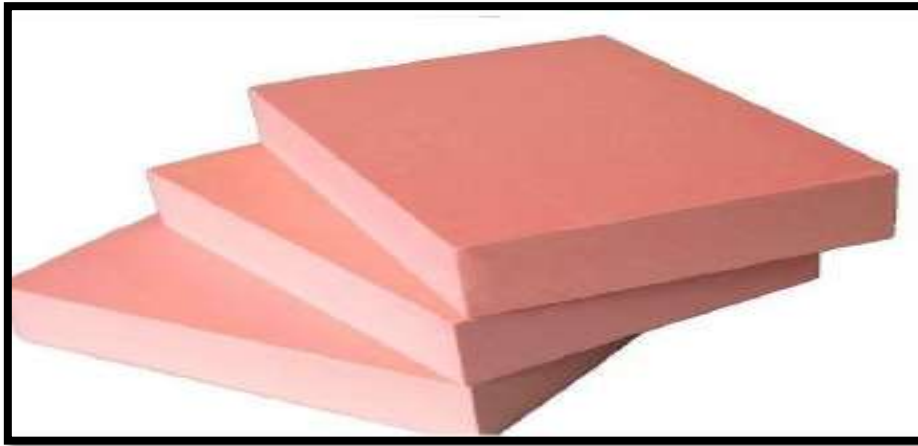


Figure 2. 5: Polystyrène expansé extrudé (PSE-X).

2.2.5. Fabrication de polystyrène expansé :

Les étapes suivantes :

➤ **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.

2.2.6. 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.

2.2.7. Les avantages :

- ✓ 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.

2.2.8. Les Inconvénients :

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

- ✓ les panneaux de PSE sont parfois insuffisants et doivent donc être accompagnés 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.

2.3. LIEGE EXPANSE

2.3.1. Introduction :

Breveté en 1891, le liège expansé est obtenu à partir du liège vierge brut. Il convient de souligner que la production du liège expansé ne nécessite un liège de bonne qualité, les chutes et les déchets du liège provenant d'autres applications peuvent être exploités. Dans ce processus, les grains du liège préalablement broyés s'agglomèrent à haute température pour former des blocs sans nécessiter d'y ajouter de résine. En effet, l'agglomération est assurée avec la subérine, une substance dont le liège vierge est considérablement riche. Ainsi le produit fini, illustré sur est un matériau totalement naturel 100%.

Couramment utilisé pour l'isolation sous forme de panneau de liège isolant (ICB). Nous fournissons des panneaux de liège expansé dans une gamme d'épaisseurs allant de 10 mm à 300 mm ainsi que des granules de liège expansé dans une gamme de différentes tailles de granules. Le liège expansé est fabriqué de la planète, étant donné qu'il est effectivement

négalif en carbone car les arbres ne sont pas coupés pour le produire (seule l'écorce est enlevé, qui repousse tous les neuf ans). [18]

2.3.2. Définition :

Le liège expansé est utilisé pour l'isolation thermique et acoustique.

Grâce à ses propriétés intrinsèques (imputrescible, hydrofuge, 100% naturel...) le liège est le matériau idéal en terme d'isolation.



Figure 2.6 : Vue macoscopique du liège expansé.

2.3.3. Composition :

- ✓ Matériaux 100% naturel, extrait de forêts gérées durablement.
- ✓ Sans additifs, aggloméré par la propre résine du liège sous l'action de la vapeur et de la pression.
- ✓ Renouvelable, recyclable, réutilisable.
- ✓ Composition chimique du liège:

45% subérine, 27% lignine, 12% cellulose et polysaccharides, 6% tanins, 5% cires, 5% cendres et autres composants.

- ✓ Gaz enfermé dans les cellules identique à l'air sans dioxyde de carbone.

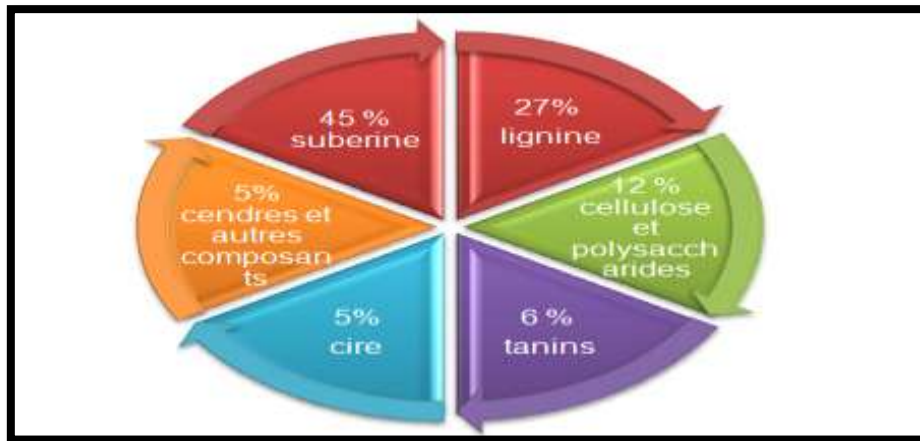


Figure 2.7 :Composition du liège expansé.

2.3.4. Processus de production

La production du liège expansé est un processus qui comprend plusieurs étapes énumérées et décrites dans ce qui suit. [19]

➤ Stockage du liège vierge :

Les camions chargés de liège vierge brut sont pesés à l'entrée de l'usine puis sont dirigés vers leurs lieux de stockage (Figure). Le liège déposé subit d'abord une action de triage. Ainsi, le liège de bonne qualité ira directement à la bouchonnerie tandis que l'autre liège, appelé rebut, sera destiné à la fabrication de l'aggloméré expansé. [19]



Figure 2. 8: Espace de dépôt du liège.[19]

➤ **Trituration et sélection densimétrique**

Le liège est concassé dans un déchiqueteur comportant des mailles de 45 mm au produit calibré de 4 à 50 mm. Un transport pneumatique, avec séparation densimétrique en tête éliminant en majeure partie, les pierres et la terre, achemine ce premier granulé sur deux broyeurs à marteaux après passage sur un tambour magnétique retenant les parties métalliques. Les deux transporteurs pneumatiques portent ensuite les granulés vers deux tamiseurs -séparateurs où s'effectue un calibrage en trois catégories [19]

- Le bon produit d'un calibre compris entre 4 et 20 mm,
- Les poussières d'un calibre inférieur à 4 mm,
- Les gros d'un calibre supérieur à 20 mm.

Les gros sont réceptionnés à la sortie des séparateurs par les goulottes et envoyés sur des broyeurs à couteaux équipés de grilles calibrées donnant des granulés entre 4 à 20 mm, puis repris par transports pneumatiques et redistribué sur deux autres tamiseurs-séparateurs.

A la sortie des quatre séparateurs, le bon produit (granulé de 4 à 20 mm) est récolté par deux vis sans fin qui, à travers une goulotte et une écluse, alimentent le transport pneumatique de distribution aux quatre silos de stockage. [19]

➤ **Séchage**

Le séchage des granulés humides provenant des quatre silos de stockage est réalisé dans un sécheur rotatif. Le séchage s'effectuant à une température maximum de 125 °C. Il n'y a pas de risque à laisser le liège plus ou moins longtemps dans l'appareil. [19]



Figure 2. 9: Sécheur rotatif.[19]

➤ **Chauffage biomasse des fours**

Chaque ligne d'autoclaves est alimentée par une benne basculante à déplacement télécommandé. La cuisson du liège s'effectue dans des autoclaves cuiseurs, permettant l'obtention de blocs de (1020×520×320) mm³ d'une capacité de 0.19 m³ disposés en deux rangées de cinq appareils, par le passage de vapeur surchauffée à la température de 375°C et une pression de 0.75 kg .cm⁻². [19]



Figure 2. 10: Les autoclaves.[19]

Il est à noter que l'agglomération, contrairement à la ré-agglomération, s'effectue sans incorporation de corps étrangers (colles, eau) il s'agit d'une auto-agglomération à partir des résines naturelles présentes dans les granulés de liège. [19]



Figure 2. 11: Résine naturelle présente dans le liège.[19]

➤ **Refroidissement**

La fonction de la machine à refroidir est double pour réceptionner les deux linges de cuiseurs. Chaque compartiment fonctionne indépendamment du compartiment voisin. Lorsque le bloc est introduit dans la machine, deux contacts déclenchent le cycle de refroidissement. L'eau introduite dans le bloc à travers les aiguilles est sous pression à la température de 150°C environ afin de se vaporiser rapidement et de laisser les blocs le moins humide possible, ce qui permet de passer de 300°C à 100°C environ. Après une temporisation réglable, la vanne d'eau se referme, les plateaux s'écartent et le bloc est éjecté par le suivant sur le tapis transporteur. [19]

A ce niveau, les blocs subissent un deuxième refroidissement mais cette fois-ci par simple jet à l'eau froide, enfin les blocs sont entreposés dans un hangar pendant 24 à 48 heures pour obtenir un refroidissement total. [10]



Figure 2.12 : Blocs du liège mouillé pour refroidissement.[19]

➤ **Débitage et ponçage**

Le débitage des blocs est semi-automatique. Ils sont découpés en plaques par deux scies alternatives à lames horizontales. Les plaques peuvent avoir des épaisseurs différentes réglables, jusqu'à 20 mm minimum suivant les commandes du client. Les plaques étant sciées horizontalement, il est donc nécessaire de procéder à un dépoussiérage doublé d'un ponçage par brossage. [19]



Figure 2. 13: Sciage et brossage.[19]

➤ Emballage et stockage

La production du liège expansé étant achevée, les plaques finies sont emballées puis empilées. Il est enfin lieu de procéder au stockage du produit fini dans des entrepôts aménagés à cet effet avant son expédition. [19]



Figure 2.14 : Stockage des plaques du liège expansé.[19]

2.3.5. Avantages :

- Mise en œuvre facile .
- Ne se tasse pas dans le temps.
- Déphasage thermique .
- 100% naturel .
- Certificat ACERMI N° 03/049/270 .
- Conforme à la Norme AFNOR NF B 57-054 .

2.3.6. Domaine d'application :

- Isolant Thermo-acoustique dans une habitation .
- Isolant thermique par l'extérieur .
- Isolant sous plancher chauffant .
- Isolant Thermo-acoustique sous parquet cloué .
- Isolant anti-vibratile .



PARTIE I : CHAPITRE 3.
ARCHÉOLOGIE DES
MORTIERS



3. INTRODUCTION

La colle ou les mortiers comme en appelant les professionnels c'est une matière qui assure la liaison entre les différents éléments et le matériau le plus fréquemment utilisé dans le domaine de la construction.

Il est l'un des matériaux de construction les plus anciens C'est plus vieux que le béton. Il a notamment permis à de nombreuses civilisations de construire des structures imposantes à partir de petits composants faciles à manipuler. Des traces de mortier, remontant à environ 10 000 ans, ont d'ailleurs été découvertes en Palestine (Jéricho) ; Encore aujourd'hui, ce matériau est utilisé dans de nombreux projets de construction. Voilà pourquoi il constitue toujours un sujet d'actualité. D'ailleurs, il est légitime de se demander : « qu'est-ce que le mortier et quelles sont ses différentes sortes et utilités? » [21].

Maintenant la construction est généralement réalisée par éléments, dont il faut assurer la liaison ou qu'il faut protéger par un revêtement. On doit alors 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 : liant (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. Le mortier est un mélange de liant – chaux ou ciment –, de sable, d'eau et éventuellement d'adjuvants.

3.1 HISTOIRE DES MORTIERS

Pendant la préhistoire et au début de l'antiquité - époque assyrienne et babylonienne -, on utilisait de la terre argileuse comme liant pour maçonner les pierres. Le plâtre est le plus ancien liant cuit qui ait été trouvé, pour la réalisation des mortiers ou enduits en architecture. Les plus vieilles traces de son utilisation remontent à environ 7 000 ans avant J.-C., sur le site de Catal-Uyuk en Anatolie (Turquie). Lors de la construction des pyramides, les Égyptiens utilisèrent un plâtre obtenu par cuisson d'un gypse. Il était utilisé pour lubrifier l'assise des grosses pierres qu'on déplaçait avant de les mettre en place. Toutefois, ces matériaux n'étaient pas très efficaces en présence d'humidité élevée et d'eau. C'est aux environs de 4 000 ans avant J.-C. que les anciens découvrirent que la pierre calcaire, lorsque brûlée et combinée à de l'eau, produisait un matériau qui durcissait avec le temps. Le début de l'utilisation de la chaux dans les mortiers est vague, mais il a été avéré que les murs de la ville de Jéricho bâtis en briques de terre crue, étaient enduits à la chaux. On sait que les grecs (c'est à Chypre qu'apparaît, hérité d'Asie, au VIIIe-VIIe siècle, le liant de chaux), puis les romains, utilisaient couramment la chaux dans les mortiers. Vitruvius, un architecte romain, donnait les grandes lignes pour la préparation des mortiers de chaux : « Lorsqu'elle est éteinte (la chaux), laissez-la se mélanger avec du sable de manière à ce qu'il y ait trois parties de sable de carrière pour une partie de chaux ; dans le cas de sable provenant de rivières ou de l'océan, deux parties de sable pour une partie de chaux. On obtient ainsi la bonne proportion pour le mélange. » [22]

Les mortiers contenant uniquement de la chaux et du sable nécessitent du dioxyde de carbone contenu dans l'air pour se convertir et reprendre la forme de pierre calcaire et durcir. Ils durcissent lentement et ne prennent pas sous l'eau. [22]

○ L'Opus Caementitium

À partir du I^{er} siècle av. J.-C., les romains améliorent la technique du mortier et créent les premiers mortiers hydrauliques **l'Opus Caementitium** :

Ils ajoutent à la chaux, du sable et de l'argile, ainsi que des matériaux pulvérulents (cendre volcanique, pouzzolane ou testa : sorte de brique ou de tuile d'argile kaolinite, cuite entre 600 et 900 C). Ces mortiers étaient destinés à des applications où la présence d'eau ne permettait pas une carbonatation adéquate du mortier. Les grands bains romains datant environ de l'an 27 avant J.C., le Panthéon, ce fantastique temple surmonté de la plus grande coupole maçonnée au monde, le Colisée et l'énorme basilique de Constantin, sont parmi les premières œuvres architecturales romaines recourant au mortier de béton. [22]

Cet âge d'or du mortier va se terminer en occident avec les invasions barbares. Repris dans les constructions Byzantines, ce « ciment romain » va être utilisé à peu près jusqu'au XVII^e siècle, mais avec des fortunes très diverses : le savoir faire des romains se perdant au fil des siècles, la qualité des mortiers médiévaux est très médiocre et l'amélioration de la stabilité et de la complexité des bâtiments sera désormais due aux progrès de l'architecture et de la stéréotomie ou art de la taille des pierres. [22]

○ La redécouverte

Les progrès les plus importants dans l'utilisation des pouzzolanes dans les mortiers sont survenus au cours du XVIII^e siècle. On a alors découvert qu'en brûlant de la pierre calcaire contenant des argiles, on produisant un produit hydraulique. En 1756, James Smeaton a peut-être mis au point le premier produit de chaux hydraulique en calcinant de la pierre calcaire Blue Lias contenant de l'argile. On ajoutait également de la terre pouzzolanique d'Italie pour donner plus de résistance. Ce mélange de mortier a servi à construire le phare Eddystone. Ce bâtiment tiendra alors 126 ans avant qu'il soit nécessaire de le remplacer. [22]

D'autres ont poursuivi des recherches sur le ciment entre 1756 et 1830, comme Joseph Parker en Angleterre qui brevète un produit appelé ciment naturel, ainsi que Louis Vicat et Léon Lesage en France. L'année 1817 est historique. Cette date constitue le point de départ de ce qui peut être considéré comme le renouveau de l'industrie de la construction. En ce début de XIX^e siècle, Louis Vicat (1786-1861) en élaborant sa théorie de l'hydraulicité fut le premier à déterminer de manière précise les proportions de calcaire et de silice nécessaires à l'obtention d'un mélange qui, après cuisson à une température donnée et broyage, donne naissance à un liant hydraulique industrialisable : le ciment artificiel. [22]

Joseph Aspidine, un constructeur/maçon anglais, breveté en 1824 un matériau appelé ciment portland. Le ciment portland est fait d'un mélange de pierre calcaire, d'argile et d'autres minéraux dans des proportions bien contrôlées, qui sont ensuite calcinés et broyés en fines particules. La consistance et les niveaux élevés de résistance du ciment portland lui permettent de remplacer les ciments naturels dans les mortiers. Par lui-même, le ciment portland a une mauvaise maniabilité, mais combiné à la chaux, il offre un excellent équilibre de résistance et de maniabilité. L'ajout du ciment portland aux mortiers de chaux accélère la vitesse du processus de construction des édifices de maçonnerie grâce à l'obtention plus rapide d'une résistance. [22]

En France, la première usine de ciment est créée en 1846 à Boulogne-sur-Mer bien que les premiers ciments (prompts) aient été fabriqués dès 1823 à Pouilly, en Côte-d'Or, puis plus

tard à Vassy, dans l'Yonne, et à Port-de-France, dans l'Isère. Dans les années 1850, la résistance du ciment artificiel atteint environ 1/10e des ciments d'aujourd'hui mais dépasse déjà les performances de la chaux et des ciments prompts. [22]



Figure 3.1 : Le phare d'Eddyston. [23]



Figure 3.3 : Panthéon de Rome. [25]



Figure 3.2 : Colisée de Rome. [24]

3.2. DEFINITION DE MORTIER :

Est un mélange de liant et eau, sable ; est indispensable à presque tous les travaux de maçonnerie, notamment pour monter un ou de pierres, pour lequel il jouera le rôle essentiel de colle, permettant de solidariser les éléments entre eux. Il assure ainsi la cohésion et la bonne répartition des charges du mur. Lorsqu'il comble chacun des espaces entre les matériaux, il permet de réaliser des ensembles cohérents à la solidité variable selon le type de mortier employé.

Cependant, il peut aussi être utilisé comme enduit ou élément de scellement lors de contribuant à l'esthétique et à l'imperméabilité du mur de maçonnerie.

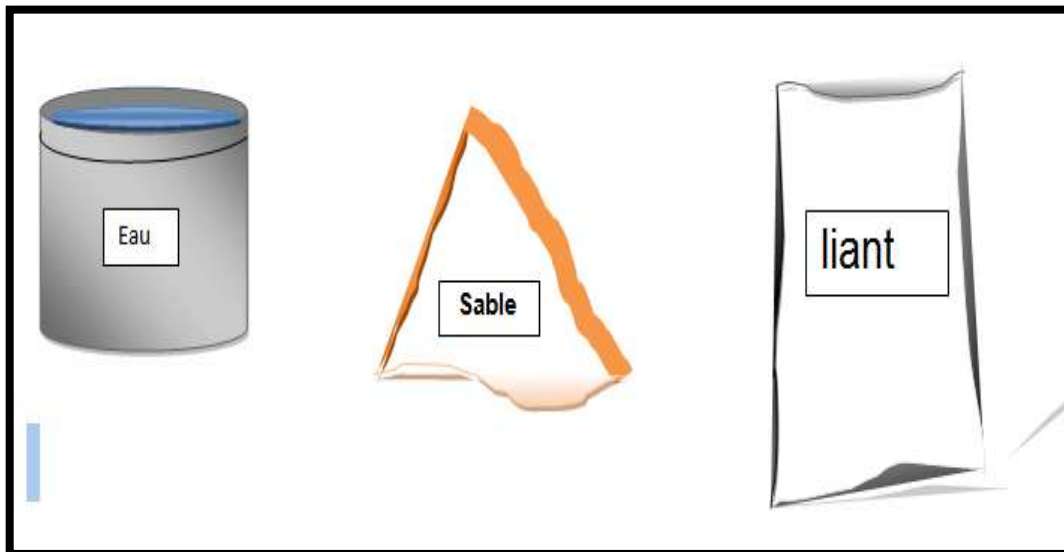


Figure 3.4 : La principale composition des mortiers de ciment.

3.3. COMPOSITION DES MORTIERS :

Le mortier se compose de granulat, de liant, d'eau et d'adjuvant.

3.3.1. Les granulats :

Sont des sables issus de rivières (sable rond) ou de carrières (sable angulaire). Le sable se compose de grains durs et arrondis ayant des calibres différents. Dans le cadre de la réalisation d'un mortier, le sable choisi est un mélange de divers sables. Le mélange obtenu doit être propre et ne doit contenir ni éléments végétaux ni autres particules nocives. Certains granulats sont dits « légers » : liège ou de polystyrène. [26]

Le choix du sable est important pour la qualité du béton et du mortier. Il doit être propre, non poreux et inaltérable à l'eau, à l'air et au gel.



Figure 3.5 :Le sable de carrière.



Figure 3.6 : Le sable de rivière.
[27]

On distingue trois granulométries de sable [28].

- **Sable fin** : de 0,1 à 0,2 mm. Il s'utilise pour les enduits fins.
- **Sable moyen** : de 0,2 à 0,4 mm. Il est employé pour les enduits et les mortiers fins, les mortiers pour joints et les couches de finition.
- **Sable gros** : jusqu'à 1,6 mm. Il convient pour les bétons et les mortiers lourds.

3.3.2. Les liants :

Sont constitués de ciments normalisés (ciment de Portland, ciment au laitier, ciment de haut-fourneau), de ciments spéciaux (ciment blanc, ciments à maçonner, etc.), de chaux hydraulique naturelle et de plâtre. [26]



Figure 3.7 : Ciment. [29]



Figure 3.8: Chaux hydraulique naturelle. [30]



Figure 3.9: Plâtre. [31]

❖ Le ciment

Le utilisé pour réaliser du béton et du mortier doit répondre à la **norme NF P 15-301** qui définit plus de **20 types de ciments**, répartis en trois classes de résistance : 32,5 R, 42,5 R et 52,5 R. Plus l'indice est élevé, plus le Pour les usages courants du bâtiment, on trouve les ciments usuels appelés **ciments "CEM"**. Cette dénomination est suivie d'un chiffre romain allant de I à V, qui indique la famille du liant, suivi d'une lettre majuscule A, B ou C qui indique la quantité, faible ou forte, de composants secondaires : calcaire (L), fumée de

silice (D), cendre volant siliceuse (V), laitier de haut-fourneau (S). Les lettres L (lent), N (normal) ou R (rapide) indiquent le temps de prise du béton.

Exemple : un ciment CEM I, appelé aussi ciment Portland, contient 95 % de clinker et 5 % de constituants secondaires au maximum. [28]

D'autres ciments plus spécifiques répondent à des exigences techniques :

- le **ciment à maçonner** (MC), qui s'utilise surtout pour la confection de mortiers ;
- le **ciment prompt** (CNP) à prise ultra-rapide, en quelques minutes;
- le **ciment fondu** (CA), à prise réglable et à durcissement rapide, utilisé pour des travaux urgents et des ouvrages exigeants une résistance élevée (conduits de cheminée, bétonnage par temps froid...).

❖ La chaux

On distingue trois types de :

- **La chaux aérienne éteinte** : [28]

-Elle durcit uniquement au contact de l'air.

-Elle est employée pour la restauration des enduits, des stucs ou des badigeons, des joints de maçonneries.

-On l'utilise aussi comme base de peinture à la chaux.

- **La chaux hydraulique naturelle (NHL)** : [28]

-Elle durcit rapidement au contact de l'eau puis progressivement au contact de l'air.

-Elle est classée selon 3 classes de résistance (NHL 2, NHL 3,5 ou NHL 5 MPa).

-Pure, elle convient parfaitement à la réalisation d'un enduit, des joints de pierres ainsi qu'en mortier de pose pour les travaux de couverture.

-L'appellation NHL, suivie de la lettre Z, signifie qu'il s'agit d'une chaux naturelle mélangée avec du ciment.

- **La chaux formulée** : [28]

-Elle est constituée d'un mélange de chaux hydraulique, de ciment haut performance et d'adjuvants.

-Elle permet la réalisation de mortiers de sable "bâtardés à l'ancienne", avec l'avantage d'un mélange homogène et régulier réalisé en usine.

3.3.3. L'eau de gâchage :

Utilisée doit être propre, sans débris ni huile. Elle a pour rôle d'assurer l'hydratation du ciment et de le rendre plus malléable. [26]

3.3.4. Les adjuvants :

Sont des produits chimiques ajoutés au mortier en faible quantité, afin de modifier ses propriétés. Ces additifs ont différentes fonctions : diminuer la teneur en eau afin d'augmenter son ouvrabilité, accélérer la prise afin de diminuer le temps de prise du mortier notamment en cas de gel, faire office de retardateurs de prise en cas de températures élevées et/ou d'entraîneurs d'air afin d'augmenter la résistance de l'ouvrage face au gel, d'hydrofuges qui améliorent l'imperméabilité du mortier, de colorants pour réaliser des travaux décoratifs.[4]

Les différents types d'adjuvant :

❖ Les plastifiants :

-Ils diminuent la quantité d'eau nécessaire à une bonne plasticité des bétons et des mortiers.

-Ils facilitent la mise en œuvre et améliorent l'imperméabilité.

❖ Les accélérateurs et les retardateurs :

-Les accélérateurs évitent les méfaits du gel pendant la prise.

-Les retardateurs augmentent le temps de prise des mortiers et bétons afin d'éviter le risque de raidissement. Ils sont recommandés pour les bétonnages par temps chaud.

❖ Les durcisseurs :

-Ils améliorent la résistance de surface des bétons, enduits et mortiers.

❖ Les hydrofuges de masse :

-Ils permettent de réduire la capillarité du béton.

-Et renforcent son étanchéité.

❖ Les entraîneurs d'air :

-Ces agents antigels protègent le béton œuvré à basse température.

❖ Les colorants :

-Ils teignent les mortiers et les bétons dans la masse (à utiliser avec du ciment blanc).

❖ Les fibres :

-Les fibres métalliques permettent d'accroître la résistance mécanique du béton et de limiter les fissures de retrait.

- Les fibres plastiques limitent le retrait de surface.

❖ Les produits de protection :

-Ils protègent bétons et mortiers frais contre une dessiccation (évaporation d'eau) trop

3.4. LES DIFFERENTS TYPES DE MORTIER :

Le mortier est généralement fait d'un mélange de quatre composants : le liant, les granulats, l'eau et les adjuvants. Cependant, la proportion des ingrédients vont varier en fonction de certains facteurs tels que l'environnement dans lequel il sera appliqué ainsi que les pierres ou briques à lier, ce qui a donné naissance à différents types de recettes.

3.4.1. Les mortiers de chaux :

Obtenus au moyen d'un mélange de sable et de chaux, sont flexibles, onctueux et perméables à la vapeur d'eau. Ils assurent la respiration des matériaux de construction naturels tels que la brique, la pierre ou la terre.

3.4.2. Les mortiers de ciment :

Offrent une grande résistance et durcissent rapidement.

3.4.3. Les mortiers bâtards

Sont obtenus à l'aide d'un mélange de sable, de chaux et de ciment. Ils sont le parfait équilibre entre le mortier de ciment et le mortier de chaux. Le dosage de la chaux et du ciment est fonction du résultat souhaité : si l'on veut un mortier souple, on ajoute davantage de chaux, alors que si veut renforcer la résistance mécanique, on chargera le mortier en ciment.

3.4.4. Les mortiers gras :

Sont plus denses et contiennent plus de liant, ce qui les rend quasiment imperméables.

3.4.5. Les mortiers maigres :

Sont plus chargés en sable qu'en ciment et sont légèrement perméables, mais ils sont moins résistants.

3.5. EMPLOIS DES MORTIERS :**➤ Les joints de maçonnerie :**

La construction réalisée en éléments maçonnés (blocs de béton, pierre de taille, briques), nécessite leur assemblage avec un mortier qui doit présenter des caractéristiques

mécaniques suffisantes pour assurer la transmission des charges et une compacité suffisante pour être étanche. On a généralement intérêt à utiliser des mortiers ne présentant pas un module d'élasticité trop élevé, de façon à pouvoir s'adapter aux variations dimensionnelles des éléments qu'il lie sans fissurer. Les mortiers de joints constituent donc un maillon important de la maçonnerie, qui doit être bien étudié et bien mis en œuvre pour assurer la fonction qui lui est dévolue. C'est notamment le cas de la maçonnerie apparente. La norme XP P 10-202 - 1 (DTU 20) « Maçonnerie, béton armé, plâtre » fournit des indications sur les dosages préconisés pour les mortiers de jointoiment, ainsi que les préconisations pour leur mise en œuvre. [32]



Figure 3.10 : Joint (maçonnerie).[33]

➤ **Les enduits :**

Ce domaine d'application constitue l'un des plus vastes débouchés des mortiers. À côté des enduits traditionnels en trois couches décrits dans la norme NF P 15-201-1et 2 (DTU 26.1), se développent aujourd'hui des enduits monocouches épais, ainsi que des enduits isolants. [32]



Figure 3.11 : Enduit traditionnel. [34]

➤ **Les chapes :**

Chapes ont pour fonction d'assurer la mise à niveau du dallage et la régularité de sa surface. Les chapes peuvent constituer la finition. Elles peuvent aussi constituer le

support d'un revêtement de sol. Les chapes doivent présenter une résistance suffisante pour assurer la transmission des charges au support, et parfois résister à l'abrasion ou au poinçonnement (sols industriels). Adhérente ou flottante, la chape peut également avoir une fonction thermique ou acoustique. Ces ouvrages sont décrits dans la norme P 14-201 « DTU 26.2. Travaux de bâtiment. Chapes et dalles à base de liants hydrauliques ». [32]



Figure 3.12 : Les chapes traditionnelles. [35]

➤ **Les scellements et les calages :**

La multiplicité des problèmes de scellement et de calage a conduit les producteurs de mortiers industriels à mettre au point des produits spécifiques adaptés aux travaux à réaliser : scellements d'éléments de couverture, d'éléments de second œuvre, de mobiliers urbains, de regards de visite et assemblage d'éléments préfabriqués... [32].



Figure 3.13: Scellement, calage de platine. [49]



PARTIE I : CHAPITRE 4.
COMPOSITION ET
PROPRIÉTÉS DU
MORTIER DE CIMENT



4. INTRODUCTION

Il existe différents types de ciment qui forme des mortiers pour des usages précis. [36] Où il est considéré ; Le mortier de ciment et de sable est à juste titre reconnu comme l'une des formulations les plus populaires et les plus recherchées pour la construction et la réparation. Ils sont très souvent utilisés pour différents travaux, et il peut s'agir non seulement de locaux résidentiels, mais également de locaux industriels. Ces solutions sont considérées comme faciles à utiliser et peuvent donc être achetées en toute sécurité, même par des artisans expérimentés. Maintenant, nous examinerons en détail les caractéristiques de l'utilisation de mélanges ciment-sable. [37]

Le mortier-ciment sert à assembler des éléments de construction entre eux. Le mortier-ciment est une poudre qui durcit au contact de l'eau pour devenir solide et résistante en séchant. [36]

Pour faire du béton et du mortier, il vous faut du ciment. Il existe différents types de ciment et des normes différentes adaptées à chaque ouvrage, à chaque environnement. Les normes les plus courantes sont représentées par les sigles CEM, I, II, III. Prenez donc soin de prendre le ciment qui sera adapté en lisant les informations sur le sac. Sinon, vous pouvez demander au vendeur spécialisé du rayon avant de choisir. Le sable est l'ingrédient suivant pour faire du mortier ou du béton. Le mieux est de prendre du sable fin, surtout pour le mortier utilisé comme enduit. Le rendu sera plus lisse et sans cassure. Dernier ingrédient commun, l'eau. Elle va vous permettre d'avoir une pâte sableuse facile à travailler et à couler.

4.1. DEFINITION DE MORTIER DE CIMENT

C'est le type de mortier traditionnel qui est obtenu par le mélange d'eau, de sable et enfin de ciment. Il peut être utilisé pour les travaux de maçonnerie aussi bien en intérieur qu'en extérieur.

Il a une meilleure résistance à la compression et une prise plus rapide que le mortier bâtard mais il est plus sujet au retrait que ce dernier. [38]

De manière générale, le mortier se dose comme suit :

- 1 volume de ciment
- 4 volumes de sable
- 0,5 volume d'eau

Soit, pour un sac de ciment de 50 kg, il faut ajouter et mélanger 200 kg de sable et 25 litres d'eau. [38]

Ces dosages sont à prendre en compte dans le cas où le sable est sec. Dans le cas où celui-ci est humide, il faut prendre en compte le foisonnement ou le gonflement du sable causé par l'humidification. Par conséquent, il faut ajouter plus ou moins 20% au volume du sable sec afin d'obtenir la quantité en sable humide. Pour être concret, 20 kg de sable sec équivaut à 24 kg de sable humide. [38]

4.2. COMPOSITIONS DE MORTIER DE CIMENT

4.2.1. CIMENT

4.2.1.1. Introduction de ciment :

Le ciment est un « liant hydraulique ». Par « liant », il est sous-entendu une matière susceptible d'en agglomérer d'autres. Le qualificatif « hydraulique » précise, d'une part, que ce liant durcit à froid par gâchage à l'eau, sans addition d'un autre corps réactif et, d'autre part, qu'il durcit, non seulement dans l'air, mais également dans l'eau. Notons au passage qu'un liant « pouzzolanique » a besoin d'une activation pour acquérir ce caractère d'hydraulicité. La substance qui va jouer le rôle d'activant est le plus souvent de la chaux (chaux ajoutée ou libérée par la réaction de prise d'un liant hydraulique). En d'autres termes, un liant pouzzolanique activé à la chaux ajoutée est un liant hydraulique. Mais aussi, un liant pouzzolanique, mélangé à un liant hydraulique, devient-il un liant hydraulique du fait de la chaux libérée par la réaction de prise du liant hydraulique. Mélangé à certains sols ou granulats, et en présence d'eau, le ciment crée progressivement une cohésion croissante au sein du mélange qui se traduit par l'obtention de matériaux rigides et durs à performances mécaniques élevées, compatibles avec les exigences souhaitées d'un matériau de construction. En fonction de la nature des constituants utilisés et de leurs proportions dans les mélanges réalisés, cette poudre magique qu'est le ciment permet la mise au point d'une grande variété de produits répondant ainsi aux besoins des concepteurs, des utilisateurs et des exploitants des ouvrages, ceci dans des domaines aussi divers que le bâtiment, les ouvrages d'art, le génie civil et les routes. À cet égard, on peut citer le béton (ou plutôt les bétons), matériau de construction le plus utilisé dans le monde, mais aussi tous les matériaux traités aux liants hydrauliques employés dans la construction des infrastructures de transport (routes, chaussées, terrassements, plate-forme industrielles ou aéroportuaires, etc.).[39]

4.2.1.2. Définition de ciment :

Le ciment est un matériau sous forme de poudre fabriqué à partir du clinker qui est obtenu par la combinaison chimique du calcaire et de l'argile. C'est un liant hydraulique, ce qui signifie qu'au contact de l'eau et par réaction chimique avec cette dernière, il se durcit pour devenir solide et résistant. [38]

En fonction de leur composition, on distingue cinq types de ciments :

Types de ciments	Classification européenne
Ciment portland artificiel	CEM I
Ciment portland composé	CEM II
Ciment de haut fourneau	CEM III
Ciment pouzzolanique	CEM IV
Ciment au laitier ou aux cendres	CEM V

Tableau 4.1: les types de ciment et la classification européenne.

Pour les travaux de maçonnerie, il est fortement conseillé d'utiliser le CEM II. [38]

4.2.1.3. Différents types de ciment :

2 sortes de ciment : naturel et artificiel

Il existe deux catégories de ciment, selon leur origine : [36]

- ciment naturel : il est issu principalement de la même roche,
- ciment artificiel : il est issu de mélange de roches dans des dosages précis.

4.2.1.4. Fabrication du ciment

Le ciment est fabriqué à partir de calcaire et d'argile : 80 % + 20 % respectivement. [5]

Le ciment est fabriqué (par voie sèche) selon le processus suivant :

- ✚ Extraction de matière première de la carrière ;
- ✚ Concassage primaire de la matière première ;
- ✚ Concassage secondaire de la matière première en taille plus petite ;

- ✚ Broyage de la matière concassée.
- ✚ Dosage et homogénéisation de la farine crue (matière broyée) ;
- ✚ Phase de préchauffage de la farine crue (et précalcination) à 850° C, puis la cuisson dans un four rotatif incliné à une température généralement de 1450° C. Le produit sortant du four s'appelle le clinker;
- ✚ Broyage du mélange : clinker + gypse (≈ 5%) + ajouts éventuels.
- ✚ Le produit fini (ciment) est prêt alors pour être expédié en sacs en vrac.

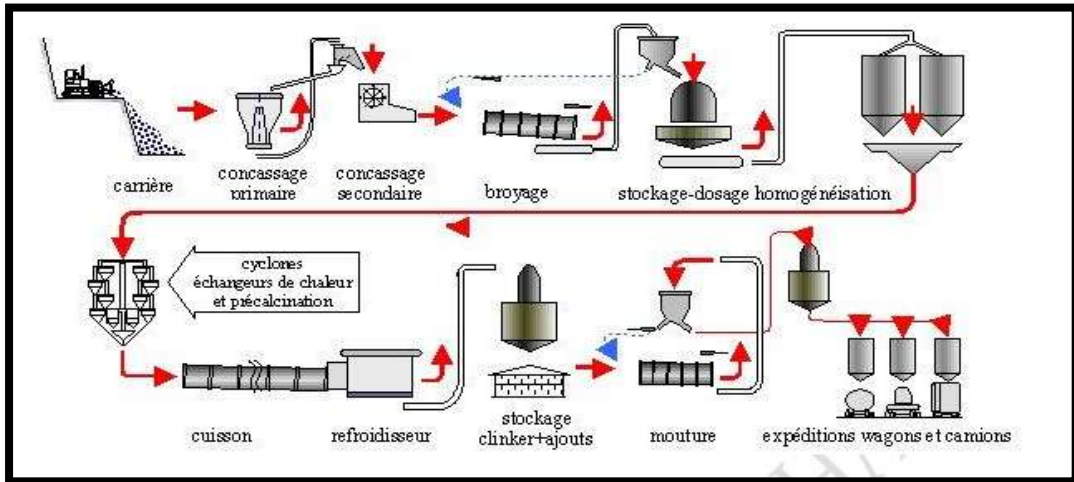


Figure 4.1 :Méthode de fabrication de ciment par voie sèche.[40]

Constituant ajouté		Effets principaux du constituant ajouté au clinker
S	Laitier granulé de haut fourneau	Diminue la réactivité à court terme. Diminue les retraites Montée en résistance moins rapide Adapté aux ouvrages en contact avec le sol
P	Pouzzolane naturelle	Diminue la réactivité à court terme et ses effets Complète l'hydratation en consommant la portlandite
Q	Pouzzolane calcinée	Diminue la réactivité à court terme et ses effets Complète l'hydratation en consommant la portlandite
V	Cendre volante siliceuse	Apporte une résistance complémentaire à long terme Améliore la durabilité en diminuant la perméabilité Améliore l'ouvrabilité. Teinte en noir le béton
W	Cendre volante calcique	Améliore l'ouvrabilité. Teinte en noir le béton
T	Schiste calciné	Diminue la réactivité à court terme et ses effets Complète l'hydratation en consommant la portlandite
L et LL	Calcaire broyé	Accélère la cinétique d'hydratation à très court terme (2 à 7 jours). Complète le squelette granulaire
M	Mélange de constituants	Associe les effets des différents constituants Diminue le prix du ciment. Couleur et propriétés variables

Tableau 4.2:Les principaux ajouts et leurs effets .[40]

4.2.1.5. Propriétés physico-mécaniques du ciment.

➤ **La prise**

Dès que le ciment anhydre a été mélangé avec de l'eau, l'hydratation commence et les propriétés de la pâte ainsi obtenue sont évolutives dans le temps. Tant que cette hydratation n'est pas trop avancée la pâte reste plus ou moins malléable, ce qui permet de lui faire épouser par moulage la forme désirée. Mais au bout d'un certain temps, les cristaux d'hydrates prenant de plus en plus d'importance, le mélange a changé de viscosité et se raidit, on dit qu'il fait prise. [40]

➤ **Le durcissement**

C'est la période qui suit la prise et pendant laquelle se poursuit l'hydratation du ciment. Sa durée se prolonge pendant des mois au cours desquels les résistances mécaniques continuent à augmenter. [40]

➤ **La finesse de mouture (surface spécifique de Blaine)**

Elle est caractérisée par la surface spécifique des grains de ciment, exprimée en (cm² /g). Dans les cas courants, elle est de l'ordre de 3000 à 3500 cm² /g. Plus la finesse de mouture est grande, plus la vitesse des réactions d'hydratation sont élevée et plus ces résistances mécaniques à un âge jeune sont grandes, par contre plus le ciment est sensible et plus le retrait est important. [40]

➤ **La résistance à la compression**

Les résistances mécaniques des ciments sont déterminées par les essais sur mortier dit "normal", à 28 jours d'âges en traction et en compression des éprouvettes 4 x 4 x 16 cm (figure 2). La résistance du mortier est alors considérée comme significative de la résistance du ciment. Elle dépend de la classe de ciment et est exprimée en MPa. Le mortier utilisé est réalisé conformément à la norme EN 196-1. Le sable utilisé est un sable appelé: "sable normalisé". Pour chaque type de ciment, il existe effectivement plusieurs classes de résistances pour lesquelles les fabricants garantissent des valeurs minimales et maximales. [40]

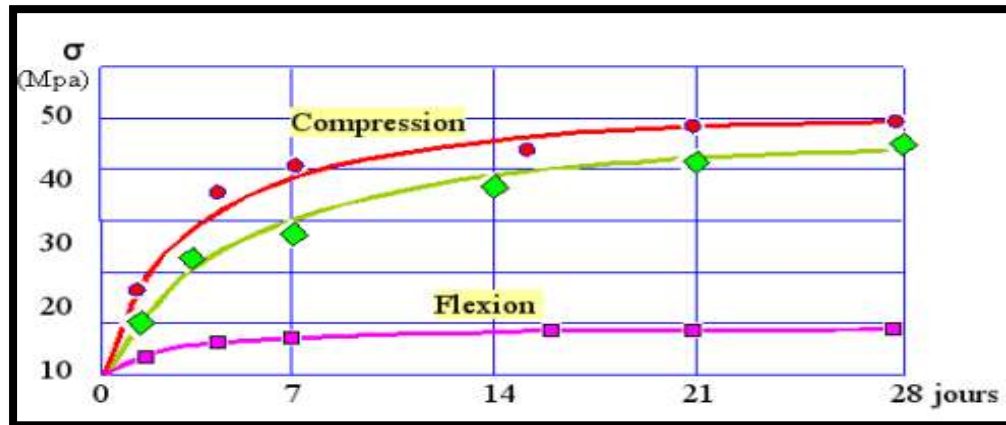


Figure 4.2 : Résistance mécanique du mortier normal. [5]

➤ **Remarque :**

Nous savons de ce qui précède que la résistance à la flexion représente en général 10% de la résistance à la compression, cependant, on remarque d'après la figure 4.2. que la résistance à la flexion en 28 jours est supérieure à 10% de la résistance à la compression.

4.2.2. SABLE

4.2.2.1. Introduction de sable :

Le sable, dans le domaine de la construction, avant d'être un matériau qu'on prend à la pelle ou à la truelle, fait l'objet de description et de prescriptions normatives. Pour la confection de mortiers, bétons et enduits, le sable est un granulat, qui doit être conforme à la norme NF EN 12620+A1 de juin 2008. Pour cette norme, le sable est une désignation des classes granulaires pour lesquelles D (dimension maximum) est inférieur ou égal à 4 mm. Le sable peut résulter de l'altération naturelle de roches massives ou meubles et/ou de leur concassage ou du traitement des granulats artificiels. Cette norme précise également les caractéristiques de granularité des sables ainsi que les valeurs maximales des teneurs en fines. La norme spécifie en outre que les caractéristiques chimiques, tels que la teneur en ions chlorure solubles dans l'eau, la teneur en ions chlorures solubles dans l'acide, la teneur en sulfates solubles dans l'acide et la teneur en soufre total doivent être déterminées suivant des méthodes normalisées. Ces teneurs doivent être déclarées par les producteurs. La norme NF P 18-545 de septembre 2011 : *Granulats, éléments de définition, conformité et codification*, si elle reste de rang inférieur aux normes européennes sur les produits, complète les modalités d'évaluation de la conformité définies dans les normes européennes consacrées aux produits et établit le lien entre ces normes et les spécifications auxquelles doivent répondre les granulats pour certains usages. C'est ainsi que dans cette norme, le sable sera considéré du point de vue de son usage en chaussée, en chaussée de béton de ciment et en assise de voie ferrée. Enfin, du point de vue géologique, c'est la norme NF EN 932-3 de Décembre 1996 qui spécifie la

procédure pour l'examen pétrographique des granulats d'origine naturelle, dont le sable. [41]

4.2.2.2. Définition de sable :

Le sable est constitué de petites particules provenant de la désagrégation de matériaux d'origine minérale (essentiellement des roches) ou organique , squelettes de , etc.) dont la dimension est comprise entre 0,063 mm (limon) et 2 mm (gravier) selon la définition des matériaux granulaires. Sa composition peut révéler jusqu'à 180 minéraux différents (quartz ; micas) ainsi que des débris calcaires .[42]

Le sable a de nombreuses applications, dont la principale est la fabrication du sable .

4.2.2.3. Les différents types de sable :

SABLE	DEFINITION	TYPE	QUALITES EXIGEEES	UTILISATION
NATUREL	C'est un produit provenant de la désagrégation naturelle de la pierre siliceuse (quartz) et/ou du silex (silicium) , Il se compose de grains meubles n'ayant aucune cohésion. [43]	<ul style="list-style-type: none"> • sable de rivière ou sable fluvial, • sable de carrière • sable de mer • sable de feuilles 	<ul style="list-style-type: none"> • Il ne peut pas contenir d'impuretés : il doit être exempt d'argile, de limons, d'humus, d'éléments végétaux et de toutes autres particules nocives. Le pourcentage d'impuretés ne peut excéder 3 %.[43] • La dimension et la composition des grains doivent être adaptées au travail : le sable est d'autant meilleur qu'il est composé de 	Le sable d'employé lors de la préparation des mortiers, du béton et du béton armé

			grains de dimension différentes ; les grains moyens bouchent les vides entre les plus gros et les très fins bouchent entre les moyens, on obtient ainsi une bonne consistance. [43]	
ARTIFICIEL	Le sable artificiel s'obtient en brayant mécaniquement de la pierre naturelle ou du laitier de haut fourneau, il	- Le poussier de pierre naturel - Le poussier de laitier - Le sable concassé - Le laitier granulé - Le laitier broyé	Les qualités exigées sont les mêmes que pour le sable naturel.[43]	pour sont les mêmes l'utilisation sauf pour le sable artificiel provenant du laitier, il faut prendre des précautions pour certaines applications afin d'éviter des influences nocives sur les liants.[43]

	est con stit ué de grai ns me ubl es n'ay ant auc une coh ésio n. [43]			
--	---	--	--	--

4.2.2.4. Propriétés physiques de sable :

➤ **Équivalent de sable : norme NF EN 933-8 :**

Cet essai, dont la norme a été révisée récemment (mars 2012), est utilisé pour contrôler la propreté des sables entrant dans la composition du béton. L'essai consiste à séparer les particules fines du sable, puis à laisser reposer l'échantillon.

On mesure ensuite [41] :

- la hauteur h1 = sable propre + éléments fins
- la hauteur h2 = sable propre.

L'équivalent de sable déduit s'écrit : $ES = (h2/h1)100$. [41]

➤ **Écoulement et friabilité :**

Il est à noter enfin que la norme NF EN 933-6 de septembre 2002 permet de mesurer le coefficient d'écoulement des sables et la norme P 18-576 de décembre 1990 permet, elle, de mesurer le coefficient de friabilité des sables. [41]

➤ **Le foisonnement du sable :**

Entre des particules sphériques, l'humidité prend la forme d'un film d'eau. Entre les particules, ce film crée un pont qui exerce une attraction entre elles. Si la quantité d'eau augmente, la taille du pont croît. Il semble alors que le sable gonfle : le foisonnement est donc la variation du volume apparent du sable en fonction de la teneur en eau. Ce phénomène est à prendre en compte dans les différentes utilisations des matériaux à venir. De même, le dosage des mortiers est généralement prévu à partir du sable sec, mais comme il est rare que le sable soit entreposé à l'abri, l'humidité variable du sable perturbe son dosage volumétrique ainsi que la teneur en eau du béton frais. Le DTU 26.1 : Travaux d'enduits de mortiers, traite, dans son annexe A du foisonnement des sables. [41]

4.2.3. L'EAU**4.2.3.1. Introduction de l'eau :**

Comme dit précédemment, l'eau sert à activer le liant. Bien dosée, l'eau, lors de la fabrication du mortier, est primordiale dans la mesure où un excès d'eau altérera la qualité du mortier. Dans le cas d'un excès, le mortier deviendra poreux, moins résistant, durcira plus lentement et enfin sera sujet au retrait. Ainsi, le rapport eau/ciment est extrêmement important. Il est également conseillé d'utiliser de l'eau propre et pure ainsi que d'humidifier un peu les éléments à maçonner en été afin de garder la qualité du mortier.[38]

4.2.3.2. Définition de l'eau :

L'eau de gâchage est un élément essentiel pour la fabrication du béton. Elle est ajoutée lors du mélange afin d'hydrater le ciment et permet de lier les constituants du béton entre eux.[44]

4.2.3.3. Le fonction de l'eau de gâchage :

L'eau de gâchage est un des principaux constituants du béton au même titre que les granulats et le ciment. [45]

- ✓ Hydratation du ciment .
- ✓ Plasticité et ouvrabilité du béton qui permet son moulage et sa mise en place.
- ✓ Cohésion du matériau durci.

4.2.3.4. Différentes types d'eau de gâchage :[45]

- ✓ Eau Potable provenant du réseau du service public,
- ✓ Eau d'origine souterraine,
- ✓ Eau naturelle de surface,
- ✓ Eau de rejets industriels,
- ✓ Eau de mer,
- ✓ Eau récupérée de la fabrication des bétons,
- ✓ Seule l'eau potable est toujours utilisable pour le gâchage des mortiers .

Les autres types d'eau doivent être soumis aux analyses et essais d'aptitude.



Figure 4.3 : Action des impuretés contenues dans l'eau de gachage sur le mortier .

4.3. LES PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DE MORTIER

La propriété la plus importante du mortier est son ouvrabilité.

On peut la définir comme la propriété du mortier à s'étaler à la truelle pour colmater toutes les fentes et fissures de l'élément de maçonnerie. En réalité, c'est une combinaison de plusieurs propriétés, comprenant la plasticité, la compacité et la cohérence. L'ouvrabilité ne se mesure pas avec précision en laboratoire mais le maçon peut l'évaluer en observant le comportement du mortier lorsqu'il l'étale avec sa truelle. Bien que la classe des granulats et la proportion des matériaux jouent un rôle important, c'est la teneur en eau qui détermine les valeurs finales du retrait et le maçon peut la contrôler à la mise en œuvre. La capacité d'un mortier à garder une certaine ouvrabilité sous l'influence de la succion des blocs dépend de son pouvoir de rétention d'eau mesuré lors d'essais en laboratoire. Une bonne ouvrabilité et un bon pouvoir de rétention d'eau sont essentiels à une qualité maximale du rejointoiement.

❖ A l'états frais :

➤ Consistance (Ouvrabilité)

La consistance ou l'ouvrabilité d'un mortier se mesure à l'aide de divers appareils. Les plus connus sont:

- **La table à secousses:**

Le mortier, après avoir été mis en place et démoulé d'un moule tronconique, reçoit 15 chocs en 15 secondes. On mesure le diamètre de la galette ainsi obtenue. L'étalement en % est donné par la formule: [46]

Avec D_r = diamètre final et D_i = diamètre initial

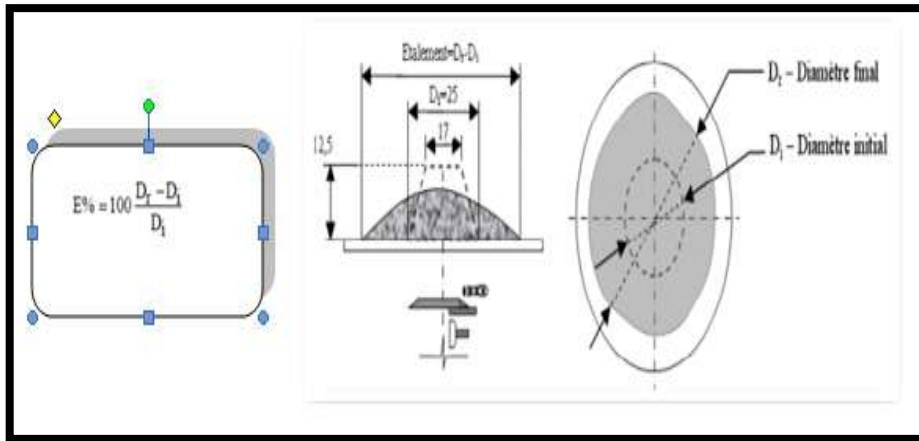


Figure 4.4 : Essai d'étalement sur table à secousse.

- **Le cône:**

Dans le cas d'un mortier fluide, on peut mesurer le temps d'écoulement d'une certaine quantité de mortier au travers d'un ajustage calibré situé à la partie inférieure du cône. Le cône peut aussi être muni d'un vibreur. [46]

- **Maniabilimètre (LCPC) :**

Dans ces essais, la mesure du mortier pour s'écouler sous l'effet d'une vibration. L'appareil utilisé est appelé maniabilimètre LCPC" et est schématisé sur la figure ci-dessous. Il consiste en un boîtier parallélépipédique métallique (supports en caoutchouc, équipé d'un vibreur et muni d'une cloison amovible. Principe de fonctionnement du maniabilimètre. [46]

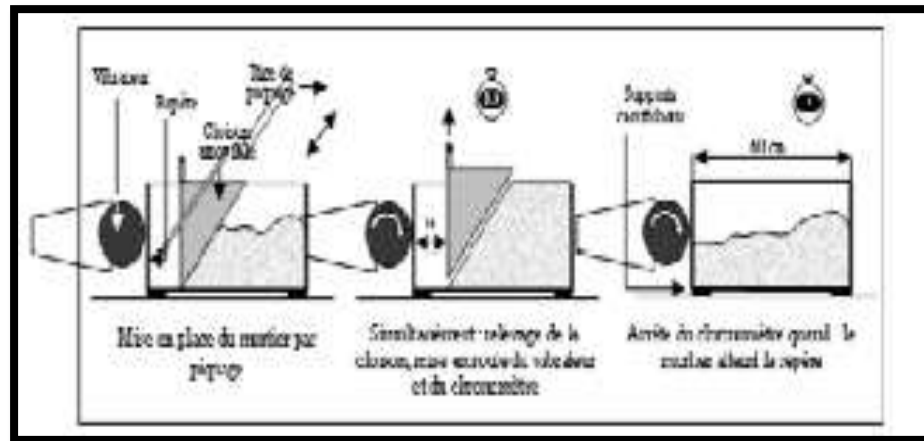


Figure 4.5 : Principe de fonctionnement du maniabilimètre LCPC.

➤ **Délais de prise :**

Le temps de prise se mesure habituellement sur une pâte pure de ciment de consistance normale (24 à 30% d'eau) et conformément à la norme concernée (à l'aide de l'appareil de Vicat). s'agit d'évaluer le retrait, ou le gonflement, que provoquent des éprouvettes de mortier normal, d'une éprouvette 4 x 4 x 16 cm, par rapport à sa longueur à un temps t. Une salle maintenue à une température de $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ et à une humidité relative supérieure ou égale à $50\% \pm 5\%$. Eventuellement deux bains d'eau dont la température est maint. [46]

❖ **A l'états durci :**

➤ **Le retrait :**

La maturation des matériaux cimentaires s'accompagne d'une réduction dimensionnelle ou retrait, même en l'absence de chargement. On distingue une composante exogène, due à des gradients hydriques ou thermiques régnant entre le matériau et le milieu environnant, et une Composante endogène générée par le matériau lui-même sans échange avec l'extérieur. [47]

➤ **Le gonflement :**

La pâte de ciment ou de mortier mûri continuellement dans l'eau après leur mise en place augmentent en volume et en masse. Ce gonflement est dû à l'absorption d'eau par le gel de ciment, Les molécules d'eau agissent contre les forces de cohésion et tendent à éloigner les particules du gel, créant ainsi une pression de gonflement. De plus, l'intrusion de l'eau réduit la tension de surface du gel, provoquant par la suite une petite expansion. [47]

4.4. Conclusion

Il a été montré dans ce chapitre trois sections principales: généralisées et définition nécessaires pour bien comprendre surtout le mortier de ciment, ensuite il a été présenté

les différents composants de ce matériau largement utilisé dans le domaine de la construction, finalement une présentation de leur propriété à l'état frais et durci a été donnée. Le mortier de ciment présente un délai de prise inférieure par rapport à celui dit bâtard, d'où l'intérêt majeur d'incorporer un type adéquat d'adjuvant pour des durées relativement importantes. L'évolution de la résistance en compression est étroitement liée au type de liant utilisé. La résistance en compression est largement supérieure à celle de la traction déduite de la flexion.



Partie II .Chapitre I :
*Matériaux et Méthodes
expérimentales*



1. Introduction :

Nous allons présenter dans ce chapitre en première étape les différents matériaux utilisés dans cette étude, le principe de chaque essai de caractérisation; ensuite nous décrirons d'une manière succincte la méthode de préparation de différents mélanges de mortier: témoin et substitué (10, 20, 30) %. La substitution consiste à remplacer une partie du sable utilisé par son équivalence volumique en granulats de liège expansé.

2. Matériaux d'étude:**2.1. Sable.**

Le sable utilisé dans cette étude est un sable alluvionnaire, de provenance de la région de Biskra. (Ouled Djellal).

2.2. Ciment.

Le ciment utilisé dans cette étude est de type **CEMI / 42.5** en provenance de la l'usine situé à La **Branis**, wilaya de **Biskra**.

2.3. Eau de gâchage.

l'eau de gâchage utilisé dans cette étude est celle du robinet disponible dans le laboratoire des essais des matériaux.

2.4. Liège expansé.

les granulats de liège utilisé dans cette étude sont en provenance d'une usine de fabrication de panneau d'isolation thermique, cette usine s'est située à proximité de la wilaya de Jijel.

3. Méthode utilisées

Nous allons présenter dans cette partie les différents essais effectués sur le composants cités ci dessus (Ciment, sable, liège expansé), ensuite, on décrit brièvement la méthode suivie pour préparer le mortier témoin et chargé. ,

3. Essais effectué sur le constituant du mortier.**3.1. Sable.**

Nous avons procédé par une caractérisation physique du sable en exécutons les essais suivant:

3.1.1. Mesure de la masse volumique:

La masse volumique apparentes et absolues du sable utilise ont été mesurées d'après la norme [NF P 18-554 ET 555] $\rho = m/v$

3.1.1.1. La Masse Volumique Apparente:

C'est la masse de l'unité de volume apparent du corps, c'est un dire celle du volume constitué par la matière du corps et les vides qu'elle contient.

Le principe de l'essai peut être résumé ci-dessous:

On remplit à l'aide d'un entonnoir un récipient dont on connaît le volume, avec prise des précautions d'éviter les phénomènes parasites provoqués par le tassement, à l'aide d'une règle droite on rase le surplus, puis on pèse l'échantillon en prenant soin de déduire la masse du récipient la masse de l'échantillon est divisée par le volume du récipient pour avoir la masse volumique apparente du matériau. Les unités significatives des masses volumiques sont le kg/m^3 ou t/m^3 .



Figure 5. 1 : Mesure de la masse volumique apparente .

3.1.1.2. La Masse Volumique absolue

C'est la masse de l'unité de volume absolu du corps, c'est un dire de la matière qui constitue le corps, sans tenir compte du volume des vides.

Le principe de l'essai peut être expliqué par les points mentionnés la section ci-dessous :

- Remplir l'éprouvette avec un volume ($V_1=400\text{ml}$) d'eau.
- Peser un échantillon sec ($m_s=300\text{g}$) comme le figure (a).
- Et l'introduire dans l'éprouvette en prenant soin d'éliminer toutes les bulles d'air.
- Le liquide monte dans l'éprouvette.
- Lire le niveau volume ($V_2=510\text{ml}$) comme le figure(b).



Figure 5.2: Mesure de la masse volumique absolue.

3.1.1.3 Equivalent du sable

Cet essai, utilise de manière courante pour évaluer la propreté des sables. l'essai consiste à séparer les particules fines contenus dans le sable des éléments sableux plus grossiers, conformément à la norme (NF P18-598) [Normes AFNOR].

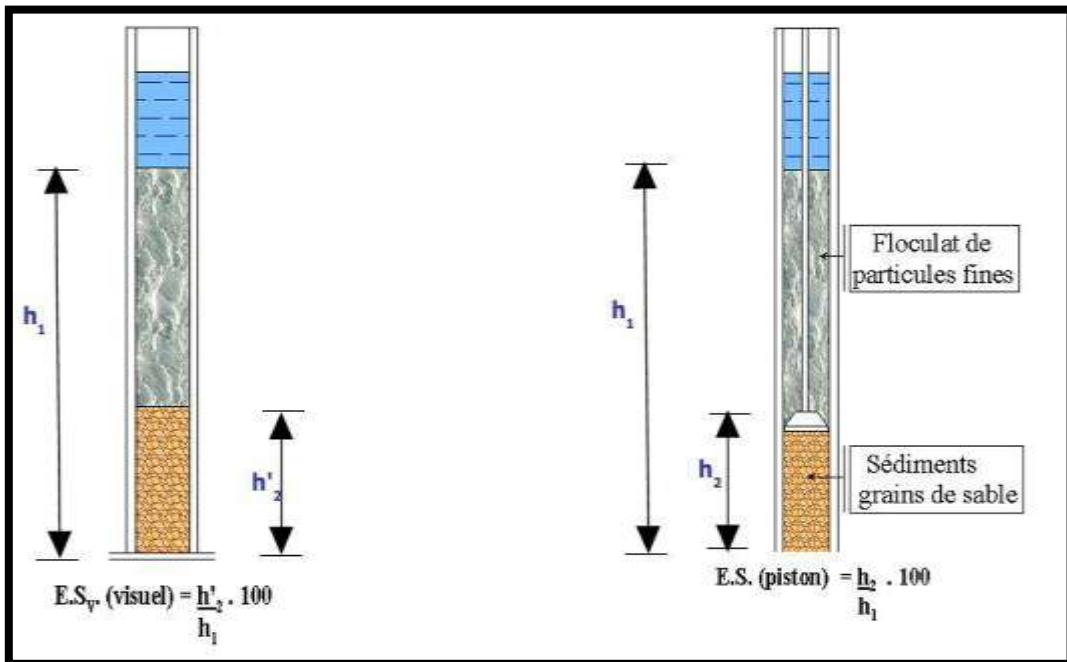


Figure 5. 3 : Représentation graphique de mesure de l'essai de l'équivalent du sable.

❖ Le principe de l'essai peu être résumé par les points suivants:

- L'essai se déroule sur un échantillon (sable) qui a été passé au tamis afin d'obtenir une fraction de 5 mm.
- L'éprouvette est remplie d'une solution flocculant normalisée.
- Puis, on verse environ 124.12 g du matériau sec .
- Après un petit intervalle d'attente, le mélange est soumis à 90 cycles de 20 cm d'amplitude en 30 secondes (norme).
- On laisse la solution se décanter .Le sable vrai se dépose dans le fond de la burette jus- qu'à un niveau $h_2 = 9.9$. Au-dessus du sable, se dépose le floccula gonflé par la solution .
- On distingue un deuxième niveau $h_1 = 15.9$ qui sépare le liquide contenant le flocculat du liquide transparent de solution lavant décantée.

La représentation graphique des étapes essentielles de l'essai est montrée dans les photos cidessous prises lors de l'exécution de l'essai

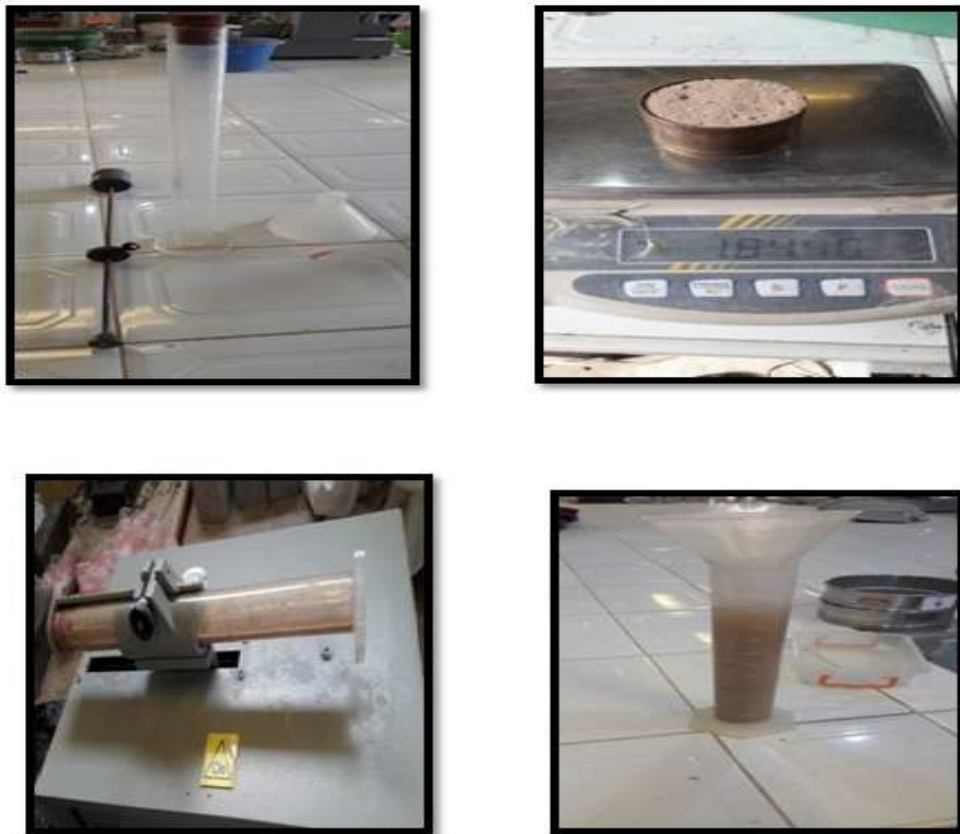


Figure 5.4. : Etapes essentielles de mesure de l'équivalent du sable.

3.1.1.4. Analyse granulométrique :

L'essai consiste à classer les différentes granulométrie du sable. les étapes essentielles de cet essai peuvent être résumé par les point ci-dessous:

Tout d'abord, nous préparons un échantillon de sable .

- Tamiser l'échantillon sur un tamis de 5 mm, dont nous pesons 2 kg, et c'est la quantité qui sera testée.
- Nous organisons les écrans du plus grand au plus petit
5/2.5/1.25/0.63/0.315/0.16/0.08
- Videz l'échantillon sur le tamis supérieur de 5 mm et fixez la série à la table vibrante et laissez-le pendant 12 minutes à une vitesse moyenne.
- À la fin de l'essai, les résultats obtenus seront contrôlés
- Nous pesons le reste sur chaque tamis et calculons les pourcentages refus et tamisas .
- Nous dessinons les courbes .



Figure 5. 5 : Exemple de série de tamis placée sur une Tamiseuse automatique

3.1.1.5 .Foisonnement de sable :

Les étapes principale de l'essai peuvent être résumé par les points suivants:

- Pesant 2000 g de sable sec, sa masse volumique a été déterminée, de manière connue ρ_0
- Ajouter 1% de l'eau, soit 20 g à 2000 g de sable sec et bien mélanger le mélange, puis régler à nouveau sa masse volumique ρ_1
- Ajout 1% d'eau, soit 20 g, au sable précédent, et prise ρ_2
Et ainsi de suite, avec des valeurs croissantes 5, 6,7;10, 15, 20, etc.

3.2. Ciment

Nous avons pu réaliser les essais suivants:

- Masse volumique apparente et absolue.
- consistance normalisée
- début et fin de prise
- surface spécifique (Blaine)

3.2.1. La Masse Volumique apparente:

On prend un récipient volume (1000 Cm³), puis remplir le récipient de ciment à l'aide d'un entonnoir, et d'araser le surplus, on fait peser la tare avec le ciment ainsi que déjà on est taré la masse de la tare seul, enfin on aura la masse de ciment et son volume avec le volume des vides qui occupe, puis la masse volumique st calculée par la relation : $\rho = m/v$.

3.2.2. La masse volumique absolue :

C'est le même principe utilisé précédemment (sable), la seule différence on utilise le toluène ou lieu de l'eau, afin d'éviter la réaction d'avec de ciment, par là le toluène va occuper tout le volume des vides sans réagir avec ciment.



Figure 5. 6. : Exemple de mesure de la masse volumique absolue du ciment.

3.2.3 Essai de Prise.

l'essai de prise a été effectué selon la norme NF EN196-3.

La représentation graphique de cet essai que nous avons exécuté, peut être montrée ci-dessous.



Figure 5. 7:Exemple de mesure de la consistance normalisée du ciment.

3.2.4. Consistance Normalisée:

L'essai de consistance normalisé du ciment a été réalisée selon la norme NF EN196-3.



Figure 5. 8 :Exemple de mesure de la prise du ciment.

3.2.5. Surface spécifique:

La mesure de la surface spécifique du ciment a été procédé selon les directives de la norme NF EN196-6.

3.3. Liège expansée :

A défaut de disponibilité d'équipement spécifique pour caractériser ce type de matériaux, nous avons utilisé l'équipement destiné pour caractériser les matériaux granulaires.

Les essais effectués sont:

- Masse volumique apparente et absolue
- Analyse granulométrique

3.3.1. La masse volumique :

La masse volumique apparentes et absolues des granulats de liège expansé utilise ont été mesurés d'après la norme [NF P 18-554 et 555].

3.3.1.1. La masse volumique absolue :

❖ Principe de l'essai :

- Une quantité d'eau =100 ml est préalablement versée dans un tube gradué sur laquelle on plonge une masse attachée à un fil et on mesure le volume V_1 .
- On enlève la masse et on introduit une quantité de granulats de liège =2.3 g.
- On remet ensuite la masse et on mesure le volume V_2 .



Photo5.9 : Echantillon de liège expansé.

3.3.1.2. La masse volumique apparente : Nous avonsez fait deux méthodes.

➤ **Première méthode :**

● **Principe de l'essai :**

On remplit a l'aide d'un entonnoir un récipient dont on connaît le volume, avec prise des précautions d'éviter les phénomènes parasites provoqués par le tassement, à l'aide d'une règle droite ont rasé le surplus, puis on pèse l'échantillon en prenant soin de déduire la masse du récipient la masse de l'échantillon est devisée par le volume du récipient pour avoir la masse volumique apparente du liège. Les unités significatives des masses volumiques son le kg/m³ ou a t/m³.

➤ **Deuxième méthode :**

● **Principe de l'essai :**

Dans la deuxième méthode, j'ai utilisé un volume de 200 ml, où j'ai pesé le pycnomètre vide, puis j'ai rempli le pycnomètre avec un liège pour jusqu'à 200 ml, puis j'ai retourné le poids du pycnomètre avec l'échantillon et pris le nouveau poids obtenu .

3.3.2. Analyse granulométrique :

L'essai consiste à classer les différentes granulométrie du liège expansé . les étapes essentielles de cet essai peuvent être résumé par les point ci-dessous:

Tout d'abord, nous préparons un échantillon de liège expansé.

- Les mêmes étapes de l'essai analyse granulométrique de sable.

4. Mortier

4.1. Préparation des éprouvettes 4x4x16 Cm³ (EN 196-1)

la figure 5.10 montre une vue macroscopique des éprouvette de mortier préparé au laboratoire de forme prismatique et de dimensions 4*4*16.



Figure 5. 10: Vue macroscopique des éprouvettes prismatiques du mortier.

4.1.1. Confection des éprouvettes de mortier témoin :

Les essais sont souvent effectués sur les éprouvettes prismatiques de $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$ conservés dans l'eau à $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Une chambre ou une armoire humide maintenue à une température de $20 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ et à une humidité relative supérieure à 90 %. Un malaxeur normalisé. Des moules normalisés permettant de réaliser 3 éprouvettes prismatiques de section carrée $4\text{cm} \times 4\text{cm}$ et de longueur 16cm (ces éprouvettes sont appelés **éprouvettes $4 \times 4 \times 16$**). Un appareil à chocs permettant d'appliquer 60 chocs aux moules en les faisant chuter d'une hauteur de $15\text{mm} \pm 0,3\text{mm}$ à la fréquence d'une chute par seconde pendant 60 s. Une machine d'essais de résistance à la flexion permettant d'appliquer des charges jusqu'à, 10KN avec une vitesse de mise en charge de $50 \text{ N/s} \pm 10\text{N/s}$. La machine doit être pourvue d'un dispositif de flexion. Une machine d'essais à la compression permettant d'appliquer des charges jusqu'à 150 KN (ou plus si les essais l'exigent) avec une vitesse de mise en charge de $2400 \text{ N/s} \pm 200 \text{ N/s}$. Cette machine est équipée d'un dispositif de compression. La norme EN 196-1 décrit de manière détaillée le mode opératoire concernant cet essai. Avec le mortier normal préparé comme indiqué dans la section 4.1.1.

On remplit un moule $4 \times 4 \times 16$. Le serrage du mortier dans ce moule est obtenu en introduisant le mortier en deux fois et en appliquant au moule 60 chocs à chaque fois. Après quoi le moule est arasé, recouvert d'une plaque de verre et entreposé dans la salle ou l'armoire humide. Entre 20 h et 24 h après le début du malaxage, ces éprouvettes sont démoulées et entreposées dans de l'eau à $20 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ jusqu'au moment de l'essai de rupture. Au jour prévu, les 3 éprouvettes sont rompues en flexion et en compression. Les normes ENV 197-1 et NFP 15-301 définissent les classes de résistance des ciments d'après leur résistance à 2 (ou 7 jours) et 28 jours. Ces âges sont donc impératifs pour vérifier la conformité d'un ciment. Si des essais sont réalisés à d'autres âges. [1]



Figure 5. 11: Moulage et démoulage des éprouvettes des mortiers.

Le tableau ci dessous résume les quantité nécessaires pour les mélange des mortier témoin et substitué (chargé en granulat de liège expansé).

Tableau 5. 11: Composition des mélanges de mortier pour 3 éprouvette 4*4*16 Cm³

Type de mortier	E / C	Ciment(g)	L'eau (ml)	Sable (g)	Liège expansé (ml)
MT	0.5	450	225	1350	0
ML (10%)	0.5	450	225	1215	86.54
ML (20%)	0.5	450	225	1080.11	173
ML (30%)	0.5	450	225	945	259.62

5. Mesures effectuées

5.1. A l'état frais

5.1.1. Essai d'étalement : (table à secousse)

La mesure de l'étalement a pour but de fournir un indice de la maniabilité du mélange. La maniabilité est une propriété intrinsèque du matériau frais. Elle détermine la facilité de sa mise en œuvre. Cette propriété peut affecter les caractéristiques mécaniques du matériau à l'état durci.



Figure 5.12 : Vue d'ensemble de l'appareil d'essai de l'étalement.

5.2. A l'état durci

5.2.1. Essai de compression :

Il est réalisé, sur des éprouvettes prismatiques de dimensions 40 x 40 x 160 mm³ mûries à l'eau. Les résultats de la résistance à la compression f_{cj} obtenus à 28 jours représentent la moyenne de trois échantillons. La machine utilisée pour l'écrasement est une presse hydraulique dont la capacité maximale est de 1500 KN en compression, le dispositif est représenté sur la photo ci- dessous.

La résistance mécanique en compression est déterminée par la formule ci-dessous:

$$\sigma_c = \frac{F}{S} \text{ (Mpa)}$$

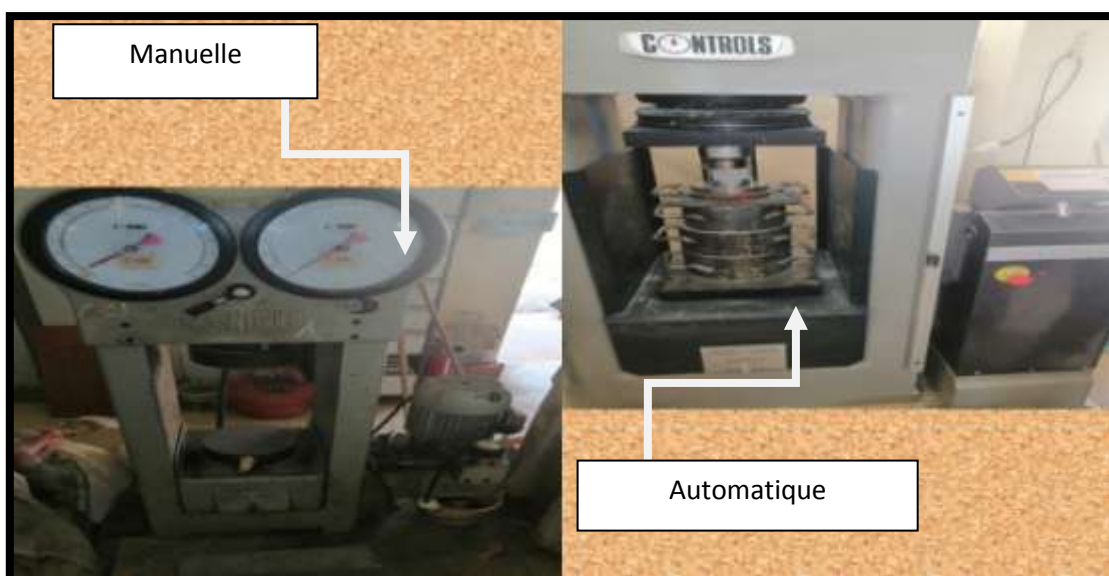


Figure 5.13: Vue latérale de la machine de compression.

5.2.2. Essai a la traction par flexion :

Il est réalisé, sur des éprouvettes prismatiques de 40 x 40 x 160 mm mûries à l'eau. La résistance à la traction obtenue à 28 jours provient de la moyenne des résultats sur trois échantillons. L'appareil utilisé est une presse hydraulique de flexion dont la capacité maximale est de 150 kN. .

La résistance en flexion est déterminée par la formule ci-dssous:

$$\sigma_f = 1.5 \times \frac{F.l}{b \cdot h^2} (\text{Mpa}) : L= 100 \text{ mm}, b=40\text{mm}, h=40 \text{ mm}$$



Figure 5. 14 : Vue latérale de La machine de flexion.

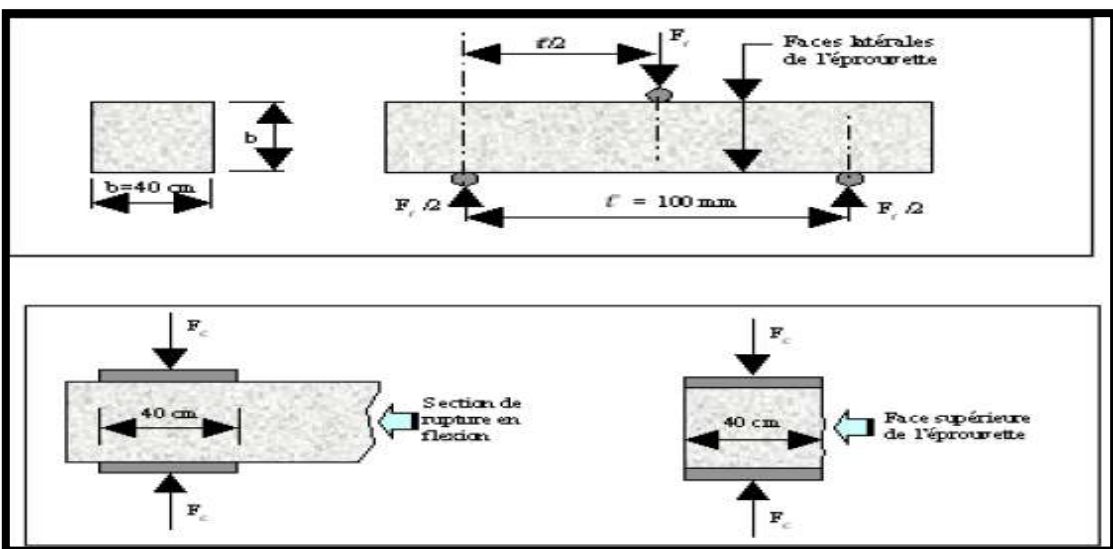


Figure 5. 15 : Schéma statique pour la mesure de la résistance à la compression et à la flexion. [48]

5.3. Conclusion

A défaut de disponibilité d'équipement adéquat, le manque d'un protocole universel de préparation des mélanges et de mesure de certaines propriétés, nous avons rencontré de difficultés pour certaines mesures expérimentales en l'occurrence: masse volumique du granulats de liège expansé ainsi que la préparation des éprouvettes 4*4*16 du mortier chargé.



Partie II. Chapitre 2 :
***PRESENTATION ET
ANALYSE DES RESULTATS***



1. INTRODUCTION

Dans ce chapitre, nous allons présenter et discuter les résultats obtenus à partir des essais de caractérisation physique, effectués sur les matériaux de cette étude (sable, ciment, liège expansé), ensuite nous présentons et analysons les résultats obtenus à partir des essais physique et mécanique effectués sur le mortier témoin et substitué.

2. Résultats et analyse de caractérisation physique des constituants.

2.1. Sable:

Les mesures effectuées sur la masse volumique sont enregistrées dans tableau 6.1 et 6.2:

Tableau 6.1. : Mesure de la masse volumique absolue du sable.

M (g)	V ₁ (ml)	V ₂ (ml)	ρ (g/cm ³)
300	400	510	2.72

Tableau 6.2. : Mesure de la masse volumique apparente du sable.

M ₁ (g)	M ₂ (ml)	V (ml)	ρ (g/cm ³)
299.9	1867.84	1000	1.56

Analyse des résultats de Mvabs et Mvapp. :

- La valeur moyenne de la masse volumique absolue est supérieure à celle de la masse volumique apparente, cela peut être expliqué par le volume de l'unité de masse qui est inférieure dans le cas de la mesure de la Mvabs.

Les résultats de l'essai de l'équivalent du sable étudié sont enregistrés dans le tableau 6.3 :

Tableau 6.3. : Mesures obtenues de l'essai de l'équivalent du sable.

	Avant lavage	Après lavage
M	133.05g	124.12g
h ₁	15.9cm	11cm
h ₂	9.9cm	8.2cm
h' ₂	9cm	8.5cm
Es	62.26%	74.54%

Esp	56.60%	77.27%
------------	--------	--------

Analyse des résultats du tableau 3 de l'essai d'équivalent du sable :

- Le lavage du sable a pu rendre le sable propre et convenable pour les travaux courants de la construction. En effet il a amélioré la valeur de l'équivalent du sable de 36.52% .

Les données enregistrées de l'analyse du sable lavé et non lavés sont rassemblées dans les tableaux **6.4** et **6.5**:

Tableau 6. 4 : Analyse granulométrique du sable non lavé.

Tamis en (mm)	Refus partiel en (g)	Refus partiel en (%)	Refus cumules en (%)	Tamisas cumules en (%)
5	1.96	0.098	0.098	99.902
2.5	256.37	12.818	12.916	87.084
1.25	165.65	8.38	21.296	78.704
0.63	338.66	16.933	38.229	61.771
0.315	795.76	39.788	78.017	21.983
0.160	319.16	15.958	93.975	6.025
0.08	99.80	4.99	98.965	1.035
Fond	20.73	1.0365	100	0

Tableau 6. 5 : Analyse granulométrique du sable lavé.

Tamis en (mm)	Refus partiel en (g)	Refus partiel en (%)	Refus cumules en (%)	Tamisas cumules en (%)
5	0.17	0.0085	0.0085	99.99
2.5	219.01	10.951	10.9595	89.04
1.25	168.38	8.419	19.3785	80.6215
0.63	237.29	11.865	31.2435	68.7565
0.315	603.5	30.175	61.4185	38.59
0.160	575.09	28.755	90.174	9.826
0.08	123.37	6.169	96.343	3.657
Fond	82.19	4.110	100.453	-0.453

Analyse des résultats des Tableaux 6.4 et 6.5 :

- Il semble que les impuretés peuvent influencer l'égerment la granulométrie du sable. En effet la valeur déterminée du module de finesse est égale à 2.44 pour un sable non lavé et est devenue 2.13. dans le cas du sable lavé. Cependant la classe granulométrique reste inchangée, il s'agit d'un sable de granulométrie moyenne.

La représentation graphique des données des tableaux ci dessus est montrée sur la figure ci dessous:

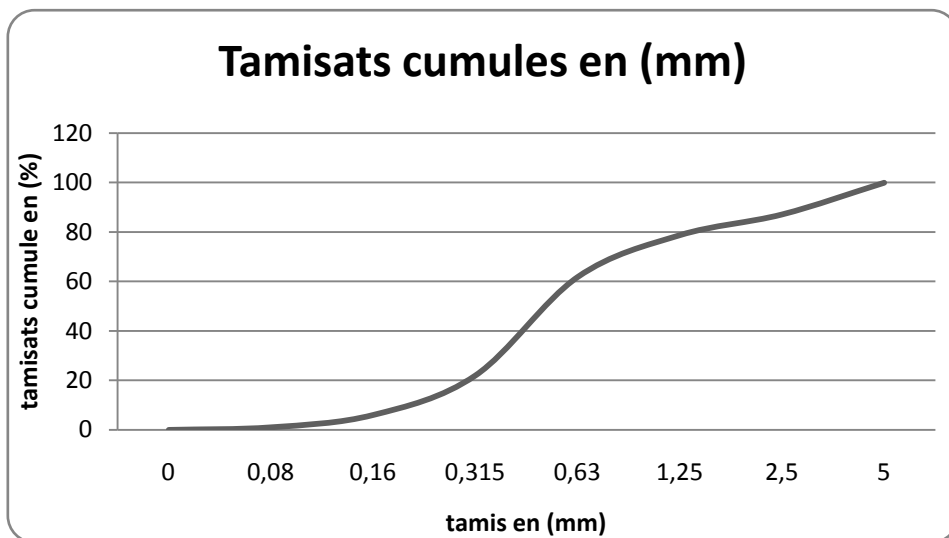


Figure 6.1 : Analyse granulométrique de sable non lavé.

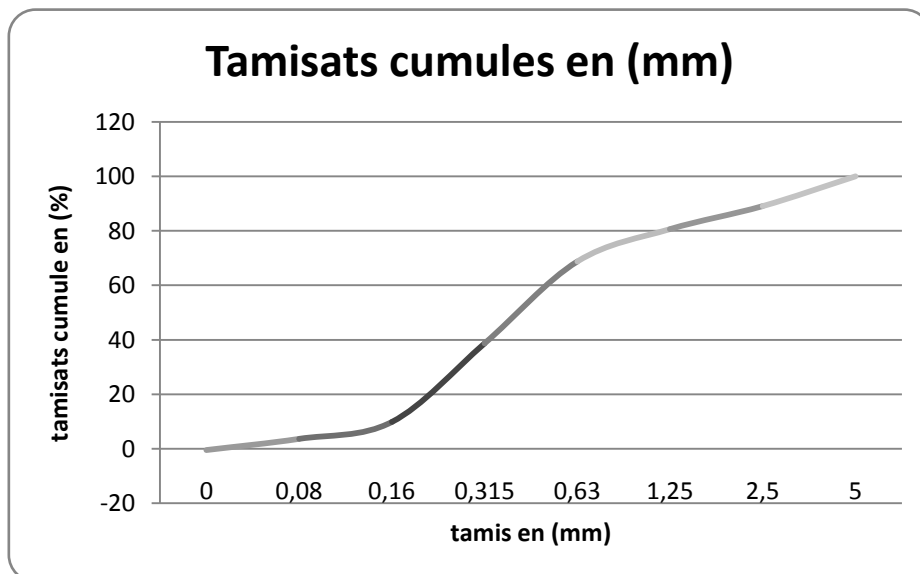


Figure. 6. 2 : Analyse granulométrique du sable lavé.

Les résultats obtenus de l'essai du foisonnement du sable sont indiqués le tableau 6.6:

Tableau 6. 6 : Mesures effectuées pour le foisonnement du sable:

Etape	W(%)	ρ (g /cm ³)	M(g)
0	0%	1.56	1568.35
1	1%	1.30	1601.6
2	2%	1.2	1470
3	3%	1.11	1415.3
4	4%	1.22	1526

Les résultats du tableau 6 peuvent être représentée par la figure suivante (figure 6. 3)

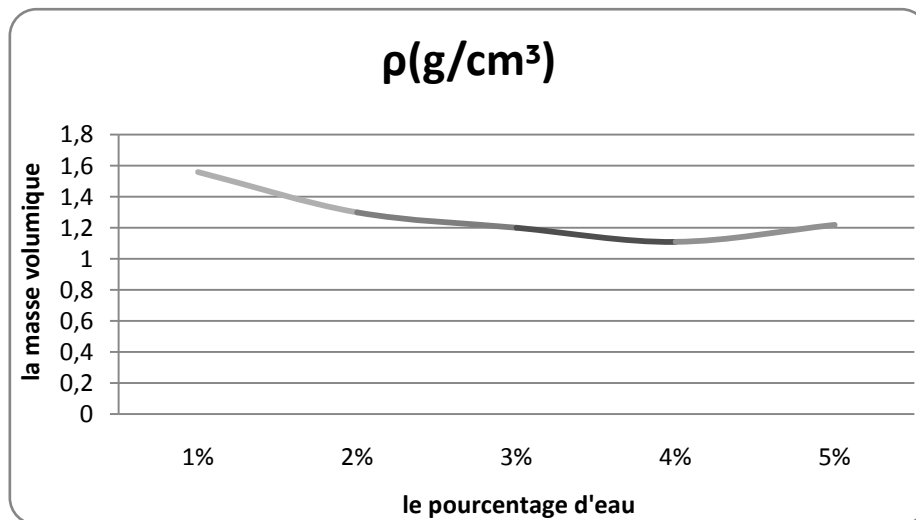


Figure 6. 3 : Foisonnement du sable.

Analyse des résultats de la figure 6.3 :

le foisonnement du sable est due à l'augmentation du volume du sable humide. Cette augmentation peut découler de la présence d'une pellicule d'eau entre les grains du sable humide. cette dernière développe des forces d'attraction inter-granulaire, et par conséquent, une augmentation du volume apparent du sable.

2.2. Ciment:

Les données enregistrées de la masse volumique apparente et absolue du ciment sont enregistrées dans les tableaux 6.7 :

Tableau 6.7 : Mesure de la masse volumique apparente.

M1 (g)	M2 (g)	V (ml)	ρ (g/Cm ³)
299.49	1316 .19	1000	1.01g/cm ²

Tableau 6.8: Mesure de la masse volumique absolue.

M1 (g)	M2 g)	M3 (g)	M4 (g)	M5 (g)	ρ (g/Cm ³)
59.71	159	132.65	25.55	151.72	3

M1 : la masse de pycnomètre vide.

M2 : La masse de pycnomètre avec l'eau.

M3 : La masse de pycnomètre avec le toluène.

M4 : La masse de ciment.

M5 : La masse de pycnomètre avec le toluène et ciment.

A défaut de disponibilité de l'équipement nécessaire pour L'analyse chimique du ciment, les données enregistrées dans le **tableau 6.9**, sont fournies par le laboratoire de la cimenterie de Labranis(NA 442-2013).

Tableau 6. 9 :Composition chimique du ciment utilisé **CEM I/42.5**

Elément	Teneur (%)
SiO ₂	19.5
Al ₂ O ₃	4.53
F ₂ O ₃	3.49
CaO	62.73
MgO	1.59
K ₂ O	0.64
Na ₂ O	0.22
SO ₃	2.61
CL	0.05
Perte au feu	2.5
Chaux libre	/
Résidus insolubles	0.5

Les propriétés physique du ciment utilisé sont rassemblées dans le **tableau 6.10** (fiche technique envoyé par la cimenterie).

Tableau 6. 10: Propriétés physique du ciment **CEMI/42.5**.

Nomination	CPJ-CEM I 42.5 R
Caractéristiques	
Masse volumique apparente (g/cm³)	1.1
Masse volumique absolue (g/cm³)	3
Surface spécifique (Balaine) (cm²/g)	3400
Temps de début de prise (min)	150
Temps de fin de prise (min)	220

L'évolution en fonction du temps de la résistance en compression du ciment utilisé peut être représentée numériquement dans le tableau 6.11.

Tableau 6. 11: Evolution de la résistance en compression du ciment CEMI/42.5

Jours	Resistance en compression Rc (MPA)
2	26
7	40
28	55

Analyse des résultats de ciment :

➤ Nous avons pu vérifier uniquement certaines propriétés physique du ciment: en effet les valeurs mesurées au laboratoire de la masse volumique apparente et absolue sont très proches de ceux mentionnées dan la fiche technique de la cimenterie. A défaut de disponibilité du sable normalisée et d'autres contraintes qui sont découlées de la conjoncture du covid19, nous n'avons pas pu vérifier l'évolution de la résistance du ciment CEMI/42.5 selon les normes en vigueur.

2.3. Liège expansé

➤ La masse volumique :

La masse volumique apparentes et absolues des granulats de liège expansé utilise ont été mesures d'après la norme [NF P 18-554 et 555].

- Masse volumique apparente (g/cm^3)=0.12.
- Masse volumique absolues (g/cm^3)=0.23.

➤ La masse volumique apparente :

➤ Première méthode :

Les résultats dans le tableau 6.12 :

M1(g)	M2(g)	V (ml)	ρ (g/cm^3)
299.04	436.33	1000	0.13

➤ Deuxième méthode :

Les résultats dans le tableau 6.13 :

M1(g)	M2(g)	V (ml)	ρ (g/cm^3)
125.36	164.13	200	0.19

Analyse granulométrique du liège

❖ Résultats :

Tamis en (mm)	Refus partiel en (g)	Refus partiel en (%)	Refus cumule en (%)	Tamisas cumule en (%)
5	0.78	0.26	0.26	99.74
2.5	36.56	12.19	12.45	87.55
1.25	90.87	30.29	42.74	57.26
0.63	108.3	36.1	78.84	21.16
0.315	27.24	9.08	87.92	12.08
0.160	18.98	6.33	94.25	5.75
0.08	9.07	3.02	97.27	2.73
Fond	2.98	0.99	98.26	1.74

Tableau 6.14 : Analyse granulométrique de liège expansé (MF= 3.16)

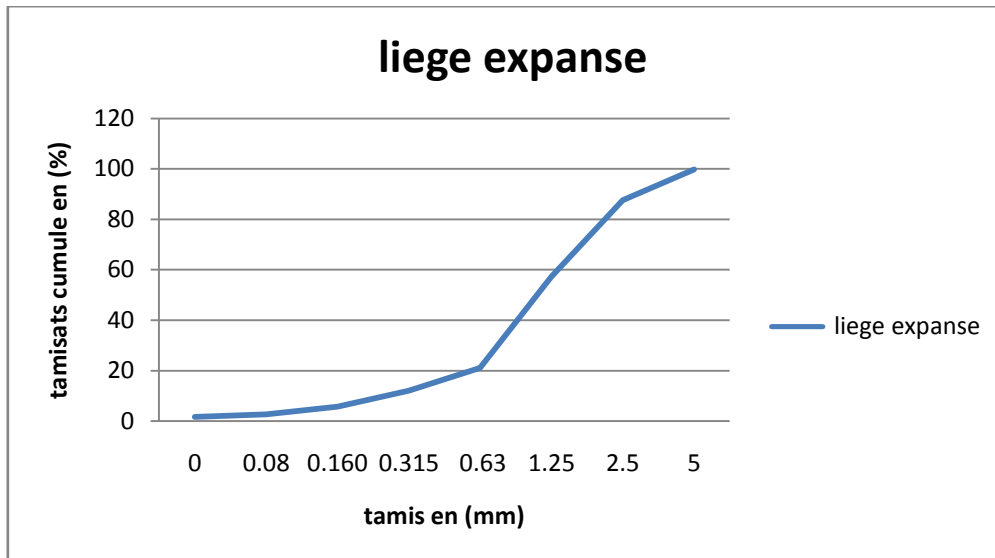


Figure 6.4 : Courbe d'analyse granulometrie de liege expande .

4. Résultats relatif au mortier

4.1.A l'état frais :

4.1.1. La maniabilité :

La maniabilité est une propriété intrinsèque du matériau frais. Elle détermine la facilité de sa mise en œuvre. Cette propriété peut affecter les caractéristiques mécaniques du matériau à l'état durci. Le besoin en eau du matériau frais, pour atteindre une maniabilité convenable, est très influencé par la texture superficielle, la porosité et la forme des granulats. Dans le cas des granulats légers notamment, la perte de maniabilité peut être due à une absorption plus ou moins importante d'eau en fonction de la porosité du granulat et de son degré de saturation.

Nous rappelons que le liège expansés sont totalement perméables à l'eau donc elles absorbent.

Nous allons présenter la rhéologie des mortiers à l'état frais qui a été mesurée par l'essai d'étalement pour les deux méthodes de formulation. Elle représente le premier indice obtenu lors des essais en laboratoire. Les résultats de l'essai de l'étalement sont rassemblés dans le tableau ci dessous.

Tableau 6. 15 :valeurs mesurées de l'étalement pour le mortier témoin et chargé.

Type de mortier	E/C	L'Eau(ml)	Ciment (g)	E étalement(%)
MT	0.5	225	450	26
ML(10%)	0.5	225	450	57
ML(20%)	0.5	225	450	46
ML(30%)	0.5	225	450	35

Tableau 6. 16: Classification des mortier en fonction de leurs étalements

Ouvrabilité	Etalement à la table (%)
-très ferme.	10-30
-ferme.	30-60
-normal.	60-80
-mou.	80-100
-très mou à liquide.	>100

La représentation graphique des données numérique de l'étalement est montrée sur la figure ci-dessous :

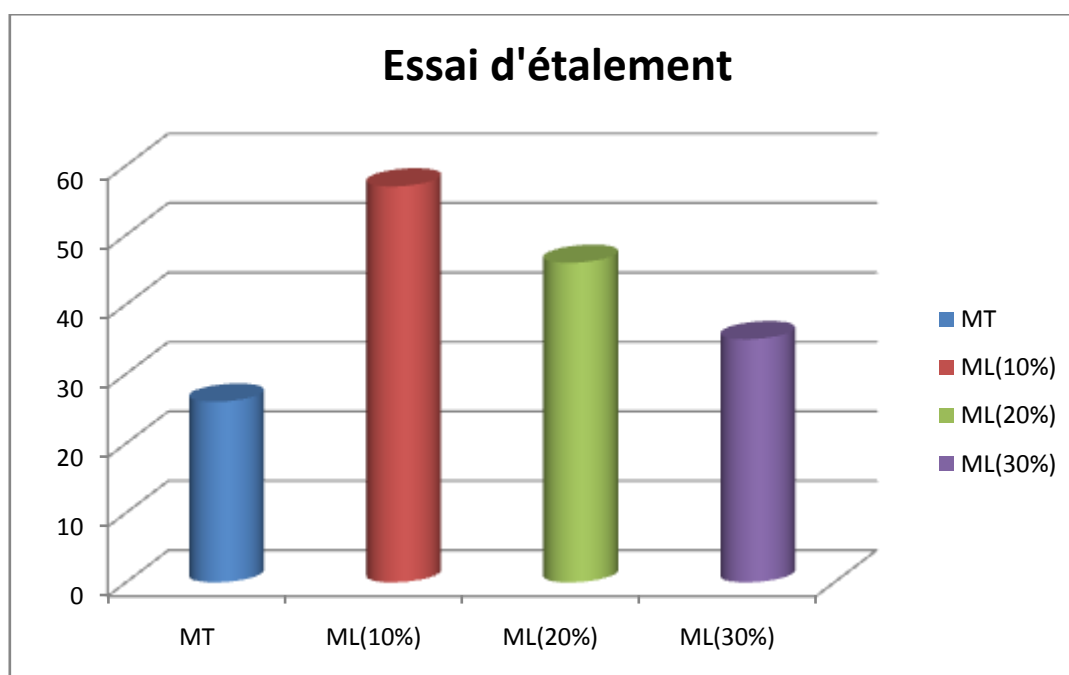


Figure. 6. 5 : Histogramme: valeurs d'étalement (%) pour le mortier.

Interprétation des résultats :

- La substitution d'une partie du sable par son équivalence en liège expansé et granulé conduit à une perte de maniabilité pour les mortiers chargés. cela est traduit par une diminution de pourcentage d'étalement en fonction de l'augmentation du volume du granulats de liège expansé..
- Dans les mortiers légers si le pourcentage de liège expansé est élevée ; le pourcentage d'étalement est diminué et cela est dû aux propriétés physiques du liège expansé, comme il a été approuvé dans la bibliographie, sa capacité d'absorption de l'eau est élevée en raison de sa microstructure alvéolaire conduisant à une porosité importante.



Figure.6. 6 : Mesure de l'étalement du mortier.

4.2. A l'état durci :

4.2.1. Resistance à la compression :

La résistance à la compression du mortier est généralement considérée comme sa plus importante propriété, la résistance à la compression projette généralement une image globale de la qualité d'un mortier puisqu'elle est directement reliée à la structure de la pâte de ciment hydraté, elle est estimée soit à court terme ou à long terme. Les valeurs moyennes obtenues peuvent être enregistrées dans le tableau 6.17.

Tableau 6. 17 : Evolution de la valeur moyenne de la résistance à la compression en fonction du temps de conservation.

Type de mortier	E/C	Resistance à la compression(MPa)			
		7jours	15 jours	21 jours	28 jours
MT	0.5	24.76	26.34	35.13	40.88
ML(10%)	0.5	11.88	20.45	24.87	26.82
ML(20%)	0.5	11.52	18.14	20.41	25.11
ML(30%)	0.5	10.25	17.14	19.65	23.23

Analyse des résultats du tableau 17 :

- La substitution d'une partie de sable par son équivalence volumique en granulats de liège expansé conduit à une diminution de la résistance en compression pour toutes les échéances de mesures effectuées.
- l'augmentation du volume des granulats de liège expansé conduit à une diminution en plus de la résistance en compression du mortier chargé.
- La diminution de la résistance en compression du mortier en fonction du taux volumique du substitution peut être attribué d'une part à la nature absorbante du liège et d'autre part à la mauvaise liaison pate de ciment- granulats de liège expansé .

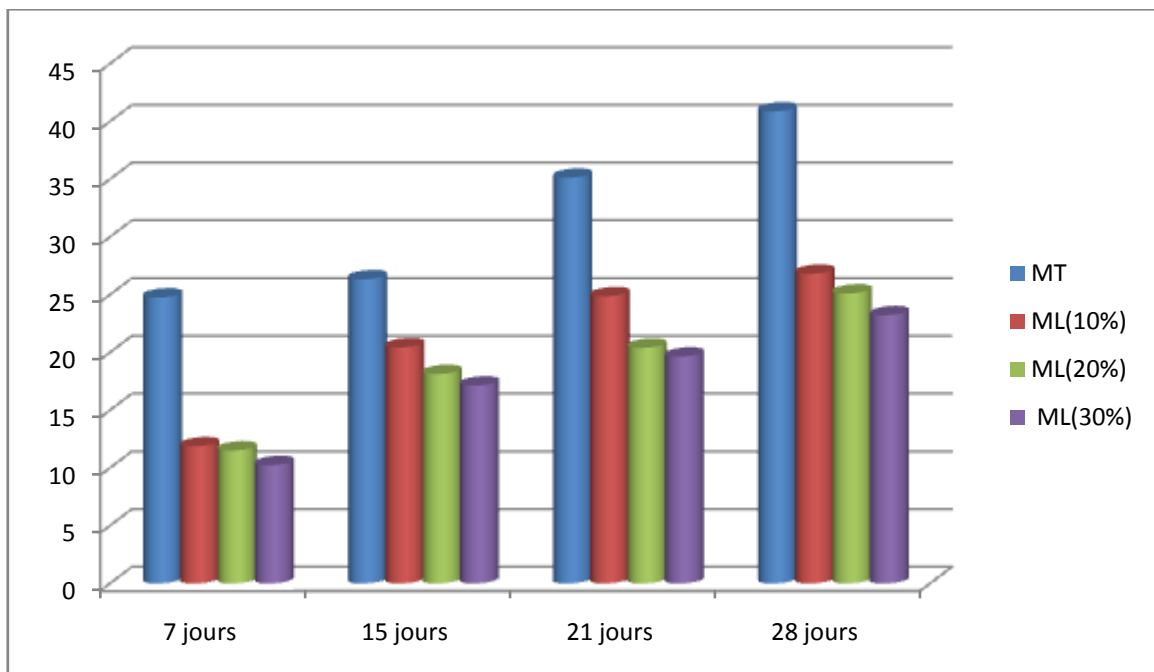


Figure 6.7: Courbe des résultats de résistance à la compression.



Figure. 6. 8. : Vue macroscopique des facies de rupture du mortier témoin.



Figure. 6. 9 : Vue macroscopique des facies de rupture du mortier chargé.

4.2.2. Resistance à la Traction indirecte:

Les valeurs moyennes de la résistance en traction indirecte sont rassemblées dans le tableau 6.18.

Tableau 6.18 : Evolution de la résistance en flexion en fonction du taux de substitution.

Type de mortier	E/C	Resistance à traction indirecte (MPa)			
		7jours	15 jours	21 jours	28 jours
MT	0.5	4.91	5.23	5.88	6.55
ML(10%)	0.5	2.38	3.63	4.97	5.36
ML(20%)	0.5	2.30	3.30	4.08	5.02
ML(30%)	0.5	2.05	3.23	3.93	4.65

Analyse des résultats du tableau 18 :

- Comme il a été observé en compression, la substitution partielle des granulats du sable par son équivalence volumique en granulat de liège expansé conduit à une diminution de la résistance en flexion. le même raisonnement proposé dans la compression reste valable dans le cas de la flexion (absorption de l'eau du liège expansé) mauvaise adhérence: pate de ciment - granulat de liège expansé.

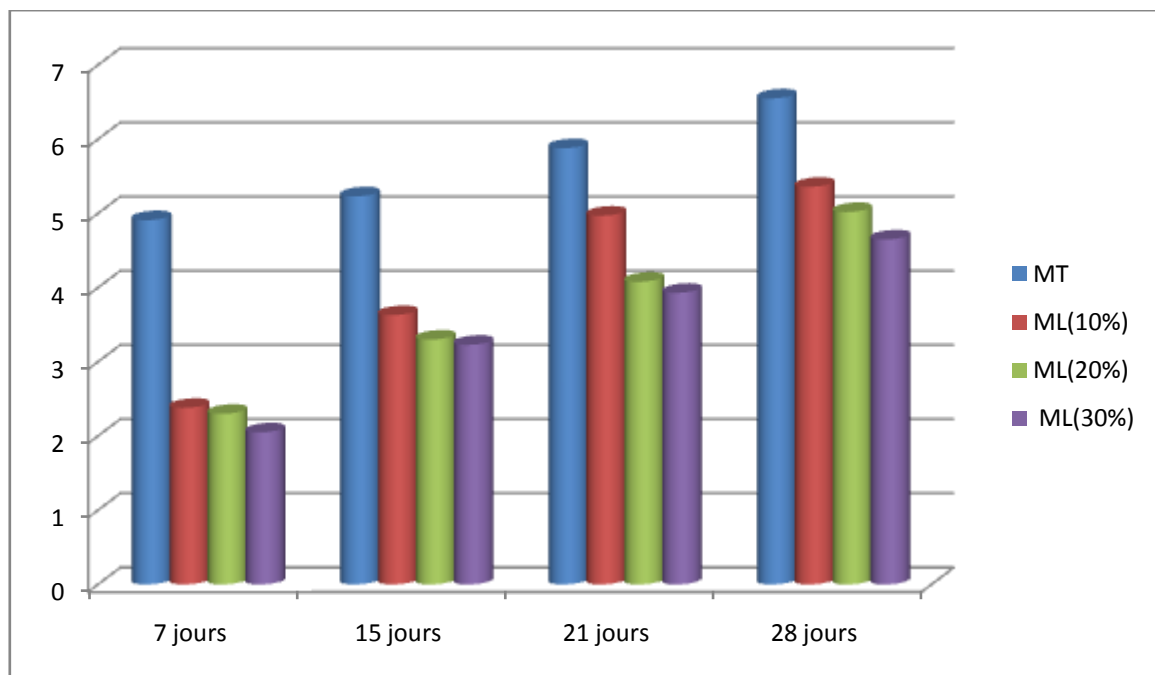


Figure 6.10 : Courbe des résultats de résistance à la traction par flexion.

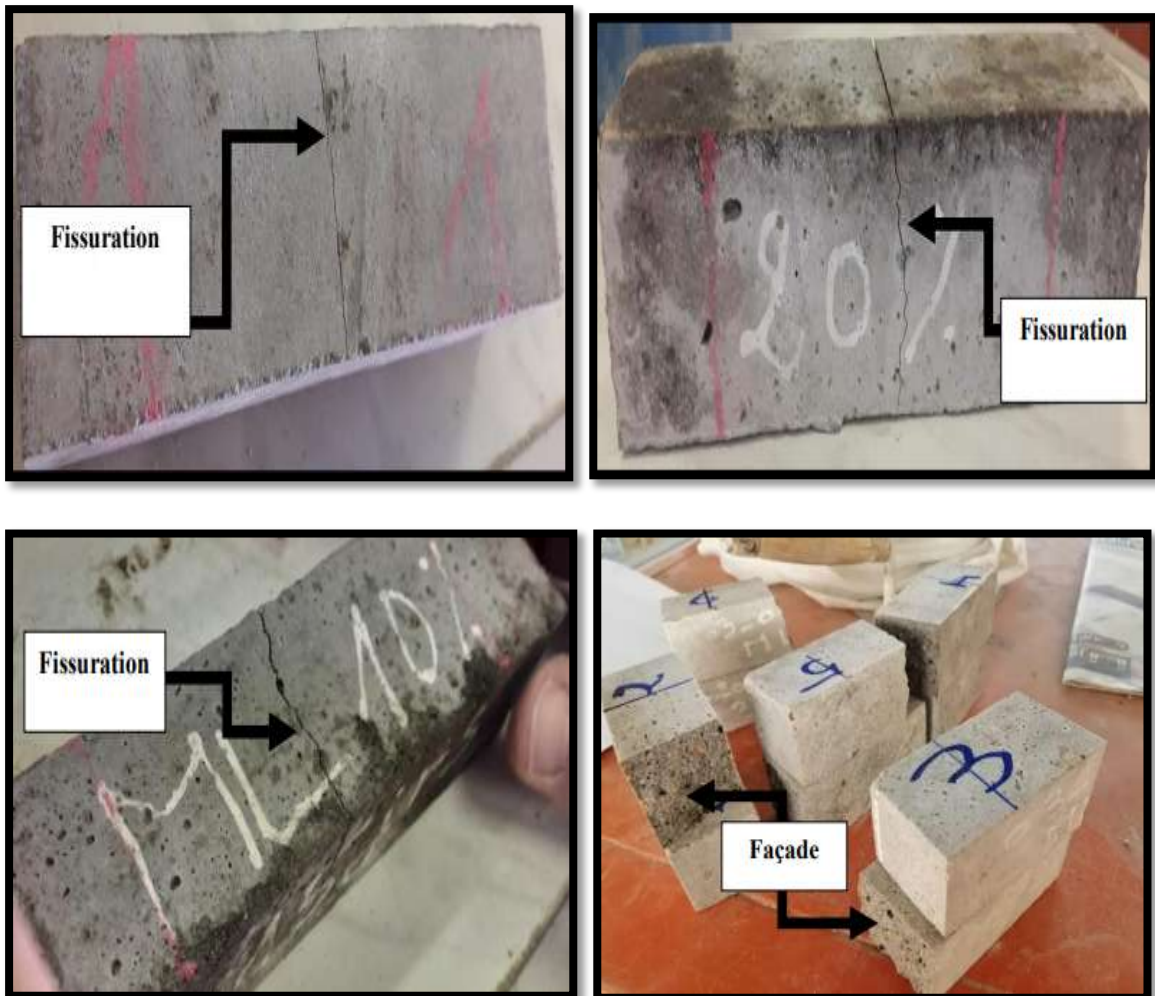


Figure. 6. 11 : Vue macroscopique linges et facies de rupture du mortier chargé.

6. Conclusion

L'exploitation des déchets de l'industrie des panneaux de liège expansé dans les travaux à base de mortier de ciment est possible. Cependant, il faut régler les diminution observées dans les deux phases de murissement de ce dernier:

- diminution de la maniabilité en fonction de l'augmentation du volume des granulats de liège expansé.
- diminution des propriétés mécanique: résistance en compression et en flexion.

Conclusion générale

Au terme de cette étude, les points suivants peuvent être dégagés:

- **La valorisation des déchets de granulats de liège expansé dans un mortier de ciment est possible.**
- **Les substitution partielle du sable par le liège expansé granulé ne dégrade pas la maniabilité du mortier.**
- **Il est possible de mettre en forme un mortier léger à base de liège expansé granulé.**
- **La substitution partielle du sable par le liège expansé granulé conduit à une diminution des résistances en compression et en flexion.**
- **Le taux de diminution est supérieur en compression qu'en flexion.**

Bibliographie :

[1] :**B.BENKHALFA**:«contribution a l'étude des bétons légers d'argile expansée poudres éléments armés préfabriqués».Thèse de magistère. Université d'Annaba.1988.

[2] :**SHORT,W.KINNIBURGH**,Lightweight Concrète .CR Books ltd . 1968

[3] :<https://maconnerie.bilp.fr/guide-general/part-1-generalites/materiel-materiaux/beton/granulats-legers>

[4] :**M.SHINK** «Compatibilité élastique, Comportement mécanique et optimisation Des bétons de granulats légers». Université Laval Québec Avril 2003

[5] :<https://www.alsabrico.fr/isoler/materiaux-d-isolation-ecologique/liege/granulat-de-liege-expanse.html>.

[6] : <https://www.acpresse.fr/wp-content/uploads/Cendres-silicieuses.jpg>

[7] :<https://www.thermal-engineering.org/fr/quest-ce-que-le-polystyrene-expanse-eps-definition/>

[8] :<http://www.ppdgroup.com/services-solutions/eps-expandable-polystyrene/>

[9] : **A.NEVILLE** : «Propriétés des bétons». Eyrolles. Paris, 2000.

[10] : **D .Miloudi** .formulation et caractérisation de bétons légers à base de liège naturel . thèse de master .université de Biskra . 2015

[11] :**M. CONTANT**: «Confection de bétons légers la fabrication d'éléments architecturaux». Projet d'application présenté à L'école de technologie supérieure. Ecole de technologie supérieure L'université du Québec Édition. Montréal 14 Avril 2000.

[12] : cours béton innovant . 2 eme année master .matériaux des construction

[13] : **G.DREUX&J.FESTA**:«Nouveau guide du béton et des es constituants».8 ème Édition.Eyrolles. Mai1998

[14] :**Christian R. Roy Inc**. Mémoire sur les matériaux d'isolation Thermique de l'enveloppe du bâtiment. 1600, boul/ Curé Labelle/Suite 304, Laval/Québec H7V 2W2.AVRIL 2011/Rév. OCTOBRE 2013.

[15] :**Nassima Sotehi**: «Caractéristiques Thermiques des Parois des Bâtiments et Amélioration de L'isolation». Thèse de doctorat en Génie civil. MENTOURI - CONSTANTINE. 2010.

[16] :www.knauf.fr/qui-sommes-nous/blog/polystyrene-expanse-lisolant-ecologique-par-excellence.

- [17] : <https://abaqueplast.fr/ps-polystyrene-expanse/72-704-sphere-ps-polystyrene-expanse-blanc.html> .
- [18] : <https://www.corklink.com/index.php/expanded-cork/>
- [19] : **Zemour I. Boulemnakher F.** Exploration des propriétés mécaniques du liège local. Université Mohammed Seddik Ben Yahia – Jijel. juin 2019.
- [20] : **GROUPE SPECIALIZE N°7** «produits et procédés pour chape et maçonnerie» Avis technique 7/2006-1 CNERIB.
- [21] : L .Imbert. le mortier de ciment .2018
- [22] : <https://www.constructioncayola.com/batiment/article/2008/12/06/23593/la-petite-histoire-mortier> .
- [23] : https://p1.storage.canalblog.com/10/96/1235768/97646894_o.jpg
- [24] : <https://global.photobynight.com/en/photo/the-colosseum-in-rome>
- [25] : <https://www.soloaroma.it/3660-2/>
- [26] : <https://construction-maison.ooreka.fr/astuce/voir/602953/mortier>.
- [27] : <http://bricobistro.com/wp-content/uploads/2013/04/ciment-300x225.jpg>.
- [28] : <https://www.systemed.fr/maconnerie-facades/ciment-chaux-sable-graviers-et-granulats-legers-liants,5846.html>.
- [29] : <http://bricobistro.com/wp-content/uploads/2013/04/ciment-300x225.jpg>.
- [30] : <https://www.couleur-pigment.fr/la-chaux/148-chaux-hydraulique-romaine>
- [31] : <https://www.histoireconstruction.fr/wp-content/uploads/2016/02/pl%C3%A2tre-625x390.jpg>.
- [32] : https://www.academia.edu/33383678/LES_mortiers.
- [33] : Entreprise travaux bâtiment / ETB / KAJOUH/ biskra .JPG.
- [34] : <https://i.ytimg.com/vi/kmMzP-d49Jw/maxresdefault.jpg>.
- [35] : <http://www.alpes-chapes.com/docs/upload/NAJIM.jpg>.
- [36] : <https://construction-maison.ooreka.fr/astuce/voir/747641/mortier-ciment>.
- [37] : <https://decorexpro.com/cement/peschanyj-rastvor/> .
- [38] : <https://maconnerie.bilp.fr/guide-general/ouvrage/element/mortier> .

[39] : <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/construction-et-travaux-publics-th3/les-materiaux-de-construction-42224210/ciments-c920/>.

[40] :**Mr. Z. Benghazi.** Chapitre 3: le ciment. Cours: technologie des géo matériaux. Université de Tébessa. 5 page .

[41] : <http://doc.lerm.fr/le-sable-pour-la-construction/>

[42] :<https://fr.wikipedia.org/wiki/Sable> .

[43] : <https://forum-btp.blogspot.com/2013/09/granulats-sables.html>.

[44] : <http://www.guidebeton.com/eau-gachage>.

[45] : Eau de gâchage . Module 1 : constituants du béton. Formation sur les bétons et matériaux de construction.pdf

[46] : <http://s4.e-monsite.com/2011/05/16/1851080les-essais-sur-mortier-pdf.pdf>.

[47] :**Benali redha** .mémoire ce thème <<étude du comportement mécanique et rhéologique de la pate du ciment ;mortier et béton avec différentes fibres>>.université Mohamed khaidar Biskra.

[48] : <http://s4.e-monsite.com/2011/05/16/1851080les-essais-sur-mortier-pdf.pdf>.